# I. MADEN MAKİNELERİ SEMPOZYUMU
# I st MINING MACHINERY SYMPOSIUM

10-12 MAYIS 2007
10-12 MAY 2007

KÜTAHYA / TÜRKİYE

Maden Mühendisleri Odası

Editör / Edited by
C.Şensöğüt

Dumlupınar Üniversitesi

I st MINING MACHINERY SYMPOSIUM 07

MMS2007: 10-12 MAYIS 2007/ KÜTAHYA-TÜRKİYE
*MMS2007: 10-12 MAY, 2007/ KUTAHYA-TURKIYE*

# I. Maden Makineleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı

# *Proceedings of the1st Mining Machinery Symposium*

Editör / *Editor*
C. Şensöğüt

**TMMOB**
**MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**
*THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS OF TURKEY*

**DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ**
*DUMLUPINAR UNIVERSITY*

© Tüm Hakları saklıdır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde yayınlanamaz.

ISBN : 978-9944-89-277-3
Oda Yayın No : 131
Teknik Hazırlık : Maden Mühendisleri Odası
Baskı : Ümit Ofset Matbaacılık, Tel: 0312 384 2627
İsteme Adresi : TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Selanik Caddesi No: 19/4 Kızılay/ANKARA
Tel: 0312 425 10 80 Faks: 0312 417 52 90
İnternet adresi : www.maden.org.tr
E-Posta : maden@maden.org.tr

## SUNUŞ

Maden Mühendisleri Odası, insanın refah ve mutluluğunu amaçlayan, insan onuruna ve emeğine saygılı, kamu yararını öncelikli olarak göz önünde tutan her türlü siyasal, ekonomik ve toplumsal projenin yanındadır. Genel ülke politikalarına ilişkin her gelişmeye müdahil olmaktadır ve olmaya devam edecektir.

Ayrıca Odamız, insanı ve insan emeğini merkeze koyan, bir yandan madencilik faaliyetlerinde kamunun etkin gözetim ve denetimini sağlarken, diğer taraftan söz konusu faaliyetlerin çevre ve ekosistemlerin korunmasını da gözeten, temel olarak ekonomik kalkınmaya ve yoksulluğun azaltılarak gelir dağılımının düzeltilmesi hedeflerine yönlendirilen bir "ulusal madencilik politikası" oluşturmanın, gerek toplumun yararı gerekse madencilik sektörünün gelişimi bakımından son derece büyük önem taşıdığı görüşündedir.

Madencilik sektöründe aramadan uç ürüne kadar her aşamada ileri teknoloji kullanımı amaçlanmasını, üretim ve kaynak performansının iyileştirilmesini ve yeni ürünlerin elde edilmesine yönelik olarak yeni gelişen teknolojilerin kullanımını, bu sektörün ülke kalkınmasına katkısı bakımından önemli bulmaktadır.

Bu nedenle sektörde yüksek teknoloji kullanımı ve üretilmesine yönelik araştırma-geliştirme çalışmalarına öncelik verilmelidir.

İleri üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, gelişmiş teknoloji kullanımı ve yeni madencilik teknolojilerinin uygulanması sektöre önemli katkılar yapacak ve sektörün en önemli sorunlarının başında gelen ve bir türlü azaltılamayan iş kazalarının önlenebilmesinde önemli bir etken olacaktır.

Bu çerçevede;

Maden Mühendisleri Odası ve Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü tarafından bu yıl ilki gerçekleştirilen Maden Makineleri Sempozyumu'nun Ülkemiz madencilik sektörüne, sektör çalışanlarına önemli katkılar sağlayacağı umuduyla, emeği geçen tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

**Maden Mühendisleri Odası**

**Yönetim Kurulu**

**Düzenleme ve Yürütme Kurulu**
***(Organizing Committee)***

Prof. Dr. Güner ÖNCE / Dumlupınar Üniversitesi
**Düzenleme ve Yürütme Kurulu Başkanı**
***(Chairman)***

Prof.Dr. Cem ŞENSÖĞÜT / Dumlupınar Üniversitesi
**(Düzenleme ve Yürütme Kurulu Başkan Yard.**
***(Vice Chairman)***

| | |
|---|---|
| Y.Doç.Dr. Ali UÇAR | Dumlupınar Üniversitesi |
| Y.Doç.Dr.Hak:an AYKUL | Dumlupınar Üniversitesi |
| Y.Doç.Dr. Hamdi AKÇAKOCA | Dumlupınar Üniversitesi |
| Y.Doç.Dr. Cengiz KARAGÜZEL | Dumlupınar Üniversitesi |
| Y.Doç.Dr. Mustafa ÇINAR | Dumlupınar Üniversitesi |
| Arş.Gör. Şahin YUVKA | Dumlupınar Üniversitesi |
| Arş.Gör.Özer ÖREN | Dumlupınar Üniversitesi |
| Arş.Gör. İsmail TOPAL | Dumlupınar Üniversitesi |
| Arş.Gör. Oktay ŞAHBAZ | Dumlupınar Üniversitesi |
| Arş.Gör. Uğur DEMİR | Dumlupınar Üniversitesi |
| Ahmet SARDAR | Maden Mühendisleri Odası |
| Oğuz SÖNMEZER | Maden Mühendisleri Odası |
| Cemalettin SAĞTEKİN | Maden Mühendisleri Odası |
| Y.Doç.Dr. Bülent TİRYAKİ | Hacettepe Üniversitesi |
| Y.Doç.Dr. Cemal BALCI | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Yakup KAYGUSUZ | Park Teknik |
| Mustafa EYYUBOĞLU | Çankaya Üniversitesi |
| Mustafa AYHAN | Dicle Üniversitesi |
| Ömer Çatal | Garp Linyitleri İşletmesi |
| Yunus AKMAN | Seyitömer Linyitleri İşletmesi |
| Mehmet SAVAŞ | Eti Maden- Emet |
| Adnan SARAÇOĞLU | Set Makina |
| Metin ÖZDOĞAN | İdeal Makine |
| Reşit VATAN | Global Makina |

**TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**
**YÖNETİM KURULU**

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

**Bilim Kurulu**
***(Scientific Advisory Board)***


| | |
|---|---|
| Prof.Dr. Mesut ANIL | Çukurova Üniversitesi |
| Prof.Dr. Yakup CEBECİ | Cumhuriyet Üniversitesi |
| Prof.Dr. Hasan GERÇEK | Zonguldak Karaelmas Üniversitesi |
| Prof.Dr. M.Kemal GÖKAY | Selçuk Üniversitesi |
| Prof.Dr. Fikri KAHRAMAN | Dicle Üniversitesi |
| Prof.Dr. Ali KAHRİMAN | İstanbul Üniversitesi |
| Prof.Dr. Celal KARPUZ | Orta Doğu Teknik Üniversitesi |
| Prof.Dr. Ayhan KESİMAL | Karadeniz Teknik Üniversitesi |
| Prof.Dr.Gündüz ÖKTEN | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Prof.Dr.Hüseyin ÖZDAĞ | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi |
| Prof.Dr. M.Saim SARAÇ | Süleyman Demirel Üniversitesi |
| Prof.Dr. Musa SARIKAYA | İnönü Üniversitesi |
| Prof.Dr. Cem ŞENSÖĞÜT | Dumlupınar Üniversitesi |
| Prof.Dr. Ahmet ŞENTÜRK | Afyon Kocatepe Üniversitesi |
| Prof.Dr. Erhan TERCAN | Hacettepe Üniversitesi |
| Prof.Dr. Ercüment YALÇIN | Dokuz Eylül Üniversitesi |

**Sempozyumu Destekleyen Kurum ve Kuruluşlar**
***(Companies Supporting tlıe Symposium)***

Bu sempozyumun düzenlenmesinde katkıda bulunan, aşağıdaki kurum ve kuruluşlara teşekkür ederiz.
*Financial support of the following companies is gratefully appreciated.*

- BAŞ-TAŞ İnş. San. Tic. Ltd. Şti (Tavşanlı-Kütahya)
- BU-KA Maden makineları İmalatı (Tavşanlı-Kütahya)
- BP-ASPET (Tavşanlı - Kütahya)
- Dere Kaplıcaları (Günlüce-Kütahya)
- Eti-Gümüş (Kütahya)
- Evyap Sabun, Yağ, Gliserin Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İstanbul)
- KIRDAR Grup (Kütahya)
- KÜMAŞ (Kütahya)
- Park-Teknik
- Türkiye Maden İş Sendikası-Batı Anadolu Şube Başkanlığı (Tavşanlı)
- Türkiye Maden İş Sendikası-Kütahya Şube Başkanlığı
- Türkiye Maden İş Sendikası genel Merkezi (Ankara)
- Yılmazlar Madencilik San. Tic.Ltd.Şti (Tavşanlı- Kütahya)
- Makina Mühendisleri Odası - Kütahya Şubesi

## ÖNSÖZ

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü ve TMMOB Maden Mühendisleri Odası tarafından bu yıl ilki düzenlenen I. Maden Makineleri Sempozyumu (MMS'2007), 10-12 Mayıs 2007 tarihlerinde Dumlupınar Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Daha önceleri maden mühendisliği alanında farklı bilgi şölenlerinde işlenen maden makineleri konusu, bu yıl ilk defa başlı başına bir sempozyumda irdelenir hale gelmiştir. Sempozyum ülkemizin değişik yörelerinden gelen akademik ve sektörde yer bulmuş katılımcılar için maden makineleri alanında bir iletişim köprüsü oluşturmayı hedeflemiştir. Başlangıçta ulusal bazda olması düşünülen sempozyum, son anda gelen istekler doğrultusunda uluslararası katılımcılara da açılmıştır.

Elinizde bulunan kitaptaki bildiriler, Maden Makineleri Teknolojisi ve Performansı; Maden Makine ve Donanım Seçimi; Kazı Mekaniği; Simülasyon ve Optimizasyon; Tasarım, Tamir-Bakım İşleri; Malzeme-Yardımcı Donanım; İş Güvenliği ve Diğer İlgili Konular olmak üzere sekiz ana başlık altında toplanmıştır. Bu bildiriler kitabındaki 42 bildiri 3 faklı ülkedeki araştırmacılar tarafından hazırlanmıştır.

MMS'2007 Sempozyumu'nun başarılı geçmesine katkı sağlayan kuruluşlara, Sempozyum Yürütme Kurulu'na, Bilimsel Kurula, Oturum Başkanlarına ve Bildiri Yazarlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sempozyumun organizasyonunda hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan Prof.Dr.Cem ŞENSÖĞÜT ve düzenleme kuruluna ayrıca şükranlarımı sunarım.

**Prof. Dr. Güner ÖNCE**
Sempozyum Başkanı

## Foreword

The 15[1] Mining Machinery Symposium **(MMS**'2007) organized jointly by the Mining Engineering Department of Dumlupinar University and the Chamber of Mining Engineers ofTurkey was held between May 10 and 12, 2007 in Kütahya, Turkey. Although the subjects related to the mining machinery have previously been discoursed in symposiums with general mining topics, it is the :first time that the arguments conceming the mining machinery are independently discussed in specific meetings. The primary objective of the symposium is to promote operational, economical and scientific information exchange pertaining to all aspects of mining machinery. Furthermore, the MMS'2007 aims to provide a forum for the presentation, discussion and criticism of emerging problems in the field of mining machinery. Although it had been planned to be a national symposium at the beginning, it was opened to the intemational attendance on demand in final round.

The papers included in the proceedings volume have been grouped under eight specific themes which are Technology and Performance of Mining Machinery; Mining Machinery and Equipment Selection; Excavation Mechanics; Simulation and Optimization; Maintenance of Mining Machinery; Material and Ancillary Equipment; Work Safety and Miscellaneous. The 42 papers included in this volume have been prepared by authors from 3 countries.

The support from the sponsors and exhibitors, organizing committee, scientific and advisory committee, plenary session speakers, poster presenters and technical session chairs is gratefully acknowledged.

My sincere appreciation goes to Prof.Dr.Cem ŞENSÖĞÜT and his team mates for their dedication in the organisation of the symposium.

**Prof.Dr.Güner ÖNCE**
Symposium Chairman

# İçindekiler
## *(Contents)*

Önsöz *(Foreword)* .....

Düzenleme ve Yürütme Kurulu *(Organizing Committee)* .....

Bilimsel Kurul *(Scientific Advisory Board)* .....

**Maden Makineleri Teknolojisi ve Performansı**
***(Technology and Performance of Mining Machinery***

Mermer Ocaklarında Kullanılan Kollu Kesme Makinaları . … ……. ..... 3
*Armed Sawing Machineries Used in Stone Quarries*
*Z. Karaca*

Bursa Linyitleri İşletmesi Dekapajda Kullanılan Makinelerin Verimlilik Analizi 13

*Productivity Analysis ofthe Mining Machinery Utilizedfor Overburden Stripping at*
*Bursa Lignite Corporation*
C. *Şensöğüt & M Taşer*

Türkiye'deki Draglayn Örtükazı İşlemlerinin İncelenmesi..... 21
*Analysis of Dragline Stripping Operations in Turkish Coal Mines*
*B. Erdem & Z. Duran*

Doğal Taş Madenciliğinde Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Performansı. ..... 37
*Performance ofChain Saw Machines Used in Natura! Stone Quarrying*
*H. Çopur,* C. *Balcı, N. Bilgin, D. Tumaç, İ. Düzyol & N. Kekeç*

Flotasyon Makineleri ve Özellikleri: Genel Bir Bakış ..... 47
*Flotation Machines and Characteristics: A Review*
*O.Şahbaz, U.Demir, C.Karagüzel, M Çınar, A.Uçar & Ş.Kelebek*

Tünel Açma Makinelerinin (TBM) Tam Boyutlu Kesme Deneyi ile Performans Tahmini ..... 61
*Performance Prediction ofTunnel Boring Machines (TBM) Using Ful! Scale Linear*
*Rock Cutting Test*
C. *Balcı, N. Bilgin, H. Çopur, D. Tumaç & M Akgül*

Açık Ocak Sınırlarında Şev Altında Kalan Kömürün Üretilmesinde Kullanılan Teknoloji ve Ekipmanlar ..... 71
*Technology and Equipments Used to Produce Coal from Highwall of Open Pits*
*M M Ceyhan, B. Ünver & M A. Hindistan*

Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Açık Ocaklannda Çalışan Elektrikli Ekskavatörlerin ..... 81
Yükleme Performanslarının Istatistiksel Süreç Kontrol Yöntemi ile iyileştirilmesi .....
*Improvement of Loading Parameters for Electrical Excavators Working in Western Lignite Enterprise Utilizing the Method of Statistical Process Control*
C. *Şensöğüt, H. Aykut & A. Sezgin*

Kaya Kamyonları, Yapı ve Performanslarının İncelenmesi. ..... 97
*Dump Trucks, Examination ofTheir Structures and Peiformances*
*M Zıypak*

Metal Madenciliğinde Kullanılan Bazı Makinelerin Performans Analizi 105

***Performance Analysis of the Some Machine Used in Metallic Mining***
G. *Kalyoncu Ergüler*

İstanbul'da Yeraltı Kazılarının Dünü Bugünü ve İTÜ Kazı Mekanizasyonu Laboratuarının Gelişme Öyküsü ..... 115
*Underground Excavations in Istanbul from Past to Now and Development of Rock Excavation Laboratory in ITU*
*N Bilgin, H. Çopur,* C. *Balcı, D. Tumaç & İ. Düzyol*

GLİ Yeraltı Ocaklarında Mekanizasyonun Gelişimi .....
*The Development of Mechanized Systems in GLI Underground Coal Mines* 125
*R. Çelik*

Seyitömer Linyit İşletmeleri'nde Kullanılan Yükleme Ekipmanlarının Performanslarının incelenmesi ..... 133
*A research on the Performances of Loading Machineries Utilized at Seyitomer Lignite Corporation*
G. *Önce, H. Aykul,* C. *Şensöğüt &* Ö. *Ören*

İş Makinelerinin Verimliliğinde Operatör Faktörü..... 155
*Operator Factor on the Productivity of Heavy Duty Machineries*
*İ. Çelik & E.Z. Mandal .*

Capture of Longwall AFC Chain Tension ..... 163
*Z. Guan, H. Gurgenci & D. Wauge*

**Maden Makine ve Donanım Seçimi**
***(Mining Machinery and Equipment Selection)***

Açık Ocak Madenciliği Ekipman Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesinin Uygulanması ..... 171
*Application of the Analytical Hierarchy Process in Equipment Selection for Open Pit Mining*
*A. Başçetin*

Kalın Kömür Damarlarında Taban Ayak (Çekme) Yönteminin Seçilmesi Durumunda Yürüyen Tahkimat Tiplerinin İncelenmesi ..... 183
*Analysis of Roof Support Types for Longwall Top Coal Caving Method In Thick Coal Seams*
*M K. Özfirat, F. Şimşir & A. Gönen*

**Garp Linyitleri İşletmesi Açık Ocaklarının Çalışma Sistemi ve Makine - Ekipman Seçimini Etkileyen Parametreler** 189

*Parameters Ejfective on the Selection of Working System and Mining Equipment at the Open Pits of Western Lignite Corporation*
*M Taksuk,* C. *Şensöğüt,* Ö. *Ören & Ş. Yuvka*

Endüstride Kullanılan Mikronize Öğütme Makineleri ..... 201
*Fine Grinding Milis Used in Industry*
*U.Demir,* O. *Şahbaz, M Çınar,* C. *Karagüzel, A. Uçar & B. Öteyaka*

Seyitömer A-14 Panosu Pilot Dekapaj Uygulamasının Değerlendirilmesi..... 213
*The Evaluation of Pilot Overburden lmplementation at Seyitömer A-14 Panel*
Ö. *Uysal, H Akçakoca, L. Orman,* S. *Özerdem & MA. Çebi*

SMT Scharf - Transport Systems for Mining and Tunnelling..... 221
S. *Meyer*

From Equipment Supplier to Mining Partner …….. 227
C. *Pinnow*

Yeni Bir Bant Taşıma Teknolojisi - Boru Bant, Performans Analizi ve Uygulamaları ..... 235
*A New Conveyor Technology - Pipe Conveyor, Applications and Performance Analysis*
*H Ergin & İ. Düzyol*

**Kazı Mekaniği**
***(Excavation Mechanics)***

Kadıköy-Kartal Metro Hattı Şaftlarının Kazı Analizi ..... 243
*Excavation Analysis of Kadıköy-Kartal Metro Line Shafts*
*İ. Ocak*

Kayaç Kazılabilirliği İçin Elektriksel Anizotropinin Jeofizik Özdirenç Arazi Ölçümleri ile Araştırılması ..... 251
*lnvestigation of Electrical Anisotropy for Cuttability of Rocks Using Geophysical Resistivity Measurements*
*İ. Çağlar & Ü Avşar*
Plaka Yükleme Model Uygulaması, Plaka Şeklinin Taşıma Kapasitesine Etkisi 259
*Model Application of Plate Loading, Effect of Plate Shape on Carrying Capacity*
*K.Doğan & MK. Gökay*
Uzun Ayak Kömür Kazı Arınında Schmidt Sertliği ve Tavan Basıncının Zamana Bağlı Değişimi ..... 265
*Variation with Time of Schmidt Hardness and Roof Pressure in Longwall Coal Excavation Face*
N. Bilim & İ. Özkan
**Simülasyon ve Optimizasyon**
***(Simulation and Optimization)***
A Study on the Factors Affecting the Production Performances ofTruck-Shovel Haulage Systems Using Simulation ..... 275
*N. Çetin & N. Bölükbaşı*
A Model for Practical Estimation of Rock Cuttability using Cone Indenter Test. .... 285
*B.Tiryaki & N. Bölükbaşı*
Kömür Yıkama Tesis Ekipmanları için Örnek Bir Bakım Modeli..... 293
*A Model Maintenance Design for Coal Washing Plant Equipments*
*A. Gitmez, N. Güralp & M Uygun*
Kömür Yıkama Tesisindeki Eleklerin Kolmogorov-Smirnov Testi ile Karşılaştırılması: Ömerler Lavvarı'na Uygulanması. ..... 305
*Comparison of Screens in Coal Washing Plant Using the Kolmogorov-Smirnov Test: Application ofOmerler Washing Plant*
*H. Ankara, M Uygun & S. Yerel*
Kömür Havzalarındaki Şevlerde Elektriksel Direnç Dağılımları..... 309
*Electrical resistivity variation in coal bearing strata*
*K. Doğan & MK. Gökay ·*
Açık Ocak Yollarının Elektriksel Direnç Yöntemiyle İncelenmesi ..... 317
*Analysis of Open Pit Roads by Electrical Resistivity Methods*
*K.Doğan, MK.Gökay, S. Kahveci & C.Arslan*
**Tasarım ve Tamir-Bakım İşleri**
***(Design and Maintenance oJMining Machinery)***
İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) Tekniklerinden Kontrol Grafiklerinin Kömür Zenginleştirme Tesisindeki Uygulaması. ..... 327
*The Application of Control Graphics /rom Statistical Process Control (SPC) Techniques on Coal Processing Plant*
*M Uygun, A. Gitmez & N. Güralp*

Ege Linyitleri Müessesesi (Soma) Bünyesinde Yürütülen İş Makinasi Revizyon Faaliyetleri..... 335
*Revision Works Carried out at Aegean Lignite Corporation*
*M Zıypak*

İş Makinelerinde Filo Yönetimi ..... 347
*Fleet Managementfor Heavy Machines*
*İ. Çelik, E.Z. Mandal &* Ö. *Koç*

Seyitömer Linyit İşletmeleri Marion-8050 Dragline'ın Bakım ve Revizyonu İşlemlerinin Değerlendirilmesi. ..... 353
*The Evaluation ofthe Maintenance and Revision Process of Marion-8050 Dragline of Seyitömer Lignite Enterprise*
*H Akçakoca,* Ö. *Uysal, İ. Topal, R. Bozkurt, M Yavuz & A. Akça*

**Malzeme ve Yardımcı Donanım**
***(Material and Ancillary Equipment)***

Tekerlekli Iş Makinelerinde Lastik Ömürlerinin Uzatılması ..... 365
*Extension the Life ofthe Tyres on Wheeled Heavy Mining Machinery*
*İ. Çelik,* Ö. *Koç & E.Z. Mandal*

**İş Güvenliği**
***(Work Safety)***

Garp Linyitleri İşletmesi Açık Ocaklarında Çalışan Iş Makinelerinin Kaza Risklerinin Azaltılmasında Geçmiş Yakaların Analizi ..... 375
*Analysis of the Previous Events to Reduce the Accident Risks of the Mining Machinery Operating at the Open Pits of Western Lignite Corporation*
C. *Şensöğüt,* Ö. *Ören & M Taksuk*

**Diğer Konular**
***(Miscellaneous)***

Endüstriyel Boyutlu Kömür Stoklarında Kendiliğinden Yanmaya Tane Boyutunun Etkisi..... 383
*Effect of Grain Size on Spontaneous Combustion at Large Scale Coal Stockpiles*
*A.H Özdeniz*

Eskişehir-Mihalıççık-Yunusemre (Belektepe) Lateritik Nikel Cevherinin Su Banyosu İçinde $H_2SO_4$ İle Atmosferik Liçi..... 391
*Atmospheric Leaching of Eskişehir-Mihalıccık-Yunusemre (Belektepe) Lateritic Ore with $H_2SO_4$ in Water Bath*
*T. Ağaçayak,* S. *Aydoğan &V. Zede/*

Seyitömer Linyitleri Yıkama Tesisi: Bir Başarı Öyküsü ..... 395
*Seyitomer Washery Plant: A Success Story*
*A. Uçar, A. Olgun, Z. Çağırıcı & H Daşcı*

# *Maden Makineleri Teknolojisi ve Performansı*

***(Technology and Peiformance of Mining Machinery)***

# Mermer Ocaklarında Kullanılan Kollu Kesme Makinaları
## *Armed Sawing Machineries Used in Stone Quarries*

Z. Karaca
*Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir*

**ÖZET** Mermer blok üretiminde kullanılan kollu kesme makinaları, zincirli ve bantlı olmak üzere iki ayrı modelde üretilir. Kollu kesme makinalarında bir kol ve kol üzerinde hareket eden kesiciler bulunur. Zincirli kesme makinalarında kesme işlemi metal karbürler veya elmas widialar, bantlı kesme makinalarında kesme işlemi elmas segmentler ile yapılır. Kollu kesicilerin üretim sırasında ön hazırlık gerektirmemesi ve diğer üretim yöntemlerine göre daha güvenli oluşları en önemli üstünlükleridir. Bu özellikleri ile kollu kesiciler, günümüz yeraltı mermer ocakları için temel üretim makinası olma özelliğindedir. Bu çalışmada, mermer ocaklarında kullanılan kollu kesiciler tanıtılacak ve uygulamalardan örnekler verilecektir.

**ABSTRACT** Aımed sawing machineries used in stone quarries are two different types; chain sawing and diamond belt sawing. The chain sawing machinery has an arın and there is the chain. Widia bits or diamond polycrystalline bits are mounted on the chain. Similarly, the diamond belt sawing machinery has an arın. But, there is a belt instead of the chain. Sintered diamond segments are inserted on the belt. Cutting is accomplished by movement bits or segments along the arın.

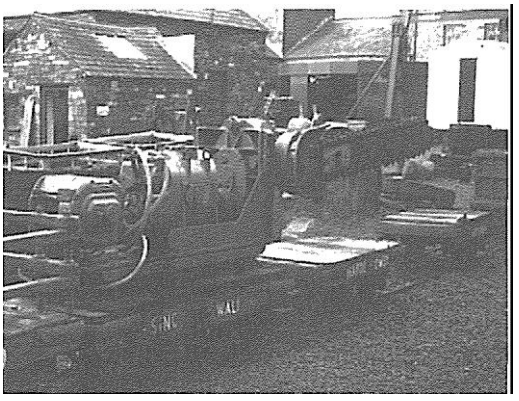
The armed sawing machineries do not require an early preparation and cutting is done directly. Besides, operation is safer. Especially, in underground marble quarries, the armed sawing machineries are fundamental. In this paper, the armed sawing machineries operated in marble quarries will be presented and their operation techniques will be explained.

## 1 GİRİŞ

Mermer blok kollu kesme makinası, yeraltı kömür ocaklarında kullanılan potkabaç makinasının mermer ve mermer olarak değerlendirilen doğal yapı taşı ocakları için geliştirilmiş tipidir. Potkabaç makinası, 1850'li yıllarda tasarlanmış ve 1900'lü yılların başından itibaren kömür ocaklarında kullanılmaya başlanmış ilk mekanize kazı aracıdır. 1900'lü yılların başında potkabaç makinası, kömür kazısı ile birlikte galeri açma çalışmalarında da kullanılmaya başlanmıştır (Saltoğlu, 1987). Potkabaç makinasının galeri açma işlerinde kullanılması, bu makinanın doğal yapıtaşlarına uygun bir modelinin; kollu kesme makinasının geliştirilmesini ve kullanımını sağlamıştır.

Mermer ocaklarında kullanılan ve bilinen ilk kollu kesme makinası, 1949-1953 yıllarında Aberllefenni (Merionethshire, İngiltere) yeraltı slate ocağında doğrudan slab üretimi için kullanılan makinadır (Şekil 1, www.gtj.org.uk). Korfmann firması tarafından slate ocağı ve slab üretimi için

geliştirilen ilk kollu kesme makinası _basınçlı hava ile çalışıyor ve kesme sonrası ılerleme (çekme) işlemi bir vinç ile sağlanıyordu.



Şekil 1. Aberllefenni (Merionethshire, İngiltere) yeraltı slate ocağında kullanılan Korfınann kollu kesme makinası

1985 yılında WF. Meyers firması, 11?-ermer ocakları için bantlı kollu kesme makınası?ı geliştirmiştir (www.wfmeyers.com). Bu tıp kollu kesicileri zincirli kollu kesme makinalarından ayıran en önemli fark, kesme işleminin kol boyunca zincir yerine elmas segmentlerin bulunduğu bir bandın hareket etmesi ile yapılmasıdır. WF. Meyers firmasının yanı sıra Benetti firması da bantlı kollu kesme makinası üretmektedir. Fantini, Korfmann ve Garroni fırınaları zincirli kesme makinaları üretmektedir. Ülkemizde kullanılan ilk kollu kesme makinası, zincirli kollu kesme makinasıdır ve İscehisar (Afyon) mermer ocaklarında_ kullanıl ştır. Sayıları tam bilinmemekle bırlıkte, Türkiye'de farklı tür ocak!arda_ 50 ka ar kollu kesicinin çalıştığı tahmın edılmektedır.

Bugüne kadar mermer kesme makinal_arı üzerine yapılan bilimsel çalışmalar, fabrıka makinaları üzerinedir. Mermer ocaklarında kullanılan kollu kesme makinalarının genel bir tanıtımı olacak bu çalışmada, sırasıyla kollu kesici tipleri tanıtılacak, blok üretim şekillerinden örnekler verilecek ve diğer blok üretim yöntemleri ile karşılaştırmaları yapılacaktır.

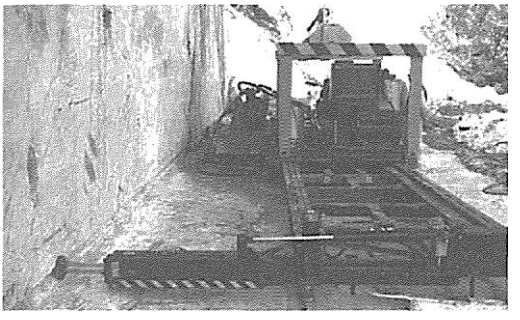
## 2,KOLLU MERMER KESME MAKİNALARI

Kollu kesme makinaları ray, güç ünitesi ve kesici kol olmak üzere üç ana bölümden oluşur. Günümüzde kollu kesiciler sadece elektrik tahrikiyle çalışır ve genel olarak hidrolik güç ile fonksiyonları düzenlenir. Makinanın ilerlemesi ve hız ayarlaması doğru akım ile çalışan bir rı:otor tarafınd n sağlanır. Tek yönlü kesım yapan ılk modellerde kolun ekseni etrafındaki dönüşü de başka bir doğru akım motoru tarafından sağlanmıştır. Makinanın kontrolü kullanım amacına ve türüne göre üzerinden veya kablo bağlantısı ile ayrı bir pano ya da uzaktan kumanda ile yapılır.

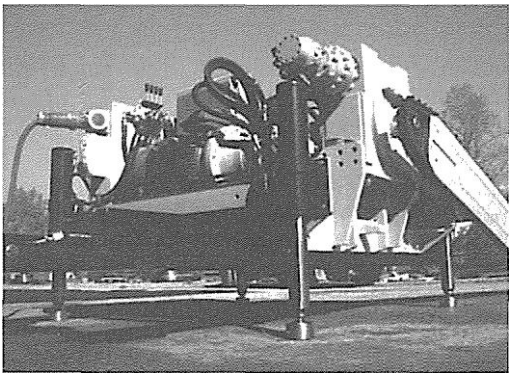
Kollu kesiciler, elmas telli mermer kesme makinaları gibi genellikle raylar üzerinde veya çelik ayaklar üzerinde hareket e?er. Ray uzunluğu 9-1 O m'dir. _Rayl r ge1:ellıkle makinayla beraber aynı şası üzerındedır. Ray ve makinanın ayrı olması halinde ve rayın ileri alınması gerektiğinde, makina ray üzerinden kaldırılır, ray çekilir ve tekrar makina ray üzerine oturtulur (www.fantinispa.it). Şekil 2'de olduğu g b ray ile makinanın beraber olduğu kollu kesıcı tiplerinde, makina ray sonuna.ulaşıp rayın çekilmesi gerektiğinde, öncelıkle ma ına dört köşesinde bulunan ayaklar üzerınde kendini askıya alır (Şekil 3). Makinanın kendini askıya alması ile ray da kalkar. Zeminden ayrılan ray makina tarafından ileriye alınır. Ray çekme işleminin tamamlanmasından sonra makine ayaklarını geri alır ve rayı ile birlikte z mine veya teraziye alınmış takozlar üzerıne otu r; kesme işlemine devam eder. Rayların sabıt, zemine sağlam oturması ve terazide olması makinanın verimi ve kesici uçların ömrü açısından son derece ö?emlidir. Ray *:'e* makinanın aynı şasi üzerında olması kesım hattının düzgünlüğü ve kol-kesme aralığının uyumu için önemlidir.

Kesici kol çeliktendir. Açık ocaklarda kullanılan kollu kesicilerin ilk modelleri t_ek yönlü kesim yapabilmektedi:. . ilk modellerde, yatay kesim yapan makına dıkey kesim, dikey kesim yapan makina yatay kesim yapamaz. Günümüzde kullanılan

modeller yatay ve dikey kesim yapabilmektedir. Kolun pozisyonu hidrolik ünitelerle düzenlenir. Açık ocak makinalarında kolun kendi ekseni etrafındaki hareketi tek yönlü kollu kesicilerde 180°, diğerlerinde yatayda 180°, dikeyde 360°'dir. Benzer olarak, yeraltı ocaklarında kullanılan kollu kesicilerin ilk modelleri sadece alt ya da üst, sağ ya da sol kesimler için üretilmiştir. Günümüzde, yeraltı mermer ocakları için geliştirilen paletli kollu kesiciler, tek kol ile dört yönde kesim yapabilmektedir.



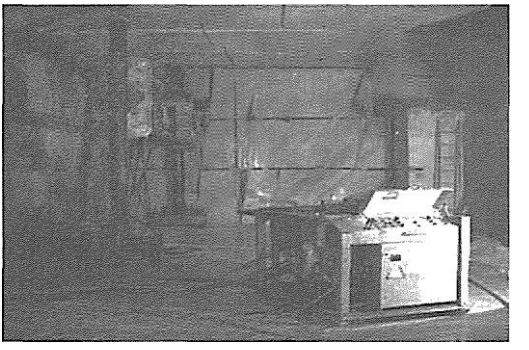
Şekil 2. Makine ve rayın birlikte olduğu zincirli kollu kesme ınakinası



Şekil 3. Makine ve rayın birlikte olduğu ınakinada kaldırma ayakları

Açık ve yeraltı işletmelerinde kullanılan kollu kesicilerde kolun makinaya bağlantı şekli farklıdır. Açık işletme makinalarında kol ana makinanın yan tarafında, orta veya ortaya yakın bölümdedir. Yeraltı makinalarında kol, ana ınakinanın ön bölümünde bulunur. Ayrıca yeraltı ocakları ıçın ters "L" kollu zincirli kesiciler geliştirilmiştir. Ters L kollu zincirli kesiciler, kesme pozisyonuna bağlı olarak yan veya üst tarafında yeterli boşluğu bulunan galerilerde yan veya üst kesimler ile birlikte arka kesimleri eş zamanlı olarak yapar.

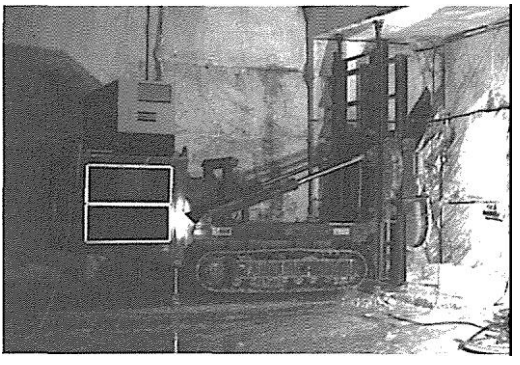
Kollu kesme makinaları kuyu tıpı ocakların, çalışma alanı dar ocakların ve yeraltı ocaklarının temel üretim ınakinasıdır. Çalışına koşullarına bağlı olarak raylar yerine çelik konstrüksiyon ve paletler üzerinde hareket eden kollu kesiciler üretilmiştir. Kollu kesiciler klasik modeller, kolu ayrı modeller (Şekil 4) ve paletli modeller olmak üzere kullanım amaçlarına göre üç farklı tipte üretilir. Klasik makinalarda kol doğrudan ana makinaya bağlıdır ve makina ray üzerinde hareket eder. Açık işletmelerde çoğunlukla klasik model kollu kesiciler kullanılır. Kol ve gövdenin ayrı olduğu kollu kesiciler, genellikle yeraltı işletmelerinde veya yeraltına ilk girişte galeri açmada kullanılır. Kol ve gövdenin ayrı olduğu makinalarda makina sabit, kol kılavuzlar üzerinde yatay veya dikey olarak hareket eder. Kol için gerekli güç hidrolik hortumlar ile makinadan sağlanır.



Şekil 4. Uzaktan kumandalı kılavuzlara bağlı kollu kesme ınakinası

Günümüz yeraltı mermer ocaklarında kullanılan kollu kesiciler, genellikle paletler üzerinde hareket eden modellerdir. Yürüyüş ve kontroller, makina üzerinden veya uzaktan yapılır. Paletli ınakinalarda kolun

hareketi ön bölümünde yer alan kılavuzlar üzerinde olur. Makine ve kılavuzlarını, tavan ve taban arasında teraziye alır ve sabitler (Şekil 5). Kesme işlemi kılavuzlar boyunca yapılır. Kolun hareketi ve kesme işlemi, makinadan verilen hidrolik güç ile olur. Diğer tüm kollu kesiciler ile karşılaştırıldığında, paletli kollu kesiciler yüksek performansa sahiptir ve daha hızlı kesim yapar.

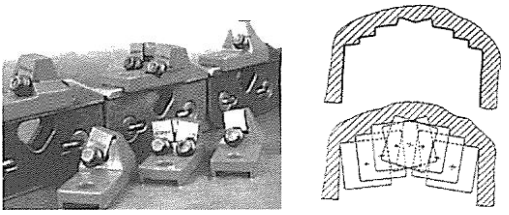


Şekil 5. Paletli kollu kesme makinası

Sayalama amaçlı kullanılan kollu kesiciler de vardır. Sayalamada kullanılan kollu kesicilerin güçleri ve fonksiyonları sınırlıdır. Kollu kesme makinalan, kesici tipi ve bu kesicileri taşıyan sisteme göre zincirli ve bantlı olmak üzere iki ayn modelde üretilir.

### 2.1 Zincirli Kollu Kesme Makinaları

Zincirli kesicilerde kesme işlemini, kol üstünde dönen zincir üzerine vidalanmış kesici uçlar yapar. Kesici uçlar, koparma işlemi ile kesim yapar. Kesjci uçlar vidya veya elmastır. Uçlar, hızlı ve uzun süreli kesim yapmaları için farklı numaralarda, şekillerde üretilir ve zincir üzerine farklı açılarda yerleştirilir. Uçlar 1 'den başlayarak sıralanır ve genellikle 5, 6 veya 7 ile sonlanır. 1 ile son numara arasında 5, 6, 8 veya 1O tane uç bulunur ve bu grup bir seri olarak adlandırılır. Kol üzerinde bulunan tüm uçlar takım olarak adlandırılır. Seriyi oluşturan uçlar giderek kesme genişliği artan şekilde yerleştirilir. Uçlar, köşeleri dikten gittikçe yataya yaklaşan veya düzleşen şı;kilde çapraz vidalanır (Şekil 6). 1O'lu serilerde son iki uç, diğer serilerde son numara uçlar çift yerleştirilir.



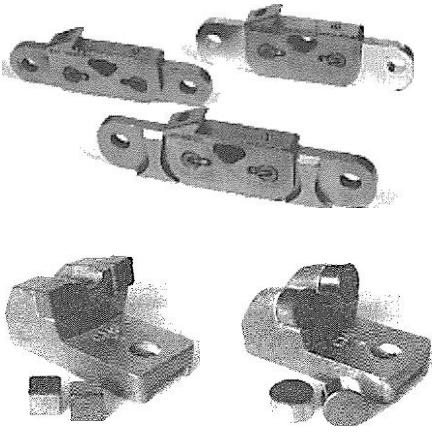
Şekil 6. Kesici uçların kesme konumu

Mermerin sertliğine göre seri içerisinde elmas uçlar vidya kronlar ile beraber kullanılabilir. Elmas uç sayısı mennerin seıiliğine bağlıdır. Sert ve kuvars içerikli mennerlerde takımın tamamı elmas veya özel olarak üretilmiş daha sert vidya uçlardan oluşur. Elmas takım içerisinde vidya kullanılmaz. Mermerin seıiliği arttıkça elmas uçlar için daha yumuşak matriks kullanılır.

Vidya uçlar köşelidir. Elmas uçlar köşeli veya yuvarlaktır (Şekil 7). Köşeli uçlarda aşınan köşeler çevrilir ve alt-üst yapılarak toplam sekiz köşe ile kesim yapılır. Son veya son iki numaraya yerleştirilen çift uçlar tek veya iki parçadır. Tek parça çift uçlar sert mermerlerde kullanılır ve uçlar iki ayn noktadan zincire bağlanır. Tek parça çift uçlar tek ön köşe veya ön ve arka olmak üzere iki köşeleri ile kesim yapar. İki parçalı çift uçların her biri çevrilerek her köşesi ile kesim yapılabilir. Mermer ve uç özelliklerine bağlı olarak her bir köşe ile 10-80 $cm^2$ arasında kesim yapılır. Homojen, sert olmayan gerçek mermerlerde her bir köşenin kesim miktarı 50-60 $cm^2$'dir. Bu tür mermerlerde 3 m'lik bir kol, bir takım uç ile 300-400 $m^2$ kesim yapılabilir.

Kol boyu makine özelliklerine, kullanım yeri ve amacına, uç ve seri özelliklerine, mermerin sertliğine ve diğer fıziko-mekanik özellikleri ile jeolojik özelliklerine bağlı olarak 1.20-7.50 m arasında değişir. Zincirli kesicilerin en önemli üstünlüklerinden biri de kol uzunluğunun standart ölçüler arasında değiştirilebilmesidir. Kesici kol uzunluğunun

değiştirilebilirliği ana motorun gücü ve uç makinanın genel özelliklerine bağlıdır. Bu tip zincirli kesicilerde zincirin dönüş ız:, devri değiştirilebilir. Genel olarak, zıncır devri 0-2 rn/sn, kesme genişliği 38-42 mm'dir. Kesme hızı, mermerin sertliğine göre 0-20 crn/dk'dır.



Vidya uç elmas uç

Şekil 7. Zincire bağlı parça ve uçlar

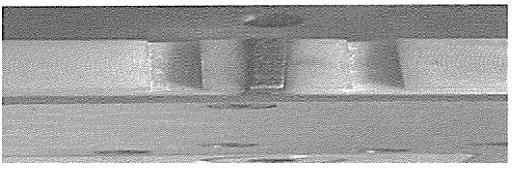
İlk üretilen makinalarda ısınan vidaların soğutulmasında su kullanılmıştır. İlk kollu kesicilerin su ihtiyacı 8-1 O lt/dk'dır. Suyun basıncı önemli değildir ve kullanılan su devir-daim ile tekrar kullanılabilir. Bununla birlikte sürtünmeyi azaltmak ve zincir hareketini kolaylaştırmak için zincir yatağına yağ verilir. Daha sonraki zincirli kesicilerde su kullanımı kaldırılmış yağ, sürtünmeyi azaltmanın yanı sıra soğutma amaçlı olarak kullanılmıştır. Günümüzde daha sert ve dayanıklı uçlar kullanılması nedeniyle $CaCO_3$ kökenli mermer ocaklarında kesici uçların soğutulmasına genel olarak gereksinim duyulmamaktadır. Ancak, seri içerisinde veya özellikle takım olarak elmas kullanılması halinde uçların su ile soğulması, kesici uç verimini arttırmaktadır. Elmas uçların soğutulması için kullanılacak su basıncı önemli değildir. Su miktarı 70-80 lt/dk'dır. Benzer olarak, vidyaların soğutulması halinde de kesici uçların ömrü artar. Su kullanma kararında, su maliyeti ile ömrüne bağlı birim kesme maliyeti analizi önemlidir. Vidaların soğutulması için gerekli su hortum ile dışarıdan verilir. Zincirli kesicilerde genel olarak suya gereksinim duyulmaması, bu grup makinaların su sorunu olan bölgelerde ve soğuk iklim bölgelerinde dona karşı kullanımlarını ve yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Zincirli kesme makinalarında, zincirin kol üzerindeki sürtünmesini azaltmak ıçın yağlama yapılır. Yağlama, kolda bulunan kanallardan otomatik olarak kol yüzeyi ile zincir altına yağın basılması ile yapılır. Yağlama zamanı ve diğer fonksiyonlar için uygun ve yeterli yağ kullanımı, kesme hızı ve makinanın fonksiyonları açısından önemlidir. Zincirli kesicilerin çalışması sırasında oluşan ses şiddeti 70 db'li geçmez. Zincirli kesme makinasının bu özelliği, yeraltı ve kuyu tipi mermer ocakları için önemli bir avantajdır. Kol ve gövdenin ayrı olduğu modeller ile paletli kollu kesicilerde, kesme hareketinin hidrolik ile sağlanması ve diğer fonksiyonların da hidrolik olarak kontrol edilebilmesi, zincirli yatak ve vidya kesicilerin önemli üstünlükleridir.

### 2.2 Bantlı Kollu Kesme Makinaları

İlk bantlı kollu kesme makinası, zincirli kollu mermer blok kesme makinasından yaklaşık kırk yıl sonra, 1985 yılında üretilmiş ve bu tarihten itibaren ocaklarda kullanılmaya başlanmıştır. Dikey ve yatay kesim yapabilen ilk makinalar bantlı kesme makinalarıdır. Bantlı kesiciler, sistem olarak zincirli kesicilere benzemekle birlikte aralarında temel bazı farklılıklar vardır. Kesici kol üzerinde zincir yerine bir bant bulunur. İlk modellerde içinde çelik teller bulunan bantlar kullanılmıştır. Günümüzde, kauçuktan yapılmış bantlar kullanılmaktadır. Isıya ve aşınmaya dayanımlı bant üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilmiş elmas segmentler bulunur (Şekil 8). Özelliklerini kaybetmemiş bantlar tekrar elmaslama yapılarak, kopan bantlar tamir ve sıcak ekleme yapılarak kullanılır. Bantlı kesicilerde kol uzunluğu ve devir sabittir.

Kesme işlemi, bandın kol üzerinde dönüşü ve bu sırada elmasların kayacı öğüterek aşındırması ile yapılır. Kesici sentetik elmasların soğutulması ve bant yatağının kayganlığı su ile sağlanır. Su, kol gövdesinde bulunan kanallar aracılığıyla kol üzerinde belli aralıklarla sıralanmış deliklerden verilir. Bantlı kollu kesme makinalarında kesme işlemi için 2.5-5.0 atın basınç ve 100 lt/dk suya gereksinim duyulur. Kullanılan su, genellikle çapı 14 cm olan ve uygun derinlikte açılan bir kuyuda tutulur. Böylelikle kullanım sonrası suyun yaklaşık % 80'ni geri kazanılarak bir dalgıç pompa yardımı ile tekrar kullanılır.



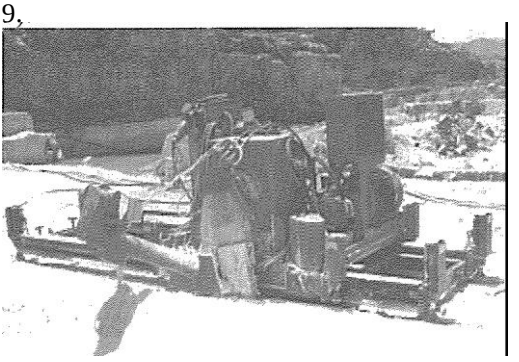
Şekil 8. Bant ve elmas

Bantlı kesicilerde kesme genişliği 3.8-5.0 cm'dir. Bandın kol üzerindeki dönüş hızı zincire göre daha yüksektir. 3.25 boyundaki bir bant ile CaCO3 kökenlı, homojen bir memıer ocağında yaklaşık 400 $m^2$ kesim yapılabilir. Aynı koşullarda 1.5 m/h hızda yatay kesimler yapılabilir.

### 2.3 Zincirli ve Bantlı Kesicilerin Karşılaştırılması

Zincirli kesme makinalarının ilk yatırım maliyetleri bantlı kesme makinalarına göre yüksektir. Zincirli kesicilerin yağ tüketimleri bantlı kesicilere göre daha fazladır. Bantlı kesicilerde gereksinim duyulan su, zincirli kesicilere göre önemli bir dezavantajdır. Su gereksinimi bantlı kesicilerin yeraltı ve kuyu tipi ocaklarda kullanımını engellemekte veya sınırlamaktadır. Süreksizliklerin yoğun olduğu ocaklarda, su kaçakları ve soğutmanın yeterince yapılamaması bantlı kesiciler için önemli dezavantajlardır.

Bantlı kesicilerde su, kesim sırasında ortaya çıkan mermer tozlarını çalışma ortamından uzaklaştırır. Zincirli kesicilerde kesme sırasında ortaya çıkan ve kenarda biriken parçalar kürekle temizlenir veya eklenecek bir kol ve aspiratör yardımıyla kesme hattından 1-2 m ileriye taşınır (Şekil 9,



Şekil 9. Kesme sırasında çıkan tozların uzaklaştırılması

Bantlı kesiciler, bandın esnek yapısı nedeniyle çatlaklı ve kırıklı formasyonlarda daha iyi sonuç verir. Zincirli kesicilerde kesici uçlar çatlak, kırık ve boşlukları geçerken kenarlara çarparak kırılabilir. Buna karşılık bant, süreksizlikleri geçerken yırtılabilir. Bandın yırtılması sırasında elmaslar zarar görmezse sadece sıcak ekleme yapılarak bant kullanılabilir. Yırtılma sonrası elmasların zarar görmesi halinde ekleme ile birlikte tekrar elmaslama yapılması gerekir.

Zincir devri, bant devrine göre daha düşük olmasına rağmen aynı ortamda zincirli kesiciler daha hızlı kesim yapar. Sertliği yüksek merınerlerde zincirli kesi i er, homojen olmayan kayaçlarda bantlı ke ıcı_le daha iyi sonuç verir. Genel olarak, zıncırlı kesiciler ile bantlı kesiciler karşılaştırıldığında, zincirli kollu kesme makinalarının üretimi ve kullanımı, bantlı kollu kesme makinalarına göre daha yaygındır.

## 3 KOLLU KESME MAKİNALARI İLE ÜRETİM

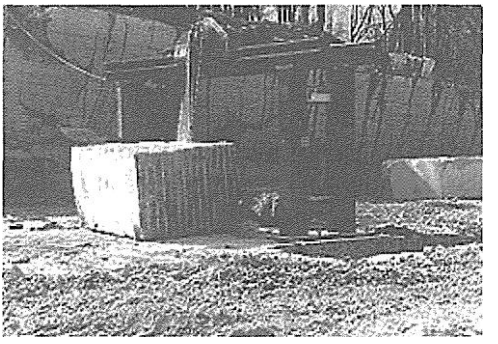
Yeraltı ve kuyu tipi mermer ocaklarının temel üretim makinası olan kollu kesme

makinalarının sayısı, açık ocak mermer işletmelerinde de her geçen gün artmaktadır. Diğer üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında kollu kesicilerin en önemli üstünlükleri;
- güvenli oluşları,
- sessiz oluşları,
- tozsuz olmaları,
- sondaj gibi ön hazırlık gerektirmemeleri,
- kurma ve çalışma kolaylıkları,
- her türlü eğim koşulunda çalışabilmeleri,
- düşük işçilik maliyetleri, olarak sıralanabilir.

Üretim öncesi makinanın yerleştirileceği yüzey temizlenir ve uygun hale getirilir. Çalışma yüzeyinin engebeli veya bozuk olması durumunda makina öncelikle temizlik ve yüzeyi düzeltmek amacıyla yatay olarak çalıştırılır. Jeolojik parametrelere ve üretim planlamasına göre mümkün olduğunca uzun ve geniş basamaklar oluşturularak kesimler yapılır.

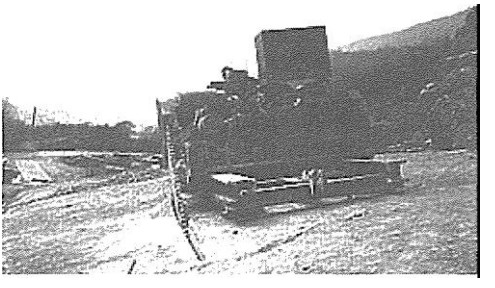
Teraziye alınmış ve sabitlenmiş kollu kesicide üretim için öncelikle kol üzerindeki kesici uçların dönüşü sağlanır. Zincirli kesicilerde kol uzunluğu ve mermerin özelliklerine bağlı olarak devir ayarlanır. Kesici uçları dönen kol, kesim için aynaya yönlendirilir. Kolun mermere giriş hızı, normal kesme hızından düşüktür. Giriş hızı taban kesimlerinde ve çatlaklı, heterojen, yabancı eleman içerikli merınerlerde daha düşük seçilir. Kol, normal kesme pozisyonuna geldikten sonra makinaya ilerleme komutu verilir ve kesme işlemine başlanır. Kol uzunluğu, iki metrenin üzerinde olan makinalarda ve sorunlu ocaklarda kol dik konuma getirilmez. Çatlaklı, kırıklı ve benzeri ocaklar ile sayalamada kola gelen yükü azaltmak ve daha düzgün bir kesim sağlamak amacıyla kol, kesme yönünün tersine doğru 3-5° eğimli tutulur (Şekil 1O). Kol eğiminden dolayı kesme hattının sonunda kalacak bölüm, son aşamada kol dik hale getirilerek kesilir.

Kollu kesiciler ile eğimli mermer yataklarında üretime üst bölümlerden başlanır. Elmas tel ile blok kesme ve genel olarak diğer üretim yöntemlerinin aksine üretim ilerledikçe yeni alt basamaklar oluşturulur. Bunun başlıca nedenleri, kollu kesicilerde gerek duyulan zemin koşullan ve pasa miktarının azlığıdır. Çalışılacak yüzeyin yeterince geniş ve büyük olması durumunda üretim yatay ocaklardaki gibi yapılır.



Şekil 10. Kollu kesme makinasının sayalamada kullanılması

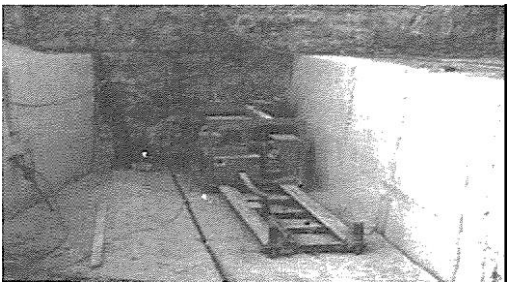
Kollu kesiciler ile eğimli mermer yataklarında eğime paralel (suyuna) üretim yapılabilir. Kollu kesiciler 20°'ye kadar eğimli mermer yataklarında, kaymaya karşı alınacak tedbirlerin dışında herhangi bir ön hazırlığa gerek olmaksızın doğrudan zemine yerleştirilerek kullanılabilir (Şekil 11).



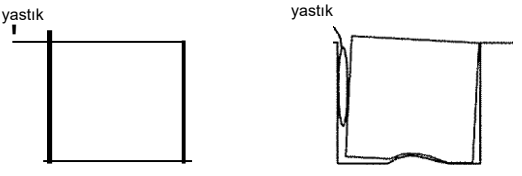
Şekil 11. Eğime paralel üretim

Kollu kesiciler, kuyu tipi ocakların temel üretim makinasıdır (Şekil 12). İlk taban bloğunun çıkarılmasında blok çevresi kesilir. Kenarları kesilmiş bloğun tabanı yastık ile

koparılır (Şekil 13). Blok, etrafı özel bir kemer ile sarılır ve derrick vinç ile yerinden alınır (Şekil 14). Kaldırma sırasında kemer, bloğu sıkıca sarar. Kemerin olmadığı durumlarda bloğun dört köşesine uygun mukavemette cıvatalama yapılır ve bu cıvatalardan halat geçirilerek blok çıkarılır. Bir başka yöntem de bloğun karşılıklı iki kenarının ortasından eğimli delikler açılmasıdır. Blok, deliklerden geçirilen ve bağlanan halat yardımıyla derrick vinç ile kaldırılır. Kuyu tabanından ilk bloğun alınmasında uygulan diğer bir yöntem de altı koparılan bloğun uygun tarafından yastık ile sıkıştırma yapılması ve bloğun bu yönde yükselmesini sağlamaktır. Mümkün olması halinde Bloğun yükselen tarafının altından halat geçirilir veya blok tabanı pasa atılarak beslenir ve bloğun askıda kalınası sağlanır. Benzer işlemler bloğun diğer yönü için de tekrarlanır. Taban bloğunun altından halat geçirilir ve blok derrick vinç ile alınır.

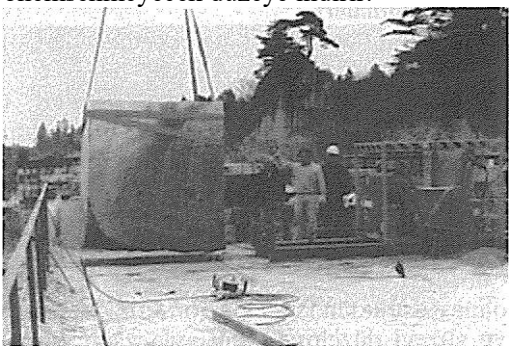


Şekil 12. Kollu kesme makinası ile kuyu tabanı kesimi




Şekil 13. Taban bloğunun koparılması

Kuyu tipi ocaklarda, kollu kesiciler ile üretimde basamak ve aynalar arası kayıplar diğer üretim yöntemlerine göre daha azdır. l}.ollu kesicilerde su kullanılmaması veya kullanılması halinde devir-daim ile tekrar kazanılması ve kullanılması, özellikle elmas tel yöntemine karşı ocak içerisinde istenmeyen su birikintilerini ve çamurlaşmayı ortadan kaldırır veya etkisini önemsenmeyecek düzeye indirir.



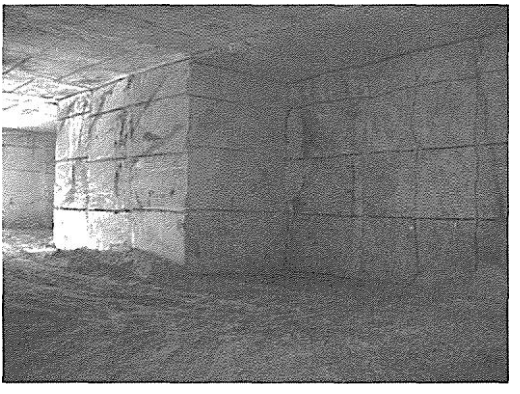
Şekil 14. Taban bloğunun çıkarılması

Mermer ocaklarında, özellikle açık işletmelerde kollu kesiciler, çoğunlukla elmas tel kesme yöntemi ile birlikte kullanılır. Kollu kesici-elmas tel kombinasyonunda, elmas tel için gerekli olan delik sayısı, her elmas tel kesimi için en az bir tane daha azdır. Blok ölçü planlamasına ve jeolojik parametrelere bağlı olarak, yatay veya dikey kesimlerden biri kollu kesme veya elmas telli kesme makinalarından biri ile yapılırken diğer kesme işlemi diğer makina ile yapılır. Genellikle yan dikey kesimler, daha çok sayalama işlerinde kullanılan düşük güçteki bir elmas telli kesme makinası ile yapılır. Bu kombinasyon üretimi hızlandırır.

Kombine üretimlerde, öncelikle alt kesimler yapılır. Blok kesme makinasının (S/T, katrak) araba uzunluğu, genişliği veya kesme yüksekliklerinden bir tanesi, mermerin yataklanmasına göre kol boyu ile sınırlı olacak şekilde kollu kesiciler ile yapılır. Bu planlama, kollu kesme makinası özelliklerinin belirlenmesinde ve seçiminde önemlidir. Dar çalışma alanlarının bulunduğu aynalarda veya sağlam kayaç alt kesimlerinde kollu kesiciler, arka kesimlerde elmas tel kullanılır. Alt kesimlerin kollu

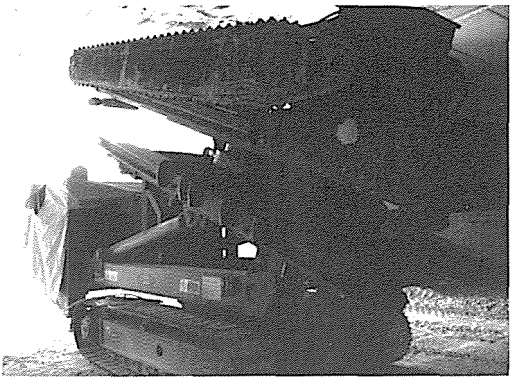
kesiciler ile yapılması halinde elmas tel için tek delik yeterli olur. Süreksizliklerin yoğun olduğu mermerlerde, 2 m ve üzerinde yapılacak taban kesimlerinde elmas telli kesme makinası kullanılmalıdır. Çatlaklı ve kırıklı mermer ocaklarında taban kesimlerinde kollu kesiciler kullanılması halinde, yerçekimi ve süreksizlikler kol ve kesicilere (bant, vidya, elmas) zarar verebilir. Kollu kesiciler, elmas tel kesme makinaları ile karşılaştırıldıklarında en önemli üstünlükleri, emniyetli oluşlarıdır. Kollu kesiciler elmas tel kesmeye göre çatlaklı ve kırıklı mermer ocaklarında daha güvenlidir.

Kollu kesiciler yeraltı, kuyu ve geniş-yatay mermer ocaklarının temel üretim ekipmanları dır. Ülkemizde, Limra (Turunçova/Finike) ocaklarında yeraltı mermer üretimi denenmiş; teknik nedenlerden dolayı üretime son verilmiştir. Limra yeraltı ocağında oda-topuk (Şekil 15) yöntemi ve paletli kollu kesici kullanılmıştır (Şekil 16).



Şekil 15. Limra yeraltı ocağı

Kollu kesiciler diğer üretim ekipmanlarına oranla daha az işçilik gerektirir ve işçinin makina başındaki zamanı daha azdır. Kollu kesicilerde kesim öncesi delme, doğrultuya alma ve kot alma gibi ön hazırlık çalışmaları çok daha azdır.



Şekil 16. Paletli-zincirli kollu kesme makinası (Limra ocağı)

Kollu kesicilerin ilk yatırım değerleri diğer mermer blok üretim ekipmanlarına göre yüksektir. Kesme hızları tel kesme makinalarına göre düşüktür. Kesme derinliği, kol boyu ile sınırlıdır. Zincirli kesicilerde vidyaların bilenmesi, değiştirilmesi veya makinanın durdurulup tekrar çalıştırılması gerekir. Kollu kesicilerde, özellikle zincirli kesicilerde yağ tüketimi yüksektir. Günümüz koşullarında kollu kesiciler, granit gibi serttaş ocaklarında istenilen verimi henüz sağlayamamıştır.

## 5SONUÇLAR

Kollu kesme makinalarının üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

- Ön hazırlık işleri daha azdır.
- Pasa miktarı ve kayıp oranı düşüktür.
- Dar basamaklı ve kuyu tipi ocaklar ile yeraltı mermer ocaklarının temel üretim makinalarıdır.
- Daha güvenlidirler.
- Toz ve gürültü kirliliği azdır.

## KAYNAKLAR

Saltoğlu, S. 1987. *Madenlerde Hazırlık ve Kazı İşleri,* İTÜ Maden Fakültesi Ofset Matbaası, İstanbul,

www.fantinispa.it

www.gtj.org.uk

# Bursa Linyitleri işletmesinde dekapajda kullanılan makinelerin verimlilik analizi

## *Productivity analysis of the mznzng machinery utilized for overburden stripping at Bursa Lignite Corporation*

C. Şensöğüt & M. Taşer
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

ÖZET: Bu çalışmada Bursa ili Orhaneli ilçesi Gümüşpınar Köyü hudutlarında bulunan Bursa Linyitleri İşletmesinde dekapaj faaliyetlerinin yürütülmesi için kullanılmakta olan taşıyıcı ve yükleyici makinelerinin verimlilik analizleri yapılmıştır. Bu analizde, işletmedeki makineler hem tek başlarına hem de bir bütün olarak ele alınmış ve elde edilen sonuçlara göre yorumlar yapılmıştır. Yapılan hesaplamada makinelerin ve kamyonların 2005 yılı içerisinde gerçekleştirmiş oldukları üretim ve çalışma saatleri ve makine durma sürelerinden yararlanılarak verim oranı, verimlilik ve makine verimlilik indeks değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde işletmede kullanılan makine ve kamyonların çalışma performansları değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT:** in this work, the productivity analysis ca1Tied out on the loading and excavating machinery used for earth moving at Bursa Lignite Corporation was outlined. For this analysis, tlıe mining machinery was handled both individually and in total and the results obtained were evaluated accordingly. in order to realize tlıe work in concern, productivity, productivity rate and machinery productivity indices were calculated employing the production values of the machinery for tlıe year 2005 together with the working and stoppage hours. With tlıe assistance of the results acquired, working perfoımances of the overburden excavation machinery were evaluated.

## 1 GİRİŞ

Bursa ili Orhaneli ilçesi Karıncalı Beldesinde kurulu bulunan 1 x 21O MW gücündeki terınik santralin gereksinimi olan linyit kömürlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi ve konuyla ilgili diğer faaliyetlerin sürdürülmesi amacı ile kurulan Bursa Linyitleri İşletmesi, dekapaj faaliyetlerinde ekskavatör - kamyon sistemi ile dragline sistemi birlikte uygulanmaktadır. Kömür damarının üzerindeki örtü tabakası, uygun nitelikte patlayıcı madde ile f,evşetilmekte ve daha sonra 10 - 15 yd 'lük kepçe kapasiteli ekskavatörlerle kazılarak, 85 ston'luk kamyonlara yüklenmekte ve bu kamyonlar vasıtasıyla taşınarak kömürsüz alanlara dökülmektedir.

Örtü tabakası, ekskavatör+kamyon sistemiyle belirli bir kalınlığa kadar indirildikten sonra, kömür damarı üzerinde kalan bölüm dragline ile alınıp yandaki kömürü alınmış sahaya aktarılmaktadır. Bu amaçla dekapajda; 1 adet 33 $yd^3$ (25 $m^3$ kepçe kapasiteli dragline ile 4 adet 1O yd (7.6 $m^3$ )ve 2 adet 15 $yd^3$ (11.5 $m^3$ kepçe kapasiteli ekskavatörler ve ayrıca 40 adet 85 ston (77 ton) taşıma kapasiteli toprak kamyonlardan yararlanılmaktadır (SLİ, 2005). İşletınenin faaliyet durumunun ve elde edilen sonuçlar neticesinde, işletme içerisinde alınması gerekli önlemlerin belirlenmesi için makine ve kamyonların verimlik analizi yapılmıştır.

Günümüzde işletmeler, verimli ve etken bir yapıya kavuşmak için kaynaklarını en faydalı şekilde kullanmak zorundadırlar. Verimlilik oldukça geniş bir kavramdır. İşletıne düzeyinde değerlendirilecek olursa;

amaç ve görevlerin belirlenmesi, üretim faktörlerinin sağlanması, bunların kullanımına ilişkin tüm yönetim işlevlerinin olduğu kadar, bütün üretim kaynakları arasındaki etkileşim ve sonuçların belirlenmesi ve yorumlanması olarak çok geniş bir alanı kapsamaktadır (Akal, 2002).

Verimlilik, birim girdi başına üretilen çıktı olarak da tanımlanmaktadır ve üretim planlarından elde edilen sonuçlara giden yolda süreçlerin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Japon Verimlilik Merkezi; "doğru olan işleri, doğru biçimde ve ekonomik bir çalışma ile gerçekleştirmeyi hedefleyen akılcı bir yaşam biçimi" tanımıyla verimlilik kavramına felsefi bir yaklaşım getirmektedir (Filiz, 2005).

Bugünkü anlamına 20. yüzyılın başlarında ulaşan verimlilik, çıktı ile bu çıktıyı üretmek için kullanılan girdi arasındaki oran olarak adlandırılmış olup;

**Verimlilik= *ÇIKTI/ GİRDİ***

şeklinde ifade edilmektedir (Prokopenko, 2001).

Bu çalışmada içerisinde Bursa Linyitleri İşletmesi'nde dekapajda kullanılan makinelerin 2005 yılı içerisinde yapmış oldukları dekapaj miktarları, toplam çalışma süreleri, durma süreleri ve durma nedenlerinden yararlanılarak makine ve kamyonların verimlilik analizleri yapılmıştır.

## 2 MATERYAL VE METOD

Bu çalışmanın yapılabilmesi için gerekli olan makine ve kamyon çalışma saatleri, üretim miktarları ve durma süreleri, işletmenin 2005 yılında kayıt altına almış oldukları veriler kullanılarak temin edilmiştir. Bu analizde işletmedeki makineler hem tek başlarına hem de bir bütün olarak ele alınmıştır. Ancak bazı makinelerde bu karşılaştırmanın yapılması mümkün olmamıştır. Bunun nedeni ise işletme içerisinde dekapaj için kullanılması gerekli olan makinelerin zaman zaman dekapaj dışında farklı işlerde de kullanılmasıdır. Yapılan hesaplamada makinelerin ve kamyonların aylık olarak verim oranı ve verimlilikleri hesaplanmıştır. Nitekim bir makinenin verim oranı çok yüksek olmasına karşılık o ay içerisinde yapmış olduğu çalışmalar çok az olabilmekte bu da verimliliğini düşürmektedir. Çalışma içerisinde verim oranı ve verimliliğin yanında, verim oranı ve verimlilik çarpımı ile elde edilmiş olan makine verimlilik indekslerinin de kullanılması, makine hakkında doğru bir yargıya varılabilmesi açısından daha yararlı olacaktır.

Dekapajda kullanılan makinelerin verimlilik analizlerinin hesaplanması için aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır (Akal, 2002):

- Verimlilik = çıktı / girdi
- Verimlilik = üretim ($m^3$ ) çalışma saati
- Verim oranı = çalışma saati / çalışılabilir süre *100
- İndeks = verimlilik * verim oranı

Bu hesaplamalar, bir işletmenin tüm makine kapasitesi için toplam olarak hesaplanabileceği gibi bölüm makineleri ve bireysel makineler için günlük, haftalık, aylık vb. dönemler için hesaplanabilmektedir. Yapılacak hesaplamalarda verim oranının % 100 olması durumunda o makine için "çok iyi performansla çalışmıştır!" denilemez. % 100 verimle çalışmış bir makine, hesaplanan dönem içinde sürekli olarak çalışmış, ancak yeterli miktarda üretim gerçekleştirmemiş olabilir. Bu durumda makinenin kepçe kolu sürekli olarak havada beklemiş ya da kovasını tam olarak doldurmadan yükleme yapmıştır. Bunu öğrenmek için verimliliğin hesaplanması gerekmektedir. Eğer verimlilik te yüksek çıkıyorsa o zaman makineden verim alınmıştır denilebilir.

Hesaplamada kullanılan veriler Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir (SLİ, 2005).

Çizelge 1. Kamyon faaliyetleri.

| | KAMYONNO | ÇALIŞMA SAATİ | SEFER | m" |
|---|---|---|---|---|
| | 101 | 2,732 | 7,757 | 225,763.89 |
| | 102 | 1,813 | 6,206 | 179,702.76 |
| | 103 | 1,411 | 4,317 | 126,896.14 |
| | 104 | 1,926 | 6,099 | 177,733.41 |
| | 105 | 2,073 | 6,701 | 194,655.93 |
| | 106 | 2,512 | 8,023 | 233,500.72 |
| | 107 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 108 | 2,506 | 8,041 | 231,175.79 |
| | 109 | 1,890 | 5,972 | 170,541.41 |
| | 110 | 2,088 | 6,746 | 194,298.59 |
| | 111 | 3,026 | 9,964 | 286,952.43 |
| | 112 | 2,179 | 6,989 | 201,759.84 |
| | 113 | 1,833 | 5,905 | 168,656.63 |
| | 114 | 0 | 0 | 0,00 |
| | 115 | 2,059 | 6,428 | 189,736.16 |
| | 116 | 2,576 | 8,250 | 236,497.08 |
| | 117 | 1,790 | 6,010 | 174,263.76 |
| | 118 | 2,172 | 6,774 | 195,901.46 |
| | 119 | 1,051 | 3,050 | 88,600.19 |
| | 120 | 2,281 | 7,102 | 207,054.28 |
| | 121 | 2,451 | 7,509 | 218,595.92 |
| | 122 | 2,307 | 7,783 | 226,321.77 |
| | 123 | 2,198 | 6,094 | 180,263.76 |
| | 124 | 1,636 | 4,955 | 138,654.74 |
| | 125 | 1,995 | 5,876 | 168,201.27 |
| | 126 | 1,596 | 5,180 | 147,438.76 |
| | 127 | 1,160 | 4,270 | 125,686.31 |
| | 132 | 548 | 1,269 | 34,538.62 |
| | 133 | 1,863 | 5,452 | 156,363.25 |
| | 135 | 534 | 1,035 | 29,598.43 |
| | 136 | 1,534 | 3,849 | 110,406.54 |
| | 137 | 1,128 | 2,853 | 83,487.39 |
| | 138 | 1,330 | 3,532 | 101,399.63 |
| | 139 | 881 | 2,497 | 73,253.10 |
| | 140 | 1,224 | 2,256 | 63,283.04 |
| | 141 | 1.760 | 3,950 | 111,034.64 |
| | 142 | 1,435 | 3,513 | 100,334.70 |
| | 143 | 2,523 | 4,357 | 125,050.14 |
| | 144 | 1,239 | 3,259 | 92,783.06 |
| | 145 | 0 | 0 | 0,00 |
| | **TOPLAM** | **67,260** | **199.823** | **5,770 385.55** |

Çizelge 2. Ekskavatör makine faaliyetleri.

| | | | YAPILAN İS | |
|---|---|---|---|---|
| | DRAGLINE | ÇALIŞMA SAATİ | SEFER | m3 |
| | 1260W B.E | 338.50 | 0 | 165,195 |
| | 1 NOLUP&H | 2,117.00 | 36,385 | 1,053,318 |
| | 2NOLUP&H | 1,256.50 | 20,812 | 612,781 |
| | 3NOLUP&H | 1,321.00 | 23,824 | 691,035 |
| | 4NOLUP&H | 1,527.00 | 26,076 | 750,390 |
| | 5NOLUP&H | 1,138.50 | 23,237 | 677,226 |
| | 6NOLUP&H | 1,829.00 | 45,233 | 1,302,994 |
| | TOPLAM | 9,189.00 | 175,567 | 5,087,744 |
| | 02-903 PC-1000 KOMATSU | 1,513.50 | 15,102 | 418,505 |
| | 606 KAVASAKI | 16.00 | 142 | 4,029 |
| | 02-607 CAT-992 | 25.00 | 495 | 13,949 |
| | 02-608 KOMT.-992 | 376.00 | 4,954 | 143,395 |
| | KIRALIK KEPÇE | 101.50 | 840 | 22,053 |
| | 604 | 2.00 | 14 | 363 |
| | **GENEL TOPLAM** | **11,223.00** | **197,114** | **5690,038** |

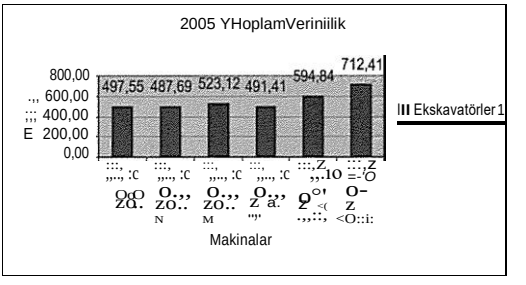
## 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Kullanılan veriler ışığında, makine ve kamyonlarla ilgili olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 3. Ekskavatörlerin verimlilik, verim oranı ve indeks değerleri.

| | MAKINELER | VERIMLILIK | VERIM | INDEKS |
|---|---|---|---|---|
| | DRAGLINE | m'/s | % | V*V.O |
| | 1260WB.E | 488.02 | 7.93 | 38.72 |
| | | | 0.00 | 0.00 |
| | 1 NO'LUP&H | 497.55 | 49.62 | 246.91 |
| | 2NO'LUP&H | 487.69 | 29.45 | 143.64 |
| | 3NO'LUP&H | 523.12 | 30.97 | 161.99 |
| | 4NO'LUP&H | 491.41 | 35.79 | 175.90 |
| | 5NO'LU MARION | 594.84 | 26.69 | 158.75 |
| | 6NO'LU MARION | 712.41 | 42.87 | 305.44 |
| | TOPLAM | 553.68 | | |
| | 02-903 PC-1000 KOMATSU | 276.51 | 35.48 | 98.10 |
| | 606 KAVASAKI | 251.81 | 0.38 | 0.94 |
| | 02-607 CAT -992 | 557.96 | 0.59 | 3.27 |
| | 02-608 KOMT. - 992 | 381.37 | 8.81 | 33.61 |
| | KİRALIK KEPCE | 217.27 | 2.38 | 5.17 |
| | 604 | 181.50 | 0.05 | 0.09 |
| | GENEL TOPLAM | 507.00 | 20.24 | 102.60 |

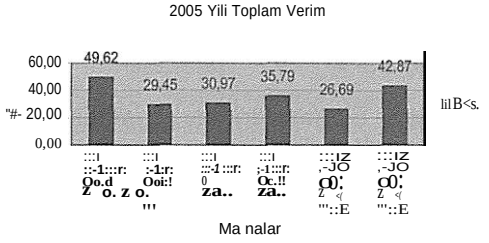
2005 yılı toplam verimlilik grafiğine bakıldığında (Çizelge 3 ve Şekil 1), 6 no'lu Marion'un 712.41 $m^3$/saat'lik değer ile toplamda en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Ancak, 2 no'lu P&H ise 487.69 $m^3$/saat ile 2005 yılı geneline göre diğer makineler içerisinde en düşük değeri almıştır.




Şekil 1. 2005 yılı toplam verimlilik.

Makinelerin geneline bakıldığında, 6 no'lu makine dışında diğer makinelerin birbirlerine

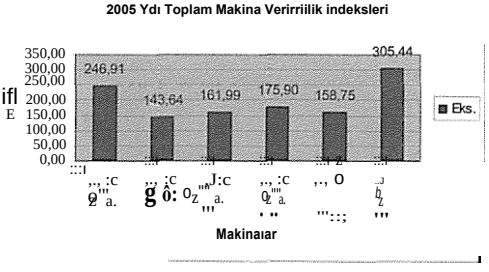
çok yakın performans sergiledikleri de görülmektedir.



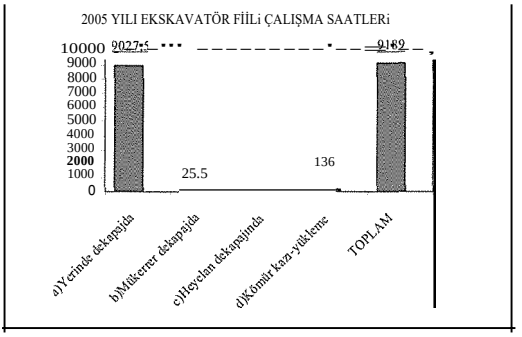

Şekil 2. 2005 yılı toplam verim.

2005 yılında makinelerin çalışma saatlerinin, toplam çalışılabilir süreye bölümünden makinelerin elde etmiş olduğu verim oranına bakıldığında (Şekil 2), % 49.62 ile 1 no'lu **P&H** en yüksek değere ulaşarak 2005 yılında en yüksek oranla çalışan makine olmuştur. Ancak, % 26.69'lık değer ile 5 no'lu Marion en az çalışan makine olarak görülmektedir. Makinelerin geneline bakıldığında, 1 no'lu P&H ve 6 no'lu Marion dışında diğer makineler yaklaşık olarak aynı oranlarda çalışmışlardır.

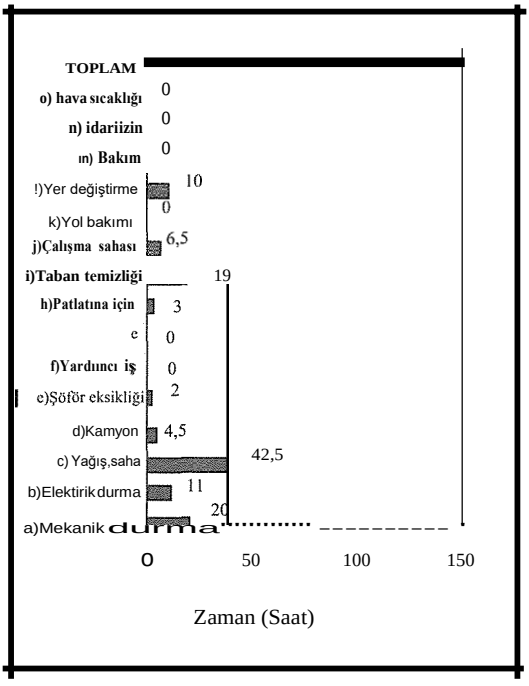
Toplam verimlilik ve toplam verimlilik oranının çarpımı ile elde edilen toplam makine verimlilik indekslerine bakıldığında (Şekil 3), 305.44 $m^3$/saat ile 6 no'lu P&H 2005 yılında en yüksek verim alınan makine olmuştur. 2 no'lu P&H ise 143.64 $m^3$/saat makine verimlilik indeksi ile 2005 yılında en düşük verim alınan makine olarak görülmektedir.




Şekil 3. 2005 yılı makine verimlilik indeksleri.



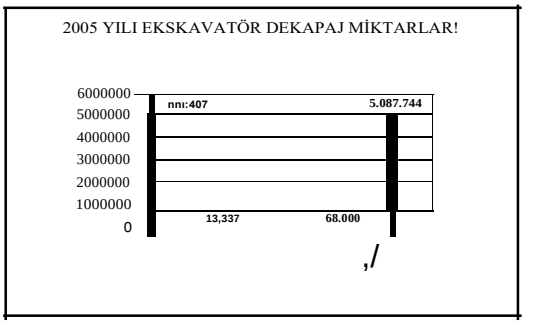

Şekil 4. Ekskavatör toplam çalışma saatleri.




Şekil 5. 2005 yılı ekskavatör durma nedenleri.

2005 yılında çalışan makinelerin toplam olarak durma sürelerine ve nedenlerine bakıldığında (Şekil 4 ve 5), toplam olarak durma süresi 118,5 saat olduğu görülmekte, en fazla durma süresinin ise 42,5 saat ile yağışlı havalardan ve yağış sonrası meydana gelen saha çamurlanmalarından meydana geldiği görülmektedir.

Grafikte görülen durma nedenleri makinelerin performanslarını da olumsuz yönde etkilemektedir.



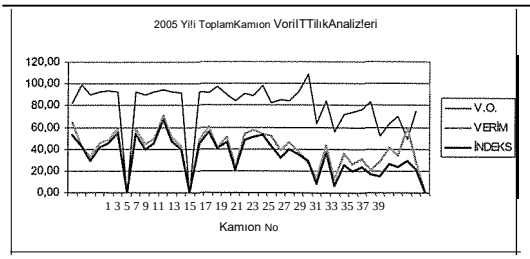

Şekil 6. 2005 yılı ekskavatör dekapaj miktarları.

Verimlilik oranlarına bakıldığında (Çizelge 4), 127 no'lu kamyonun 108.35 $m^3$/saat'lik dekapaj miktarı ile en yüksek orana sahip olduğu görülürken 137 no'lu kamyon 74.01'lik verim oranı ile en düşük verim alınan araç olmuştur. Bunun yanında verimlere bakıldığında, % 70.93 ile 111 no'lu kamyonun en yüksek orana sahip olduğu gözlenirken 135 no'lu kamyonun % 12.52 ile en düşük verime sahip olan araç olduğu görülmektedir.

Verimlilik oranı ve verimin çarpılması ile elde edilmiş olunan verimlilik indekslerine bakıldığında ise 67.26 $m^3$/saat ile 111 no'lu kamyondan 2005 yılında en yüksek verimin alındığı görülmektedir. Bunun yanında 119 no'lu kamyon, 2005 yılında 20.77 $m^3$/saat'lik indeks değeriyle en düşük verim alınan araç olmuştur (Çizelge 4, Şekil 7).

Çizelge 4. Taşıyıcı için verimlilik, verim oranı ve indeks değerleri.

| | KAMYON Nü | VERİMLİLİK | VERİM | İNDEKS |
|---|---|---|---|---|
| | 101 | 82.64 | 64.04 | **52.92** |
| | 102 | 99.12 | 42.50 | 42.12 |
| | 103 | 89.93 | 33.08 | 29.75 |
| | 104 | **92.28** | 45.15 | 4!.66 |
| | 105 | 93.90 | 48.59 | 45.63 |
| | 106 | 92.95 | 58.88 | 54.74 |
| | 107 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 108 | 92.25 | 58.74 | 54.19 |
| | 109 | 90.23 | 44.30 | 39.98 |
| | 110 | 93.05 | 48.95 | 45.55 |
| | ili | 94.83 | 70.93 | 67.26 |
| | 112 | 92.59 | 51.08 | 47.29 |
| | 113 | 92.01 | 42.97 | 39.54 |
| | 114 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 115 | 92.15 | 48.27 | 44.48 |
| | 116 | 91.81 | 60.38 | 55.44 |
| | 117 | 97.35 | 41.96 | 40.85 |
| | 118 | 90.19 | 50.91 | 45.92 |
| z | 119 | 84.30 | 24.64 | 20.77 |
| 6 | 120 | 90.77 | 53.47 | 48.54 |
| ;;i | 121 | 89.19 | 57.45 | 51.24 |
| | 122 | 98.10 | 54.08 | 53.05 |
| | 123 | 82.01 | 51.52 | 42.26 |
| | 124 | 84.75 | 38.35 | 32.50 |
| | 125 | 84.31 | 46.77 | 39.43 |
| | 126 | 92.38 | 37.41 | 34.56 |
| | 127 | 108.35 | 27.19 | 29.46 |
| | 132 | 63.03 | 12.85 | 8.10 |
| | 133 | 83.93 | 43.67 | 36.65 |
| | 135 | 55.43 | 12.52 | 6.94 |
| | 136 | 71.97 | 35.96 | 25.88 |
| | 137 | 74.01 | 26.44 | 19.57 |
| | 138 | 76.24 | 31.18 | 23.77 |
| | 139 | 83.15 | 20.65 | 17.17 |
| | 140 | 51.70 | 28.69 | 14.83 |
| | 141 | 63.09 | 41.26 | 26.03 |
| | 142 | 69.92 | 33.64 | 23.52 |
| | 143 | 49.56 | 59.14 | 29.31 |
| | 144 | 74.89 | 29.04 | 21.75 |
| | 145 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TOPLAM | | 85.79 | 39.42 | 33.82 |




Şekil 7. 2005 yılı kamyon verimlilik verim oranı ve indeks değerlen.

Ekskavatörlerin 2005 yılı içinde yapmış olduğu toplam iş miktarları ise Şekil 8'de görülmektedir.

## 4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar; işletme makinelerinden 2005 yılında istenilen verımın alınmadığını göstermektedir. Bunun başlıca sebebi ise kış aylarındaki kötü hava şartları nedeniyle yolların bozulması ve çamur oluşumu nedeniyle çalışmaya elverişli ortamın sağlanamamasıdır. Aylara göre çalışma miktarlarına bakıldığında, bu durum açıkça görülmektedir (Şekil 8). Yaz aylarına girilmesinden itibaren yağışların azalmasıyla birlikte yapılan dekapaj miktarları istenilen seviyeye ulaşmış olup, bu aylar içerisinde makinelerden alınan verim en yüksek seviyelere ulaşmıştır. 2005 yılı içerisinde, işletmedeki makinelerin hiç çalışmaması gibi bir durumdan ya da sürekli olarak zararla çalışan bir makinenin varlığından söz edilmesi mümkün değildir. Ancak verimlilik analizi yapılan makine ve ekipmanlar içerisinde, düşük verimle çalıştığı tespit edilen P&H ve kamyonların iyileştirilmesi için gerekli tedbirlerin alınması ve işletmedeki çalışma sürelerinin en iyi şekilde kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Bu sayede kapasitenin arttırılması da mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR

Akal, Z., 2002; "İşletmelerde performans ölçüm ve denetimi çok yönlü performans göstergeleri", Ankara: MPM Yayını N473.

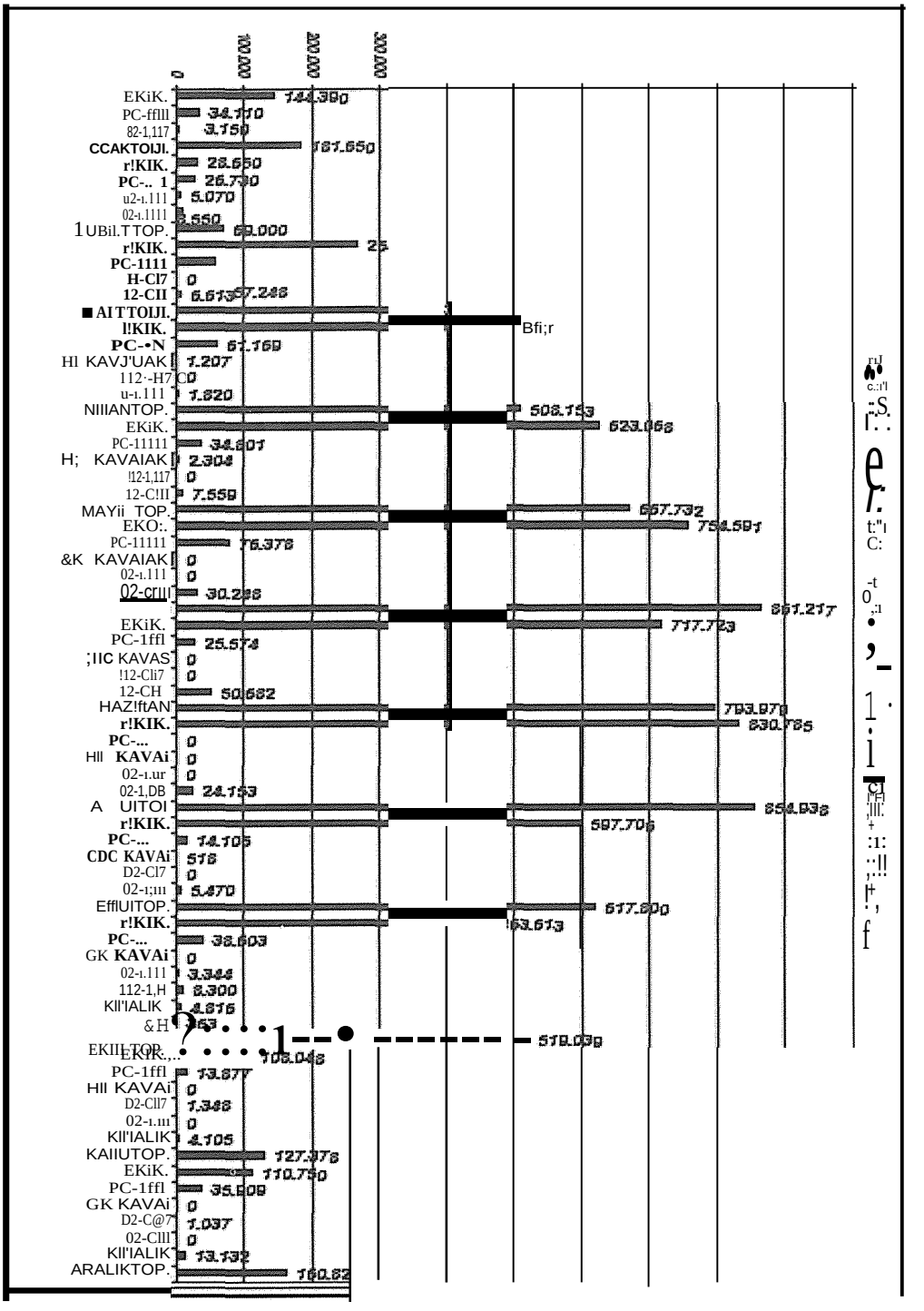
liliz, A., 2005, "Süreç yönetimi ve iyileştirmesinde verimlilik analizleri", 3D LOJİSTİK Dergisi, Nisan.

Meriç, B. & Özkal, A., 2002; "Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi", Cilt 7, Sayı 1,

Prokopenko, J., 2001; "Verimlilik yönetimi" (çev: O. Baykal, N. Atalay, E. Fidan), Ankara: MPM Yayını N476.

SLİ, 2005; Türkiye Kömür İşletmeleri, S.L.İ. Müessesesi, Bursa Linyitleri İşletmesi'nin 2005 yılı içerisinde gerçekleştirmiş olduğu üretim verileri, (Kurum içi yayınanmamış rapor).

Uçaku, B., 2000/1-2, TKİ Haber bülteni, Bursa




Şekil 8. Ekskavatörlerin aylara göre çalışma miktarları.

# Türkiye'deki Draglayn Örtükazı İşlemlerinin İncelenmesi
# *Analysis of Dragline Stripping Operations in Turkish Coal Mines*

B. Erdem
*Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas*

Z.Duran
*Maden Yük. Müh., SİAS BMI' Alçı, Sivas*

**ÖZET** Çalışma, Ülkemizdeki yerüstü kömür ocaklarının bir kısmında örtükazı amaçlı olarak kullanılan draglaynların çalışma prensiplerinin incelenmesinden oluşmaktadır. Toplam olarak beş draglayn çalışması izlenmiş ve dilim geometrisi tasarımları incelenmiştir. Uygulanan direkt döküm ve enli dilim yöntemleri için; yatımsız, eğim yukarı ve eğim aşağı olmak üzere üç draglayn örtükazı modeli geliştirilmiştir.

Uygulamada, panolardaki kömür damarları; kıvrılmalara, bükülmelere ve faylara maruz kaldığından düzenli bir işletme planının nadiren takip edilebildiği saptanmıştır. İzlenen tüm ocaklarda eğim yukarı döküm yöntemi benimsenmiştir. Bu nedenlerden dolayı modellerin eğim yukarı tasarım bölümleri çalıştırılmıştır. Tüm draglayn dilimlerinin kömür damarı doğmltusuna paralel olarak ilerlemesinden dolayı, kömür damarı eğiminin doğrultuya dik yönde değiştiği kabul edilmiştir. Tasarımı etkileyen asal parametre kömür damarı eğimi olup, ocaktaki dummu temsil edecek şekilde eğim aralıkları belirlenmiştir. Bu nedenle mevcut draglayn panoları için çok sayıda dilim geometrisi tasarımı türetilmiştir. Bu durumda problem, belirli kömür eğiminde, hangi yöntem uygulandığında ne kalınlıkta dilimin mevcut draglayn ile kaldırılabileceği olarak belirmektedir. Modeller, tüm ocaklarda kalın dilimlerin draglayn ile alınabileceğine işaret etmektedir. Direkt döküm yönteminde dilim genişliği, İşletmenin tercihi doğrultusunda belirlenebilir. Enli dilim yönteminde de dilim genişliğinin bir aralıkta verilmiş olmasına rağmen, yöntemin doğası gereği en geniş dilim tercih edilmelidir.

**ABSTRACT** The study is composed ofa research work directed towards analysis of dragline overburden stripping practices in Turkish opencast mines. A total of fıve draglines are monitored and panel geometry designs scmtinized. Three dragline models, namely level, downhill spoiling and uphill spoiling, are developed to simulate operational conditions encountered in direct side casting and extended benching practices.

A regular mining plan is hardly applied due to spatial irregularities in coal seam as well as meandering pits. In all monitored operations uphill spoiling is adopted. Thus respective design models are used. Likewise, as all stripping operations followed stı·ike-line mining method, coal seam inclination is accepted to change perpendicular to this direction. Because coal seam pitch is regarded the most significant design parameter, it is assigned a range, which would represent observed conditions in mines, and therefore numerous panel geometry design works are carried out for the available dragline panels. Under these circumstances the problem is defined as that of determining the thickness of burden overlying a coal seam with a particular pitch, deploying available dragline in a specific mining method. Results of model mns indicate that thicker overburden could be stripped. Pit width could be preferred by mine management when practicing direct casting. However the widest possible pit is proposed in extended benching.

## 1 GiRiŞ

Bu çalışma kapsamında Ülkemizde bulunan yerüstü kömür ocaklarında kullanılan draglaynların pano tasarımına ilişkin araştırma yapılmıştır (Erdem, 2003). Bu kapsamda aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir:

A. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'na bağlı aşağıdaki ocaklar ziyaret edilmiştir:

i. Bursa Linyitleri İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Orhaneli Kömür Ocağı'nda bulunan draglayn panosu

ii. Güney Ege Linyitleri İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Eskihisar Kömür Ocağı'nda bulunan draglayn panosu

iii. Güney Ege Linyitleri İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Tınaz Kömür Ocağı'nda bulunan draglayn panosu

iv. Yeniköy Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Ekizköy Kömür Ocağı'nda bulunan draglayn panosu

v. Yeniköy Linyitleri İşletmesi Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Sekköy Kömür Ocağı'nda bulunan draglayn panosu

B. Düz veya yatımlı kömür damarlarında uygulanan direkt döküm ve enli dilim draglayn örtü kazı yöntemlerinin sayısal ortamda dilim geometrisi benzetim modelleri hazırlanmıştır.

C. Geliştirilen modellerin mevcut ocak parametreleri ile çalıştırılarak elde edilen sonuçlar halihazırdaki durum ile karşılaştırılmış ve draglayn verimliliğini artırabilecek öneriler hazırlanmıştır.

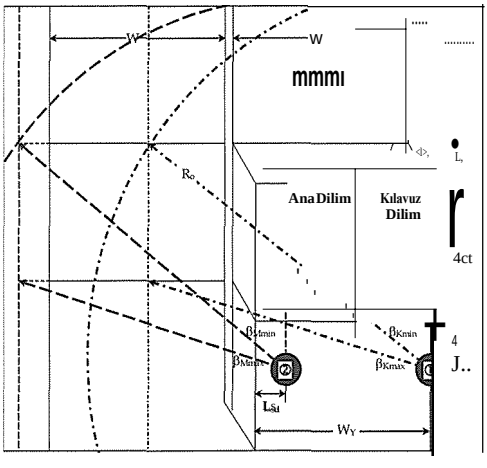
## 2 MODELLER

### 2.1 Direkt Döküm Modeli

Geliştirilen direkt döküm modelinde ana tema, değişik kazı ve döküm patemlerinin draglayn verimliliği üzerindeki etkilerinin araştırılması olmuştur. Buna yönelik olarak, draglayn ve ocak etkileşiminden kaynaklanan geometrik boyutlar tanımlanmış, formüle edilmiş ve verimlilik üzerindeki etkilerini belirlemek için hassasiyet analizleri yapılmıştır.

Model sonuçları, baskın parametrelerin kazı alanı boyutları ve dönüş açısı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Draglaynların kazı yaptıkları veya oturdukları dilimin yanına döküm yapmalarının kazıda harcanan süreyi önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Draglaynın kazı yaptığı dilimin yanına döküm yapması halinde dönüş açısının önemli ölçüde azaldığı, ancak dilim alanı boyutlarının küçük olması nedeniyle fazla yürüyeceği ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan, oturulan dilimin yanına döküm yapılması halinde de dilim alanının büyük değerler alabildiği, diğer bir deyişle kazıya en fazla sürenin ayrılabildiği, ancak dönüş açısının arttığı bulunmuştur.

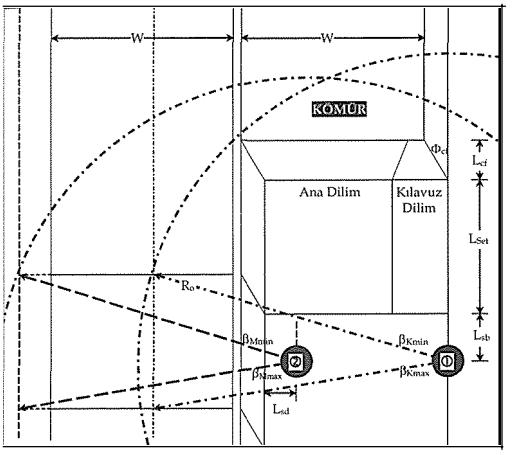
Farklı döküm yöntemleri, ocak boyutlarının da değişikliğe uğramasına yol açtıkları için, draglayn verimliliği üzerinde büyük etkide bulunmaktadır. Burada iki değişik döküm patemi modellenerek verimlilik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunlardan ilkinde draglayn kazı yaptığı dilimin yanına (KDYD patemi), diğerinde ise oturduğu dilimin yanına döküm yapmaktadır (ODYD patemi). Modellerde kullanılan ocak boyutları Şekiller 1, 2 ve 3'de, semboller Ek-1'de verilmiştir.




Şekil **1.** KDYD pateminde ocak boyutları

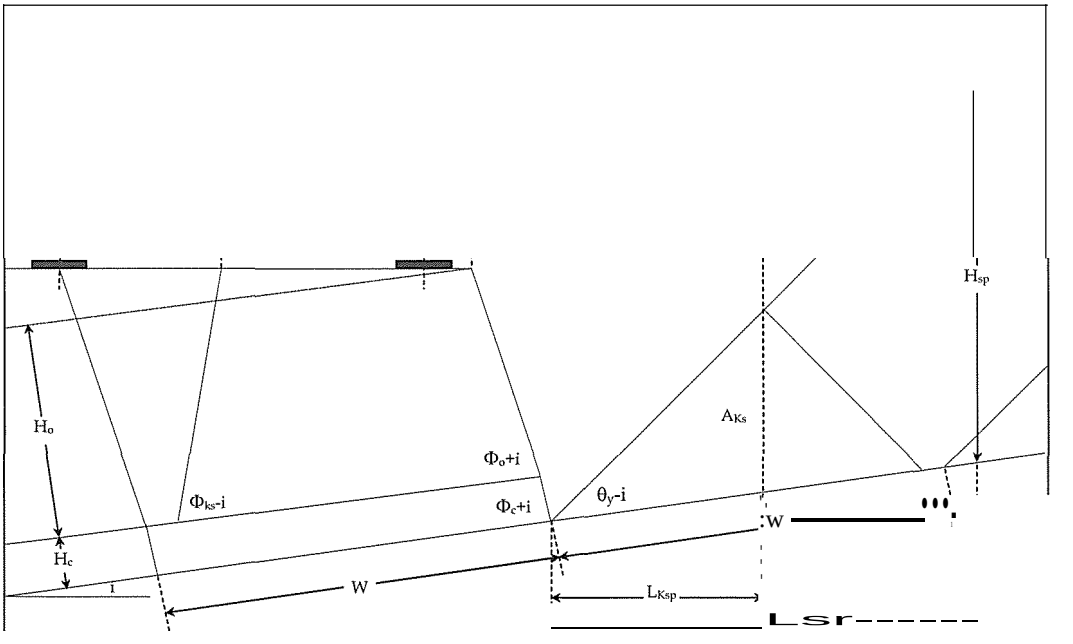
Dilim genişliği, özellikle ortaderin-derin öiiü durumunda draglayn verimini, dolayısıyla örtü kazı maliyetini etkilemektedir. En dar dilim genişliği kömür yükleme ve nakliye ekipmanı tarafından belirlenirken; emniyet, drenaj ve ocak içi basamaklandırma

gerekliliği gibi durumlar dilim genişliğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. En geniş dilim draglayn çalışma yarıçapı ve uygulanan örtü kazı yöntemi tarafından kontrol edilmektedir.




Şekil 2. ODYD pateminde ocak boyutları

Emniyet açısından dilimin geniş tutulması olumlu olsa da yığın kümeleri arasındaki mesafeyi, dolayısıyla yığın düzeltme maliyetlerini artırdığından, tasarım çalışması dikkatli yapılmalıdır. Konu döngü süresi açısından irdelendiğinde, dilimin belirli bir değere kadar daraltılmasının dönüş açılarının küçülmesinden dolayı döngü süresinin kısalması ile sonuçlanacağı açıktır. Ancak çok dar dilimlerde çalışan bir draglayn "kaldırmaya bağımlı" (hoist-dependent) duruma düşebileceğinden, verim artışı sağlamayabilecektir. Bu yüzden direkt döküm modeli belirli bir tasarım için sabit bir dilim genişliği yerine bir değerler aralığı atayarak hem çok sayıda dilim konfigürasyonu üretmekte hem de önemli tasarım parametrelerindeki değişiklikleri sunmaktadır.

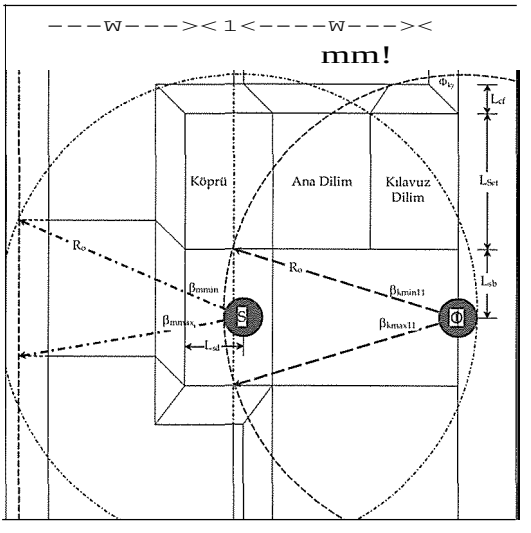



Şekil 3. Direkt yana döküm modelinde kullanılan ocak boyutları

## 2.2 Enli Dilim Modeli

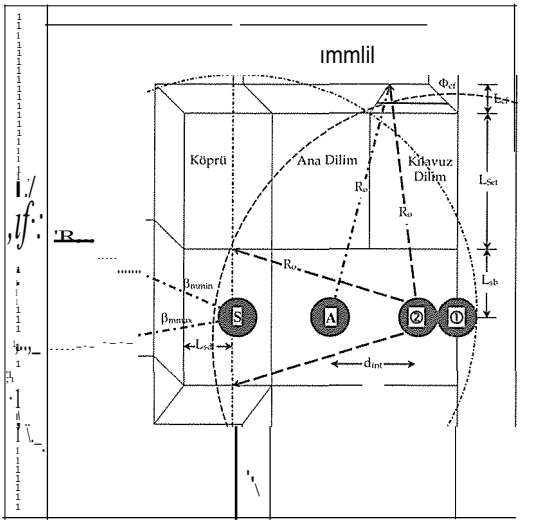
Geliştirilen modelde eğimli kömür damarlarının bulunduğu ocaklarda uygulanması planlanan enli dilim yöntemi için pano tasarımı yapılmaktadır. Yatay damarlar için yatay, eğimli damarlar için ise eğim yukarı ve eğim aşağı döküm patemleri bulunmaktadır. Dilim genişletilme gereksinimi formüle edilerek, modellenmiştir. Dilime sabit bir genişlik yerine bir değerler aralığı atanmakta, dolayısıyla; tekrar kazı yüzdesi, set uzunluğu, çalışma yarıçapı, dönüş açıları gibi önemli tasarım parametreleri üzerindeki etkileri araştırılabilmektedir.

Derin örtü ya da küçük draglayn durumunda bu koşul oluşmayabilmektedir (Lmin>Lkey)- Bu duıumda kılavuz kazı iki pozisyondan kazılmaktadır. Modellerde kullanılan ocak boyutları Şekiller 4, 5 ve 6'da, semboller ise Ek-1 'de verilmiştir.




Şekil 4, Lkey>Lmin durumunda dilim konfigürasyonu ve kullanılan ocak boyutları

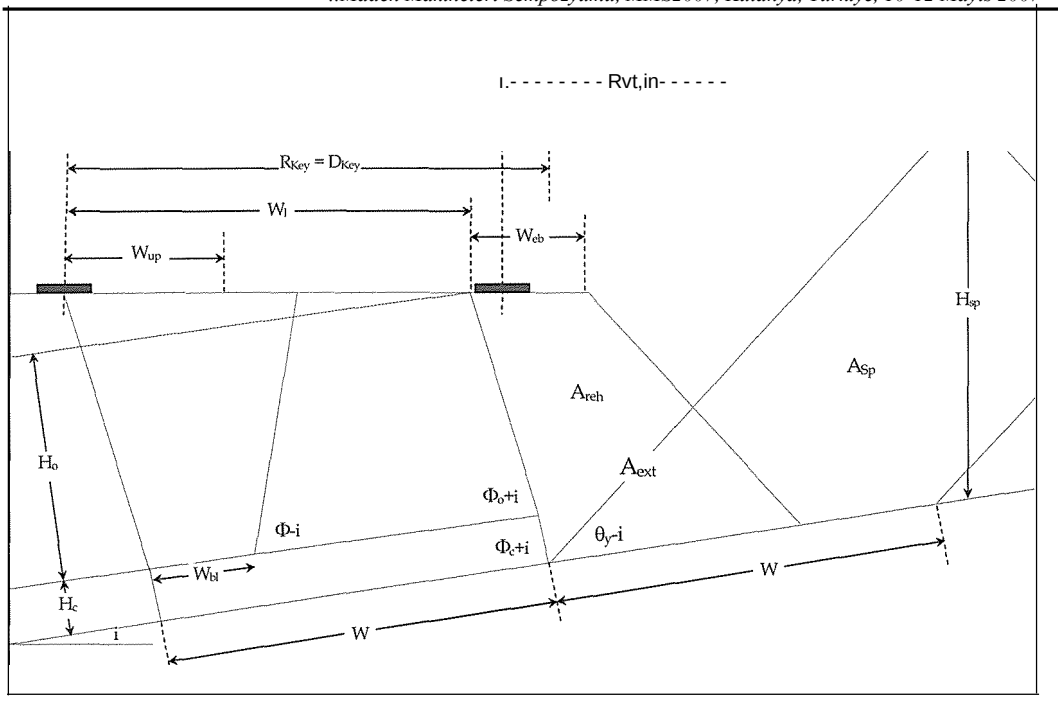
Modelde set, draglaynın bulunduğu konumdan kazı aynasının ayağına erişebileceği şekilde ayarlanmaktadır (Lkcy)-




Şekil 5. Lkey<Lmin durumunda dilim konfigürasyonu ve kullanılan ocak boyutları

## 3 DRAGLAYN PANO TASARIMI MODEL SONUÇLARI

Bu bölümde, geliştirilen dilim tasarımı modellerinin ocaklardaki test sonuçlarına yer verilmiştir. Tüm ocaklarda eğim yukarı döküm yönteminin tercih edilmesinden dolayı yalnızca eğim yukarı direkt döküm ve enli dilim modellerine başvurulmuştur.




Şekil 6. Enli dilim modelinde kullanılan ocak boyutları

### 3.1 Bursa Linyitleri İşletmesi Orhaneli Ocağı

Ocaktaki kömür damarı oldukça eğimli olup enli dilim yöntemi ile olabildiği kadar geniş bir dilimin kazılıp, eğim yukarı yığın kümeleri oluşturulmaktadır. Eğim yukarı direkt döküm ve enli dilim modelleri, ocaktaki kömür damarını temsil edecek belirli bir eğim aralığında, izin verilebilen dilim kalınlıklarının belirlenmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki girdi parametreleri ile çalıştırılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Modellerde Orhaneli ocağı için kullanılan girdiler

| | |
|---|---|
| Kömür damarı eğim açısı (°) | 8-13 |
| Kömür damarı kalınlığı (ın) | 7 |
| Dilim şev açısı (°) | 65 |
| Kömür damarı şev açısı (°) | 75 |
| Yığın kümesi şev açısı (°) | 33,5 |
| Malzeme kabarma faktörü (%) | 43 |
| Draglayn modeli | B-E 1260W |

Direkt döküm modeli sonuçları, yığın kümelerinin duraylı olduğu kabulüyle, daha yaygın olarak uygulanan ODYD patemi tercih edildiğinde, dilimin daralması göz önüne alınmakla birlikte yaklaşık 13- 14 m kalınlığında pasanın tekrar kazıya gerek kalmadan direkt olarak dökülebileceğini göstermektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek dilim genişliği aralıkları, özet olarak Çizelge 2'de sunulmuştur.

Enli dilim uygulamasıyla, düşük eğim açılarında 26 m - 27 m kalınlığa kadar l?asamn kazılabileceği görülmektedir. Işlemlerin ekonomisi çalışmanın amaçlarından olmadığından her iki yöntem arasındaki maliyet farklılıkları belirlenmemiştir. Ancak mümkün olan en kalın dilimin draglayna bırakılmasının rasyonel bir karar olacağı düşünülmektedir. Yine, kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek maksimum dilim genişliği ve yapılması gerekli tekrar kazı oranları Çizelge 3'de sunulmuştur.

## Çizelge 2. Orhaneli ocağı için direkt döküm modeli sonuçları

| i (o) | ODYDnatemi | | | KDYDpatcmi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H, (m) | \VYmın (m) | \Vyma,:: (m) | H, (m) | Wvmin (m) | Wvmax. (m) |
| 8 | 1 | 21,00 | 58,03 | 1 | 21,00 | 49,59 |
| | 2 | 21,00 | 55,92 | 2 | 21,00 | 47,48 |
| | 3 | 21,00 | 54,87 | 3 | 21,00 | 45,37 |
| | 4 | 21,00 | 52,76 | 4 | 21,00 | 44,32 |
| | 5 | 21,00 | 50,65 | 5 | 21,00 | 42,21 |
| | 6 | 21,00 | 49,59 | 6 | 21,00 | 40,10 |
| | 7 | 21,00 | 47,48 | 7 | 21,00 | 37.99 |
| | 8 | 21,00 | 46,43 | 8 | 21,00 | 36,93 |
| | 9 | 21,00 | 44,32 | 9 | 21,00 | 34,82 |
| | 10 | 21,00 | 42,21 | 10 | 21,00 | 29,54 |
| | il | 21,00 | 41,15 | il | 21,00 | 22,16 |
| | 12 | 21,00 | 36,93 | | | |
| | 13 | 21,00 | 29,54 | | | |
| | 14 | 21,00 | 21,10 | | | |
| 9 | 1 | 21,00 | 56,21 | 1 | 21,00 | 47,73 |
| | 2 | 21,00 | 55,15 | 2 | 21,00 | 46,67 |
| | 3 | 21,00 | 53,03 | 3 | 21,00 | 44,55 |
| | 4 | 21,00 | 51,97 | 4 | 21,00 | 42,43 |
| | 5 | 21,00 | 49,85 | 5 | 21,00 | 40,30 |
| | 6 | 21,00 | 47,73 | 6 | 21,00 | 39,24 |
| | 7 | 21,00 | 46,67 | 7 | 21,00 | 37,12 |
| | 8 | 21,00 | 44,55 | 8 | 21,00 | 35,00 |
| | 9 | 21,00 | 43,49 | 9 | 21,00 | 31,82 |
| | 10 | 21,00 | 41,36 | 10 | 21,00 | 25,46 |
| | il | 21,00 | 39,24 | | | |
| | 12 | 21,00 | 31,82 | | | |
| | 13 | 21,00 | 24,39 | | | |
| 10 | 5 | 21,00 | 49,03 | 5 | 21,00 | 39,43 |
| | 6 | 21,00 | 46,89 | 6 | 21,00 | 37,30 |
| | 7 | 21,00 | 44,76 | 7 | 21,00 | 36,24 |
| | 8 | 21,00 | 43,70 | 8 | 21,00 | 34,10 |
| | 9 | 21,00 | 41,57 | 9 | 21,00 | 27,71 |
| | 10 | 21,00 | 40,50 | 10 | 21,00 | 21.32 |
| | il | 21,00 | 34,10 | | | |
| | 12 | 21,00 | 26,64 | | | |
| il | 1 | 21,00 | 53,53 | 1 | 21,00 | 44,97 |
| | 2 | 21,00 | 52,46 | 2 | 21,00 | 43,89 |
| | 3 | 21,00 | 50,32 | 3 | 21,00 | 41,75 |
| | 4 | 21,00 | 49,25 | 4 | 21,00 | 39,61 |
| | 5 | 21,00 | 47,11 | 5 | 21,00 | 38,54 |
| | 6 | 21,00 | 46,04 | 6 | 21,00 | 36,40 |
| | 7 | 21,00 | 43,89 | 7 | 21,00 | 34,26 |
| | 8 | 21,00 | 42,82 | 8 | 21,00 | 29,98 |
| | 9 | 21,00 | 40,68 | 9 | 21,00 | 24,62 |
| | 10 | 21,00 | 35,33 | | | |
| | il | 21,00 | 28,91 | | | |
| | 12 | 21,00 | 22,48 | | | |
| 12 | 1 | 21,00 | 52,68 | 1 | 21,00 | 44,08 |
| | 2 | 21.00 | 50,53 | 2 | 21,00 | 41,93 |
| | 3 | 21.00 | 49,45 | 3 | 21,00 | 40,85 |
| | 4 | 21,00 | 47,30 | 4 | 21,00 | 38,70 |
| | 5 | 21,00 | 46,23 | 5 | 21,00 | 36,55 |
| | 6 | 21.00 | 44,08 | 6 | 21,00 | 35,48 |
| | 7 | 21,00 | 43,00 | 7 | 21,00 | 32.25 |
| | 8 | 21,00 | 40,85 | 8 | 21,00 | 26,88 |
| | 9 | 21,00 | 37,63 | 9 | 21,00 | 21,50 |
| | 10 | 21,00 | 31,18 | | | |
| | 11 | 21,00 | 24,73 | | | |
| 13 | 1 | 21,00 | 50.73 | 1 | 21,00 | 42,09 |
| | 2 | 21,00 | 49,65 | 2 | 21,00 | 41,01 |
| | 3 | 21,00 | 47,49 | 3 | 21,00 | 38,85 |
| | 4 | 21.00 | 46,41 | 4 | 21,00 | 37,77 |
| | 5 | 21,00 | 44,25 | 5 | 21,00 | 35,62 |
| | 6 | 21,00 | 43,17 | 6 | 21,00 | 34,54 |
| | 7 | 21,00 | 41,01 | 7 | 21,00 | 29,14 |
| | 8 | 21,00 | 38,85 | 8 | 21,00 | 23,74 |
| | 9 | 21,00 | 32,38 | | | |
| | 10 | 21,00 | 26,98 | | | |

## Çizelge 3. Orhaneli ocağı için enli dilim modeli sonuçları

| i (o) | Ho (m) | \Vvmax (m) | Prh (%) | i Cl | Ho (m) | \Vvm , (nı) | Prch (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 8 | 70,40 | 7,49 | il | 4 | 72.20 | |
| | 9 | 69,96 | 9,92 | | 5 | 71.77 | |
| | 10 | 69,51 | 12,15 | | 6 | 71,33 | |
| | il | 69,07 | 14,22 | | 7 | 70,89 | 10.10 1 |
| | 12 | 68,63 | 16,15 | | 8 | 70,46 | 1 |
| | 13 | 68,19 | 17,97 | | 9 | 70,02 | 1 |
| | 14 | 67,75 | 19,69 | | 10 | 69,59 | 1 |
| | 15 | 67,31 | 21,34 | | il | 69,15 | 1 |
| | 16 | 66,86 | 22,92 | | 12 | 68,72 | 1 |
| | 17 | 66,42 | 24,44 | | 13 | 68,28 | 1 |
| | 18 | 65,98 | 25,90 | | 14 | 67,85 | |
| | 19 | 65,54 | 27,33 | | 15 | 67,41 | |
| | 20 | 65,10 | 28,71 | | 16 | 66,97 | - , |
| | 21 | 64,65 | 30,07 | | 17 | 65,04 | 23,73 |
| | 22 | 64,21 | 31,39 | | 18 | 62,25 | 26,09 |
| | 23 | 63,77 | 32,69 | | 19 | 59,35 | 28,75 |
| | 24 | 63,33 | 33,96 | | 20 | 56,45 | 31,68 |
| | 25 | 62,89 | 35,21 | | 21 | 53,56 | 34,95 |
| | 26 | 62,44 | 36,45 | | 22 | 50,76 | 38,48 |
| | 27 | 62,00 | 37,66 | 12 | 3 | 72,64 | 3,57 |
| 9 | 7 | 70,86 | 7,01 | | 4 | 72,21 | 5,75 |
| | 8 | 70,42 | 9.34 | | 5 | 71,78 | 7,67 |
| | 9 | 69,98 | 11,47 | | 6 | 71,34 | 9,39 |
| | 10 | 69,54 | 13,43 | | 7 | 70,91 | 10,93 |
| | il | 69,10 | 15,25 | | 8 | 70,48 | 12.34 |
| | 12 | 68,66 | 16,96 | | 9 | 70,04 | 13,64 |
| | 13 | 68,22 | 18,58 | | 10 | 69,61 | 14,85 |
| | 14 | 67,78 | 20,11 | | il | 69,17 | 15,97 |
| | 15 | 67,34 | 21,58 | | 12 | 68,74 | 17,03 |
| | 16 | 66,90 | 22,98 | | 13 | 68,20 | 18,07 |
| | 17 | 66,46 | 24,34 | | 14 | 65,29 | 20,13 |
| | 18 | 66,02 | 25,65 | | 15 | 62,39 | 22,39 |
| | 19 | 65,58 | 26,92 | | 16 | 59,59 | 24,82 |
| | 20 | 65,14 | 28,16 | | 17 | 56,68 | 27,56 |
| | 21 | 64,71 | 29,37 | | 18 | 53,77 | 30,61 |
| | 22 | 64,27 | 30,54 | | 19 | 50,87 | 34,02 |
| | 23 | 63,83 | 31,70 | | 20 | 47.96 | 37,85 |
| | 24 | 63,39 | 32,83 | | 21 | 45,05 | 42,18 |
| | 25 | 61,14 | 35,23 | 13 | 2 | 73,08 | 3,34 |
| | 26 | 58,26 | 38,34 | | 3 | 72,65 | 5,34 |
| 10 | 5 | 71,75 | 4,10 | | 4 | 72,22 | 7,08 |
| | 6 | 71,32 | 6,58 | | 5 | 71.79 | 8,62 |
| | 7 | 70,88 | 8,79 | | 6 | 71,35 | 9,99 |
| | 8 | 70,44 | 10,79 | | 7 | 70,92 | 11,23 |
| | 9 | 70,00 | 12,63 | | 8 | 70,49 | 12,35 |
| | 10 | 69,57 | 14,33 | | 9 | 70,06 | 13,39 |
| | il | 69,13 | 15,92 | | 10 | 69.19 | 14,49 |
| | 12 | 68,69 | 17,41 | | il | 66,28 | 16,35 |
| | 13 | 68,25 | 18,82 | | 12 | 63,37 | 18,41 |
| | 14 | 67,82 | 20,17 | | 13 | 60,45 | 20,67 |
| | 15 | 67,38 | 21,45 | | 14 | 57,54 | 23,17 |
| | 16 | 66,94 | 22,68 | | 15 | 54,62 | 25,96 |
| | 17 | 66,50 | 23,87 | | 16 | 51,71 | 29,07 |
| | 18 | 66,07 | 25,02 | | 17 | 48,79 | 32,56 |
| | 19 | 65,63 | 26,13 | | 18 | 45,88 | 36,51 |
| | 20 | 65,19 | 27,21 | | 19 | 42,96 | 41,01 |
| | 21 | 62,62 | 29,57 | | | | |
| | 22 | 59,84 | 32,28 | | | | |
| | 23 | 56,95 | 35,34 | | | | |
| | 24 | 54,17 | 38,64 | | | | |

### 3.2 Güney Ege Linyitleri İşletmesi Eskihisar Ocağı

İşletmede bir adet ana kömür damarı bulunlI).a ta olur? vcµt durumda yükleyıcı-taşıyıcı yontemı ile ınceltme kazısı yaP.ılmakta, takibe°:.kö!llür üzeri drag am i_le açılmaktadır. Komtır az egımlıdır. Uygulama, enli dilim yöntemi ile dilimin kazılıp, eğim yukarı yığın kümelerinin oluşturulmasıdır. . . ... .. . . .

Eğim yukarı dırekt dokum ve enlı dılım modelleri, ocaktaki kömür damarını temsil edecek belirli bir eğim aralığındai izin verilebilen dilim kalınlık arının belirlenmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki girdi parametrelen ile çalıştırılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Modellerde Eskihisar ocağı için kullanılan girdiler

| | |
|---|---|
| Kömür damarı eğim açısı (°) | 1 5 |
| Kömür damarı kalınlığı (m) | 1O |
| Dilim şev açısı (°) | 65 |
| Kömür damarı şev açısı (°) | 85 |
| Yığın kümesi şev açısı (°) | 35 |
| Malzeme kabarma faktörü (%) | 40 |
| Draglayn modeli | Marion 8050-36 |

Direkt döküm modeli sonuçları, düşük eğim açılarında ODYD patemi ile en fazla 22 m, KDYD patemi ise 18 m derinliğe direkt döküm yapılabileceğini göstermektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek dilim genişliği aralıkları Çizelge S'de sunulmuştur.

Enli dilim yönteminin uygulanması ile düşük eğim açılarında 32 m kalınlığa kadar pasanın dökülebileceği görülmektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek maksimum dilim genişliği ve yapılması gerekli tekrar kazı oranları Çizelge 6'da sunulmuştur.

### 3.3 Güney Ege Linyitleri İşletmesi Tınaz Ocağı

İşletmede bir adet kömür damarı bulunmakta olup, Eskihisar ocağına benzer şekilde mevcut durumda yükleyici-taşıyıcı yöntemi ile inceltme kazısı yapılmakta, takiben kömür üzeri draglayn ile açılmaktadır. Kömür eğimlidir. Uygulama, enli dilim yöntemi ile dilimin kazılıp, eğim yukarı yığın kümelerinin oluşturulmasıdır.

Çizelge 5. Eskihisar ocağı için direkt döküm modeli sonuçları

| i (°) | ODYDpatemi | | | **KDYDnatemi** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H, (m) | WYmin (m) | Wvma., (m) | H, (ml | \Vvmin (m) | Wvm,u (m) |
| 1 | 15 | 21,00 | 53,42 | 15 | 22,50 | 43,34 |
| | 16 | 22,00 | 52.42 | 16 | 22,50 | 41,33 |
| | 17 | 23,00 | 50,40 | 17 | 22,50 | 39,31 |
| | 18 | 24,00 | 48.38 | 18 | 24,00 | 34,27 |
| | 19 | 25,00 | 46,37 | | | |
| | 20 | 25,20 | 44,35 | | | |
| | 21 | 26,21 | 42,34 | | | |
| | 22 | 27,22 | 31.25 | | | |
| 2 | 15 | 22,50 | 52,81 | 15 | 22,50 | 42,66 |
| | 16 | 22,50 | 50,78 | 16 | 22,50 | 40,63 |
| | 17 | 23,36 | 48,75 | 17 | 23,36 | 37,58 |
| | 18 | 24,00 | 46,72 | 18 | 24,00 | 28,44 |
| | 19 | 25.00 | 44,69 | | | |
| | 20 | 26,00 | 42,66 | | | |
| | 21 | 26,41 | 34.53 | | | |
| 3 | 15 | 22,50 | 51.15 | 15 | 22,50 | 40,92 |
| | 16 | 22,50 | 49,11 | 16 | 22,50 | 38,88 |
| | 17 | 23,00 | 48,08 | 17 | 24,00 | 31,71 |
| | 18 | 24,00 | 46,04 | | | |
| | 19 | 25,00 | 43,99 | | | |
| | 20 | 26,00 | 37,85 | | | |
| | 21 | 27,00 | 28,64 | | | |
| 4 | 15 | 22,50 | 50,47 | 15 | 22,50 | 39,14 |
| | 16 | 22,50 | 48,41 | 16 | 22,50 | 35,02 |
| | 17 | 23,69 | 46,35 | 17 | 24,00 | 26,78 |
| | 18 | 24,72 | 44,29 | | | |
| | 19 | 25.75 | 41,20 | | | |
| | 20 | 26.00 | 31,93 | | | |
| 5 | 15 | 22,50 | 48,73 | 15 | 22,50 | 37,33 |
| | 16 | 22,50 | 46,66 | 16 | 22,50 | 30,07 |
| | 17 | 23,85 | 45,62 | | | |
| | 18 | 24.88 | 43,55 | | | |
| | 19 | 25,92 | 34,22 | | | |

Eğim yukarı direkt döküm ve enli dilim modelleri, ocaktaki kömür damarını temsil edecek belirli bir eğim aralığında, izin verilebilen dilim kalınlıklarının belirlenmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki girdi parametreleri ile çalıştırılmıştır (Çizelge 7).

Direkt döküm modeli sonuçları, düşük eğim açılarında ODYD patemi ile en fazla 21 m, KDYD patemi ise 19 m derinliğe direkt döküm yapılabileceğini göstem1ektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek dilim genişliği aralıkları Çizelge 8'de sunulmuştur.

Enli dilim yönteminin uygulanması ile, düşük eğim açılarında 28 m-29 m kalınlığa kadar pasanın dökülebileceği görülmektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim

kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek maksimum dilim genişliği ve yapılması gerekli tekrar kazı oranları Çizelge 9'da sunulmuştur.

Çizelge 6. Eskihisar ocağı için enli dilim modeli sonuçlan

| i (°) | H, (m) | \Vvırıuix (m) | Pr;:h (%) | i (") | H, (m) | Wvrrrux (m) | Pr h (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19 | 76.83 | 15,62 | 4 | 16 | 78,84 | 12,02 |
| | 20 | 76,83 | 15.62 | | 17 | 78,39 | 14,32 |
| | 21 | 76,37 | 17,98 | | 18 | 77,94 | 16,51 |
| | 22 | 75,91 | 20,26 | | 19 | 77,49 | 18.60 |
| | 23 | 75,44 | 22.44 | | 20 | 77,03 | 20,60 |
| | 24 | 74.98 | 24.56 | | 21 | 76,58 | 22.53 |
| | 25 | 74,52 | 26,61 | | 22 | 76,13 | 24,39 |
| | 26 | 74,06 | 28,61 | | 23 | 75,67 | 26,20 |
| | 27 | 73,59 | 30,57 | | 24 | 75,22 | 27,96 |
| | 28 | 73,13 | 32,48 | | 25 | 74,77 | 29,68 |
| | 29 | 72.67 | 34,36 | | 26 | 74,32 | 31,37 |
| | 30 | 72,21 | 36,21 | | 27 | 73,86 | 33,02 |
| | 31 | 71.74 | 38.03 | | 28 | 73,41 | 34,64 |
| | 32 | 71,28 | 39,83 | | 29 | 72,96 | 36,24 |
| 2 | 18 | 77,82 | 12,71 | | 30 | 72,51 | 37,81 |
| | 19 | 77,36 | 15,13 | | 31 | 72,05 | 39,37 |
| | 20 | 76,90 | 17,45 | | 32 | 71,60 | 40,91 |
| | 21 | 76.44 | 19,66 | 5 | 15 | 79.34 | 11.75 |
| | 22 | 75.99 | 21,79 | | 16 | 78.89 | 13,98 |
| | 23 | 75,53 | 23,84 | | 17 | 78,44 | 16.10 |
| | 24 | 75,07 | 25,84 | | 18 | 77,99 | 18,11 |
| | 25 | 74,61 | 27,78 | | 19 | 77,54 | 20,05 |
| | 26 | 74,15 | 29.67 | | 20 | 77,09 | 21,91 |
| | 27 | 73,69 | 31.52 | | 21 | 76,64 | 23,70 |
| | 28 | 73,23 | 33,34 | | 22 | 76,19 | 25,44 |
| | 29 | 72,77 | 35,12 | | 23 | 75,74 | 27,13 |
| | 30 | 72,31 | 36,88 | | 24 | 75,29 | 28,78 |
| | 31 | 71,85 | 38,61 | | 25 | 74,84 | 30,40 |
| | 32 | 71,39 | 40,33 | | 26 | 74,39 | 31.98 |
| 3 | 17 | 78,34 | 12,34 | | 27 | 73,94 | 33,53 |
| | 18 | 77,88 | 14,70 | | 28 | 73,49 | 35,05 |
| | 19 | 77,43 | 16,96 | | 29 | 73,04 | 36,56 |
| | 20 | 76,97 | 19,11 | | 30 | 72.59 | 38,04 |
| | 21 | 76,51 | 21,17 | | 31 | 72,14 | 39,51 |
| | 22 | 76,06 | 23,17 | | 32 | 71,70 | 40,96 |
| | 23 | 75,60 | 25,10 | | | | |
| | 24 | 75,15 | 26,98 | | | | |
| | 25 | 74,69 | 28,80 | | | | |
| | 26 | 74,24 | 30,59 | | | | |
| | 27 | 73,78 | 32,34 | | | | |
| | 28 | 73,32 | 34,06 | | | | |
| | 29 | 72,87 | 35.75 | | | | |
| | 30 | 72,41 | 37.42 | | | | |
| | 31 | 71,96 | 39,07 | | | | |
| | 32 | 71,50 | 40,70 | | | | |

## Çizelge 7. Modellerde Tınaz ocağı için kullanılan girdiler

| | |
|---|---|
| **Kömür damarı eğim açısı (°)** | 2-10 |
| **Kömür damarı kalınlığı (m)** | 13 |
| **Dilim şev açısı (°)** | 65 |
| **Kömür damarı şev açısı (°)** | 75 |
| **Yığın kümesi şev açısı (°)** | 35 |
| **Malzeme kabarma faktörü (%)** | 40 |
| **Draglayn modeli** | B-E 1260W |

## Çizelge 8. Tınaz ocağı için direkt döküm modeli sonuçlan

| i (°) | ODYDnatemi | | | KDYDnatemi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H, (m) | \Vvmin (m) | Wvma, (m) | H, (ın) | Wvmin (m) | Wvma-.. (m) |
| 2 | 5 | 18,75 | 66,02 | 5 | 18,75 | 60,94 |
| | 6 | 18,75 | 65,00 | 6 | 18,75 | 58,91 |
| | 7 | 18,75 | 62,97 | 7 | 18,75 | 56,88 |
| | 8 | 18,75 | 60,94 | 8 | 18.75 | 54,85 |
| | 9 | 18,75 | 59,92 | 9 | 18,75 | 52,81 |
| | 10 | 18,75 | 57.89 | 10 | 18,75 | 50,78 |
| | il | 18,75 | 55,86 | il | 18.75 | 48.75 |
| | 12 | 18,75 | 53,83 | 12 | 18,75 | 46,72 |
| | 13 | 18,75 | 52,81 | 13 | 18,75 | 44,69 |
| | 14 | 18,75 | 50,78 | 14 | 18,75 | 42,66 |
| | 15 | 19,30 | 48,75 | 15 | 19.30 | 40,63 |
| | 16 | 20.31 | 46,72 | 16 | 20,31 | 39,61 |
| | 17 | 21,33 | 45,70 | 17 | 21,33 | 36,56 |
| | 18 | 22,34 | 43,67 | 18 | 22,34 | 29,45 |
| | 19 | 23,00 | 41.64 | | | |
| | 20 | 24,00 | 37,58 | | | |
| | 21 | 25,00 | 27,42 | | | |
| 3 | 5 | 18,75 | 65,47 | 5 | 18,75 | 58,31 |
| | 6 | 18,75 | 63,43 | 6 | 18,75 | 57,29 |
| | 7 | 18,75 | 61,38 | 7 | 18,75 | 55,24 |
| | 8 | 18,75 | 60,36 | 8 | 18,75 | 53,20 |
| | 9 | 18,75 | 58.31 | 9 | 18,75 | 51,15 |
| | 10 | 18.75 | 56,27 | IO | 18,75 | 49,11 |
| | il | 18,75 | 55,24 | il | 18,75 | 47,06 |
| | 12 | 18,75 | 53,20 | 12 | 18,75 | 46,04 |
| | 13 | 18,75 | 51,15 | 13 | 18,75 | 43,99 |
| | 14 | 18,75 | 49,11 | 14 | 18,75 | 41,94 |
| | 15 | 20,00 | 48,08 | 15 | 20,00 | 39,90 |
| | 16 | 21,00 | 46,04 | 16 | 21,00 | 37,85 |
| | 17 | 22.00 | 43,99 | 17 | 22,00 | 32,74 |
| | 18 | 23,00 | 41,94 | 18 | 23.00 | 23,53 |
| | 19 | 24,00 | 39,90 | | | |
| | 20 | 25,00 | 31,71 | | | |
| 4 | 5 | 18.75 | 63,87 | 5 | 18,75 | 57,69 |
| | 6 | 18,75 | 61,81 | 6 | 18,75 | 55,62 |
| | 7 | 18,75 | 60,78 | 7 | 18,75 | 53,56 |
| | 8 | 18.75 | 58,72 | 8 | 18,75 | 51,50 |
| | 9 | 18,75 | 56,66 | 9 | 18,75 | 49,44 |
| | IO | 18,75 | 55,62 | 10 | 18,75 | 48,41 |
| | 11 | 18,75 | 53,56 | 11 | 18,75 | 46,35 |
| | 12 | 18,75 | 51,50 | 12 | 18,75 | 44,29 |
| | 13 | 18,75 | 50,47 | 13 | 18,75 | 42,23 |
| | 14 | 18.75 | 48,41 | 14 | 18,75 | 40,17 |
| | 15 | 20,00 | 46,35 | 15 | 20,00 | 38,11 |
| | 16 | 21,00 | 44,29 | 16 | 21,00 | 36,05 |
| | 17 | 22.00 | 43,26 | 17 | 22,00 | 27,81 |
| | 18 | 23,00 | 41,20 | | | |
| | 19 | 24,00 | 33,99 | | | |
| | 20 | 24,72 | 25.75 | | | |
| 5 | 5 | 18,75 | 62,21 | 5 | 18,75 | 55,99 |
| | 6 | 18,75 | 61,17 | 6 | 18,75 | 53,92 |
| | 7 | 18,75 | 59,IO | 7 | 18,75 | 51,84 |
| | 8 | 18,75 | 57,03 | 8 | 18,75 | 49,77 |
| | 9 | 18,75 | 55,99 | 9 | 18,75 | 48,73 |
| | 10 | 18,75 | 53,92 | 10 | 18,75 | 46,66 |
| | il | 18,75 | 51,84 | 11 | 18,75 | 44,58 |
| | 12 | 18,75 | 50,80 | 12 | 18,75 | 42,51 |
| | l3 | 18,75 | 48,73 | 13 | 18,75 | 41,47 |
| | 14 | 19,70 | 46,66 | 14 | 19,70 | 39,40 |
| | 15 | 20,00 | 45,62 | 15 | 20,00 | 37,33 |
| | 16 | 21,00 | 43,55 | 16 | 21,00 | 31,11 |
| | 17 | 22,00 | 41.47 | 17 | 22,00 | 22,81 |
| | 18 | 23.00 | 37,33 | | | |
| | 19 | 23,85 | 27,99 | | | |

## Çizelge 8. Tınaz ocağı için direkt döküm modeli sonuçları (devam)

| İ(o) | ODYD oatcrni | | | KDYD oatcrni | | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H,(m) | \Vvmın (m) | Wvm:;ı,, *(m)* | H, (m) | Wvmm | |
| 6 | 5 | 18,75 | 61,55 | 5 | 18,75 | |
| | 6 | 18,75 | 59,47 | 6 | 18,75 | 52,16 |
| | 7 | 18,75 | 57,38 | 7 | 18,75 | 50,08 |
| | 8 | 18,75 | 56,34 | 8 | 18,75 | 49,03 |
| | 9 | 18,75 | 54,25 | 9 | 18,75 | 46,95 |
| | 10 | 18,75 | 53,21 | 10 | 18,75 | 44,86 |
| | il | 18,75 | 51,12 | il | 18,75 | 43,82 |
| | 12 | 18,75 | 49,03 | 12 | 18,75 | 41,73 |
| | 13 | 18,75 | 47,99 | 13 | 18,75 | 39,64 |
| | 14 | 20,00 | 45,90 | 14 | 20,00 | 37,56 |
| | 15 | 21,00 | 43,82 | 15 | 21,00 | 33,38 |
| | 16 | 22,00 | 42,77 | 16 | 22,00 | 26,08 |
| | 17 | 23,00 | 39,64 | | | |
| | 18 | 23,00 | 31,30 | | | |
| 7 | 5 | 18,75 | 59,81 | 5 | 18,75 | 52,47 |
| | 6 | 18,75 | 57,72 | 6 | 18,75 | 51,42 |
| | 7 | 18,75 | 56,67 | 7 | 18,75 | 49,32 |
| | 8 | 18,75 | 54,57 | 8 | 18,75 | 47,22 |
| | 9 | 18,75 | 53,52 | 9 | 18,75 | 45,12 |
| | 10 | 18,75 | 51,42 | 10 | 18,75 | 44,07 |
| | 11 | 18,75 | 50,37 | il | 18,75 | 41,97 |
| | 12 | 18,75 | 48,27 | 12 | 18,75 | 39,88 |
| | 13 | 18,75 | 46,17 | 13 | 18,75 | 38,83 |
| | 14 | 20,00 | 45,12 | 14 | 20,00 | 35,68 |
| | 15 | 21,00 | 43,02 | 15 | 21,00 | 28,33 |
| | 16 | 22,00 | 40,93 | 16 | 22,00 | 22,04 |
| | 17 | 23,00 | 33,58 | | | |
| | 18 | 24,00 | 25,18 | | | |
| 8 | *5* | 18,75 | 58,03 | 5 | 18,75 | 51,70 |
| | 6 | 18,75 | 56,98 | 6 | 18,75 | 49,59 |
| | 7 | 18,75 | 54,87 | 7 | 18,75 | 47,48 |
| | 8 | 18,75 | 53,81 | 8 | 18,75 | 46,43 |
| | 9 | 18,75 | 51,70 | 9 | 18,75 | 44,32 |
| | 10 | 18,75 | 50,65 | 10 | 18,75 | 42,21 |
| | il | 18,75 | 48,54 | il | 18,75 | 41,15 |
| | 12 | 18,75 | 46,43 | 12 | 18,75 | 39,04 |
| | 13 | 18,75 | 45,37 | 13 | 18,75 | 36,93 |
| | 14 | 20,00 | 43,26 | 14 | 20,00 | 30,60 |
| | 15 | 21,00 | 41,15 | 15 | 21,00 | 24,27 |
| | 16 | 22,00 | 35,88 | | | |
| | 17 | 23,00 | 28,49 | | | |
| 9 | 5 | 18,75 | 57,27 | 5 | 18,75 | 49,85 |
| | 6 | 18,75 | 55,15 | 6 | 18,75 | 47,73 |
| | 7 | 18,75 | 54,09 | 7 | 18,75 | 46,67 |
| | 8 | 18,75 | 51,97 | 8 | 18,75 | 44,55 |
| | 9 | 18,75 | 50,91 | 9 | 18,75 | 42,43 |
| | 10 | 18,75 | 48,79 | 10 | 18,75 | 41,36 |
| | il | 18,75 | 47,73 | il | 18,75 | 39,24 |
| | 12 | 18,75 | 45,61 | 12 | 18,75 | 38,18 |
| | 13 | 19,09 | 43,49 | 13 | 19,09 | 32,88 |
| | 14 | 20,00 | 42,43 | 14 | 20,00 | 26,52 |
| | 15 | 21,00 | 37,12 | | | |
| | 16 | 22,00 | 29,70 | | | |
| | 17 | 23,00 | 23,33 | | | |
| 10 | 5 | 18,75 | 55,42 | 5 | 18,75 | 47,96 |
| | 6 | 18,75 | 54,35 | 6 | 18,75 | 46,89 |
| | 7 | 18,75 | 52,22 | 7 | 18,75 | 44,76 |
| | 8 | 18,75 | 51,16 | 8 | 18,75 | 43,70 |
| | 9 | 18,75 | 49,03 | 9 | 18,75 | 41,57 |
| | 10 | 18,75 | 47,96 | 10 | 18,75 | 39,43 |
| | 11 | 18,75 | 45,83 | il | 18,75 | 38,37 |
| | 12 | 18,75 | 44,76 | 12 | 18,75 | 34,10 |
| | 13 | 19,18 | 42,63 | 13 | 19,18 | 28,78 |
| | 14 | 20,25 | 38,37 | 14 | 20,25 | 22,38 |
| | 15 | 21,32 | 31,97 | | | |
| | 16 | 22,38 | 24,51 | | | |

## Çizelge 9. Tınaz ocağı için enli dilim modeli sonuçları

| İ (o) | H, (m) | \Vvmax (m) | Prdı (%) | İ (o) | H, (m) | \Vym-:,,\ (m) | Prdı (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 18 | 72,46 | 15,83 | 5 | 14 | 74,54 | 13,67 |
| | 19 | 71,99 | 18,87 | | 15 | 74,09 | 16,53 |
| | 20 | 71,53 | 21,75 | | 16 | 73,64 | 19,22 |
| | 21 | 71,07 | 24,50 | | 17 | 73,19 | 21,76 |
| | 22 | 70,61 | 27,13 | | 18 | 72,74 | 24,18 |
| | 23 | 70,14 | 29,67 | | 19 | 72,29 | 26,49 |
| | 24 | 69,68 | 32,13 | | 20 | 71,84 | 28,72 |
| | 25 | 69,22 | 34,52 | | 21 | 71,39 | 30,86 |
| | 26 | 68,76 | 36,84 | | 22 | 70,94 | 32,94 |
| | 27 | 68,29 | 39,11 | | 23 | 70,49 | 34,96 |
| | 28 | 67,83 | 41,34 | | 24 | 70,04 | 36,93 |
| | 29 | 67,37 | 43,53 | | 25 | 69,59 | 38,86 |
| 2 | 17 | 72,99 | 15,18 | | 26 | 69,14 | 40,74 |
| | 18 | 72,53 | 18,17 | | 27 | 68,69 | 42,60 |
| | 19 | 72,08 | 21,01 | | 28 | 68,24 | 44,42 |
| | 20 | 71,62 | 23,71 | 6 | 13 | 75,04 | 13,31 |
| | 21 | 71,16 | 26,30 | | 14 | 74,59 | 16,11 |
| | 22 | 70,70 | 28,79 | | 15 | 74,14 | 18,73 |
| | 23 | 70,24 | 31,19 | | 16 | 73,69 | 21,22 |
| | 24 | 69,78 | 33,52 | | 17 | 73,25 | 23,57 |
| | 25 | 69,32 | 35,79 | | 18 | 72,80 | 25,82 |
| | 26 | 68,86 | 38,00 | | 19 | 72,35 | 27,98 |
| | 27 | 68,40 | 40,17 | | 20 | 71,91 | 30,06 |
| | 28 | 67,94 | 42,29 | | 21 | 71,46 | 32,07 |
| | 29 | 67,48 | 44,38 | | 22 | 71,01 | 34,02 |
| 3 | 16 | 73,52 | 14,60 | | 23 | 70,57 | 35,91 |
| | 17 | 73,06 | 17,56 | | 24 | 70,12 | 37,77 |
| | 18 | 72,61 | 20,35 | | 25 | 69,67 | 39,58 |
| | 19 | 72,15 | 23,00 | | 26 | 69,22 | 41,35 |
| | 20 | 71,70 | 25,54 | | 27 | 68,78 | 43,10 |
| | 21 | 71,24 | 27,97 | | 28 | 68,33 | 44,82 |
| | 22 | 70,78 | 30,32 | 7 | 12 | 75,52 | 13,00 |
| | 23 | 70,33 | 32,59 | | 13 | 75,08 | 15,74 |
| | 24 | 69,87 | 34,80 | | 14 | 74,63 | 18,30 |
| | 25 | 69,42 | 36,95 | | 15 | 74,19 | 20,71 |
| | 26 | 68,96 | 39,05 | | 16 | 73,74 | 23,00 |
| | 27 | 68,51 | 41,11 | | 17 | 73,30 | 25,18 |
| | 28 | 68,05 | 43,14 | | 18 | 72,86 | 27,27 |
| | 29 | 67,59 | 45,13 | | 19 | 72,41 | **29,27** |
| 4 | 15 | 74,03 | 14,10 | | 20 | 71,97 | 31,21 |
| | 16 | 73,58 | 17,01 | | 21 | 71,52 | 33,08 |
| | 17 | 73,13 | 19,75 | | 22 | 71,08 | 34,90 |
| | 18 | 72,68 | 22,35 | | 23 | 70,63 | 36,68 |
| | 19 | 72,22 | 24,83 | | 24 | 70,19 | 38,41 |
| | 20 | 71,77 | 27,21 | | 25 | 69,75 | 40,11 |
| | 21 | 71,32 | 29,49 | | 26 | 69,30 | 41,77 |
| | 22 | 70,87 | 31,71 | | 27 | 68,86 | 43,41 |
| | 23 | 70,41 | 33,85 | | 28 | 68,41 | 45,02 |
| | 24 | 69,96 | 35,94 | | 29 | 75,52 | 13.00 |
| | 25 | 69,51 | 37,97 | | | | |
| | 26 | 69,05 | 39,97 | | | | |
| | 27 | 68,60 | 41,93 | | | | |
| | 28 | 68,15 | 43,85 | | | | |
| | 29 | 67,70 | 45,75 | | | | |

### 3.4 Yeniköy Linyitleri işletmesi Ekizköy Ocağı

İşletmede bir adet yüksek eğimli kömür daman bulunmakta olup, yükleyici-taşıyıcı yöntemi ile inceltme kazısı yapılmakta, kömür üzeri draglayn ile açılmaktadır. Uygulama, enli dilim yöntemi ile dilimin kazılıp, egıın yukarı yığın kümelerinin oluşturulmasıdır.

Çizelge 9. Tınaz ocağı için enli dilim modeli sonuçlan (devam)

| i (") | H, (m) | WYmn (m) | Prdı (%) | i (') | H, (m) | Wvırnıx (m) | Pr h (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | il | 76,00 | 12,75 | 10 | 9 | 76,94 | 12,37 |
| | 12 | 75,56 | 15,42 | | 10 | 76,50 | 14,87 |
| | 13 | 75,12 | 17,91 | | il | 76,06 | 17,20 |
| | 14 | 74,68 | 20,25 | | 12 | 75,62 | 19,36 |
| | 15 | 74,23 | 22,46 | | 13 | 75,19 | 21,40 |
| | 16 | 73,79 | 24,56 | | 14 | 74,75 | 23,33 |
| | 17 | 73,35 | 26,57 | | 15 | 74,31 | 25,16 |
| | 18 | 72,91 | 28,49 | | 16 | 73,87 | 26,91 |
| | 19 | 72,47 | 30,35 | | 17 | 73,44 | 28,59 |
| | 20 | 72,02 | 32,14 | | 18 | 73,00 | 30,20 |
| | 21 | 71,58 | 33,88 | | 19 | 72,56 | 31,76 |
| | 22 | 71,14 | 35,58 | | 20 | 72,12 | 33,26 |
| | 23 | 70,70 | 37,23 | | 21 | 71,69 | 34,73 |
| | 24 | 70,26 | 38,84 | | 22 | 71,25 | 36,15 |
| | 25 | 69,81 | 40,42 | | 23 | 70,81 | 37,55 |
| | 26 | 69,37 | 41,97 | | 24 | 70,37 | 38,90 |
| | 27 | 68,93 | 43,50 | | 25 | 69,94 | 40,24 |
| | 28 | 68,49 | 45,00 | | 26 | 69,50 | 41,54 |
| 9 | 12 | 76,47 | 12,54 | | 27 | 69,06 | 42,82 |
| | 13 | 76,03 | 15,13 | | | | |
| | 14 | 75,59 | 17,54 | | | | |
| | 15 | 75,15 | 19,80 | | | | |
| | 16 | 74,71 | 21,93 | | | | |
| | 17 | 74,27 | 23,95 | | | | |
| | 18 | 73,83 | 25,87 | | | | |
| | 19 | 73,40 | 27,71 | | | | |
| | 20 | 72,96 | 29,48 | | | | |
| | 21 | 72,52 | 31,19 | | | | |
| | 22 | 72,08 | 32,84 | | | | |
| | 23 | 71,64 | 34,45 | | | | |
| | 24 | 71,20 | 36,01 | | | | |
| | 25 | 70,76 | 37,53 | | | | |
| | 26 | 70,32 | 39,02 | | | | |
| | 27 | 69,88 | 40,48 | | | | |
| | 28 | 69,44 | 41,91 | | | | |
| | 29 | 69,00 | 43,32 | | | | |

Eğim yukarı direkt döküm ve enli dilim modelleri, ocaktaki kömür damarını temsil edecek belirli bir eğim aralığında, izin verilebilen dilim kalınlıklarının belirlenmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki girdi parametreleri ile çalıştırılmıştır (Çizelge 10).

Çizelge 1O. Modellerde Ekizköy ocağı için khllanılan girdiler

| | |
|---|---|
| Kömür damarı eğim açısı (°) | 10 15 |
| Kömür daman kalınlığı (m) | 16 |
| Dilim şev açısı (°) | 50 |
| Kömür daman şev açısı (°) | 90 |
| Yığın kümesi şev açısı (°) | 32 |
| Malzeme kabarma faktörü (%) | 40 |
| Draglayn modeli | Page 752 |

Direkt döküm modeli sonuçlan, düşük eğim açılarında ODYD patemi ile en fazla 12 m, KDYD patemi ise 10 m derinliğe direkt döküm yapılabileceğini göstermektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek dilim genişliği aralıkları Çizelge 11'de sunulmuştur.

Enli dilim yönteminin uygulanması ile, düşük eğim açılarında 18 m- 19 m kalınlığa kadar pasanın dökülebileceği görülmektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek maksimum dilim genişliği ve yapılması gerekli tekrar kazı oranları Çizelge 12'de sunulmuştur.

Çizelge 11. Ekizköy ocağı için direkt döküm modeli sonuçları

| i (') | ODYDnatcmi | | | KDYDnatemi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H,(m) | \VYmın (m) | Wvmax (m) | H, (ın) | Wvmın (ın) | Wvma, (m) |
| 10 | 10 | 24,87 | 40,70 | 10 | 24,87 | 30,52 |
| | il | 27,00 | 39,57 | | | |
| | 12 | 28,26 | 32,78 | | | |
| 11 | !O | 25,12 | 39,96 | 10 | 25,12 | 26,26 |
| | il | 27,00 | 34,25 | | | |
| 12 | 10 | 26,00 | 36,88 | | | |
| | il | 27,66 | 28,82 | | | |
| 13 | !O | 26,75 | 31,40 | | | |
| 14 | - | | | | | |
| 15 | | | | | | |

Çizelge 12. Ekizköy ocağı için enli dilim modeli sonuçları

| i (°) | H, (m) | Wvmın (m) | P,, (%) | i {°) | H, (m) | \VYrrll.X (m) | r., (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 10 | 75,58 | 24,98 | 13 | 10 | 75,78 | 29,71 |
| | il | 74,83 | 27,51 | | il | 75.06 | 31,42 |
| | 12 | 74.09 | 29,92 | | 12 | 74.34 | 33,06 |
| | 13 | 73.35 | 32,23 | | 13 | 73.62 | 34,64 |
| | 14 | 72.61 | 34,46 | | 14 | 72.90 | 36,17 |
| | 15 | 71,86 | 36,63 | | 15 | 72,18 | 37,65 |
| | 16 | 71,12 | 38,74 | | 16 | 70,41 | 39.85 |
| | 17 | 70,38 | 40,80 | | 17 | 67,24 | 43.27 |
| | 18 | 69,64 | 42,83 | 14 | 10 | 75,85 | 30,16 |
| | 19 | 68,90 | 44.83 | | 11 | 75,13 | 31,58 |
| 11 | 10 | 75,65 | 27,02 | | 12 | 74.06 | 33,15 |
| | il | 74,91 | 29.28 | | 13 | 70.77 | 36,18 |
| | 12 | 74,18 | 31,44 | | 14 | 67,47 | 39,53 |
| | 13 | 73.44 | 33.51 | | 15 | 64.17 | 43.23 |
| | 14 | 72,71 | 35,52 | | 16 | 60.88 | 47.35 |
| | 15 | 71.97 | 37,48 | 15 | 10 | 71.65 | 32,37 |
| | 16 | 71.24 | 39,38 | | il | 68,33 | 35.50 |
| | 17 | 70,50 | 41,24 | | 12 | 65,02 | 38.98 |
| | 18 | 69,77 | 43,07 | | 13 | 61,71 | 42.84 |
| | 19 | 69,03 | 44,88 | | 14 | 58,40 | 47,16 |
| 12 | 10 | 75,72 | 28,62 | | | | |
| | il | 74,99 | 30,61 | | | | |
| | 12 | 74.26 | 32,52 | | | | |
| | 13 | 73,53 | 34,35 | | | | |
| | 14 | 72,81 | 36,13 | | | | |
| | 15 | 72,08 | 37,85 | | | | |
| | 16 | 71,35 | 39,54 | | | | |
| | 17 | 70,62 | 41,18 | | | | |
| | 18 | 69,89 | 42,80 | | | | |

### 3.5 Yeniköy Linyitleri İşletmesi Sekköy Ocağı

İşletmede bir adet kömür damarı bulunmakta olup, yükleyici-taşıyıcı yöntemi ile inceltme kazısı yapılmakta, takiben kömür üzeri draglayn ile açılmaktadır. Kömür eğimlidir. Uygulama, enli dilim yöntemi ile dilimin kazılıp, egım yukarı yığın kümelerinin oluşturulmasıdır.

Eğim yukarı direkt döküm ve enli dilim modelleri, ocaktaki kömür damarını temsil edecek belirli bir eğim aralığında, izin verilebilen dilim kalınlıklarının belirlenmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki girdi parametreleri ile çalıştırılmıştır (Çizelge 13).

Çizelge 13. Modellerde Ekizköy ocağı için kullanılan girdiler

| | |
|---|---|
| Kömür damarı eğim açısı (°) | 10-15 |
| Kömür damarı kalınlığı (m) | 15 |
| Dilim şev açısı (°) | 65 |
| Kömür damarı şev açısı (°) | 85 |
| Yığın kümesi şev açısı (°) | 33 |
| Malzeme kabarma faktörü (%) | 40 |
| Draglayn modeli | Page 752 |

Direkt döküm modeli sonuçları, düşük eğim açılarında ODYD patemi ile en fazla 14 m, KDYD patemi ise 12 m derinliğe direkt döküm yapılabileceğini gösteımektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek dilim genişliği aralıkları Çizelge 13'de sunulmuştur.

Enli dilim yönteminin uygulanması ile, düşük eğim açılarında 23 m-24 m kalınlığa kadar pasanın dökülebileceği görülmektedir. Kömür damarı eğimine karşılık gelen dilim kalınlığı aralıkları ve bu dilim kalınlıklarında korunabilecek maksimum dilim genişliği ve yapılması gerekli tekrar kazı oranları Çizelge 14' de sunulmuştur.

Çizelge 14. Sekköy ocağı için direkt döküm modeli sonuçları

| i (°) | ODYDnatemi | | | KDYDoatemi | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | H,(m) | Wvmm (m) | Wym:ıx (m) | H, (m) | Wvmm (m) | Wvm:.ıx (m) |
| 10 | 10 | 21,25 | 46,89 | 10 | 21,25 | 35,17 |
| | 11 | 21,25 | 44,76 | 11 | 21,25 | 28,78 |
| | 12 | 21,25 | 40,50 | 12 | 21,25 | 22,38 |
| | 13 | 21,25 | 34,10 | | | |
| | 14 | 21,25 | 26,64 | | | |
| 11 | 10 | 21.25 | 44,97 | 10 | 21,25 | 31,05 |
| | il | 21.25 | 41,75 | il | 21,25 | 24,62 |
| | 12 | 21,25 | 35,33 | | | |
| | 13 | 21,25 | 28,91 | | | |
| | 14 | 21,25 | 21,41 | | | |
| 12 | 10 | 21,25 | 43,00 | 10 | 21,25 | 26,88 |
| | il | 21,25 | 36,55 | 11 | 21,25 | 21,25 |
| | 12 | 21,25 | 30,10 | | | |
| | 13 | 21.25 | 23,65 | | | |
| 13 | 10 | 21,25 | 37,77 | 10 | 21,25 | 22,66 |
| | il | 21,25 | 31,30 | | | |
| | 12 | 21,25 | 24,82 | | | |
| 14 | 10 | 21,25 | 32,49 | | | |
| | 11 | 21,25 | 25,99 | | | |
| 15 | 10 | 21,25 | 27,17 | - | | |
| | il | 21,25 | 21,73 | | | |

Çizelge 15. Sekköy ocağı için enli dilim modeli sonuçları

| i (') | H, (m) | \VYın.ı, (m) | Prdı (%) | i (") | H, (m) | WYmJx (m) | Prdı (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | il | 76.90 | **23,90** | 13 | 10 | 77.39 | 83,03 |
| | 12 | 76.46 | 25.88 | | il | 76,95 | 83,03 |
| | 13 | 76,03 | 27,74 | | 12 | 76,52 | 83.03 |
| | 14 | 75.59 | 29,51 | | 13 | 76.09 | 83,03 |
| | 15 | 75,15 | 31,19 | | 14 | 75,23 | 82.60 |
| | 16 | 74.71 | 32,80 | | 15 | 72,31 | 80,l l |
| | 17 | 74,28 | 34.35 | | 16 | 69.51 | 77,74 |
| | 18 | 73,84 | 35,84 | | 17 | 66.59 | 75,26 |
| | 19 | 73,40 | 37.28 | | 18 | 63,68 | 72,77 |
| | 20 | 72,96 | 38.67 | | 19 | 60,76 | 70,29 |
| | 21 | 72,53 | 40,03 | | 20 | 57,85 | 67,81 |
| | 22 | 72,09 | 41.36 | 14 | 10 | 77.40 | 83,03 |
| | 23 | 71,65 | 42,65 | | ti | 75.34 | 81,40 |
| | 24 | 71,21 | 43,91 | | 12 | 72,42 | 78,91 |
| il | il | 76,92 | 25.30 | | 13 | 69,50 | 76,42 |
| | 12 | 76,49 | 27,05 | | 14 | 66,58 | 73,93 |
| | 13 | 76,05 | 28,69 | | 15 | 63,66 | 71.44 |
| | 14 | 75,61 | 30,26 | | 16 | 60,63 | 68,84 |
| | 15 | 75.18 | 31.75 | | 17 | 57,70 | 66,35 |
| | 16 | 74,74 | 33,17 | | 18 | 54.78 | 63,86 |
| | 17 | 74,31 | 34,54 | 15 | 10 | 70,13 | 75,75 |
| | 18 | 73,87 | 35,86 | | il | 67,09 | 73,14 |
| | 19 | 73,44 | 37,14 | | 12 | 64,16 | 70,64 |
| | 20 | 73.00 | 38,37 | | 13 | 61,23 | 68,14 |
| | 21 | 72,57 | 39,57 | | 14 | 58,31 | 65.64 |
| | 22 | 71.70 | 41,04 | | 15 | 55,27 | 63,03 |
| | 23 | 68,80 | 44,06 | | 16 | 52,34 | 60,53 |
| 12 | il | 76,94 | 83,03 | | | | |
| | 12 | 76.50 | 83,03 | | | | |
| | 13 | 76,07 | 83,03 | | | | |
| | 14 | 75,64 | **83,03** | | | | |
| | *lS* | 75,20 | 83,03 | | | | |
| | 16 | 74,77 | 83,03 | | | | |
| | 17 | 74,34 | 83,03 | | | | |
| | 18 | 73,04 | 82.17 | | | | |
| | 19 | 70.14 | 79,69 | | | | |
| | 20 | 67,34 | 77,33 | | | | |
| | 21 | 64,43 | 74,86 | | | | |

## 4 DEĞERLENDİRME

Örtükazı uygulamalarında, panolardaki kömür damarları; kıvrılmalara, bükülmelere ve faylara maruz kaldığından düzenli bir işletme planının nadiren takip edilebildiği saptanmıştır. Ayrıca tüm draglayn dilimlerinin kömür damarı doğrultusuna paralel olarak ilerlemesinden dolayı, kömür damarı eğimi doğrultuya dik yönde değişmektedir.

Bu nedenle mevcut draglayn panoları için çok sayıda dilim geometrisi tasarımı türetilmiştir. Tasarımı etkileyen asal parametre kömür damarı egımı olup, ocaktaki durumu temsil edecek şekilde eğim aralıkları belirlenmiştir.

Bu duıumda problem, belirli kömür eğiminde, hangi yöntem uygulandığında ne kalınlıkta dilimin mevcut draglayn ile kaldırılabileceği olarak belirmektedir. Dolayısıyla direkt döküm ve enli dilim modelleri aşağıdaki gibi çalıştırılmıştır:

### 4.1 Direk döküm modeli

Kömür damarının oldukça eğimli ve draglaynın da küçük kapasiteli olduğu durumlarda her kömür damarı eğimi için dilim kalınlığı değerleri 1 m' den başlatılmış ve model, ODYD ve KDYD patemlerinde direkt döküme izin verecek en yüksek kalınlık değerine kadar çalıştırılmıştır. Kömür damarının az eğimli ve draglaynın da büyük kapasiteli olması durumunda ise başlangıç dilim kalınlığı değerleri yükseltilmiştir.

Kömür damarı egımı arttıkça hem kazılabilecek dilim kalınlığı incelmekte heni. de dilimler daralmaktadır. Model, belirli bir dilim kalınlığında gerekli en dar dilim genişliği sağlanamadığında da, durmaktadır.

Yatay dilim genişliğindeki değişimin draglayn ve ocak boyutları üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle her iki döküm pateminde de aşağıdaki ilişkiler çıkartılmıştır:

a. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Kılavuz pozisyonunda gerekli çalışma yarıçapı, (Rkey)
b. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) Dilim pozisyonunda gerekli çalışma yarıçapı, (Rmain)
c. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Dilim uzunluğu, (Lcu1)
d. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) Dilim alanı, (Acut)
e. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Kılavuz pozisyonunda dönüş açısı, (13key)
f. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Dilim pozisyonunda dönüş açısı, (13main)

### 4.2 Enli dilim modeli

Modelde dilim kalınlığı, enli dilim yönteminin uygulanmasını gerektiren en ince değer ile başlatılmaktadır. Sözgelimi, TKİ-**BLİ** Orhaneli Ocağı'nda kullanılan draglayn'ın, 8°'lik kömür damarı eğimi için enli dilim yöntemini uygulaması için gerekli

en ince dilim 8 m'dir. Diğer bir deyişle, bu değerin altındaki kalınlıklarda direkt döküm uygulanabilir. Model, enli dilim uygulamasına izin veren en yüksek kalınlık değerine kadar çalıştırılmıştır. Yatay dilim genişliğindeki değişimin draglayn ve ocak boyutları üzerinde etkisi bulunmaktadır. Buna göre her iki döküm pateminde de aşağıdaki ilişkiler çıkartılmıştır:

a. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Kılavuz pozisyonunda gerekli çalışma yarıçapı, (Rkcy)
b. Yatay dilim genişliği, ($W_1$)- Dilim pozisyonunda gerekli çalışma yarıçapı, (Rmaiıı)
c. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Köprü genişliği (Wcb)
d. Yatay dilim genişliği, ($W_1$)- Tekrar kazı oranı ($P_{rch}$)
e. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Kılavuz pozisyonu açısından dilim uzunluğu, (Lscı)
f. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - En yüksek uzanım açısından dilim uzunluğu, (Lmax)
g. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Dilim alanı, (Acuı)
h. Yatay dilim genişliği, ($W_1$)- Kılavuz pozisyonunda dönüş açısı, (13kcy)
ı. Yatay dilim genişliği, ($W_1$) - Dilim pozisyonunda dönüş açısı, (13main)

## 5 SONUÇLAR

Bu çalışmada Ülkemizde bulunan kömür ocaklarında kullanılan draglaynların çalıştıkları panolar incelenmiştir.

Çalışma kapsamında üç adet draglayn örtü kazı modeli geliştirilmiştir. Modeller; yatımsız, eğim yukarı ve eğim aşağı olmak üzere üç farklı döküm patemine ait pano geometrisini analiz edebilmekte ve alternatif pano tasarımı sunabilmektedir. Ülkemizdeki tüm draglayn operasyonları direkt döküm ve enli dilim ile sınırlıdır. Aynca tüm ocaklarda eğim yukarı döküm yöntemi benimsenmiştir. Bu nedenlerden dolayı, geliştirilen pullback modeli kullanılmamış ve diğer iki modelin eğim yukarı tasarım bölümleri çalıştırılmıştır.

Modeller, tüm ocaklar için, halihazırdaki uygulamaya göre daha kalın dilimlerin draglayn ile alınabileceğine işaret etmektedir. Direkt döküm yönteminde dilim genişliği, İşletmenin tercihi doğrultusunda belirlenebilir. Enli dilim yönteminde de dilim genişliğinin bir aralıkta verilmiş olmasına rağmen, yöntemin doğası gereği en geniş dilim tercih edilmelidir. Belirli bir dilim kalınlığına karşı dar dilimlerin seçilmesi durumunda, draglayn mutlaka kepçenin istenen yerde boşaltılmasına izin veren bir mekanizma ile teçhiz edilmiş olmalıdır. Bunun dışındaki durumlarda kepçe, bom makarası izdüşümüne dökülecektir ki, bu da en geniş dilime işaret etmektedir.

## KAYNAKLAR

Erdem, B, 2003. *Türkiye 'deki Açık Kömür İşletmelerinde Uygulanan Dragline Örtü Kazı Sistemlerinin İncelenmesi ve Dragline Veriminin Artırılmasının Araştırılması,* Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Sonuç Raporu, Sivas, 60 s.

## EK-1 MODELLERDE KULLANILAN SEMBOLLER

Direkt yana döküm modelinde kullanılan boyutlar aşağıda verilmiştir.

AKs : Kılavuz yığın alanı, ($m^2$) . Kılavuz yığınının düşey düzlemdeki kesit üzerindeki alanıdır. Model tarafından hesaplanmaktadır.

Ascı : Set alanı, ($m^2$ Draglaynın bir have ilerleme yapabilmesi için kazması gereken toplam pasa alanı (Wy x Lscı), Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

DRk : Kılavuz konumunda mevcut çalışma yarıçapı, (m). Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmakta olup, gerekli yarıçapa eşittir. Diğer bir deyişle model, pano boyutlarını kılavuz konumunda gerekli ve mevcut boyutlara göre belirlemektedir.

DRın : Dilim konumunda mevcut çalışma yarıçapı, (m). Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

He : Kömür damarı kalınlığı, (m). Model, kömür damarı kalınlığını taban yüzeyine dik doğrultu üzerinde almaktadır. Girdi parametresidir.

$H_0$ : Dilim kalınlığı, (m). Model, dilim kalınlığını kömür damarına dik doğrultu üzerinde almaktadır. Şekil 3'ten de görüleceği üzere kılavuz kazı sırasında, özellikle fazla eğimli kömür damarı varlığında dilim oldukça derinleşebilmektedir. Model, kazı derinliği kontrolü yapmaktadır. Girdi parametresidir.

Hsp : Yığın tepesi yüksekliği, (m). Oluşan yığın kümesinin kömür damarı tabanına dik mesafesidir. Düşey düzlem üzerinden ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

: Kömür damarı eğimi, ($^0$) . Model, draglayn ilerleme eksenini kömür damarı doğrultusu (strike-line mining) boyunca almaktadır. Doğrultu boyunca eğimin olmadığı kabul edilmiştir. Girdi parametresidir.

LK,p : Kılavuz yığın tepesi mesafesi, (m). Kılavuz yığınının kömür damarı tabanından olan mesafesidir. Yatay düzlem üzerinden ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

L,b : Geri durma mesafesi, (m). Model, draglaynın kazı sırasında aynaya doğru yaklaşmasını engellemiş ve yalnızca yanal yürümelere (kılavuz dilim) ızın verecek şekilde tasarımlanmıştır. Bu nedenle aynaya olan emniyet mesafesi kısa tutulmuştur (¾ x tabla çapı). Model tarafından, göbek milinden itibaren yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

L,d : Emniyet mesafesi, (m). Draglayn dilim konumundayken şeve yaklaşabileceği en yakın konumu belirlemektedir (¾ x tabla çapı). Model tarafından, göbek milinden itibaren yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lscı : Set uzunluğu, (m). Draglaynın bir dizi oturma konumu aracılığıyla kazdığı seti belirleyen ve draglayn ilerleme ekseni boyunca ölçülen mesafe. Kılavuz ve dilim oturma konumları bakımından üç adet set uzunluğu (Lscık, Lseımı, Lseım2) belirlenmekte ve draglaynın kazı aynasının en alt noktasına erişebilmesi bakımından, bunların en kısa olanı set uzunluğu olarak alınmaktadır. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lseık : Kılavuz konumu bakımından set uzunluğu, (ın). Draglaynın bir dizi oturma konumu aracılığıyla kazdığı seti belirleyen ve draglayn ilerleme ekseni boyunca ölçülen mesafe. Buna göre draglayn, kılavuz pozisyonundan kanalın en alt noktasına erişecek şekilde belirlenmektedir. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lseımı : Dilim konumu bakımından ilk set uzunluğu, (m). Draglaynın bir dizi oturma konumu aracılığıyla kazdığı seti belirleyen ve draglayn ilerleme ekseni boyunca ölçülen mesafe. Buna göre draglayn dilim pozisyonundan, dilimin en sağdaki en alt uç noktasına erişecek şekilde belirlenmektedir. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lseım2: Dilim konumu bakımından ikinci set uzunluğu, (m). Draglaynın bir dizi oturma konumu aracılığıyla kazdığı seti belirleyen ve draglayn ilerleme ekseni boyunca ölçülen mesafe. Buna göre draglayn dilim pozisyonundan, dilimin en soldaki en alt uç noktasına erişecek şekilde belirlenmektedir. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lsp : Yığın tepesi mesafesi, (m). Oluşan yığın kümesinin kömür damarı tabanından olan mesafesidir. Yatay düzlem üzerinden ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

RRk : Kılavuz konumunda gerekli çalışma yarıçapı, (m). Kılavuz yığınının kömür damarına tırmanmaması ıçın yeterli mesafeye dökülmesi için gerekli uzunluk. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

RRm : Dilim konumunda gerekli çalışma yarıçapı, (m). Oluşacak yığın kümesinin kömür damarına tırmanmaması için yeterli mesafeye dökülmesi için gerekli uzunluk. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

W : Dilim genişliği, (m). Kömür taban yüzeyine paralel doğrultu üzerinde alınmaktadır. Model tarafından hesaplanmaktadır.

WKup: Kılavuz ağız genişliği, (m). Modelde, kılavuz dilimden kazılan pasa miktarını hesaplamak

için kullanılmaktadır. Ancak derin dilim ve yüksek eğimli kömür damarı varlığında çok genişleyebilmektedir. Model, genişlik kontrolü yapmaktadır ve en yüksek değeri 0,6xWv olarak belirlenmiştir.

Wv : Yatay dilim genişliği, (m). Draglayn dilimi düzlemine paralel olarak yatay düzlem üzerinde alınmaktadır. Model tarafından hesaplanmaktadır.

<Pe : Kömür damarı şev açısı, ($^0$ ).Yatay düzlemden itibaren ölçülmektedir. Girdi parametresidir.

<Pcr : Kazı aynası şev açısı, ($^0$) . Yatay düzlemden itibaren ölçülmektedir. Modelde 45° olarak alınmaktadır.

<Pks : Kılavuz duvar açısı, ($^0$).Yatay düzlemden itibaren ölçülmektedir. Modelde, kılavuz dilimden kazılan pasa miktarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Başlangıçta dilim şev açısına eşit alınmaktadır ancak gerekli durumlarda 85°'ye kadar dikleştirilebilmektedir.

cl)$_0$ : Dilim şev açısı, ($^0$) . Yatay düzlemden itibaren ölçülmektedir. Girdi parametresidir.

PK : Draglaynın kılavuz pozisyonundan döküm için kullandığı ortalama dönüş açısı, ($^0$) . Model, en küçük ve en büyük dönüş açılarının ortalaması olarak hesaplamaktadır.

PKmax : Draglaynın kılavuz pozisyonundan döküm için kullandığı en büyük dönüş açısı, ($^0$) . Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

PKmin : Draglaynın kılavuz pozisyonundan döküm için kullandığı en küçük dönüş açısı, ($^0$) . Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

PM : Draglaynın dilim pozisyonundan döküm için kullandığı ortalama dönüş açısı, ($^0$) . Model, en küçük ve en büyük dönüş açılarının ortalaması olarak hesaplamaktadır.

PMrnax: Draglaynın köprü ve dilim pozisyonundan döküm için kullandığı en büyük dönüş açısı, ( $^0$) . Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

PMrnin : Draglaynın köprü ve dilim pozisyonundan döküm için kullandığı en küçük dönüş açısı, ( $^0$) . Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

8y : Yığın kümesi şev açısı, ($^0$) . Yatay düzlemden itibaren ölçülmektedir. Girdi parametresidir.

Enli dilim modelinde kullanılan boyutlar aşağıda verilmiştir.

#s.pos : Dilim içerisinde draglayn oturma konumu adedi. Model tarafından hesaplanmaktadır.

Aexı : Dilimin genişleyen kesiminin alanı, gevşek ($m^2$) . Kılavuz kanalının düşey düzlemdeki kesit üzerindeki alanının malzeme kabarma faktörü ile çarpımına eşittir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

: Kılavuz yığın alanı, gevşek ($m^2$) . Dilimi genişletmek için kılavuz kazı yapılması gerekli miktarı tanımlamaktadır. Kılavuz kanalının düşey düzlemdeki kesit üzerindeki alanının gevşetilmiş şekline eşittir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

A,cıı : Genişletilen dilimin tekrar kazılması gereken kesiminin alanı, gevşek ($m^2$) . Model tarafından hesaplanmaktadır.

Asp : Yığın alanı, ($m^2$) . Dilim içerisindeki tüm malzemenin (gevşek) düşey düzlem üzerinde yığın kümesi içerisindeki alanını göstermektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

B.Pat: Dilim genişleme patemi. Model tarafından belirlenmektedir.

Dımı(i) : Draglayn oturma konumları arasındaki mesafe, (m). Model, konum adedini ve bunlar arasındaki mesafeyi yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

DKey : Kılavuz konumunda mevcut çalışma yarıçapı, (m). Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmakta olup, gerekli yarıçapa eşittir.

DMain : Dilim konumunda mevcut çalışma yarıçapı, (m). Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lrnin : Gerekli en kısa set mesafesi, (m). Draglaynın özellikle köprü üzerinde uygun şekilde konumlanması ıçın gerekli mınımum uzunluk. Model tarafından atanmaktadır.

Lkcy : Kılavuz konumu bakımından set uzunluğu, (m). Draglayn kılavuz pozisyonundan, kanalın en alt noktasına erişeceği şekilde belirlenmektedir. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lmax : Dilim konumu bakımından set uzunluğu, (m). Draglayn dilim pozisyonundan, köprünün en soldaki en alt uç noktasına erişecek şekilde belirlenmektedir. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Lse, : Set uzunluğu, (m). Draglaynın bir dizi oturma konumu aracılığıyla kazdığı seti belirleyen ve draglayn ilerleme ekseni boyunca ölçülen mesafe. Minimum, kılavuz ve dilim oturma konumları bakımından üç adet set uzunluğu (Lmin, Lkey, Lmax) belirlenmekte ve draglaynın kazı aynasının en alt noktasına erişebilmesi bakımından, bunların en kısa olanı set uzunluğu olarak alınmaktadır. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Prch : Tekrar kazı yüzdesi, (%). Draglaynın yapması gereken mükerrer dekapajı gösterınektedir. Model tarafmdan hesaplanmaktadır.

RKcy : Kılavuz konumunda gerekli çalışma yarıçapı, (m). Dilim genişliğini de belirleyen bu boyut, kılavuz pasasının kömür damarı dibine döküleceği şekilde model tarafmdan yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

RMain : Dilim konumunda gerekli çalışma yarıçapı, (m). Oluşacak yığın kümesinin kömür damarına tırmanmaması için yeterli mesafeye dökülmesi için gerekli uzunluk. Model tarafından yatay düzlem üzerinde hesaplanmaktadır.

Walktype: Setler arasında yurume patemi. Diyagonal ya da segment olarak model tarafından belirlenmektedir.

Wbı : Kılavuz ayak genişliği, (m). Modelde, kılavuz dilimden kazılan pasa miktarını hesaplamak ıçm kullamlmaktadır. Başlangıçta kepçe genişliğine eşittir. Ancak uzun köprülerin gerektiği durumlarda, genişlemektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

Wcb : Dilimin genişleme miktarı, (m). Dilim konumunda mevcut ve gerekli çalışma yarıçapları göz onune alınarak model tarafmdan hesaplanmaktadır.

Wup : Kılavuz ağız genişliği, (m). Modelde, kılavuz dilimden kazılan pasa miktarmı hesaplamak ıçın kullamlmaktadır. Model, genişlik kontrolü yapmaktadır ve en yüksek değeri Wy olarak belirlenmiştir.

Wı : Yatay dilim genişliği, (m). Draglayn dilimi düzlemine paralel olarak yatay düzlem üzerinde almmaktadır. Model tarafından hesaplanmaktadır.

PKı ı : Lkey > Lmin durumunda draglaynm kılavuz pozisyonundan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı ortalama dönüş açısı, ($^{o}$). Model, en küçük ve en büyük dönüş açılarımn ortalaması olarak hesaplamaktadır.

PKmaxıı: Lkey > Lmin durumunda draglaynm kılavuz pozisyonundan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı en büyük dönüş açısı, ($^{o}$). Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafmdan hesaplanmaktadır.

PKminI ı : Lkcy > Lmin durumunda draglaynm kılavuz pozisyonundan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı en küçük dönüş açısı, ($^{o}$). Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafından hesaplanmaktadır.

PK12 : Lkey < Lmin durumunda draglaymn kılavuz pozisyonundaki ikinci konumdan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı ortalama dönüş açısı, ($^{o}$). Model, en küçük ve en büyük dönüş açılarınm ortalaması olarak hesaplamaktadır.

0Kmaxl2: Lkcy < Lmin durumunda draglaynm kılavuz pozisyonundaki ikinci konumdan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı en büyük dönüş açısı, ($^{o}$). Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafmdan hesaplanmaktadır.

0Kminl2: Lkcy < Lmin durumunda draglaynın kılavuz pozisyonundaki ikinci konumdan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı en küçük dönüş açısı, ($^{o}$). Yatay düzlem üzerinde ölçülmektedir. Model tarafmdan hesaplanmaktadır.

PM : Draglaynm köprü ve dilim pozisyonundan kazdığı pasayı dökmek için kullandığı ortalama dönüş açısı, ($^{o}$). Model, en küçük ve en büyük dönüş açılarınm ortalaması olarak hesaplamaktadır.

# Doğal Taş Madenciliğinde Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Performansı

## *Performance ofChain Saw Machines used in Natura! Stone Quarrying*

H. Çopur, C. Balcı, N. Bilgin, D. Tumaç & İ. Düzyol
*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul*

N. Kekeç
*Yüksek Maden Mühendisi, Portsan Mermer ve Traverten A.Ş., Bucak, Burdur*

**ÖZET** Bu çalışmada, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenen bir projenin ön sonuçları sunulmaktadır. Öncelikle, Türkiye doğal taş endüstrisinin durumu özetlenmektedir. Daha sonra, Burdur'da bulunan Portsan Mermer A.Ş.'nin Çamlık Traveıien ocağında kullanılan bir zincirli kesme makinesinin arazideki net kesme hızı ve keski aşınmaları özetlenmektedir. Ocaktan alınan blok traverten numuneleri üzerinde kazılabilirliği belirlemek ve zincir ile kesme işlemini deterministik olarak simule etmek amacıyla laboratuarda bir seri tam boyutlu doğrusal kesme deneyi ve fiziksel-mekanik özellik deneyleri yapılmıştır. Kesme deneylerinde, zincirli kesme makinelerinde kullanılan keskilere benzer keskiler kullanılmıştır. Etkileşimsiz olarak yapılan kesme deneyleri sonucunda, keskilere gelen kuvvetler ve birim hacimdeki kayayı kesmek için gereken spesifik enerji değerleri elde edilmiştir. Tam boyutlu kesme deneyleri ile belirli bir kaya örneği için makinenin tork ve baskı kuvvetini minimize eden ve böylece makinenin perforınansını aıitıran optimum kesme düzeni belirlenebilir.

**ABSTRACT** Preliminary results ofa project supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council ofTurkey) are presented in this paper. Turkey's natural stone industry is firstly summarized. The field net cutting rate and tool wear rate ofa chain saw used in Çamlık Travertine Quarry of Portsan Marble Co located in Burdur is summarized. Block travertine samples are obtained from the quarry to perform a set of full-scale laboratory linear rock cutting tests using tools similar to chain saw cutting tools to deterministically simulate the chain cutting action and determine sample cuttability, in addition to some physical and mechanical property tests. Full-scale laboratory linear rock cutting tests performed in unrelieved cutting mode result in tool forces and specific energy to cut a unit volume of rock. Full-scale cutting tests can be used to define optimum cutting configuration for a certain stone type by reducing torque and thrust requirement of the machine, thus increasing machine perforınance.

## 1 GİRİŞ

Doğal taş endüstrisi tüm dünyada sürekli gelişim göstermektedir. Buna paralel olarak, sektörle ilgili teknolojiler de gelişmektedir. Günümüzde traverten gibi yumuşak doğal taşlardan blok çıkarma konusunda önemli bir problem yoktur. Ancak, mermer ve granit gibi orta sert ve sert taşlardan blok çıkarmakta problemlerle karşılaşılmaktadır. Problemler temel olarak düşük kesme hızları ve yüksek kesici eleman aşınmalarıdır. Bu nedenle sektör teknolojik gelişmelere açıktır.

Zincirli kesme makineleri düşük veya orta dereceli aşındırıcı olan mermer ve traverten

gibi yumuşak ve orta sert doğal taşların, hem açık ocaklarda hem de yeraltı ocaklarında blok olarak çıkarılmasında ve sayalama amacı ile kullanılabilirler._ Eln:ıas bo c ldu tel kesme makineleri ıle bırlıkte kullanıldıklarında (bu yaygın şeklidir) ocak traverten açık ocağında kullanılan elmas boncuklu tel kesme makinelerin n aşağıda özetlenen avantajlarıdır:

- Özellikle 6-7 m'den yüksek bas elmas boncuklu tel kesme gerekeken delik sayısın:azalta işçilikten tasarruf saglar. Dıger delik çakıştırma problemini ortadan kaldırır.
- Yeni bir basamağa yatay veya düşey olarak kolaylıkla giriş yapabildikleri ve üçgen kesme işlemini ortadan kaldırdıkları ıçın üretim ve zaman kayıplarını azaltır a:.
- Doğrndan satılabilir ürün çıkarabılırler.
- Oldukça düzgün yüzeyler oluşturdukları için mükemmel çalışma ortamı oluşturnrlar.

Madenciler genellikle, s tın . ldı : rı standaıi bir zincirli kesme makınesını degışık taşları kesmek için kullaı_ıı lar_. _Oysaki, az mekaniği biliminden çok ıyı bı ınmektedır kı taşın cinsi değiştiğind optımum kesme koşulları da değişmektedır. Bu nedenle, daha yüksek verim alabilmek için, değişik t şları kesiminde keskilerin zincir üzerındekı konumlandırılması ya da dizilimleri de ona göre tasarlanmalıdır. _Bu_ m inel rin kesme hızlarındaki herhangı bır ıyileştırme, daha sert taşların kesilebilmesi. vey daha uzun kesme kollarının kullanılabılmesı durnmunda sekt _rd karlılık da artacaktır. .

TUBITAK tarafından desteklene bır projenin ilk sonuçlarının ye . aldıgı bu çalışmanın, doğaltaş endü_str sı:ıde blok çıkarmakta kullanılan zıncırlı kesme makinelerinin verimlerini arttırı n:ıasında ve bu makinelerde teknoloJık yenılıklere. yol açabilecek bilgi sağlaması beklenmektedır.

## 2 TURKIYE DOGAL TAŞ ENDUSTRISI

Doğal taş kullanımı özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra tüm dünyada hızla artmıştır ve bu artış günümüzde de devam etmektedir. Bu konudaki ivmelenme, Türkiye'de özellikle 1980'li yıllardan sonra belirginleşmiştir. Bu gelişmenin temel nedeni doğal taşların eski "Doğal Taşlar Kanun " kapsamından çıkarılarak 3213 sayılı maden kanunu kapsamına _alınn:ıasıdır. Ayrıca, bu dönemde dünyadakı gelişmeler yakından takip edilmiş ve doğal taş madencileri elmas boncuklu tel kesme yöntemını uygulamaya başlamışlardır, (Yüzer, 2005). . .

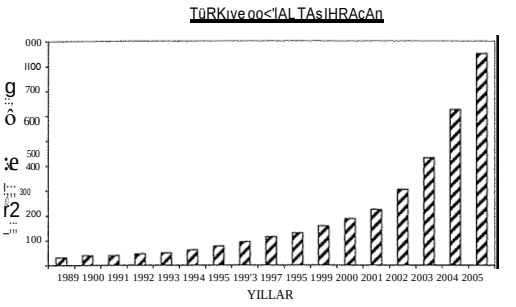
Türkiye, kristalin kalkerlı taşlar, kıreçta ı, traverten, konglomera, breş, kumtaşı, granıt, siyenit, diyabaz ve serpantin gibi eşitli renk ve desenlerde toplam 7,6 mılyon ton blok çıkarılabilir ve muhtemel rezerve sahiptir. Bu rezerv geliştirıne çalışmaları da devam etm kt dir..

Türkiye'nin dünya doğal taş üretımın?ekı payı yaklaşık %8 civarındadır ve bu üretımle dünya sıralamasındaki yeri 5 ile 1O arasında değişmektedir. 2003 yılında dünya oğaltaş üretimi yaklaşık 75 milyon ton cıvarında olmuştur ve bunun 6 milyon tonu Türkiye tarafından üretilmiştir. Türkiye'nin plaka üretim kapasitesi yaklaşık 13 milyon m²'dir.

Dünyadaki üretim doğrnsal olarak artış gösterirken, Türkiye'de bu artış üstel niteliktedir. üretimin tamamı özek sektör tarafından 750 civarında açık ocaktan ve 1000 kadar fabrikadan sağlanmaktadır. Sektörün istihdamı 60000 kadardır, (TMMO, 2007).

Türkiye'nin maden ihracatının yaklaşık% 60'ı doğal taş endüstrisinden, bunun da % 50'den fazlası travertenden sağlanmaktadır. Dünya doğal taş ticaretinin yaklaşık %4'ü Türkiye'ye aittir ve dünya sıralamasıı_ıda bu konuda 4.'dür. Türkiye'nin doğal taş ıhracat değerleri Şekil 1'de özetlenmiştir. . _

Sektördeki göstergeler, Türkıye'nın doğaltaş endüstrisinde atılımlarının hız_la devam ettiğini ve edeceğini göstem1ektedır. Bu konuda tüm kurnm-kuıuluş ve şahıslar üzerine düşen görevleri yerine getirmektedir.




Şekil 1. Türkiye'nin doğal taş ihracatı

## 3 PERFORMANS PARAMETRELERİ

Bir zincirli kesme makinesinin performansı ocağın jeolojik ve jeoteknik özellikleri, kullanılan makinenin özellikleri (mekanik) ve ocağın işletme parametrelerine bağlıdır.

Jeolojik ve jeoteknik parametreler, yatağın kütlesel özellikleri ve taşın fiziksel ve mekanik özelliklerini içerir. Çatlak set sayısı ve aralığı, yatağın doğrultu ve eğimi, yataklanma ve foliasyon gibi parametreler yatağın kütlesel özellikleridir. Taşın kesilebilirliği, mekanik dayanım özellikleri (basınç, çekme, elastisite vb.), aşındırıcılık, doku ve petrografik parametreler taşın fiziksel ve mekanik özellikleridir.

Kesme derinliği, kesme açısı, kesme uzunluğu, zincir dönme hızı, kuru veya sulu kesim, yatay veya düşey kesim, yağlama, işçilerin kalitesi ve bulunabilirliği, malzeme bulunabilirliği gibi parametreler işletme parametrelerini oluşturur.

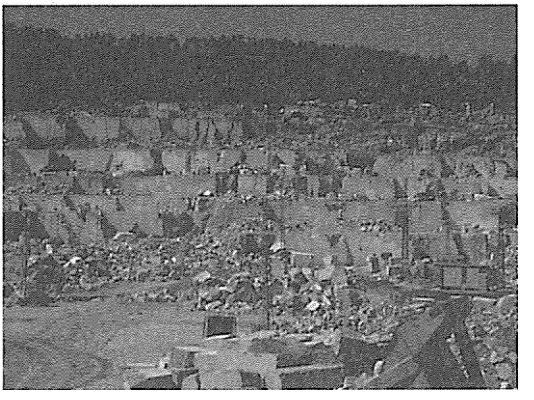
Makinenin güç-tork-baskı kapasitesi, kol uzunluğu, kesme genişliği, keskilerin zincir üzerindeki dizilimleri ve keskilerin metalürjik ve geometrik özellikleri makine ile ilgili mekanik parametrelerdir.

## 4 PORTSAN MERMER A.Ş.

İnceleme, gözlem ve numune almak için Portsan Mermer A.Ş.'nin Burdur'un Bucak ilçesinde yer alan Çamlık Traverten Ocağı ziyaret edilmiştir. Ocağın genel görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

Üretimin çoğu şirketin kendi ocaklarından sağlanmakla birlikte başka şirketlerden diğer türdeki doğal taşlar da satın alınarak işlenmektedir. Şirket, çeşitli yüzey işleme tekniklerini kullanarak plaka, fayans, mozaik, bordür, göbek, çubuk ve isteğe bağlı ürünler üretmektedir. Şirketin 2006 yılı üretimi Tablo 1'de özetlenmiştir.

Şirketin yıllık plaka üretim kapasitesi 800000 $m^2$ ve fayans-mozaik üretim kapasitesi 600000 $m^2$' nin üzerindedir. Şirketin yıllık traverten blok üretim kapasitesi 60000 $m^3$'dü r. Aynca, Portsan ocaklarından çıkan yan ürünler (moloz veya verımı düşük bloklar) fason olarak kestirilmektedir. Strip olarak kesilen bu ürünler fabrikada bulunan 3 adet fayans hattını büyük ölçüde beslemektedir. Toplam olarak 15 ST makinesi Portsan Mermer'e fason kesim yapmaktadır. Üretilen traverten ve mermerlerin %70-80'i yurtdışına ve diğerleri iç piyasaya satılmaktadır.



Şekil 2. Portsan AŞ Çamlık Traverten Ocağı

Tablo 1. Portsan Mermer A.Ş.'nin 2006 yılı üretimi

| Ürün Adı | Miktarı ($m^2$) | Adet |
|---|---|---|
| Plaka | 45 442 | |
| Fayans | 590 327 | |
| Mozaik | 23 379 | |
| Bordür | 2 525 | 63675 |
| Çubuk (mouldings) | 200 | 30000 |
| Göbek (madolyon) | 400 | 425 |
| Toplam | 662 273 | |

Ocakta üretilen traverten krem (bej) ve beyaz renklerdedir. Jeolojik yapı kil ara tabakalıdır ve güneybatı - kuzeydoğu doğıultulu dikeye yakın çatlak sistemi vardır. Çatlaklar arası mesafe ~10 m'dir.

Ocakta blok çıkarırken, önce bloğun arka yüzeyi Fantini MOD70 RA/P-S marka bir zincirli kesme makinesi ile kesilmektedir. Daha sonra, 1O cm çapında bir yatay delik delinerek, düşey yan yüzey elmas boncuklu tel kesme makineleri ile kesilir. Bloğun alt yüzeyi genellikle kesilmez, yumuşak kil ara tabakasından doğıudan devirme işlemi gerçekleştirilir. Devirme işlemi Titano ile yapılmaktadır. Ancak, kil ara tabakasının olmadığı duıumlarda zincirli kesme makinesine maksimum uzunluğu 3,40 m olan kısa bıçak (kol) takılarak alt yatay yüzey kesimi de yapılmaktadır. Kesimler kum olarak yapılmaktadır. Çamlık Traverten Ocağı'nda blokların yüksekliği 6-6,5 m, genişliği 3,0-3,2 m ve uzunluğu 15-20 m'dir. Devrilen bloklar daha sonra, ocakta elmas boncuklu tel kesme makineleri ile daha küçük bloklar haline getirilir. Ocağın genel blok verimi %15-20 arasındadır.

Ocakta yaklaşık 120 işçi istihdam edilmektedir. Kışın günde 8 saatlik bir vardiya, yazın 2 vardiya ve haftada 7 gün düzeninde çalışılmaktadır. Kışın yaklaşık 2 ay ocakta çalışma yapılmaz.

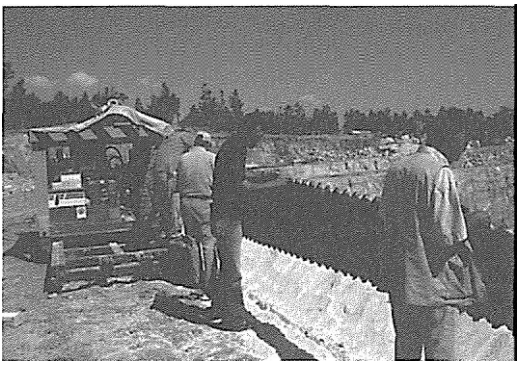
## 5 FANTİNİ MOD70 RA/P-S MARKA ZİNCİRLİ KESME MAKİNESİNİN ARAZİ PERFORMANSI

Portsan traverten ocağında kullanılan zincirli kesme makinesi Haziran 2006 tarihinde çalışmaya başlamıştır. O günden bu güne makine iyi bir şekilde çalışarak ocağın genel blok üretim verimini arttırmıştır. Makinenin teknik özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir ve bir fotoğrafı Şekil 3'de verilmektedir.

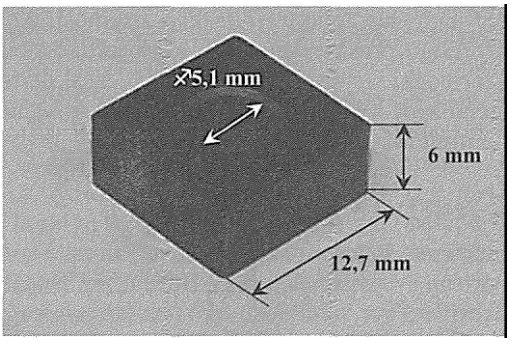
Keskiler sekiz kenarı kullanılabilen, kenar uzunluğu 12,7 mm ve kalınlığı 6 mm olan kare prizmadır (Şekil 4). Ortasındaki 5,1 mm çapındaki delikten keski tutucuya (pabuç) cıvata ile bağlanır. Keski tutucu, uzunluğu 12 cm olan baklaya (soket) cıvatalanır.

Ta,blo 2. Fantini MOD70 RA/P-S teknik özellikleri (Fantini, 2005)

| | |
|---|---|
| Ağırlık | 10 ton |
| Voltaj | 380V |
| Toplam kurulu güç | 55kW |
| Maksimum bıçak (kol) uzunluğu | 740cm |
| Maksimum bıçak kesme açısı | 80° |
| Bıçak kesme genişliği | 38mm |
| Maksimum zincir dönüş hızı | 0,9 *mis* |
| Maksimum araba ilerleme hızı | 13 cm/dak |
| Maksimum gres tankı kapasitesi | 30 $dm^3$ |
| Maksimum zincir dönme basıncı | 240 bar |
| Maksimum araba ilerleme basmcı | 50 bar |
| Toplam pabuç (soket) sayısı | 146 soket |
| Toplam keski adedi | 179 keski |
| Kullanılan keski markası-modeli | Sandvik CT30 |
| Maksimum kol dönüs açısı | 360° |



Şekil 3. Fantini MOD70 RA/P-S Portsan Traverten Ocağı'nda (keski değişimi)

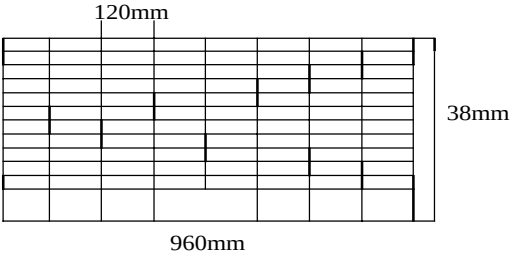



Şekil 4. Fantini MOD70 RA/P-S zincirli kesme makinesinde kullanılan keski

Bir keski serisi (set), uzunluğu 96 cm olan toplam 8 adet soketten oluşmaktadır (Şekil 5). İlk 5 soketin her birinde birer adet keski, son 3 sokette ise ikişer adet keski yerleştirilmiştir. Bir setteki keski sayısı 11'dir. Keskiler arası mesafe ve kesme profili üzerinde keski seviyeleri konuma göre değişiktir. Toplam zincir uzunluğu 1752 cm'dir ve 18,25 keski seti içermektedir. Makine üzerinde toplam 146 adet soket ve 179 adet keski bulunmaktadır. Keskilerin kesme açıları -10°'<lir.

Haziran 2006 tarihinde çalışmaya başlayan makinenin o günden bu güne kadar ortalama performansı ocak kayıtlarına göre Tablo 3'de özetlenmektedir.

Net kesme hızı uzun bıçakla yapılan düşey kesimlerde, kısa bıçak kullanılan yatay kesimlere göre daha yüksektir. Benzer şekilde, beyaz travertendeki kesim hızlan bej travertene göre hem yatay hem düşey kesimlerde daha yüksektir.




Şekil 5. Bir keski setinin kesme düzeni

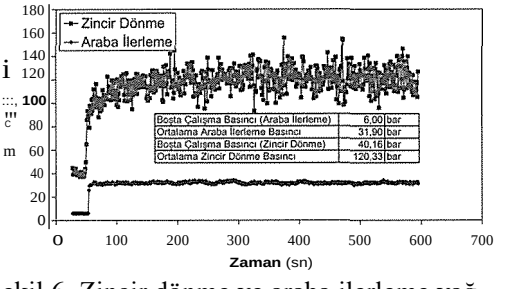
Tablo 3. Fantini MOD70 RA/P-S zincirli kesme makinesinin arazi performansı

| Formasyon | Yatay Kesimde (Kısa Bıçak) Net Kesme Hızı (m2ısaat) | Düşey Kesimde (Uzun Bıçak) Net Kesme Hızı (m²/saat) |
|---|---|---|
| Beyaz Traverten | 5-7 | 8 - 11 |
| Bej Traverten | 5-7 | 10 - 13 |
| Genel Ortalama | 5,7 | 11,0 |
| Ortalama Keski Sarfı atı | 0,166 keski/m² | 0,448 keski/m² |
| Kesme Derinli'i | 3,2m | 6,2m |

ilk 4 soketteki keski aşınmaları diğerlerine göre daha fazla olmaktadır. Daha sonra gelen iki soketteki aşınmalar daha az ve son iki soketteki aşınmalar en az düzeydedir. Keskilerin farklı aşınmaları nedeniyle köşe döndürme işlemi genellikle ilk 5 soket iki kez döndürüldükten sonra son üç soket bir kez döndürülüyor. Kırılan keskiler ise tespit edildiği an değiştirilmektedir. Keski kırılması en çok 1. ve 8. soketteki keskilerde olmaktadır. Keski değiştirme işi 2 işçi tarafından ortalama 1 saatte yapılmaktadır.

Gres yağı tankı kapasitesi 30dm³' tür. Uzun bıçakla dikey kesim yaparken yani 75° bıçak eğiminde ve 6,2 m kesme derinliğinde kesim yaparken 20-25 m ilerleme sonunda bu yağın tamamı tüketilmektedir.

Bu çalışmanın yazarları tarafından arazide Fantini MOD70 RA/P-S zincirli kesme makinesinin performansı incelenmiştir. Beyaz travertende yapılan cihazlı ölçümler esnasında ocak sınırında basamak düzenleme işi yapıldığından basamak yüksekliği ve kesme derinliği 4,5 m'ydi ve uzun bıçak kullanılıyordu. Optik takometre ile ölçülen zincir dönme hızı 0,6 m/s ve şerit metre-kronometraj ile ölçülen araba ilerleme hızı 180 cm/saat olarak bulunmuştur. Buna göre net kesme hızı 8,1 m²/saat olarak hesaplanmıştır. Pensometre ile yapılan güç ölçümü 22,6 kWh değer vermiştir. Basınç transdüserleri ile ölçülen araba ilerleme ve zincir dönme yağ basınçları sırasıyla 31,90 bar ve 120,33 bar olmuştur (Şekil 6). Makine boşta çalışırken aynı parametreler sırasıyla 6,00 bar ve 40,16 bar olarak ölçülmüştür.



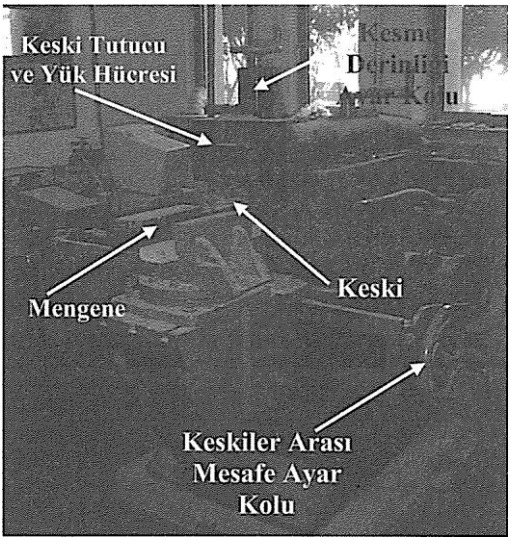

Şekil 6. Zincir dönme ve araba ilerleme yağ basınçları

## 6 TAM BOYUTLU D GRUSAL KESME DENEYLERi

### 6.1 Deneysel Ekipman ve Parametreler

Deneylerde kullanılan kesme makinesi, orijinal olarak Fowell (1976) ve McFeat-Smith (1977) tarafından geliştirilen makinenin benzeri olan bir torna tezgahıdır (Şekil 7). Orijinaline "karot kesme makinesi" veya "küçük ölçekli doğrusal kesme makinesi" denmesine rağmen, bu çalışmada zincirli kesme makinelerinde kullanılan keskilerin benzeri keskiler ve blok numuneler kullanıldığından "tam boyutlu doğrusal kesme makinesi" denmiştir.

Deney aletinin kesme stroğu yaklaşık 70 cm'dir. 30 x 30 x 20 cm boyutundaki blok taş numuneleri makinenin tablasında bulunan ve aşağı-yukarı-yanlara hareket edebilen bir mengeneye sabitlenir. Keskiler arası mesafe yanal hareket ile ayarlanır. Numune, yatağın konumuna göre istenilen doğrultu ve eğim açısıyla yerleştirilebilir ve böylece gerçek kesme koşulları simule edilebilir.




Şekil 7. Deneylerde kullanılan tam boyutlu doğrusal kesme makinesi, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü

Keski, keski kuvvetlerini ölçen ve üzerinde birim defom1asyon ölçer k,öprülerinin olduğu 1O ton kuvvet kapasiteli yük hücresinin bulunduğu kafa üzerinde bulunan keski tutucuya sabitlenir. Keski-keski tutucu-yük hücresi sistemi, kesme derinliğinin ayarlanabilmesi için bir mekanik dişli ile aşağı-yukarı hareket edebilmektedir. Keskinin, bir hidrolik kriko vasıtasıyla belirli yükler uygulayarak deneylerden önce yük hücresi ile kalibrasyonu yapılır.

Bir kızağın önüne bağlı olan keski-keski tutucu-yük hücresi sistemi, tetikleyici bir elektrik motor sayesinde harekete başlayıp sabitlenmiş olan blok numune yüzeyine doğru sabit bir hızla hareket ederek önceden ayarlanan keskiler arası mesafe ve kesme derinliğinde onu keser. Kesme işlemi esnasında keskiye etkiyen kuvvetler birbirine dik yöndeki üç bileşen halinde (normal, kesme ve yanal kuvvetler) veri toplama ünitesi ile kaydedilir. Her bir kesme işleminden sonra, tablaya mengene ile sabitlenmiş olan numune keskiler arası mesafe kadar yana doğru kaydırılarak, kazı/kesme makineleri üzerindeki çoklu keski düzeni simule edilir.

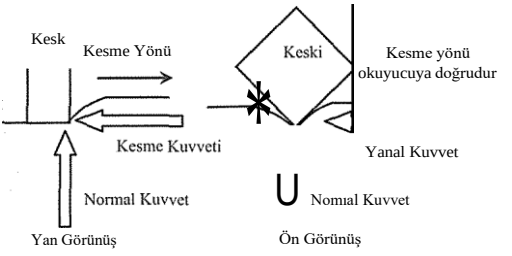
Veri toplama ünitesi üç eksenli yük hücresi, amplifikatör ve kişisel bilgisayardan oluşur (Balcı, 2004). Ticari bir program yardımıyla veri istenilen genlikte ve veri toplama hızında kaydedilir. Amplifikatörün besleme voltajı 10 V'dur. Birim deforınasyon ölçer (wheatson) köprülerinden geçen elektrik, sistemden çıkan analog voltaj değerini dijitale çeviren ve bilgisayara bağlı olan bir A/D kart vasıtası ile dijital olarak bilgisayarda depolanır. Toplanan veri, bir tablo programı ile analiz edilir. Veri toplama hızı 50000 Hz'e kadar ayarlanabilmektedir.

Doğrusal kesme deneylerinde kesme açısı, temizleme açısı ve yanal açı da simule edilebilmektedir. Ayrıca, kesme sonucu açığa çıkan pasanın elek analizi ile boyut dağılımı belirlenerek kesme verımını gösteren pasa irilik indeksi hakkında bilgi edinilebilir.

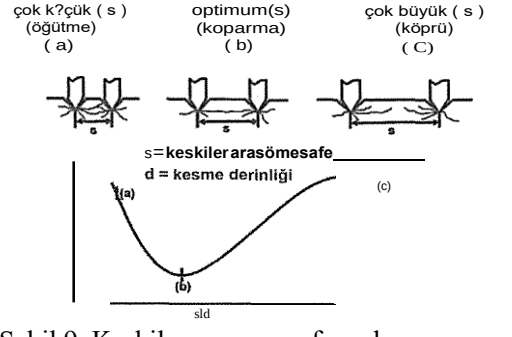
Bir keskiye etkiyen birbirine dik kuvvet bileşenleri kesme, normal ve yanal kuvvetler Şekil 8'de gösterilmiştir. Kesme kuvveti, kesilen yüzeye ve kesme yönüne paralel ve keskinin hareket yönüne zıt yönde etkiyen

kuvvettir, kazı makinesinin tork ihtiyacını belirler, birim hacimdeki kayacı kesmek için gereken enerji olarak tanımlanan spesifik enerjinin hesabında kullanılır. Normal kuvvet, kesilen yüzeye ve kesme kuvvetinin doğrultusuna dik yönde etkiyen ve keskiyi istenen kesme derinliğinde tutmak için gereken kuvvettir; kazı makinesinin baskı kuvveti ihtiyacını ve dolayısı ile gerekli makine ağırlığını belirler. Yanal kuvvet, keski hareket yönüne ve kesme kuvveti doğrultusuna dik yönde etkiyen kuvvettir, kesme ve normal kuvvet ile birlikte keski dizilim tasarımında makine titreşimlerini minimize etmek amacıyla kullanılır.

Spesifik enerji değeri kullanılarak, kesme gucu bilinen bir mekanik kazıcının kazı/kesme hızı hesaplanabilir. Düşük spesifik eneıji, verilen bir kazı makinesinin daha hızlı kazı yapabileceğini veya istenen kazı miktarını daha küçük ve daha ucuz bir kazı makinesi ile yapılabileceğini gösterir. Keskiler arası mesafe ve kesme derinliğinin spesifik enerjiye etkisi Şekil 9'da verilmiştir.




Şekil 8. Keskiye etkiyen kuvvetler




Şekil 9. Keskiler arası mesafe ve kesme derinliğinin spesifik enerjiye etkisi

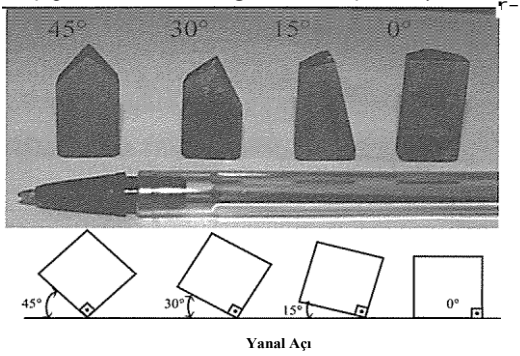
Keskiler arası mesafe çok küçük/yakın (a) olursa kayaç gereksiz yere öğütüldüğü için kesme/kazı işlemi verimsiz olur ve spesifik enerji yüksektir. Bu durumda keski ile kayaç arasındaki sürtünme miktarı da artacağından keski aşınmaları da yüksek olur. Keskiler arası mesafe çok büyük/uzak (c) olursa keskinin oluşturduğu çekme çatlakları bir önceki keskinin oluşturduğu kanala ulaşamadığı için aradaki köprü koparılamaz, bu da verimsiz bir kazı anlamına gelir ve bu koşullarda spesifik enerji yüksektir. Bu durum kanal derinleştirıneye neden olacağından, bir sonraki keski seti aynı hat üzerinden geçerken keskiye şok yüklerin gelmesine neden olur ve keski kırılmaları artar. Minimum spesifik enerji optimum keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranında elde edilir (b). Bu durum en verimli kesme durumudur ve belirli bir keskiler arası mesafe / kesme derinliği oranında en iri boyutta pasa elde edilir.

Bu çalışmada sözü edilen tam boyutlu doğrusal kesme deneyleri ve mekanik özellik deneyleri, Portsan Merıner A.Ş.'nin Burdur Bucak'ta bulunan Çamlık Traverten Ocağı'ndan alınan gözenekli bir bej traverten bloğıı üzerinde yapılmıştır. Deneylerin tek bir blok üzerinde yapılması deneysel varyasyonu minimize etmek açısından önemlidir.

Deneylerde kullanılan keskiler tungsten karbürden yapılmış olup, kesme deney makinesinin keski tutucusuna kolaylıkla yerleştirilebilmesi için özel olarak şekil verilmiştir. Tüm keskilerin genişlikleri 12,7 mm'dir.

Şekil lü'da göıüldüğü gibi her bir keskiye farklı yanal açı verilmiştir (0°, 15°, 30° ve 45°). 15°, 30° ve 45° yanal açılı keskilerin sivri uçları, 12,7 mm olan keski genişliğini tam ortalayan merkez düzlem üzerinde yer almaktadır ve böylece keskiye gelen yüklerin yük hücresine tam merkezden iletilmesi sağlanmaktadır. Keski iç açıları tüm keskilerde 90°'dir.

Yanal açısı olmayan (0° yanal açı) keski, kollu galeri açma makinelerinin (roadheader) performans tahminleri için kullanılan standart bir keskidir.




Şekil 10. Deneylerde kullanılan keskiler

Bu çalışmada sözü edilen deneyler yardımsız kesme koşullarında yapılmıştır, diğer bir değişle keskilerin birbiri ile etkileşimi söz konusu değildir. Deneylerde kesme derinliği değerleri 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm'dir. Gerçekte, bir keski setindeki ilk keski dışındaki tüm keskiler yardımlı (etkileşimli) kesme yapmaktadır. Etkileşimli kesme deneyleri de bu çalışmadan sonra yapılmaya devam edilecektir.

Deneyler esnasında kesme açısı (-5°), temizleme açısı (5°), kesme hız ( 40 cm/s) ve veri toplama hızı (1000 Hz) sabit tutulan parametrelerdir. Keskiye etkiyen ortalama normal, kesme ve yanal kuvvetler ile açığa çıkan pasa ağırlığı her kesme için kaydedilmiştir. Spesifik enerji ortalama kesme kuvvetinin birim kesme mesafesinde açığa çıkan pasa hacmine oranından hesaplanmıştır.

Deneylerde kullanılan traverten numunesi bej renkli ve gözenekli bir yapıya sahip olup belirgin bir tabakalanma görülmemiştir. Numunenin kesilecek yüzeyi, deneylerden önce standart keski (0° keski) ile tıraşlanarak düzleştirilir. Kesme sonucu oluşan yüzeyin daha iyi görülebilmesi için sprey boya ile boyanır. Her bir kesme en az 3 kez tekrar edilerek ortalaması alınmıştır.

### 6.2 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Traverten numunesinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4' de özetlenmiştir. Etkileşimsiz koşullarda değişik kesme derinliklerinde değişik yanal açılı keskilere etkiyen ortalama kesme ve normal kuvvetler Şekil 11, 12 ve 13'de özetlenmektedir. Aynı koşullardaki spesifik enerji sonuçları Şekil 14'de verilmektedir. Tam boyutlu kesme deneylerinden sonra oluşan kesilmiş yüzeye ait bir fotoğraf Şekil 15'de verilmektedir.

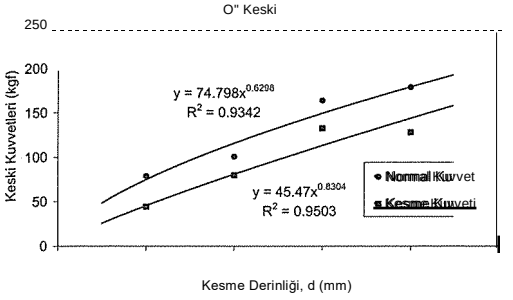
Tablo 4. Deneylerde kullanılan Traverten numunesinin fiziksel ve mekanik özellikleri

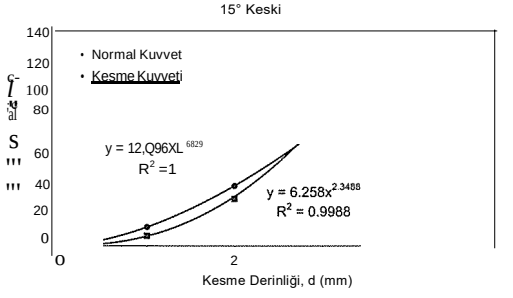
| | |
|---|---|
| Doğal birim hacim ağırlık | 2,44 g/cm$^3$ |
| Tek eksenli basınç dayanımı | 36,7 MPa |
| Dolaylı çekme dayanımı | 6,8 MPa |
| Cerchar aşındıncılık indeksi | 0,25 |
| Koni delici indeksi | 1,19 |

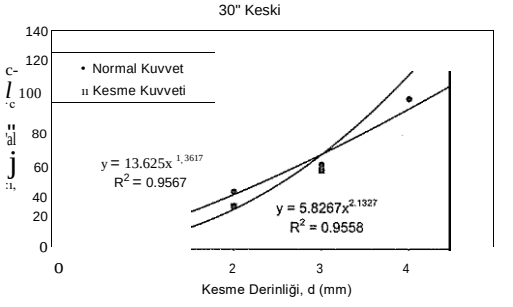
Şekil 11, 12 ve 13'de görüldüğü gibi, kesme ve normal kuvvet ile kesme derinliği arasında üstel artan bir ilişki vardır. Keski kuvvetleri en düşükten en yükseğe doğru sırasıyla 45°, 30°, 15° ve 0° yanal açılı keskiler ile elde edilmiştir. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü 0° keski hariç tüm keskilerin kesme derinliğine bağlı olarak teorik süpürme alanları da üstel bir değişim göstermektedir.

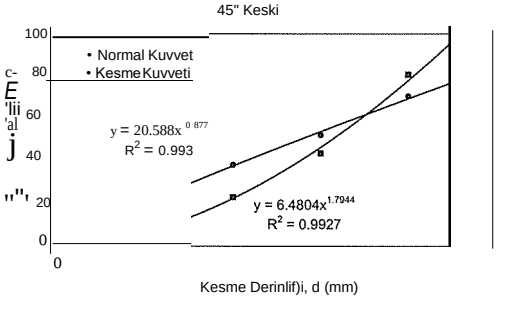
Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, 0° veya 0°'ye yakın yanal açılı keskiler ile o kadar geniş (12,7 mm) bir kesme gerçekte olmamaktadır. Bu keskiler genellikle birkaç milimetre civarında bir genişliği süpürürler. Bu nedenle 0° yanal açılı keski ile elde edilen keski kuvvetleri, makine üreticisinin tasarımına bağlı olarak gerçek kesme genişliği ile doğru orantılı olarak küçültülmelidir.

Şekil 14'de görüldüğü gibi spesifik enerji değerleri, kesme derinliği arttıkça üstel olarak azalan bir eğilim göstermektedir. Bu beklenen bir eğilimdir. Teorik süpürme alanına bağlı olarak spesifik enerji değeri en düşükten en yükseğe doğru beklenen keski sıralaması 2 mm kesme derinliğinin altında beklendiği gibi olmuştur ve sırasıyla 0°, 15°, 30° ve 45° olmuştur. Ancak 2 mm'den daha derin kesme derinliklerinde O °, 45°, 30° ve 15° sıralamasını takip etmiştir. Bunun başlıca sebebi olarak numunede birkaç milimetreden yaklaşık 10 ının'ye kadar gözeneklerin olması sonuçları etkilemiştir.

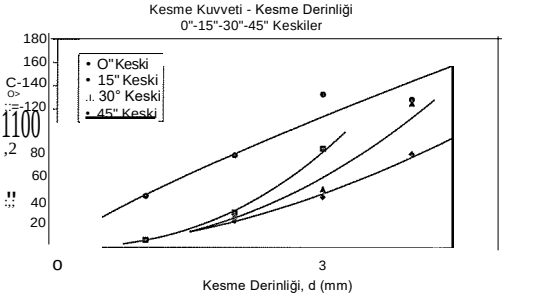


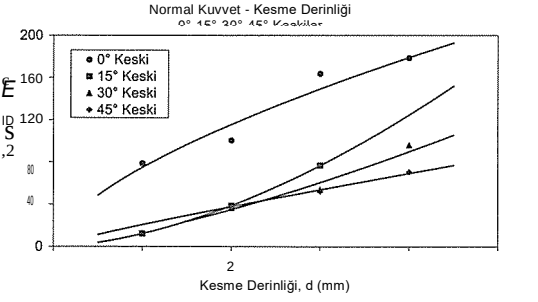



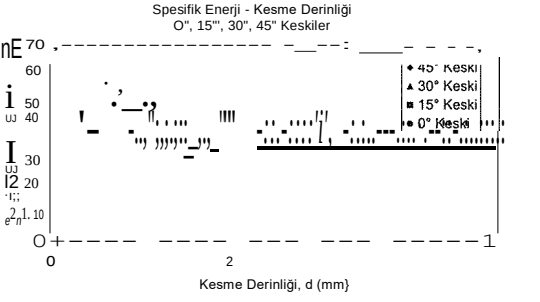

Şekil 11. Etkileşimsiz kesme koşullarında farklı keskiler ve kesme derinliklerinde kesme ve normal kuvvetlerin değişimi



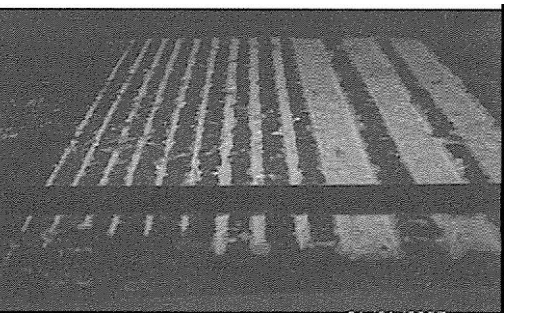

**Şekil 12. Kesme kuvvetleri**




Şekil 13. Normal kuvvetler




Şekil 14. Spesifik enerji değerleri



Şekil 15. Kesilmiş yüzeye ait bir fotoğraf

Keski kuvvetleri ve spesifik enerji değerlerinin genel olarak kazı mekaniği prensiplerine uygun olduğu göıiilmektedir. Bu durum, tam boyutlu kesme deneylerinin, zincirli kesme makinelerinin performanslarının deterministik olarak tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Zincirli kesme makinelerinin kesme derinlikleri genellikle orta sert mermerlerde milimetrenin altındadır ve traverten gibi yumuşak taşlarda 1-2 mm arasındadır. Deney seti ile **1** mm'nin altındaki kesme derinliklerinde deney yapılamamaktadır, ancak, keski kuvvetlerinin kesme derinliği ile değişim grafiklerinden herhangi bir kesme derinliği için keski kuvvetleri güvenirlilikle bulunabilir.

Burada hatırlanması gereken diğer önemli bir konu da, gerçekte keskilerin birbirleri ile etkileşimli olarak kazı yaptıklarıdır; sadece her setteki ilk keski etkileşimsiz kazı yapmaktadır. Etkileşimli kesme deneyleri yapılmaya devam edilmektedir.

## 7 SONUÇLAR VE GELECEKTE YAPILACAK ÇALIŞMALAR

Fantini MOD70 RA/P-S zincirli kesme makinesi Portsan AŞ'nin Çamlık Traverten Ocağı'nda 740 cm'lik uzun bıçakla yaptığı 6,2 m yüksekliğindeki düşey kesimlerde net kesme hızı beyaz travertende 8-11 $m^2$/saat ve bej travertende 10-13 $m^2$/saat arasında olmaktadır. 340 cm'lik kısa bıçakla yaptığı 3,2 m derinliğindeki yatay kesimlerde net kesme hızı 5-7 $m^2$/saat arasında olmaktadır. Genel ortalama ise uzun bıçakla düşey kesimde 11,0 $m^2$/saat ve kısa bıçakla yatay kesmede 5,7 $m^2$/saat olmaktadır. Yatay ve düşey kesimlerde ortalama keski sarfiyatları sırasıyla O,166 ve 0,448 keski/$m^2$ olmaktadır. Etkileşimsiz koşullarda yapılan doğrusal kesme deneyleri sonuçlarına göre, kesme ve normal kuvvet ile kesme derinliği arasında üstel artan bir ilişki olduğu göıülmüştür. Keski kuvvetleri en düşükten en yükseğe doğru sırasıyla 45°, 30°, 15° ve 0° yanal açılı keskiler ile elde edilmiştir. Spesifik enerji değerleri, kesme derinliği arttıkça üstel olarak azalan bir eğilim göstermektedir.

Bu sonuçlar, tam boyutlu kesme deneylerinin, zincirli kesme makinelerinin net kesme hızlarının ve makine çalışma parametrelerinin deterministik olarak tahmin edilebilmesine olanak sağladığını gösterir.

Bu çalışma, sözü edilen projenin ilk sonuçlarını kapsamaktadır. Daha detaylı etkileşimli kesme deneylerinin yapılmasına devam edilmektedir. Bu deneyler sonucunda, zincirli kesme makinelerinin daha verimli kesme yapabileceği temel prensipler ve değişik doğaltaşlar için optimum kesme koşulları ortaya konulacak, kesme işlemi hassas olarak ve performansı da maksimize edebilecek şekilde simule edilebilecektir. Çalışmalar, arazi verileri ile kıyaslanacaktır.

## TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, 105M017 nolu projeye verdiği çok değerli destek için Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Sayın Yetkililerine teşekkür ederler. Ayrıca, Set makine Ltd. Şti. sahibi Sayın Adnan Saraçoğlu'na bu projedeki çok değerli katkılarından dolayı teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Balcı, C. 2004. Mekanize kazı makinalarının seçiminde küçük boyutlu kazı ile tam boyutlu kazı deneylerinin karşılaştırılması. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 269 s.

Copur, H., Balci, C., Bilgin, N., Tumac, D., Feridunoglu, C., Dincer, T. and Serter, A., 2006. Cutting performance of chain saws in quarries and laboratory. *Proc. 15th lnt. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection,* Torino-Italy, Sep.20-22. pp. 1324-1329

Fantini, 2005. The Manuel ofChain Saw. Italy.

Fowell, R. J. and McFeat-Smith, I., 1976. Factors influencing the cutting performance ofa selective tunnelling machine. *lnt. Tunnelling '76 Symp.*, London, 1-5 Mar., pp. 301-318.

McFeat-Smith, I. and Fowell, R.J., 1977. Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines. *Can/erence on Rock Engineering,* UK, pp. 581-602

TMMO, Türkiye Maden Mühendisleri Odası, 2007. Doğaltaş ve Mermer Raporu. http://www.maden.org.tr/

Yuzer, E., 2005, Türkiye Doğaltaş Endüstrisinin Gelişimi. Stone 2005, Yapı Endüstri Merkezi.

# Flotasyon Makineleri ve Ozellikleri: Genel Bir Bakış

## *Flotation Machines and Characteristics: A Review*

O.Şahbaz, U.Demir, C.Karagüzel, M.Çınar & A.Uçar
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*
Ş.Kelebek
*Queen 's Univesitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kingston, Ontorio, Kanada*

**ÖZET** Flotasyon, değerli ve değersiz minerallerin, organik veya inorganik endüstriyel atıkların ve iyonların yüzey ve ara-yüzey özelliklerine göre hava kabarcığına yapışarak ayrılmasını sağlayan bir tekniktir. Zenginleştirmede ekonomik minerallerin kazanılması, atık yönetiminde ise zararlı iyonların, katıların, mürekkeplerin, yağların vb. uzaklaştırılması ya da geri kazanılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçlar için de çok değişik şekilde ve yapıda geliştirilmiş flotasyon makineleri kullanılmaktadır. Cevher zenginleştirme endüstrisinde kullanılan flotasyon makineleri daha çok mekanik karıştırmalı hücrelerden oluşmaktadır. Ancak, özellikle çok ince (-38 mikron) taneleri zenginleştinne ihtiyacı ve atık sulardan zararlı malzemelerin uzaklaştırılması amacına bağlı olarak günümüzde hava ile karıştırmalı flotasyon cihazları (Kolon, Jameson, vs.,) geliştirilmiştir. Yaygın bir şekilde kullanım alanı bulan mekanik karıştırmalı flotasyon cihazları ile son yıllarda çeşitli zenginleştirme tesirsilerinde kullanılan Kolon ve Jameson flotasyon cihazları çalışma parametreleri ve avantajları ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Özellikle atık su temizlemede uygulamaları olan DAF, Santrifüj flotasyon vs. ise diğer flotasyon cihazları olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, değişik endüstri dallarında farklı kullanım amaçları için üretilen flotasyon makinelerinin tanıtılmasını amaçlanmaktadır.

**ABSTRACT** Flotation is a physicochemical method that is used for separation of a wide variety of valuable and invaluable solids, which may be inorganic or organic in nature, as well as oils and ions in aqueous solutions by means of their ability to be captured by air bubbles. Flotation is highly cost-effective for selective separation of particulate matter of interest whether it is used for the purpose of recovery of economic minerals from primary resources or as part of waste management. The objective of this paper is to provide a review on various types of flotation machines and their typical applications. Mineral processing industry traditionally relied on the use of mechanical flotation machines that involve agitation of slurry in tank types of cells. In recent times, non-agitated and extemally-aerated cylindrical flotation machines have found various applications for beneficiation of finely divided materials (mostly -38 microns). A variety of flotation columns and Jameson cell are typical examples of these. However, importance of mechanical cells increased with respect to much bigger unit volumes for more economical treatment of ores processed on a large scale. On the environmental side, flotation machines utilizing the principles of dissolved air flotation (DAF) are also reviewed along with those that are used less commonly.

## 1 GİRİŞ

Flotasyon; değerli ve değersiz minerallerin, fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarına dayanarak birbirinden ayrılmasını sağlayan kinetik bir prosestir. Tanelerin seçimli olarak hava kabarcıklarına yapışması sağlanan flotasyon, düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesinden, atık temizlemeye kadar bir çok alanda uzun zamandır kullanılmaktadır.

Flotasyon 1860 yılında William Haynes tarafından icat edilmiş olup, 1877 yılında Bessel kardeşler grafit flotasyonu için ilk patenti almışlardır. Bundan itibaren flotasyon çok hızlı bir gelişim göstermiş ve dünya genelinde birçok tesiste kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle 1925 yılında ksantatların flotasyonda toplayıcı olarak kullanılmaya başlaması, bu tekniğin sülfürlü cevherlerin zenginleştirmesinde kullanımını ziyadesiyle yaygınlaştırılmıştır (Fuerstenau, 1999).

Yüksek tenörlü ve iri boyutlardaki değerli minerallerin tüketilmiş olması, sadece çok düşük tenörlü ince cevherlerin ve endüstriyel atıkların varlığı, araştırmacıları yeni flotasyon teknikleri ile yeni cihaz dizaynı arayışına itmektedir. Bir flotasyon cihazından beklenenler ise genel hatları ile şöyledir (Atak, 1982; Öteyeka 2006; Nelson, 2000, Nelson vd. 2002): Flotasyon cihazları;

- Taneler ile hava kabarcıklarının temas etmesi için uygun ortamı sağlamalı,
- Pülp içindeki katı tanelerin homojen karışımını sağlayıp, süspansiyon halinde tutabilmeli,
- Hava kabarcıklarına yapışan hidrofob taneler ile, yapışmayan hidrofil tanelerin kolayca aletten alınmasını sağlamalı,
- Uygun büyüklükte, yeterli miktarda ve homojen bir şekilde dağılmış hava kabarcığı üretebilmeli,
- Taneler ile kaplı kabarcıklar için sakin bir köpük bölgesi barındırmalı, bu bölgeye çeşitli nedenlerle gelmiş hidrofil tanelerin tekrar pülp içine dönüşü sağlanmalı,
- Arızalanmalara karşı esnek bir dizaynı olmalı, tıkanma problemleri kolay aşılmalı, tanelerin, bazı dışarıdan gelebilecek parçaların (tahta vs.) tıkayacağı uygun , olmayan köşeleri olmamalıdır.

Cevher zenginleştirme endüstrisinde kullanılan flotasyon makineleri daha çok mekanik karıştırmalı hücrelerden oluşmaktadır. Ancak, günümüzde kullanım alanına bağlı olarak hava ile karıştırmalı flotasyon cihazları (Kolon, Jameson, vs.,) geliştirilmiştir.

Bu çalışmada flotasyon cihazları mekanik karıştırmalı, hava ile karıştırmalı ve diğer flotasyon cihazları başlıkları altında, çalışma prensipleri, kullanım avantaj ve dezavtajları ile kısaca incelenmiştir.

## 2 FLOTASYON CİHAZLARI

Flotasyon cihazları bir çok çalışmada çeşitli kriterler baz alınarak sınıflandırılmışlardır. Fuerstenau ve Somasonduran (2003) flotasyon cihazlarını; mekanik flotasyon makineleri ve pnömatik flotasyon makineleri olmak üzere ikiye ayırmıştır. Kaya (1998) yaptığı sınıflandırmada flotasyon cihazlarını; Mekanik Makineler, Pneumatik (Havalı) Makineler, Köpük Ayrıcılar ve Kolon Flotasyonu olmak üzere dörde ayırmıştır. Nelson vd. (2002) ve Atak (1982) flotasyon cihazlarını, kendi kendine havalandırınalı mekanik hücre (Agitation), hava üflemeli mekanik karıştırınalı hücre (Sub aerasyon) ve hava üflemeli (Pneumatik) cihazlar olmak üzere üçe ayırmıştır. Bu çalışmada flotasyon cihazları çalışma sistemlerine göre ikiye ayrılmıştır. Bunlar;

1. Mekanik kanştırınalı flotasyon aletleri (mekanik hücreler),
2. Hava ile karıştırmalı flotasyon aletleri (flotasyon kolonları ve Jameson hücresi)'dir.

### 2.1 Mekanik Karıştırmalı Flotasyon Cihazları

Cevher hazırlama endüstrisinde geçmişten günümüze mekanik karıştırmalı flotasyon cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. 1877'deki ilk uygulanmasından itibaren çeşitli aşamalardan geçmiş olan mekanik karıştırmalı flotasyon cihazlarının temeli, 191O-1914 yıllarında Hoover tarafından

mekanik flotasyon hücresi olarak atılmıştır (Fuerstenau, 1999).

### *2.1.1 Mekanikjlotasyon hücresi (MFH)*

MFH iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar havanın hücre içerisine girmesine olanak verecek şekilde dizayn edilmiş ve giren havanın hava kabarcıklarına parçalanmasını sağlayan pervane ve taneler ile hava kabarcıklarının etkileşimine olanak sağlayan hücre kısmıdır. Pervane, hava kabarcığı üretmekten başka pülp içindeki katı parçacıkların süspansiyon halinde tutulması ve havanın homojen bir şekilde karışımını da sağlamaktadır. Bu pervanenin etrafında sabit (dönmeyen) bir koruyucu şapka bulunur. Mile bağlı pervanenin yüksek hızla dönmesi sonucu merkezkaç emmesi dolayısıyla şapka altında vakum oluşur. Oluşan vakum ile dışarından hava emilir. Emilen hava, pervane yardımıyla parçalanır ve hava kabarcıklarına dönüşür. Şapka altına beslenen pülp, aynı şekilde pervane yardımıyla dağıtılır ve tanelerin dibe çökmeyip kabarcıklarla çarpışması sağlanmış olur. Hava kabarcıklarına yapışan taneler yukarıya doğrn hareket ederek köpük bölgesini oluşturur ve köpük mekanik olarak hücrenin en üst noktasından sıyrılır. Hava kabarcıklarına yapışmayan hidrofil taneler ise hücrenin tabanından alınır. Şekil l 'de bir MFH'nin genel yapısı görülmektedir.

MFH'ler endüstride birbirine seri olarak bağlanarak kullanılır ve genelde hava dışarıdan vakumlanarak elde edilir. İhtiyaç doğrnltusunda dışarıdan kompresör ile hava verilen tipleri de vardır.

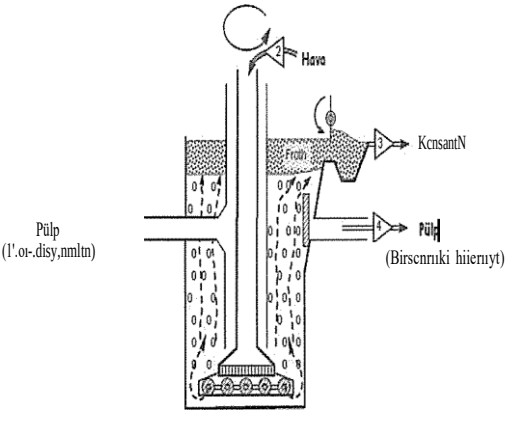
### *2.1.2 MFH çeşitleri*

MFH'leri pülp akışına göre, havalandmna şekline göre ve köpük alma cinsine göre üçe ayırabiliriz (Kaya, 1998).

1. Pülp Akışına Göre MFH: Bu tip MFH'ler iki çeşittir. Hücreler arasında herhangi bir engel olmadan pülpün akışının gerçekleştiği açık akışlı makineler genelde kaba flotasyonda yüksek kapasite için kullanılır. Hacmi 50-60 $m^3$ olan hücreler oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Bu ekipmanların dakikada ihtiyacı olan hava miktarı kabaca 1 $m^{3'}$ tür. Denver, Sala ve Outokumpu bu tip aletlere üretmektedirler. Pülp akışına göre sınıflandırılan MFH'lerin ikincisi hücreden hücreye, her hücre arasında engel bulunan aletlerdir. Kapasiteleri 3,5 $_{111}^3$ olup Denver SABA bu gruba örnektir.

2. Havalandırma Şekline Göre MFH: Havalandırma şekline göre iki tip MFH bulunmaktadır. Birinci tipte alete hava bir kompresör veya üfleyici vasıtasıyla basılır. Agitair ve Aker bu gruba örnek ekipmanlardır. İkinci tipte ise hava pervane hareketinin doğurduğu alçak basınç sayesinde havanın hücre içerisine vakumu ile çalışmaktadır.

3. Köpük Alma Cinsine Göre Mekanik Flotasyon Makineleri: Üsten taşmalı ve sıyırıcılı olmak üzere iki çeşittir. Yeni tasarlanan tesislerde sıyırıcılar kullanılmamaktadır.




Şekil 1 Flotasyon makinesi diagramı

MFH'ler ihtiyaçlara göre bir çok firma tarafından istenilen özellikleri sağlayacak şekilde geliştirilmektedir. Günümüzde mekanik hücre üreten yaklaşık 14 adet büyük firma vardır. Üretimde makine boyutları, pervane şekilleri ve çalışma şartları farklıdır. Bu firn1alara Denver, Outokumpu, Wedag, Booth, Agitair, Maxwell, WEMCO, Aker, Krupp, Rosugol, Baterman, Dorr-Oliver ve Metso gibi şirketler örnek olarak verilebilir. Bunlardan sadece Dorr-Oliver, Outokumpu, Metso (önceden Svedelaydı) ve WEMCO 100 $_{111}^3$ ten büyük hücreler üretmişlerdir

(Young, 1982; Brewis, 1996; Nelson and Lelinski, 2000, Nelson v.d. 2002).

### *2.1.3 MFH çal(Şına parametreleri*

Dünya genelinde geniş uygulama alanı bulunan MFH'lerin en önemli çalışma parametreleri pervane dönüş hızı, köpük bölgesi kalınlığı ve hava tutunum yüzdesidir. MFH'de yaklaşık 1 mm boyutunda hava kabarcığı üretilmekte olup, hava tutunum yüzdesi yaklaşık olarak %15-30 ve köpük kalınlığı 15-20 cm arasında değişmektedir.

### *2.1.4 MFH' nin avantaj ve dezavantajları*

MFH 25 ile 205 mikron tane iriliğindeki minerallerin zenginleştirilmesinde oldukça verimli çalışmakla birlikte bu aralığın dışına çıkıldığında verimde önemli düşmeler meydana gelmektedir. Bunun nedeni; 25 mikrondan küçük tanelerin 1 mm civarındaki hava kabarcıklarıyla çarpışma olasılıklarının düşük olmasıdır. 250 mikrondan büyük taneler de ise oluşan türbülans nedeniyle oluşan agregaların parçalanma olasılığı yüksek olmaktadır (Oteyaka ve Soto, 1993). Ayrıca kolon tipi hücrelere göre çok yer kaplamaları da bir dezavantajdır.

Zenginleştirmede yaşanan problemlerin çözümü ve endüstrinin belirli boyutta ürün talebi, atıkların geri kazanılması, suların temizlenmesi gelişen teknoloji ile birlikte araştırmacıları yeni flotasyon cihazları tasarımlamaya itmiştir. İri taneler için (+250 μm) modifiye flotasyon kolonları ve ince taneler (-25 μm) için de klasik flotasyon kolonları ile Jameson flotasyon hücresi tasarımları yapılmıştır. Hava ile karıştırmalı flotasyon makinelerine örnek olan bu cihazlar, günümüzde bazı uygulamalarda MFH'lerin yerini almaktadırlar.

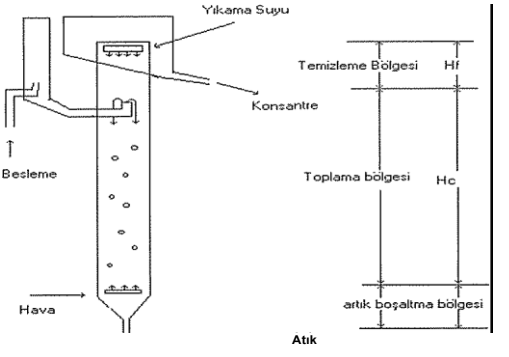
## 2.2 Hava ile Karıştırmalı Flotasyon Cihazları

Günümüzde kullanım alanları hızla genişleyen hava ile karıştırmalı flotasyon cihazlarının en yaygın kullanım alanı bulanları flotasyon kolonları ve Jameson hücresidir.

### *2.2.1 Klasikjlotasyon kolonu*

Tarihçesi konusunda değişik fikirler olsa da, flotasyon kolonu yönteminin cevher hazırlamada önemli bir geleceği olacağı ilk olarak 1960'lı yıllarda Kanada'da yapılan çalışmalarla ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ilk kolon "Kanada Kolonu" olarak adlandırılmıştır. Flotasyon kolonlarının fikir babası olan Pie1Te Boutin, MFH'deki türbülansın, ince gang tanelerinin konsantreye kaçmasına neden olarak, konsantreyi kirlettiği sonucundan yola çıkmış, tanelerin türbülansın olmadığı bir ortamda daha seçimli olarak kazanılmaları için, uzun ve yüksekçe bir hücreye yukarıdan beslenmesi gerektiğini düşünmüştür. 1980 yılından itibaren endüstrideki kullanımları hızlı bir artış gösteren kolonlar, Kanada'da yüiütülen temel çalışmalarla (Dobby, 1983; Finch ve Dobby, 1990) akademik alanda da ivme kazanmış ve günümüzde birçok tesiste metalik cevherlerden kömüre kadar çok geniş bir alanda kullanılır hale gelmiştir.

Flotasyon kolonları iki bölgeden oluşmaktadır (Şekil 2). Bu bölgeler kolonun alt kısmını oluşturan, zenginleştirme olayının gerçekleştiği zenginleştirme bölgesi ve kolonun üst kısmında hava kabarcıklarının yoğun olduğu köpük (temizleme) bölgesidir. Bu iki bölge arasında farklı hava kabarcığı konsantrasyonu nedeniyle belirgin bir ara yüzey vardır.




Şekil 2. Flotasyon Kolonunun Şematik Görünüşü

Flotasyon kolonları uzunluğu çapına göre 4-15 kat olabilen silindirik veya kare kesitli sütun şeklinde çelik malzemeden yapılan aletlerdir. Bununla birlikte laboratuarlarda kullanılan ve pleksiglas malzemeden yapılan çeşitleri de vardır. Kolonun en alt kısmında "sparger" adı verilen, kompresör ile yollanan havanın hava kabarcıklarına dönüşmesini sağlayan, ömegın, paslanmaz çelikten yapılmış poröz bir alet vardır. Kolonun en üst kısmında ise isteğe bağlı olarak kullanılabilen yıkama suyu sistemi bulunur. Flotasyon kolonları köpük bölgesinin varlığına göre klasik flotasyon kolonu ve modifiye flotasyon kolonu olmak üzere ikiye ayrılır. Klasik kolonlar bilhassa ince taneler için tasarlanmış pozitif biasla çalıştırılan, boyları 14 metreye kadar çıkabilen cihazlar olup, yıkama suyunun varlığı ile belli bir köpük zanları vardır. Genellikle endüstride kullanılan kolon çapı 1-3 m ve yüksekliğin de 8-12 m'dir. Gönümüzde 4 m çapında dairesel veya kesit alanı 16 $m^2$ (2 m eninde ve 8 m boyunda) dikdörtgen kesit alanlı flotasyon kolonları endüstride başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Finch, 1995; Bautin ve Wheeler, 1967; Bilir v.d., 1997). Modifiye kolonlar ise negatif biasta çalıştırılan, dizaynı daha çok iri tanelerin (1000-100 mikron) flotasyonu ıçın düşünülmüş boyları 2-3 metre kadar olan aletlerdir.

Endüstride kullanılmakta olan kolonların çoğunluğu mekanik flotasyon hücrelerinden elde edilen kaba konsantredeki minerallerin birbirinden ayrılması ve yıkanması için kullanılmaktadır. Kuzey ve Güney Amarikada büyük ölçekli madencilikte en yaygın kullanım alanı nihai bakır konsantrelerinin üretimi içindir (Kelebek vd. 1996; 1997).

*2.2.1.1 Flotasyon kolonu çalışma prensibi ve parametreleri*

Pülp kolon dışında koşullandırılarak besleme noktasından %5-30 katı miktarıyla kolona beslenir. Beslenen taneler gravite etkisiyle zenginleştirme zonuna inerken, kabarcık üreticisi tarafından üretilen hava kabarcıkları yukarıya doğru yükselir. Hava kabarcıklarıyla karşılaşan hidrofob parçacıklar arasında flotasyonun mikro olayları (karşılaşma, çarpışma, yapışma ve kopmama) gerçekleşir ve parçacık-kabarcık agregaları oluşur. Oluşan agregalar köpük zonuna geçer ve kolonun üst kısmından kolonu terk eder. Kabarcıklara yapışmayan hidrofil parçacıklar ise gravite etkisiyle kolonunun tabanına doğru hareket ederek bu bölgeden atık olarak kolonu terk eder. Klasik flotasyon kolonunda hidrolik sürüklenme veya sıkışma nedeniyle köpük zonuna gelen ince hidrofil taneler ise yıkama suyunun etkisiyle tekrar zenginleştirme zonuna gönderilir. Zenginleştirme zonundaki hava tutunum yüzdesi %15-25 civarındayken, bu değer köpük bölgesinde %60-70'dir. İri tanelerde kullanılan modifiye kolonlarda ise yıkama suyu olmayıp, hava tutunum yüzdesi %10-15 civarında tutulur. Bu şekilde hidrofob tane ile hidrofil tane arasındaki ayırım gerçekleştirilir.

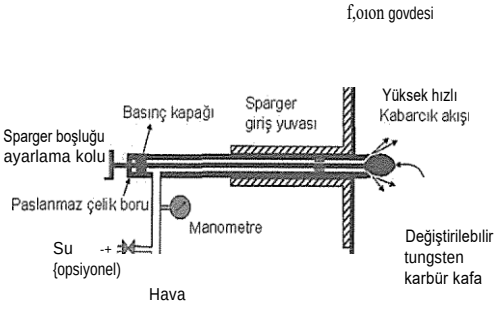
Flotasyon kolonlarının çalışma ve kontrolü hava tutunum yüzdesi (hold-up), yüzeysel hava hızı; yüzeysel belseme hızı, yüzeysel yıkama suyu hızı; yüzeysel artık hızı, bias hızı ve taşıma kapasitesi gibi parametreleri içermektedir (Finch ve Dobby, 1991-1990; Öteyaka and Soto, 1995).

*2.2.1.2 Flotasyon kolonu avantaj ve dezavantajlan*

Flotasyon kolonlarını MFH'lerden ayıran en önemli üstünlükleri;

- Mekanik karıştırıcısının bulunmaması,
- Kabarcık üreticisinin varlığı ile düzgün hava kabarcığı üretimi ve
- Yıkama suyunun kullanımıdır. Bu özellikler kolona MFH'lere göre önemli bazı avantajlar sağlamaktadır. Bunlar:
- Selektif bir flotasyon olması nedeniyle üretilen ürünün kalitesi yüksektir.
- Düşük enerji tüketimi vardır.
- Otomatik kontrol olasılığı yüksek bir cihaz olup, yatırım ve bakım masrafları düşüktür.
- Kapladığı yüzey alanı düşüktür.
- Zenginleştirilecek cevherin boyut aralığı oldukça geniştir (10 mikron-2,3 mm).

Bu avantajları sayesinde birçok ülkede kullanımı hızla aıtan flotasyon kolonları Türkiye'de de Çayeli bakır işletmelerinde temizleme devrelerinde kullanılmaktadır. Fakat flotasyon kolonlarının avantajlarının yanı sıra, MFH'lere göre bazı dezavantajları da vardır. Klasik flotasyon kolonlarının dezavantajları arasında düşeysel yüksekliği uygun bir yere ve fazladan yıkama suyuna gereksinim duymaları, bir kompresör gerekliliği ve "sparger"ın sık sık tıkanması ve kısmen aşınması dolayısıyla ortaya çıkan değiştirilme ihtiyacı sayılabilir. Klasik kolonlarda ilk montajlardan itibaren ortaya çıkan sparger soıunu tesislerde zaman zaman duraklamalara dahi sebep olduğu için bu konuda değişik dizaynlar geliştirilmiştir. Bunlardan önemli biri Minnoveks diyazn olup ayrıntılar Şekil 3 de verilmiştir

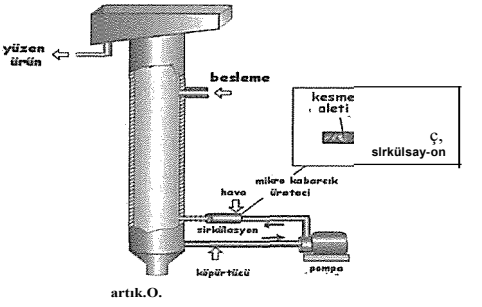



Şekil 3. Minnoveks tipi sparger tasarımı

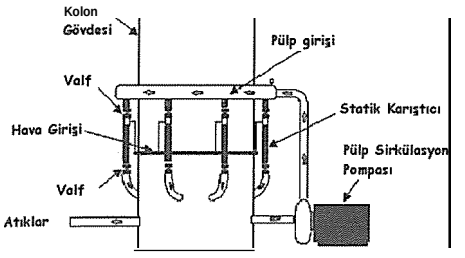
Bu sparger dizaynı hava ve su girişli bir enjektör modelini andırır. Ucunda tıngsten karbürden yapılmış elips kesitli sert bir kafa vardır. Enjektör koluna bağlı olan bu kafa kolun ileri geri hareket ettirilmesiyle havanın kolona giriş yolunu ve miktarını belirler. Giriş boşluğu kolu geri çekerek sıkıştırıldıkça havanın giriş hızı artacağı için daha ince boyutlu hava kabarcıklarının oluştıırnlmasına yardımcı olur.

### *2.2.2 Mikrosel jlotasyon kolonu (MFK)*

Endüstride kullanılmakta olan bir çeşit flotasyon kolonudur. Virginia Polytechnic'te Roe-Hoan Yoon ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Yoon ve Luttrell, 1994). Mikroselin şematik çizimi Şekil 4 de verilmiştir. Mikrosel kolonu, klasik kolon içindeki gibi havanın alttan verildiği . bir ';sparger"a sahip değildir. Bu kolonun özelliği hava kabarcıklarının atık pülpünün bir popma ile dışarı alınması ve hava ile karıştırılarak kolona geri gönderilmesiyle temin edilmesidir. Bu usul tıkanmalar neticesinde değiştirilme sornnu arzeden "sparger"lara nazaran bir avantaj oluştıırmaktadır. Kabarcık besleme sistemi Şekil 4 de gösterildiği kadar basit olmayıp ayrıntılar Şekil 5 de verilmiştir. Görüldüğü gibi atıkları teşkil eden pülpün bir kısmı pompa ile dışarı alınmakta ve bu ana bir manifold vasıtasıyla geri dönüş borularına pompalanmaktadır. Geri dönüş bomları içine pülpün akışı boyunca kıvrımlı statik karıştırıcılar yerleştirilmiştir. Basınç altında bu karıştırıcılara enjekte edilen hava yüksek hızla sirküle etmekte olan pülpe karışarak büyük bir kuvvetle kolonun alt bölümüne girmekte ve ince taneli kabarcıklar oluştıım1aktadır. Mikroselin bu kabarcık üretme özelliği, kolonların endüstride bir çok önemli uygulamalarda bir tercih unsuru teşkil etmesine sebep olmaktadır (Pyecha, 2006).




Şekil 4. Mikrosel Kolonu




Şekil 5. Mikrosel'e kabarcık besleme mekanizması

Kolonların çok yüksek oluşları, üretilen hava kabarcığı çapının daha ince taneler için yeterince küçük olmaması Avustralya'lı bilim adamı Greame Jameson'ın kendi adıyla anılan yeni bir hücre tipi geliştirmesine vesile olmuştur.

### *2.2.2 Jameson hücresi*

Jameson hücresi, klasik flotasyon hücrelerinde flotasyonu sorunlu olan ince taneli minerallerin zenginleştirilmesine çözüm bulan yaklaşık olarak 3,5 metre yüksekliğinde olan bir flotasyon cihazıdır.

Dizaynı ve çalışma prensipleri açısında MFH'lerden ve klasik flotasyon kolonlarından önemli farklılıklar gösteren Jameson hücresi, temel olarak iki ana bölümden oluşur. Bunlar, pülpün yüksek basınç altında (140-170 kPa) beslendiği ve hidrofob mineral tanesi ile hava kabarcığı arasında flotasyonun fiziksel mikro olaylarının (karşılaşma, çarpışma, yapışma ve kopmama) gerçekleştiği düşey boru ve düşey boruda oluşan agregaların (hava kabarcığı ve hidrofob mineral taneleri), hidrofil tanelerden (gang) ayrıldığı hücre (tank) kısmıdır (Şekil 6) (Evans v.d. 1995; Şahbaz, 2005).

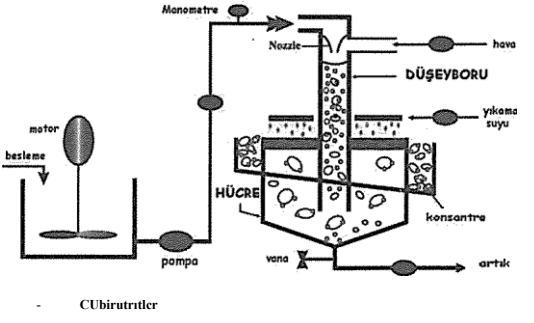
Düşey boru yaklaşık olarak 1,5-2 metre boyunda, 15-50 mm çaplarındadır. Şekil 6 'da görüldüğü gibi düşey borunun üst kısmında pülpün beslendiği nozzle (3,5-10 mm çaplarında) ve yan taraftan doğal havanın girdiği küçük çaplı boru vardır. Yaklaşık olarak 140 -170 kPa basınç altında beslenen koşullandırılmış pülp, nozzleden düşey boru içerisine su jeti şeklinde akar ve oluşan basınç düşmesi nedeniyle dışarıdan doğal hava boru içerisine vakumlanır. Düşey boruda oluşan pülp + hava karışımında hold-up (hacimsel hava miktarı) yaklaşık olarak %40-70 arasındadır. Bu bölgede ince hava kabarcıklarıyla (400-600 μm) ile hidrofob mineral taneleri arasında flotasyonun mikro olayları gerçekleşir ve hidrofob ince taneler (-100 μm) hava kabarcıklarına yapışır. Oluşan agregalar ve hidrofil taneler düşey borunun alt kısmından hücrenin (tankın) içine geçer.

Jameson hücresinin tank kısmı, agregaların hidrofil tanelerden ayrıldığı bölgedir. Agregalar hücrenin üst kısmına doğru yükselerek köpük zonunu oluşturur. Hidrofil taneler ise hücrenin altından cihazı terk eder. Hücrenin üst kısmında oluşan köpük bölgesine yıkama suyu ilave edilir.

Yıkama suyunun görevleri:

- Sistemin Bias pozitifte (artık debisi > besleme debisi) çalışmasını sağlamak,
- Köpük bölgesinin stabilizesini sağlamak,
- İnce hidrofil tanelerinin konsantre içerisine hidrolik olarak süıüklenmesini engellemektir.

Jameson hücresine pülp beslemesi ve yıkama suyu verilmesi kontrol kolaylığı olan pompalarla yapılır. Tüm besleme ve çıkış debileri elle (manuel) veya otomatik olarak debi ölçerlerle kontrol edilir.

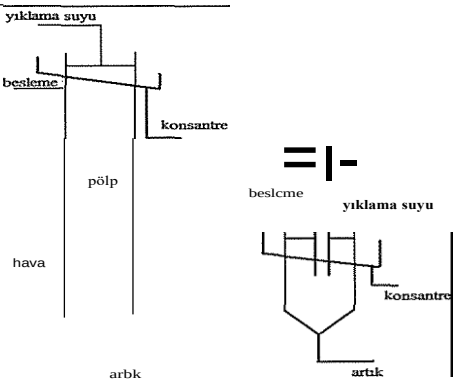



- CUbirutrıtler

Şekil 6 Jameson hücresi şematik görünümü

### *2.2.2.1 Jameson hücresi çalışma parametreleri*

Jameson hücresindeki önemli çalışma parametreleri; köpük derinliği, kesitsel hava hızı, bias faktörü, hacimsel hava miktarı, düşey boru, nozul ve hücre çaplarıdır. Uygulama tipine göre bu parametreler çeşitli aralıklarda değiştirilebilir. Örneğin, tenörü yüksek bir ürün istendiğinde köpük bölgesi uzunluğu artırılmalıdır. Kesitsel hava hızının genellikle 1.0 cm/sn olarak çalıştırılması yüksek verimlerin kazanılmasını sağlamıştır. Gene temiz konsantre elde edilmek istendiği durumlarda bias faktörün 0.6 'nın üzerinde olması tercih edilir (Mohanty ve Honaker, 1999; Harbort v.d., 2003; Şahbaz, 2005).




Şekil 7 Jameson hücresi ve klasik kolonun boyutsal ve şematik mukayesesi

### *2.2.2.2 Jameson hücresi avantaj ve dezavantaj!arı*

Jameson hücresi, diğer flotasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında özellikle düşük flotasyon zamanı (aynı işi yapan MFH'nin ¼'ü kadar), yüksek hava tutunum yüzdesi (%40-70), kurulum, işçilik, tamir-bakım-onarım maliyetlerinin çok düşük olması ve ince tanelerde sağlanan yüksek verimi bakımından daha avantajlıdır (Mohanty, 2001; Evans v.d. 1995; Harbort v.d., 2003). Bunların dışında Jameson hücresinde hava kompresörüne ihtiyaç yoktur. Pülp pompası dışında hareketli ve yüksek devinimli parçası olmayıp, aynı işi yapan mekanik hücre devresinde 24 cihaz varken bu Jameson hücresinde lO'dur. Diğer yöntemlere göre kontrol kolaylığı, yüksek üretim kapasitesi gibi avantajlara sahip olan Jameson hücresi, esnek hücre dizaynı ve kolonlara göre kısa olması gibi önemli avantajlara sahiptir Şekil 7(Jameson, 1999; Gray v.d., 2002; Murphy v.d., 2005).

Bunlara ek olarak Jameson hücresinin artık temizlemede de üstün bir performans gösterdiğini belirtilmektedir. Örneğin, organik artık temizleme uygulamalarında (SX-EW) %90'ın üzerinde verimle çalışılmıştır (Dawson v.d., 1995, Chugh ve Patwardhan, 2003). Honaker v.d. (1996) yaptıkları çalışmada; Floatex sınıflandırıcı - Falcon separatorüyle yoğunluğa göre zenginleştirici-Jameson hücresinden oluşan bir devrenin ince kömürde çok iyi bir performans elde edilebileceğini göstermiş ve spiral ve flotasyon banklarından oluşan bir devreye göre %10-20'e kadar olan bir artı başarı sağlanmıştır. Fakat pritik sülfürü fazla olan kömür beslemesi için Jameson hücresi çıkışının "Packed bed" kolonuna verilmesi önerilmiştir. Son yıllarda hızlı bir şekilde madencilik endüstrisine giren cihazın yegane üretici firması Xrata olup, cihazın hala bilinmeyen yönlerinin olması en önemli dezavantajıdır.

Dünya genelinde en yaygın kullanılan flotasyon cihazları daha önce de beliıiildiği üzere MFH'leri, flotasyon kolonları ve Jameson hücresi olup, bu aletlerin performansları uygulamaya göre farklılıklar göstermektedir. Ülkemizde bu konular akademik olarak da ele alınmaktadır. Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuarı'nda konvensiyonel kolon ve Jameson hücresiyle performans

mukayeselerine yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, termik santral artığı taban külündeki yanmamış karbonun kazanılması amacıyla MFH, flotasyon kolonu ve Jameson hücresi kullanılarak yapılan bazı denemeler sonuçlanmıştır. Bu sonuçlarda düşük yanmamış karbon içeriğine sahip, yüksek küllü taban külünde Jameson hücresinin daha başarılı bir performans gösterebileceği ortaya çıkmıştır.

## 2.3 Diğer Flotasyon Cihazları

Çalışmanın bu kısmında endüstriyel ihtiyaca göre üretilmiş diğer flotasyon cihazlarına yer verilmiştir. Burada anlatılacak olan cihazların en önemli farklılıkları mikro boyutta hava kabarcıkları üreterek flotasyon yapıyor olmalarıdır. Özellikle su temizleme proseslerinde kullanılan cihazların klasik cevher zenginleştirme cihazlarından ana farklılıkları; mikro boyutta hava kabarcığı kullanmaları, düşük katı oranlarında çalışmaları, kararlı bir köpük bölgesine ihtiyaç duymamaları ve maliyetlerinin oldukça yüksek olmalarıdır (Rubio v.d., 2002).

### *2.3.1 Elektro-jlotasyon (EF)*

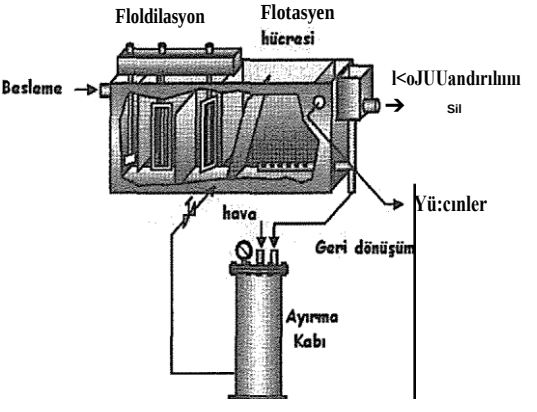
EF özellikle emülsiyon haldeki olmak üzere, iyon, mürekkep, pigment ve fiber gibi koloidal yapıların sudan uzaklaştırılmasında kullanılır (Zabel, 1992). Seyreltilmiş bir ortamda elektroliz yöntemiyle mikro kabarcıklar her iki elektrotta da oluşturularak işlem gerçekleştirilir. Özellikle su temizleme konusunda üstün yönleri olan yöntemin, düşük kapasitesi, hidrojen gazı emisyonu, elektrotların maliyeti gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Elektrolitik koagulasyon/flotasyon sistemi (EFC); Bu sistem de bir çeşit elektro flotasyon yöntemi olup, iki taraflı alüminyum elektrotlar kullanılır. Sistemde anotta oldukça aktif alüminyum iyonları açığa çıkar ve bunlar daha ekili bir koagülasyona neden olur. Katotta ise hidrojen kabarcıklar üretilerek agregaların flotasyonu gerçekleşir. Laboratuar çapındaki çalışmalara göre bu sistem ile %20 daha fazla çözülmüş organik karbon uzaklaştırılır.

### *2.3.3 Çözünmüş hava jlotasyonu (ÇHF)*

ÇHF teknolojisi 20.Yüzyılın başından itibaren taneleri birbirinden ayırma işleminde kullanılmaktadır. Ayrıca rafineri sularının damıtılmasında, biyolojik fiokların temizlenmesinde, iyonların ayrımı ve uzaklaştırılmasında, mikro boyutlu tanelerin flotasyonunda (Gochin ve Solari, 1983) ve su içerisindeki yosunların temizlenmesinde kullanılmaktadır (Rubio and Tessele, 1997; Tessele vd., 1998). ÇHF teknolojisindeki son gelişme Cocco-DAF olup, 1995 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Eades ve Brignall, 1995).

ÇHF cihazında su 3 atm'den daha yüksek basınç kullanılarak tamamen hava ile doyurulur. Nozul vasıtasıyla oluşturulan hava çok ince kabarcıklar halinde süper doygun hale gelmeye başlar. Endüstriyel boyutta, süperdoygun su özel bir deliğe (orifice) basılır ve suyun atmosferik basınca düşmesi sonucu kabarcıklar açığa çıkar. Oluşan kabarcıkların çapı 0,01-0,15 mm civarındadır. Kabarcıklarla taşınan kısım ortamda yüzerek hücreden ayrılır.



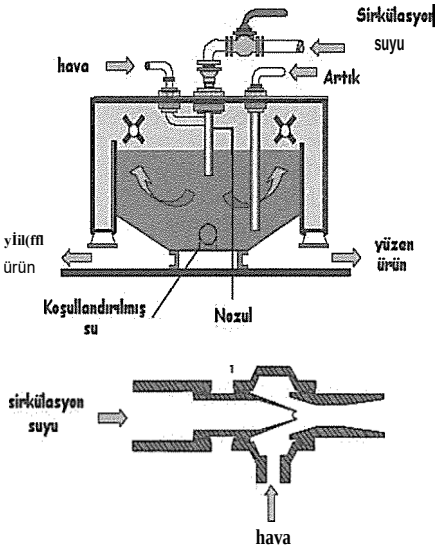

Şekil 8. ÇHF

### *2.3.2 İndüklenmiş lıava jlotasyomı (İHF)*

IHF cevher zenginleştirmede kullanıldığı gibi, petrokimyasal endüstrisinde yağ-su ayrımında da kullanılmaktadır. Sistemde hava kabarcıkları yüksek hızlı mekanik karıştırıcı ve hava enjeksiyon sistemlerinin birlikte çalıştırılması ile elde edilir. Sistemde santrifüj kuvvetlerinin etkinliğinden yararlanılır. IHF sisteminde üretilen kabarcıkların ortalama boyutu 700-1500 µm civarındadır (Zheng and Zhao, 1993).

### *2.3.4 Nozul jlotasyomı (NF)*

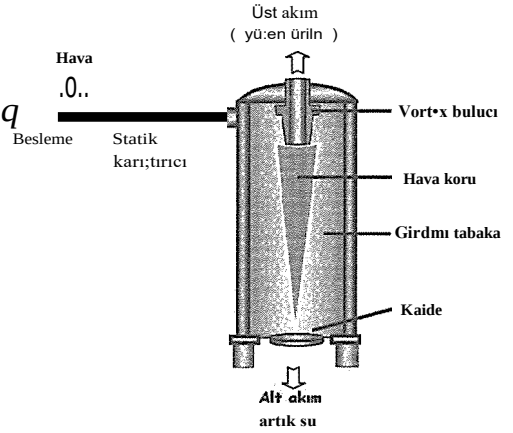
Nozul flotasyonu bilhassa petrokimyasal endüstrisinde yağ-su emülsiyonlarının ayrıştırılmasında ve metalik yağ yüklü atık suyun arıtılması işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu teknolojide havanın sirküle olan suyun içerisine emilimi için bir nozul kullanılır. Üretilen kabarcıkların boyutu 400-800 µm arasında olup, IAF sistemine göre daha düşük yatırım ve bakım maliyeti vardır.




Şekil 9. Nozul Flotasyonu

### *2.3.6 Santrifüj jlotasyouu (SF)*

SF teknolojisi genellikle yağ, gres, BOD (biykimyasal oksijen ihtiyaç kaynağı) gibi maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılır. Sistemdeki ayırıcı bir hidrosiklon veya basit bir silindir olabilir. 100 ile 1000 µm boyutundaki hava kabarcıkları hava enjeksiyonu yoluyla statik mikser veya nozul kullanımıyla gerçekleştirilir . Şekilde tipik bir SF olan kabarcık ivmelenme flotasyonu olan BAF görünmektedir (Rubio vd., 2002).




Şekil 1O. Santrifüj Flotasyonu

### *2.3.7 Kavitasyon jlotasyonıı ( KF)*

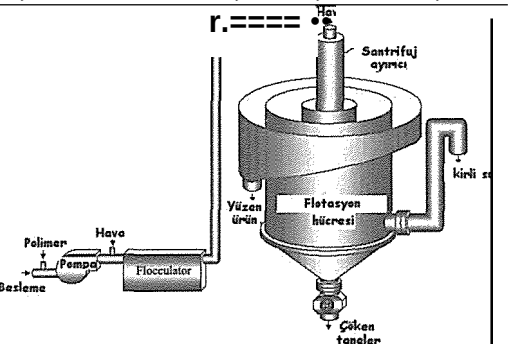
KF teknolojisi gıda sektöründe (özellikle süt endüstrisinde), boya ve tabakhane sektöründe katı taneciklerini, yağları, gresleri, BOD ve COD (kimyasal oksijen ihtiyaç kaynağı) gibi maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Sistemde dönen bir disk yardımıyla dış çevredeki hava şaftın içine mikro kabarcıklar şeklinde de atık suyun içerisine alınır. Fakat bu ekipmanın çalışmasıyla ilgili temel çalışmalar henüz yapılmamıştır.

### *2.3.8 Çökelti jlotasyouu*

Çökelti flotasyonu yöntemi bazı iyonların uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Sistemde uygun bazı reaktifler kullanılarak iyonların çökmesi sağlanır. Bu iyonların hava kabarcığına yapışarak yüzdüülmesi ile iyon uzaklaştırılması gerçekleştirilir (Huang ve Liu, 1999). Metal çözeltisi konsantrasyonuna bağlı olarak çökelme metal hidroksit veya uygun anyonların kullanımıyla da gerçekleştirilebilir.

### *2.3.9 Hava apronjlotasyonu*

Bu yöntemin herhangi bir endüstriyel uygulaması olmayıp, çalışmalar laboratuar ölçekte kalmıştır. Sistemin temelinde koloidal hava apronlarının veya mikro boyutlu kabarcıkların kullanımı söz konusudur. Yüksek hızlı ve düşük basınçlı bir ortamda yüksek kesme hızları etkisiyle oluşturulan 1O ile 50 µm arasındaki hava kabarcıkları oluşturularak çalışmalar yapılmıştır (Rubio v.d., 2002).




Şekil 11. Flokülasyon flotasyon

### *2.3.10 Adsorbsiyon kolloid flotasyonu (AKF)*

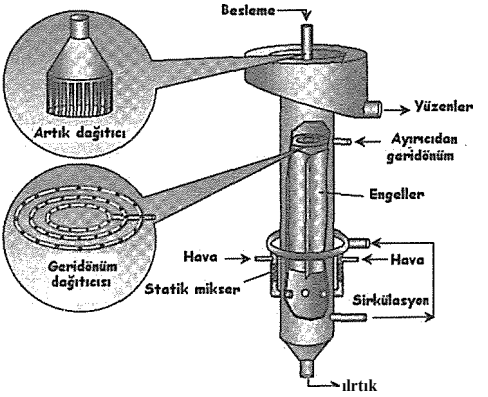
Bu method metal iyonlarının uzaklaştırılmasıyla ilgilidir. Adsorbsiyon sonucu taşıyıcılar yardımıyla oluşturulan koagule olmuş tanelerin toplayıcılar yardımıyla yüzdürülmesi prensibine dayanır. Burada koagülasyona yardımcı olan ana taşıyıcılar (carriers) ferrik yada alüminyum hidroksitler olup, sodyum oleat yardımıyla sistem çalışır. Şili'de molibdenyum iyonlarının Cu-Mo konsantresinden uzaklaştırılmasında AKP yöntemi kullanılıyor olup, $Fe(OH)_3$ molibdenyum taşıyıcısı ve sodyum oleat da toplayıcı olarak kullanılmaktadır (Rubio v.d., 2002).

### *2.3.J 1 Flokülasyon-jlotasyon prosesi (FF)*

Sistem; LTM (Laboratorio de Tecnologia Mineral e Ambiental) de geliştirilen kabarcıklı flokların yardımıyla yapılan türbülanslı bir flokülasyon sistemidir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerler ve kabarcıklar ile yüksek kesme hızlarının oluşturulduğu ortamda oluşan bu floklar kısa sürede yüzerler. Fazla hava flotasyon tankından ayrılır (santrifüj) ve floklar birkaç saniye içinde yüzerler. Kabarcıklı floklar birkaç milimetre çapında ve düşük yoğunluklu yapıdadırlar.

### *2.3.12 Çoklu kabarcıklıjlotasyon kolonu*

Koloidal ferik hidroksitleri uzaklaştırmak amacıyla geliştirilmiş statik mikser ve ÇHF'deki gibi kabarcık üretimi yapan bir flotasyon cihazıdır. Cihaz ÇHF'ye göre daha yüksek taşıma kapasitelerine sahiptir (yüksek katı oranlarında da çalışabilmektedir) (Feris vd, 2001).




Şekil 12. Çoklu Kabarcıklı Flotasyon Kolonu

## SONUÇLAR

Flotasyon makine dizaynını etkileyen önemli faktörler aşağıda sıralanmıştır;

- Katı, sıvı ve gaz fazlarının etkileşim halinde olduğu oıiamın hidrodinamik olayları; özellikle, pülpün etkin karışabilirliğini sağlayacak güç donanımına haiz olması, ve mineral

taneciklerinin çökelmesine sebep olacak pasif bölgelerin olmaması,
- Yüzdürülecek tane boyutu dağılımının gerektirdiği hava şarjını temin edecek donanıma sahip olabilmesi,
- Türbülans miktarını flotasyon makinasının kullanım amacına uygun olarak temin edebilmesi,
- Bakımının kolay ve bakım masraflarının az oluşu,
- Flotasyon operatörlerince çalıştırılmasına ait özelliklerin alternatifli ve yeterince esnek olabilmesi,
- Proses kontrolüne yatkın dizayn özelliklerine sahip olabilmeli,
- Metalurjik denge verilerinin teminine uygun temsili numune alınabilecek vanalara haiz olmasıdır

Günümüze kadar çok değişik yapıda ve şekilde makine dizaynı yapılmıştır. Bu tasarımlarda en önemli farklılığın karıştırma şekli olduğu görülmüş flotasyon cihazları mekanik karıştırmalı ve hava ile karıştırmalı olarak iki gruba ayrılmıştır.

Mekanik karıştırmalı makineler belli tane boyutu aralıklarında kaba, supurn1e ve temizleme flotasyonlarında verimli olarak kullanılmaktadır. Bu makinelerdeki gelişim daha çok kapasitede olmuştur. Bu da maliyet ve proses ekonomisiyle ilgili bir durum olup büyük tonajlı madencilikte oldukça önem kazanmıştır. Bu amaca uygun olarak, günümüzde 260 $m^{3'}$ lük makineler tasarımlanmıştır.

Belirli bir tane boyutunun altında ise mekanik makinelerin yerını hava ile karıştırmalı makineler almaktadır. Flotasyon kolonları bunlar için iyi birer örnektir ve flotasyon tesislerinin temizleme devrelerinde çok sık olarak kullanılırlar. Cevher hazırlamada her geçen gün eskisinden daha karmaşık cevherlerin zenginleştirilmesi söz konusudur. Buna ilişkin olarak serbestleşme boyutları küçülmektedir. İnce boyutlu minerallerin verimli bir şekilde kazanılması için ince hava kabarcığı oluşturma gerekliliği bir çok makine tasarımında bir odak noktası teşkil etmektedir.

Ayrıca bazı özel kullanımlar bunların niteliğine uygun özellikte makine tasarımlarını ortaya çıkarmıştır. Bu makineler de ayrı bir bölüm halinde sınıflandırılmıştır.

## KABUL VE TEŞEKKÜR

Bu makalede özellikle dış kaynaklı yayınlardan (örneğin, Brezilya'lı meslektaşımız Rubio ve çalışma arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalardan) yararlanarak çeşitli flotasyon makinelerinin tanıtılmasını amaç edindik. Bunların özellikleri ve kullanım parametrelerinin bilinmesinin kullanıcılar, araştırınacılar ve tasarımcılar için yararlı olacağına inanmaktayız. Bu vesile ile ders notlarından yararlandığımız Prof.Dr. Bahri ÖTEYAKA'ya da teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Altınkaya, A., 2003. Tunçbilek Termik Santrali Curuflarındaki Yanmamış Karbonun Flotasyon Yöntemi ile Kazanılması, *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,* Kütahya.

Atak, S., 1982. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, *İstanbul, İ.T.Ü Maden Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi.*

Ata, S. ve Önder, Ü.Y., 1997. Yeni bir flotasyo teknolojisi: Jameson Flotasyon Hücresi, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası dergisi,* ISSN: 0024-9416, Aralık, Ankara-Türkiye

Bautin P., ve Wheeler, D., A., 1967. Column flotation development- using an 18 inpilot unit, *Canadian Mining Journal,* March, s 94-1O1

Bilir K., Öteyaka B., Uçbaş Y., Bozkurt R. & Suer Ü., 1997. Modifiye Flotasyon Kolonunda İri Taneli Feldspatların Zenginleştirilmesi, *2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,* s253-261

Bratby, J. and Marais, G. V.R., In:Purchas, D.B. (Ed) 1977. Flotation,.Solid/liquid Separation Equipament Scale-up, 5, Croydon: *Upland Press* pp.155-198.

Brewis, T., 1991.Flotation Cells, *Mining Magazine,* 160 (7), 18-24.

Chugh, Y.P. ve Patwardhan, A. 2003. Mine-mouth power and processing stream gnration using fine coal waste fuel, *Resources Conservation & Recycling,* s1-20.

Evans, G.M, Atkinson, B.W. and Jameson, G.J. Ed. Matis 1995. The Jameson Celi, *Flotation Science and Engineering,,* Marcel Dekker.

Dawson, W.J. ve Jackson, B.R., 1995. Evolution of jameson celi for Solvent extraction applications, *Copper Hydrometallurgy Forum,* Sept. 18-19, Brisbane, Australia, s1-9.

Demir, U. 2004. Tunçbilek Termik Santrali Izgara Altı Cürufunun Kolon Flotasyonu Yöntemi ile Kazanımı. *Dumlupınar Üni. Y.lisans Tezi.*

Eades, A., Brignall, W.J., 1995. Counter-current dissolved air flotation/filtration, *Water Science and Technology* 31, 173-178.

Feris, L.A., Gallina, C.W., Rodrigues, R.T., Rubio, J., 2001.Optimizing dissolved air flotation design and saturation, *Water Science and Technology* 8, 145-152.

Finch, J.A. 1995, Column flotation: A selected review- part IV: Novel flotation devices, *Minerals Engineering,* Volume 8, Issue 6, Page 587-602.

Filippov, L.O., Joussemet, R., Houot, R., 2000. Bubble spargers in column flotation, *Minerals Engineering* 13(1), 37-51.

Finch, J.A. and Dobby, G.S. 1991. Column flotation: A Selected Review. Part I. *lnternational Journal of Mineral Processing,* Volume 33, Issue 1-4, Pages 343-354.

Finch, J. A., and Dobby, G. S. 1990. Column Flotation, *Oxford: Pergamon Press,* pp. 1

Fuerstenau, M.C., Eds. Parekh and Miller 1999. Froth Flotation: The Ninety Years, *Advanced in Flotation Technology,p.3-23.*

Fuerstenau, M.C. ve Somasunduran, P. Ed. Fuerstenau ve Han 2003. Flotation. Principles of Mineral Processing, *Society for Mining, Metallurgy and Exploration,* Inc.

Gochin, R.J., Solari, J.A., 1983. Dissolved air flotation for recovery of fine cassiterite. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy,* Sect. C 92, C52-58.

Gray, M.P.,Harbort G.J. ve Murphy, A.S. 2002. Flotation circuit design utilising the Jameson celi, *MIM Processing Technologies,* Brisbane, Queensland, www.mim.com.au

Gu, X., Chiang, S.H., 1999. A novel flotation column for oily water cleanup, *Separation and Purification Technology* 16, 193-203.

Harbort, G., De Bono, S., Carr, D., ve Lawson, V. 2003. Jameson Celi Fundementals-A Revised Perspective, *Minerals Engineering,* Vol. 16, lssue 11, p.1091-1101

Honaker, R.Q., Reed, S.,Mohanty,M.K. ve Kerr-McGee Corporation 1996, In-Plant testing ofa novel coal cleaning circuit using advanced technologies, *Final Technical Report of DOE Cooperative,* project ICCI numarası: 95-1/1.lA-lP.

Huang, C.J., Liu, J.C., 1999. Precipitate flotation of fluoride-containing wastewater from a semiconductor manufacturer. *Water Research* 33 (16), 3403-3412.

Jameson , G.J., 1999. Hydrophobicity and floc density in induced-air flotation for water treatment, *Colloids and Suifaces,* A: Physicochemical and Engineering Aspects 151, s 269-281.

Kaya, M., 1998. Flotasyon El Kitabı-!, Teknoloji Araştırma Merkezi, Yayın No: TN98-002-MK *Anadolu Üniversitesi Yayın* No:449, MMF.

Kelebek, S., J.B. Beauchamp, D.A. Murphy, Marrs, G.G., Macnamara, D.D. Eds: Gomez, C.O. & Finch, J.A, 1996. Column Flotation Practice in Cu-Ni Separation at Falconbridge, *Proceedings COLUMN 96* , Pergamon press, s. 119-134, Montreal.

Kelebek, S., Wells, P.F., Macnamara, D.D., Marrs, G.G., Heinrich, G.W., Eds.: Finch, J.A. Rao, S.R. and Holubec, 1997. Recent Improvements in Column Flotation Circuits at Falconbridge, in Processing of Complex Ores Mineral Processing and the Environment, CIM, pp. 33-47.

Mohanty, M.K. ve Honaker, R.Q. 1999. Performance optimization of Jameson Flotation Technology for finecoal cleaning, *Minerals Engineering,* vol.12, No.4, s 367-381.

Mohanty M.K., 2001. Technical note: In-Plant optimization of a full scale Jameson flotation celi, *Minerals Engineering,* Vol.14, No.11, pp 1531-1536.

Mount Isa Mine (MIM) Process Technologies, Major installation in solvent extraction-electrowinning, coal and base metal flotation-Jameson Celi, www.mimpt.com.au

Murphy, A.S., Honaker, R., Manlapig, Lee, D.J. ve Harbor G.J., 2005. Breaking boundaries of jameson celi capcity,www.xstratatech.com/current/doc/jc_**boundaries.pdfMIM** Process pres.

Nelson, M.G., Traczyk, F.P. ve Lelinski, D. Eds. Mular, Halbe and Barratt 2002. Design of Mechanical Flotation Machines, *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control Proceedings*, , Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, lnc.

Nelson,M.G. and Lelinski, D., 2000. Hydrodynamic design of self-aerating flotation machines, *Minerals Engineering*, p. 991-998, Pergamon.

Öteyaka ve Soto, 1995, Modelling of Negative Bias Column For Coarse Particles Flotation, *Minerals Engineering,Vol.8,pp.91-100.*

Öteyaka, (2006), Flotasyon ders notları.

Solari, J. A. and Gochin, R. J., Fundamental Aspects of Microbubbles Flotation, in: Colloid Chemistry in Mineral Processing, ed. J. Ralston. and J.S. Laskowski, 13, pp.395-418 (1992).

Şahbaz, O., 2005. Tunçbilek Termik Santrali Cüruflarındaki Yanmamış Karbonun Jameson Flotasyon Kolonu ile Geri Kazanımı. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi.*

Pyecha, J., Lacouture, B., Sims, S., Hope, G., Stradling, A., 2006. Evaluation ofa Microcel™ sparger in the Red Dog column flotation cells. *Miıerals Engiıeeriıg,* 19, 748-757.

Rubio, J., Souza, M.L ve Smith, R.W. 2002. Overwiev offlotation asa Wastewater Treatment Technique. *Miıerals Eıgiıeering,* 15, 139-155.

Rubio, J. ve Tessele, F., 1997. Removal of heavy metal ions by adsorptive particulate flotation. *Minerals Engineeriıg* 10 (7), 671-679.

Tessele, F., Rubio, J., Misra, M., 1998. Removal of Hg, As and Se ionsfrom gold cyanide leach solutions by dissolved air flotation. *Miıerals Eıgiıeering* 11 (6), 535-543.

Yoon, R.H., Luttrell, G.H., 1994. Microcele column flotation scaleup and plant practice, in: *Proceedings of The 26th Annual Meeting Canadian Mineral Processing*, CiM, paper 12.

Young, P., 1982. Flotation Machines, *Mining Magazine*, 146 (1), 35-36.

Zabel, T., 1992. Flotation in water treatrnent. in: Mavros, P., Matis,K.A. (Eds.), Innovations in *Flotation Technology. Kluwer Academic 'Publishers*, Dordrecht, MA.

Zheng, Y.Y., Zhao, C.C., 1993. A Study ofkinetics on nduced-airflotation for oil-water separation. *Separation Science and Technology* 28 (5), 1233-1240.

# Tünel Açma Makinelerinin (TBM) Tam Boyutlu Kesme Deneyi ile Performans Tahmini

## *Performance Prediction ofTunnel Boring Machines (TBM) Using Ful! Scale Linear Rock Cutting Test*

C. Balcı, N. Bilgin, H. Çopur & D. Tumaç
*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak-İstanbul*

M. Akgül
*Anadoluray Ortak Girişimi, İstanbul*

**ÖZET** Bu çalışmada, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenen bir proje kapsamında yapılan ön bulgu ve çalışmalar verilmektedir. Tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) madencilik sektöründe cevhere ulaşabilmek için ana galerilerin ve kuyuların, inşaat sektöründe ise metro, hidroelektrik, kanalizasyon ve diğer altyapı tünellerinin açılmasında kullanılmaktadır. Bu tür makineler en sert ve en yumuşak formasyonlarda başarı ile kullanılmaktadır. Tam cepheli tünel açma makineleri ile basınç dayanımı 2500 kg/cm$^2$ olan bir granit formasyonunda, 7 ın çapında bir makine ile günde kolaylıkla 20-30 ın'lik kazı hızlarına ulaşılabilmektedir. Ülkemizde gerek ulaşım ve gerekse de altyapılar için makine ile tünel açına işleri son senelerde önemli ölçüde artmıştır. Bu çalışmalara, dünya da en büyük altyapı projelerinden tipik bir örnek, İstanbul'da Marmaray projesidir. Bu proje kapsamında Kadıköy-Kartal metro hattında dört adet TBM kullanılacaktır. Beş ayrı formasyonda, Yapı Merkezi - Yüksel - Doğuş - Yenigün - Belen İnşaat Ortak Girişimi (Anadoluray) grubuna kazılabilirlik deneyleri yapılmış ve bu çalışmada bir forınasyona ait bilgiler kullanılarak, tünel açına makinelerinin performans tahminine yönelik yapılan tipik bir uygulama verilmiştir.

**ABSTRACT** Preliıninary results and works of a project supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) are presented in this paper. Tunnel boring ınachines (TBMs) have been widely used in mining industries to excavate main drifts and shafts to reach ore body and in civil industries to bore underground, hydroelectric, drainage and other infrastructures tunnels. TBMs are used successfully to excavate tunnels in hard and soft rocks. Using diaıneter of 7 m. TBM in very strong rock like granite having uniaxial compressive strength 250 MPa (7-ft) can bore a tunnel with daily advances of 15-20 ın. The usage of tunnel boring machines have been considerably increased especially infrastructure and transportation purposes in recent years in Turkey. As a typical example for the most interesting transportation infrastructure projects in the world is Marmaray Project in İstanbul. Four tunnel boring ınachines will be used in Kartal-Kadikoy metro construction related to this project. Full-scale laboratory linear rock cutting tests were performed on fıve different rocks samples for Anadoluray joint venture. Performance prediction of tunnel boring machines will be discussed and typical example of perfonnance prediction application in one rock type given in this study.

## 1 GİRİŞ

İnşaat ve madencilik işlerinde tam cepheli tünel açına makinelerinin kullanımı son 30 yılda dikkat çekici şekilde hızla artmıştır. Madencilik endüstrisinde bu tür makinelerin kullanımı ilk yatırımlarının yüksek maliyet getirmesi, sadece dairesel kazı yapabilmesi ve kazı kesitinin büyük oluşu, açılan yatay galeri uzunluklarının kısa oluşu vd. nedenlerden dolayı sınırlı kalmıştır. Dünyada

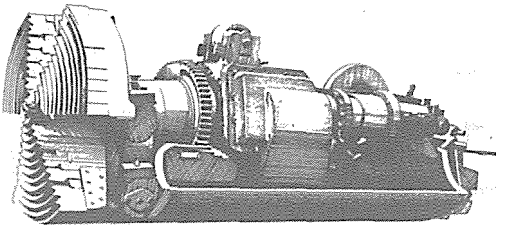
birkaç başarılı uygulaması daha çok cevhere ulaşmak için açılan yatay galerilerin ve ana nakliye yollarının kazısında olmuştur. Cevher üretimi dışında, özellikle uzun yatay galerilerin açılmasında TBM, klasik tünel açma yöntemlerine kıyasla hala avantajını sürdürmektedir.

TBM'lerin kullanımı daha çok inşaat sektöründe kendini göstermiştir. Özellikle kara ve demir yolu tünelleri, metrolar, kanalizasyon tünelleri gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuş ve klasik yöntem olan delme-patlatma yönteminin yerini almaya başlamıştır.

Hızlı, ekonomik ve verimli tünel ve galeri açmanın en temel unsuru; tünel açma makinelerinin bilinçli seçilmesi ve kullanılmasının olduğu artık herkes tarafından kabul edilmektedir. Tünel açma makinelerinin seçimi ve performans tahmini, mekanize tünel açma işinin en önemli konularından biridir. Geçmişteki örneklerden de görüldüğü gibi ihale öncesi yapılan sondaj çalışmaları ve hazırlanan jeoteknik raporlar yeterli değilse makine seçimi ve hatalı performans tahminleri müteahhit ve işvereni hukuksal yönden karşı karşıya getirmektedir. İşte bu çerçevede hazırlanan bu bildirinin ana hedefi, doğru makine seçimi ve performans analizi için uluslararası düzeyde kabul edilen deney ve yöntemlerin bir eleştirisini yapmak ve tipik örnekler vermektir.

## 2 TBM'LERİN TARİHÇESİ

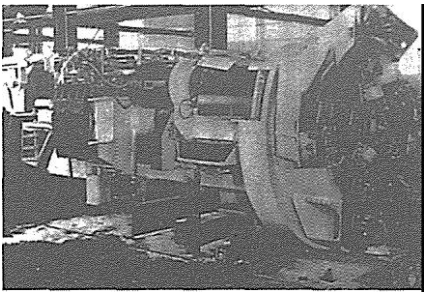
1851 yılında, Amerikalı Mühendis Charles Wilson tarafından geliştirilen tünel açma makinesi, ilk başarılı sürekli kazı yapan makine olarak dikkat çekmiştir. 1881 yılında, Colonel Beaumont tarafından geliştirilen tünel açma makinesi İngiliz kanalının altında keşif amaçlı kullanılmıştır (Şekil 1) Bu makine, kayayı toz boyutuna kadar parçalayan keskileri, sabit bir kesici kafada barındıran bir makine olarak dizayn edilmiştir. 2,1 metre çapındaki bu makine, projenin İngiltere kısmında 1,8 km den fazla kazı yapmış ve günde 24,5 metrelik kazı hızına ulaşmıştır (Stack,1995).



Şekil 1. Tam boyutlu tünel açma makinesi (1881 model)

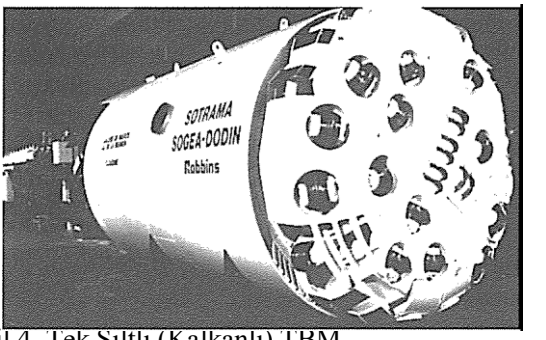
Güney Dakota'da ki Ohae Barajı'nın 1952'de ki inşasına kadar James Robbins'in dizayn ettiği makineden başka teknoloji ilerlemesi ıçın ciddi bir girişimde bulunulmamıştır. Bu makinenin çapı 7,85 111, gücü 150kW, yaklaşık ağırlığı 126 ton ve makinenin kesici kafası radyal olarak tasarlanmıştır. Ayrıca makine tungsten karbür pik keskiler ve paralel sıralı serbest disk keskilerle donatılmıştır. Bu makine 49 m'lik günlük ilerleme ile yumuşak şeyi kazısını tamamlamıştır (Stack, 1995).

İlk başarılı sert kaya makineleri (Şekil 2) 1956 yılında yapılmış ve Kanada'nın Toronto vilayetindeki Humber atık su projesinde kullanılmıştır. 3,3 m çapındaki Robbins marka makine (modeli 131-106) yaklaşık 4,5 km uzunluğundaki kumtaşı, şeyi ve kristalize kireçtaşı formasyonlarını kesmek için tasarlanmıştır. Bu makine pik keskiler ve disk keskiler ile donatılmıştır. Pik keskilerin hızla aşınması sebebiyle kesici kafada sadece disk keskiler bırakılmış ve bu tecrübe sert kaya formasyonlarında disk keski kullanımı fikrinin oluşmasını sağlamıştır (Franklin and Dusseault, 1989; Stack, 1995).



Şekil 2 Sert kaya formasyonları için ilk başarılı TBM (1956 Model 131-106)

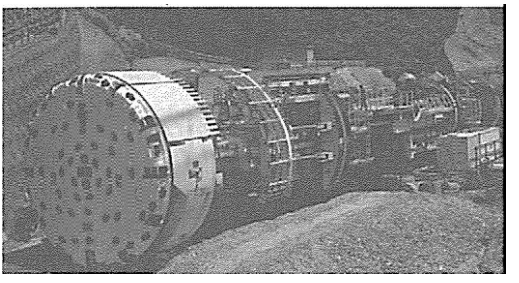
1950'lerin ortalarından günümüze, ilerlemesine devam ettiğinde segmentler TBM'lerdeki gelişmeler sağlam kaya ve kaya şildin dışında kalmaktadır. kütlesi özelliklerini dikkate alarak daha fazla güç ve itme kapasitesi yönünde ilerleme kaydetmiştir. Masif ve aşındırıcı sert formasyonlarda açık tipli makineler, akıcı ve yumuşak forınasyonlarda şiltli makineler olmak üzere iki yönde gelişmiştir.



Şekil 4. Tek Şıltlı (Kalkanlı) TBM

TBM dairesel hareket eden kesici kafasına monte edilmiş olan sıralı disk keskilerin hareketiyle kayayı parçalar. Disk keskiler kaya yüzeyine doğrn ilerlerken kesici kafa döner, bu şekilde her bir kafa dönüşünden sonra keski yeni kaya yüzeyini kesmektedir. Bu ilerleme mm/devir veya inch/devir olarak ilerleme hızının tarifidir.

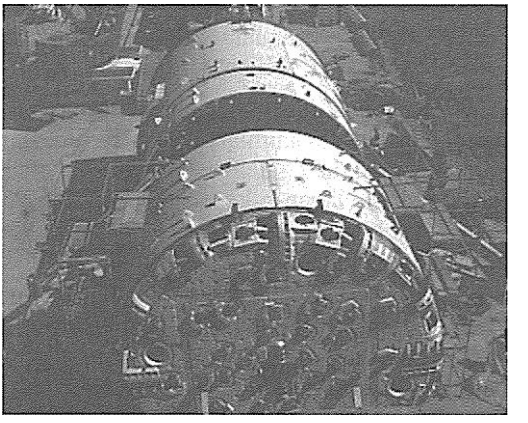
Şekil 3 günümüzde kullanılan tipik bir sert kaya TBM'idir. Kavrama papuçları makinenin kazı sırasında sabitlenmesini sağlayan bir ünitedir, itme kuvvetini iletir ve kazı sırasında tünel cidarına dayanarak dönme kuvvetine karşı reaksiyonu sağlar, bunun yanında makine ağırlığını taşıyan bir ünitedir.


Şekil 3. Sert kaya formasyonları için açık tipli bir makine

Geçilecek olan formasyonlar, açık tip makineler için uygun olmadığında yani kendisini tutamayan kırıklı çatlaklı formasyonların kazısında, şiltli makineler kullanılmaktadır. İki çeşit şiltli TBM tasarımı vardır. Bunlar; tek şiltli ve iki şiltli TBM'lerdir.

Kazı ve destekleme sistemlerinin ard arda yerleştirildiği tek şiltli bir TBM'in görünümü Şekil 4'de verilmiştir. Bu sistemde bir ring'lik kazı ilerlemesinden sonra makine durduıulur ve pistonlar çekilerek segment erektörleri aracılığıyla segmentlerin montajı yapılır. Montajı yapılan segmentler şiltin içindedir ve makine kazı yaparak

Çift şiltli tünel açma makinesi TBM Şekil 5'de görülmektedir. Sert kaya formasyonlarda, arkadaki şilde yerleştirilmiş olan papuçlara ilerleme silindirleri basmaktadır, kazı devam ederken eğer gerekli ise yeni ring montajı uygulanabilir. Bu sistem operasyonun sürekliliğini sağlar. Eğer tünel duvarı papuçların basıncını kaldıramıyorsa, örneğin duraylı olmayan formasyonlarda, makine tünel duvarı yerine en son tamamlanan ringe basar. Bu sisteme geçiş yapılırsa makine tek şiltli TBM'ler gibi çalışmaya başlar.


Şekil 5. Çift Şiltli (Kalkanlı) TBM

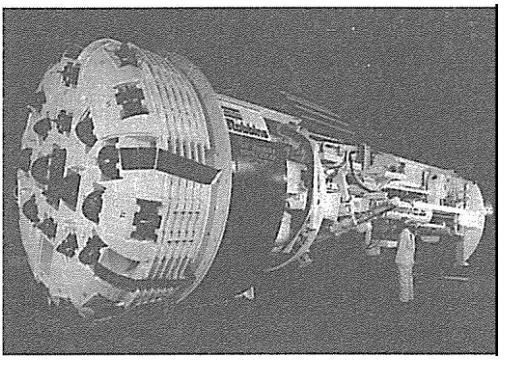
## 3 TBM'LERİN MADENCİLİK ALANINDA KULLANIMI

Bu bölümde TBM'lerin madencilik alanında özellikle iki yeraltı metal madenlerinde uygulaması konu edilmiştir. Son iki başarılı

uygulaması Amerika Birleşik Devleti'nde San Manual bakır madeni ve Stillwater platin madeninde olmuştur. Ülkemizde TBM'lerin madencilik alanında uygulaması bulunmamaktadır.

### 3.1 TBM'in San Manuel Bakır Madeni Uygulaması

Atlas Copco Robbins marka sert kaya TBM'i, Amerika'da Magma Bakır Şirketi'ne ait San Manuel madeninde özellikle cevhere ulaşmak ıçın ana nakliye galerilerinin açılmasına kullanılmıştır. San Manuel bakır madeninde kullanılan Robbins marka TBM Şekil 6'da ve özellikleri Tablo l 'de verilmiştir.



Şekil 6. San Manual bakır madeninde kullanılan TBM (Robbins).

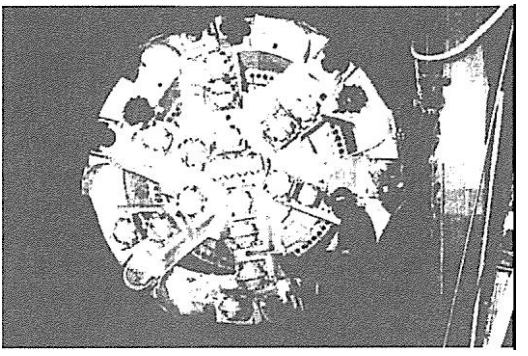
TBM'in kullanıldığı formasyonların tek eksenli basınç dayanımları 150 MPa ile 180 MPa arasında değişmektedir. 1993 kasımında başlayan ilk kazılarda TBM'de bazı problem olmuş ve yeniden tasarımlandınlmıştır. Bu durumda günlük ilerleme hızları 6,46 m'den 22,6 m'ye kadar çıkmıştır (Cigla, 2001; Allum, 1995).

Tablo 1. Robbins marka TBM'in özellikleri (Cigla, 2001).

| | | |
|---|---|---|
| Kazı Çapı | | 4,62m |
| Kesici kafa | Kurulu güç | 1259kW |
| | RPM | 4 12 |
| | İtme kuvveti | 7,340kN |
| Keski | Sayısı | 33 |
| | Uç genişliği | 15.875 mm |
| | Çapı | 432mm |
| | Maksimum yük | 222 kN/cutter |
| İtme uzunluğu | | 1.575 m |
| Minimum kurp yarıçapı | | 105 m |
| Ağırlık | | 225 t |

### 3.2 TBM'in Stillwater Platin Madeni Uygulaması

CTS marka 460-12 model sert kaya TBM'i Stillwater platin madeninde cevhere ulaşmak için tünel açma işinde kullanılmıştır Aynı zamanda San Manuel madeninde kullanılan TBM revize edilerek bu projede ikinci yaklaşım tünelinin açılmasında kullanılmıştır (Alexander,1995; Cigla, 2001). Stillwater platin madeninde kullanılan CTS marka TBM Şekil 7'de ve özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 7. Stillwater platin madeninde kullanılan TBM (CTS).

Tablo 2. CTS marka TBM'in özellikleri (Cigla, 2001)..

| | | |
|---|---|---|
| Kazı Çapı | | 4.58 m |
| Kesici kafa | Kurulu güç | 1345 kW |
| | RPM | l l.6/3.8 |
| | İtme kuvveti | 8,545 kN |
| Keski | Sayısı | 26-432 mm<br>3-406mm |
| | Uç genişliği | 15.875 111111 |
| | Maksimum yük | 222 kN/cutter |
| İtme uzunluğu | | 1,220mm |
| Minimum kurp yarıçapı | | 61 m |
| Ağırlık | | 275 t |

## 4 TBM'LERİN TASARIM PARAMETRELERİ

### 4.1 Keskiler Arası Mesafe ve Keski Sayısı

Birim hacimdeki kayayı belirli keskiler arası mesafede kesebilmek için harcanan enerjiler karşılaştırıldığında her bir kaya için optimum

bir keskiler arası mesafe olduğu belirlenmiştir. Bu keskiler arası mesafeyi esas olarak formasyonun yapısı etkilemektedir. Oluşan küçük kırıntılar/kesintiler nedeniyle birim hacimdeki kayayı kesmek için daha çok spesifik enerji sarfiyatına sebep olur ve kazı işinin ekonomikliği azalır. Büyük boyutlu kesintilerin elde edilebilmesi için kesici kafa parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Optimum kırıntı boyutuna ulaşmak için ortalama keskiler arası mesafe kayaç özelliklerine göre değişmekte ancak kesici kafanın çapı ile kullanılacak olan keski miktarının doğrnsal olarak arttığı bilinmektedir. Bir TBM'in ne kadar keskiye gereksinimi olduğu aşağıdaki Formül 1 ile hesaplanabilir.

$$N_c = \frac{D_{TEM}}{2S} + N''_{kuşe} \quad (1)$$

Burada,
DrnM : Kesici kafanın çapı (mm)
S : Optimum kesinti boyutuna ulaşmak için ortalama keskiler arası mesafe (mm)
Nköşe : Kafadaki köşe keski sayısı (5-10)

## 4.2 Kesici Kafa Dönüş Hızı (Devir, RPM)

Disk keski yataklarının ve yatak tutucularının kapasiteleri kafanın çevresel dönüş hızını belirlemektedir. Disk keski üreticileri tarafından önerilen köşe keskilerin dönüş hızları disk keski çapına dayanmaktadır. Örneğin; bugünün disk keski teknolojileri ile 432 mm'lik bir keski için tavsiye edilen köşe keski hızı 152 m/dak' dır. Bu bilgi göz önüne alındığında kesici kafanın deviri, kesici kafanın çapı ve tavsiye edilen disk keski hızının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki Formül 2 ile hesaplanır.

$$RPM = \frac{V}{ff.Dm,ı} \quad (2)$$

Burada,
V : Kabul edilebilir disk keski hızı (m/dak)
DrnM : Kesici kafanın çapı (m)

## 4.3 Kesici Kafa Gücü ve Tork Gereksinimi

Kesici kafaya monte edilmiş olan bütün keskilerin kazı işlemine karşı göstermiş oldukları direnç, gerekli olan torkun ve makine gücünün belirlenmesini sağlar. Kesici kafanın arkasına yerleştirilen elektrik motorları yardımıyla da kesici kafanın hareketi sağlanır.

Torku veya gücü hesaplarken kullanılan formül, kaya formasyonunun, disk keskinin ve kesici kafa çapının bir fonksiyonudur. Aşağıdaki basit ve güvenilir Fonnül 3, sert kaya formasyonlarında kullanılan TBM'lerin tork gereksinimlerinin hesaplanabilmesi için kullanılmaktadır.

$$T = \frac{N_c.F_R.D_{TBM}.(0,54).f_L}{2} \quad (3)$$

Burada,
Ne : Disk sayısı
FR : Keski başına ortalama yuvarlanma kuvveti (kN)
DrnM : Kesici kafa çapı (m)
0,54 : Ortalama kuvvet moment kolu
fL : Sürtünme kayıpları

Gerekli olan tork ve devir bilindiği takdirde, gerekli olan makine gücü de Formül 4 ile hesaplanabilir.

$$Güç = 2x;rxRPMxT \quad (4)$$

Burada,
Güç : Makine gücü (kW)
T : Tork (kNm)
RPM : kesici kafanın bir dakikadaki dönüş hızı.

## 4.4 İtme Kuvveti Gereksinimi

Formül 5, sert kaya formasyonlarında kullanılan TBM'lerin itme kuvveti gereksinimlerinin hesaplanabilmesi ıçın kullanılmaktadır.

$$FT = N_c x F_N x f_L \quad (5)$$

Burada,
Ne : Disk sayısı
FN : Keski başına ortalama itme kuvveti (kN)
fL : Sürtünme kayıpları

## 5 PERFORMANS TAHMiN MODELLERİ

TBM'lerin performans tahminleri, makinelerin kullanıldıkları madencilik ve inşaat projelerinde, makinelerin teknik ve ekonomik verimliliklerinin belirlenmesi için kritik bir göstergedir.

Makina seçimini ve performansını etkileyen faktörler üç ana grupta toplanabilir. !'1aki!:e i.le ilgili faktörler, formasyonun JeoloJık ve Je teknik özellikleri ve işletme faktörleridir. ilk iki faktör Tablo 3'de özetlenmiştir. Ekipman temin hızı, teknik personel kalitesi, işyeri organizasyonu gibi faktörler işletme parametreleridir.

Tablo 3. Kazı makinalarının performansını etkileyen bazı parametreler (Çopur vd. 1997]

| Makina Özelliklerine Bağlı Parametreler | Jeolojik Parametreler |
|---|---|
| Makine Özellikleri | Kaya Kütlesi Özellikleri |
| Makinanın tipi | Kaya kalite değeri (RQD) |
| Makinanın ağırlığı ve boyutları | Kaya kütlesi sınıflama sistemi (RMR) |
| Pasa toplama ve taşıma kapasitesi | Jeolojik süreksizlikler |
| Makinanın yaşı | Hidrojeolojik durum |
| Makinanın kurulu toplam gücü | |
| Kesici Kafa Özellikleri | Kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri |
| Kesici kafanın tipi ve boyutu | Kaya kesme parametreleri (Spesifik enerji, kesme kuvvetleri) |
| Kesici kafanın gücü | Dayanım özellikleri (Basınç ve çekme dayanımı, kohezyon, elastik değeri) |
| Keskilerin dizilimi ve sayısı | Yüzey sertliği (Shore ve Schmidt çekici değeri) |
| Keski tipi ve özellikleri | Kaya dokusu (Porozite, kuvars içeriği, mikroçatlaklar ve tane boyutu) |
| | Aşındırıcılığı (Cerchar değeri) |
| | Sismik özellikler (P ve S dalgası) |
| | Diğer özellikler (Yoğunluk, nem oranı) |

Makina performansının kestirimi için, kazı malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri kaya kütlesi özellikleri ve makin karakteristikleri hakkında bilgi toplamak çok önemlidir. Bu üç grup arasındaki bağlantı bize keski kaya, makine etkileşimi hakkında bilgi sağlar ve performans kestiriminde yol gösterir.

Günümüzde sıkça kullanılan tam cepheli tünel açma makineleri için geliştirilen performans kestirim çalışmalarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Tablo 4'de özetlenmiştir.

Tablo 4. Tam cepheli galeri açma makineleri için geliştirilen performans kestirim yöntemlerinin kritiğinin özeti (Balci, 2004).

| Yöntem | Avantajları | Dezavantajları ve Kritiği |
|---|---|---|
| **Fannervc** Glossop **Yaklaşımı** | **Kayalann çekme dayanımı yardımı ile kolayca pcrfonnans kestirimi yapılabilmektedir.** | Global bir yaklaşım **sunmaktadır.** |
| **Graham Yaklaşımı** | **Kayaların basınç dayanınu yardımı ile kolayca performans kestirimi** yapılabilmektedir. | Global bir yaklaşım **sunmaktadır.** |
| **Trondheim Üniversitesi ve** Norveç **Teknoloji Enstitüsü Yaklaşımı** | **Uzun süren araştınnaların sonucunda geliştirilmiş ve uygulama alanı bulmuştur.** | **İstenilen ampirik deneyler her yerde yapılamamakta ve pahalıdır.** |
| **Tony Peach** Yaklaşımı | **Hem makina hem de kaya özelliklerini içennektc ve namogram yardımı ile performans kestirilcbilınektedir.** | Global bir yaklaşım **sunmaktadır.** |
| McFcat-Smith **ve Tarkoy Yaklaşımı** | **İndeks deneyler yardımı ile perfonnans kestirimi** yapılabilmektedir. | **Makina özelliklerini ve jeolojik süreksizlikleri yansıtmamaktadır.** |
| **Nick Barton Yaklaşımı** | **Uzun siiren çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir.** | **Makina özelliklerini tam yansıtmamakta ve** kullandığı indeks **deneylerin yapılabilmesi özel donanımlar gcrcktinnektedir. Bu tür deneyler her yerde yapılamamaktadır.** |
| Hughcs **Yaklaşımı** | **Hem makina hemde kaya özelliklerini içennektedir.** | **Jeolojik süreksizliklcrin etkisi incelenmemiştir.** |
| Bamford **Yaklaşımı** | **Hem makina hem de kaya özelliklerini içcnnekte ve indeks deneyler yardımı ile perfonnans kestirilebilınektedir.** | Global bir yaklaşım **sunmaktadır.** |
| **Cassinclli ve** Arkadaşları **Yaklaşımı** | **Kaya tahkimat sınıflama sistemi kullanılarak perfonnans analizi** yapılabilmektedir. | **Makina özelliklerini dikkate almamaktadır.** |
| **Ozdemirve Arkadaşları** Yaklaşımı | **Uzun yıllar süren araştınnalann sonucunda geliştirilmiş ve yoğun uygulama alanı bulmuş** global bir yaklaşımdır. | **Deneylerin yapılabilmesi için özel donanımlar gerekmektedir. Bu tür deneyler her yerde yapılamamakta ve** pahalıdır. |

## 6 TAM JJOYUTLU DOGRUSAL KAZI DENEYi

Bu yöntemin amacı gerçek boyutlu bir keski ile kaya bloğunun kesilmesi ve gerekli spesifik enerJının hesaplanması esasına dayanmaktadır. Teorik olarak, net ilerleme hızı, makine kesme gücü ve spesifik enerji arasında Formül 6 mevcuttur (Özdemir, 1975 ve Rostami, 1994).

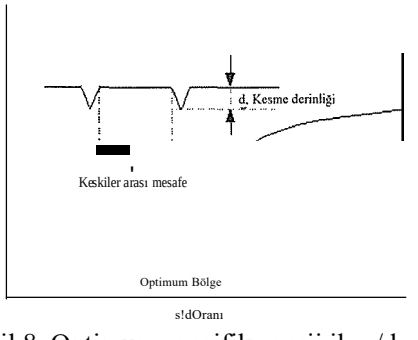
$$\text{Net kazı hızı}(m^3/h) \quad \frac{Kx_!_}{SE} \qquad (6)$$

Burada;

P : Kesici kafa gücü, kW
SE : Optimum spesifik enerji, kWh/m$^3$
K : Kesici kafa gücünü kayaca iletme oranı

Bu eşitlikte K kaya kütlesi özelliklerine ve makina tipine bağlı olarak 0.85-0.95 arasında değişen bir katsayıdır (Rostami, 1994). Optimum spesifik enerji ise laboratuvar tam boyut kesme deneylerinden elde edilmektedir. Kazı mekaniği prensiplerine bağlı olarak yapılan kesme deneylerinde öyle bir keskiler arası mesafe/kesme derinliği (s/d) oranı vardır ki bu değerde birim hacimdeki kayacı kesme için gerekli olan spesifik enerji mınımum olmaktadır. Optimum keskiler arası mesafe, kesme derinliğine bağlı olduğundan, boyutsuz olan s/d oranı optimum çalışma şartlarını vermektedir.

Şekil 8'den görüldüğü gibi optimum orana ulaşana kadar s/d oranının artmasıyla spesifik enerji değeri azalmaktadır. Bu oranın ötesinde spesifik enerji değeri artmaya başlamaktadır.




Şekil 8. Optimum spesifik enerji ile s/d arasındaki hipotetik eğri

## 7 TBM'LERIN SEÇiMi VE PERFORMANSINA TİPİK BİR ÖRNEK

TBM kullanılması düşünülen, Kadıköy Kartal Metro hattında geçilecek Kartal formasyonundan alınan kaya blokları üzerinde tam boyutlu kesme deneyleri yapılmıştır.

Alınan kaya numuneleri üzerinde laboratuarda tam boyutlu kazı seti kullanılarak, 330 mm çapında bir sabit kesit alanlı (CCS) diskle, değişik kesme derinliklerinde ve keskiler arası mesafede deneyler yaparak, disk itme kuvvetleri, yuvarlanma kuvvetleri ve kWh/m$^3$ cinsinden spesifik enerji değerleri bulunmuştur. Sonuçlar TBM seçimine ve optimum parametrelerin tespitine yönelik analiz edilmiştir.

Tam boyutlu kesme deneyine tabi tutulacak numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 5'de verilmektedir (Bilgin vd, 2006).

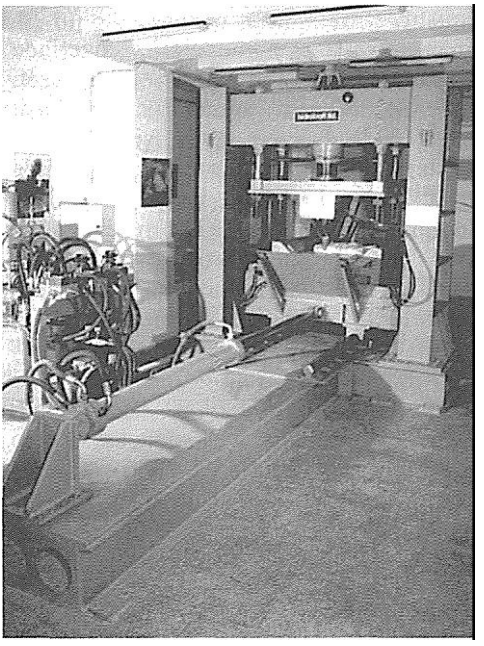
Tablo 5. Numune fiziksel ve mekanik özellikleri

| Fiziksel ve Mekanik Özellikler | Kartal Formasyonu |
|---|---|
| Tek eksenli basınç dayanımı (MPa) | 65,6 |
| Çekme dayanımı (MPa) | 7,4 |
| Statik Poisson Oranı | 0,35 |
| Statik elastik modül (0Pa) | 12,6 |
| Dinamik elastik modül (0Pa) | 77,3 |
| Cerchar aşındırıcılık indeksi | 1,5 |
| Schmidt Çekici (N-24) | 40 |
| Yoğunluk (gr/cm$^3$) | 2,62 |

### 7.1 Tam Boyutlu Kesme Deney Setinin Tanıtılması

Tam boyutlu kesme deney seti Şekil 9'da gösterilmiştir. Deney seti, İ.T.Ü Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde, NATO-TU projesi çerçevesinde kurulmuştur. Deney setinde 0,7 x 0,7 x 1 m boyutlarına kadar kaya blokları test edilebilmektedir. Strain gauge'lerle donatılmış, özel yapım bir alüminyum dinamometre yardımı ile 50 ton'a kadar keski kuvvetleri ölçülebilmektedir. Veri alma sistemi ile her bir saniyede 2000 veri alınabilmekte böylelikle kayacın kopma mekanizması çok yakından

incelenebilmektedir. Hidrolik silindirler vasıtasıyla kaya bloğunu yatay ve keski-keski tutucu dikey olarak hareket ettirilebilmekte, böylelikle keskiler arası mesafe ve kesme derinliği istenilen değere ayarlanabilmektedir (Bilgin vd, 1999).

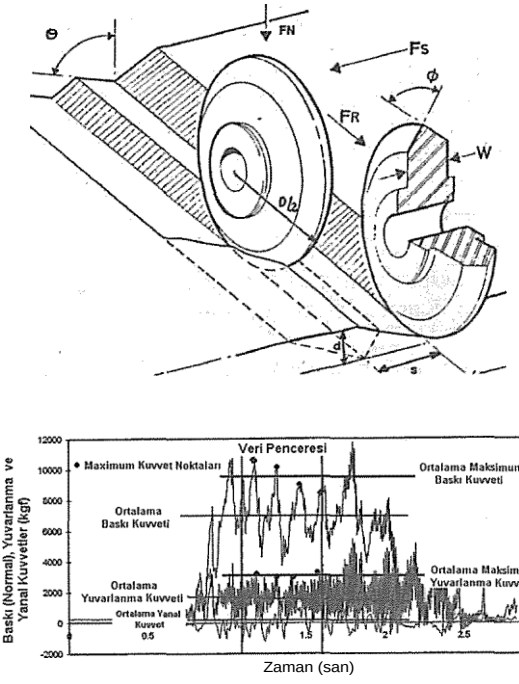


Şekil 9. Tam boyutlu kazı setinin genel görünümü

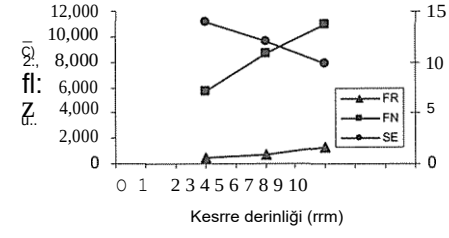
Tam boyutlu kaya kesme deneylerinde aşağıdaki parametreler tünel açma makinesinin perfonnansını tahmin etmek amacı ile bulunmuştur. Ayrıca bu parametreler Şekil 1O'da disk keski tasarım parametreleri olarak sunulmuştur.

s : Keskiler arası mesafe
d : Kesme derinliği
FR : Ortalama yuvarlanma kuvveti
FN : Ortalama baskı (normal) kuvveti
FR' : Maksimum yuvarlanma kuvveti
FN' : Maksimum normal kuvvet
SE : Spesifik eneıji

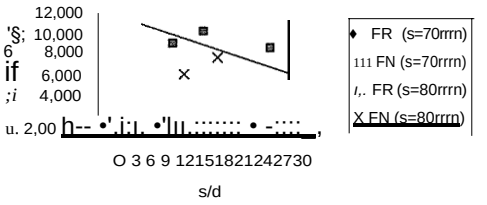
Tam boyutlu kesme deneylerinden elde edilen kesme derinliğine bağlı ortalama yuvarlanma kuvveti, baskı kuvveti ve spesifik enerji arasındaki ilişki Şekil 11'de görülmektedir. Değişik s/d oranlarında etkileşimli (yardımlı) kesme deneyleri, sonuçları ortalama yuvarlanma, baskı kuvveti ilişkisi Şekil 12'de verilmiştir. Optimum s/d ile birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli enerji değeri arasındaki ilişki Şekil 13'de verilmiştir.



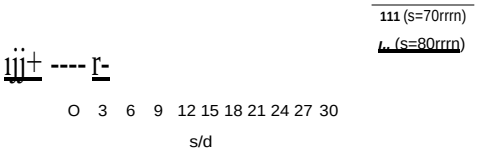

Şekil 1O. Disk keski tasarım parametreleri




Şekil 11. Kartal Kireçtaşı (etkileşimsiz) deneylerinde oluşan keski kuvvetleri




Şekil 12. Kartal Kireçtaşı (etkileşimsiz) deneylerinde oluşan keski kuvvetleri




Şekil 13. Kartal Kireçtaşı için SE'nin s/d ile değişimi

### 7.2 Kesme Deneyi Sonuçlarının Kartal Formasyonu için İrdelenmesi

Kartal formasyonunda yapılan kesme deneyi sonuçlarından 330 mm çapındaki sabit kesit alanlı (CCS) disk için optimum s/d oranı 10, optimum baskı kuvveti (FN) bu optimum s/d oranı için 6500 kgf, optimum yuvarlanma kuvveti (FR) 750 kgf, keskiler arası mesafe 8 cm, or1timum spesifik enerji SE = 4,0 kWh/m$^3$ bulunmuştur. Kullanılacak TBM kesici kafa çapı (D) 6,2 m olarak alınırsa toplam keski sayısı 44 olarak bulunur. 330 mm'lik keski için tavsiye edilen köşe keski hızı 120 m/dak olarak alınırsa kesici kafa dönüş hızı, N = 6 devir/dak. bulunur. TBM'in kesici kafasının bir dönüşü için kesme derinliğin 8 mm olarak hesaplanmıştır.

Eğer % 20 sürtünme kayıpları göz önüne alınırsa:

TBM'in toplam itme kuvveti;

$$FN = 44 \times 6500 \times 1,2 = 343200 \text{ kgf} = 343 \text{ t.}$$

Optimum şartlarda TBM'in tork gereksinimi;

$$T = \sum_{n=1}^{n=44} R \times \frac{D}{4} \times 1,2$$ (sürtünme kayıpları gözönüne alındığında)

$$T = \sum_{n=1}^{} 44 \times 750 \times \frac{6,2}{4} \times 1,2 \text{ kgm(sürtünme dahil)}$$

$$T = 61380 \text{ kgm}$$

$$T = 614 \text{ kNm}$$

- Optimum şartlarda TBM'in harcayacağı kesme gücü;

$$P = 2.n.N.T$$

$$P = \frac{2 \times 6,614}{60} \text{ kW} \cdot P = 385 \text{ kw}$$

- % 60 verimlilikle TBM'in toplam kesici kafa gücü;

$$P = \frac{385}{0,6} \text{ kw}; \quad P = 642 \text{ kw}$$

- Günlük ilerleme hızının tespiti;

Saatteki net kazı miktarı aşağıdaki bağıntıdan hesap edilebilir.

$$ICR = \frac{k.}{SE}$$

$$ICR = 0,85 \cdot \frac{385 \text{ kW}}{4 \text{ kW_ h/_'m}}$$

$$ICR = 81,8 \text{ m}^3\text{/h.}$$

Makine faydalanma oranı % 40 ve 2 x 10 h'lik çalışma süresi alındığında;.

Günlük ilerleme hızı

$$\frac{81,8 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 2 \times 10 \text{h} \times 0,4 \times 4}{\pi \times 6,2^2 \text{ m}^2}$$

Kartal formasyonu için günlük ilerleme hızı = 21,7 m/gün bulunur.

## 8 SONUÇLAR

Bu çalışmada özellikle kaya tünel açma makineleri sınıflandırılmış, genel özellikleri ve seçim kriterlerinden sözedilmiştir. Tünel açma makinelerinin kullanılacağı alt yapı projeleri büyük yatırımlar olup, projenin maliyeti ve başarısı projeye başlamadan önce seçilecek tünel açma makinesinin

özelliklerinin doğru seçimine bağlıdır. Bu amaçla tünel açma makinelerinin performans tahminine yönelik yapılan bir araştırma ve tipik bir uygulama verilmiş ve projeye başlamadan önce günlük ilerleme miktarı yapılan tam boyutlu kesme deneylerinden elde edilmiştir.

Çalışmalar çok sayıdaki değişik formasyonlardan alınacak numuneler üzerinde tekrarlanacaktır. Ayrıca tam cepheli tünel açma makinelerinin kullanıldığı tünellerde yerinde ölçüm yapılarak arazi ve laboratuar kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

## TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, 106M298 No'lu projeye verdiği maddi destek için Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürü borç bilirler. Ayrıca, Yapı Merkezi - Yüksel - Doğuş Yenigün - Belen İnşaat Ortak Girişimi (Anadoluray) grubuna ve Proje Müdürü İnş. Müh. Sayın Ramih MUŞTU'ya bu projeye verdikleri çok değerli katkılarından dolayı teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Alexander, C. 1999. Development of Stillwater Mining Company's East Boulder Project Using Tunnel Boring Technology. *SME Annual Meeting*. Denver CO, USA: 1-8

Allum, R. & VanDerPas, E. 1995. TBM Technology in a Deep Underground Copper Mine. *Rapid Excavation and Tunneling Conference*, p.129-143

Balci, C., 2004. Mezanize kazı makinelerinin seçiminde küçük boyutlu kazı ve tam boyutlu kazı deneylerinin karşılaştırılması, Doktora tezi, İstanbul teknik Ünüversitesi, Fen BilimleriEnstitüsü, Mayıs, 269 s.

Bilgin, N., Balci, C., Tuncdemir, H., Eskikaya, S., Akgul, M., Algan, M., 1999. The performance prediction of a TBM in Tuzla-Dragos sewerage tunnel, *Proceedings of the world tunnel congress on challengesfor the 21st centıay.* Oslo, p. 817-27.

Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C., Feridunoğlu, C., Tumaç, D., 2006. TBM performans tahmini için Kadıköy-Kartal metro tünel hattındaki fonnasyonların kazılabilirlik özellikleri, *İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,* Anadoluray için hazırlanmış yayınlanmamış rapor, İstanbul.

Cigla, M., Yagiz, S., and Ozdemir, L, 2001, ' Application of Tunnel Boring Machines in Underground Mine Development, *lnternational Mining Congress,* Ankara, Turkey.

Copur, H., Rostami, J., Ozdemir, L., Bilgin, N., 1997. Studies on performance prediction of roadheaders based on fıeld data in mining and tunneling projects, *Fourth lnternational Syınposium on Mine Mechanization and Autoınation,* Brisbane, Queensland, 1, 1-7.

Franklin, J.A. & Dusseault, M.B. 1989. *Rock Engineering,* New York: McGraw-Hill.

Ozdemir, L., 1975. A laboratory and fıeld investigation of tunnel boreability, *MSc. Thesis,* Tl755, Colorado School of Mines, Golden, CO, 184.

Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil, D.M., 1994. Performance prediction a key issue in mechanical hard rock mining, *Mining Engineer,* November, 1263-1267.

Stack, B. 1995. *Encyclopaedia ofTunnelling Mining and Drilling Eqıieptment,* Volume 1-2, Mining Hobart Muden Publishing Company, Hobart, Australia,1911 s.

# Açık Ocak Sınırlarında Şev Altında Kalan Kömürün Üretilmesinde Kullanılan Teknoloji ve Ekipmanlar

# *Technology and Equipments Used to Produce Coal from Highwall of Open Pits*

M.M. Ceyhan
*Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara*

B. Ünver, M.A. Hindistan
*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET:** Açık ocakların sınırları büyük ölçüde örtü-kazı oranının artmasına bağlı olarak belirlenir. Kömür damarının şev altında devam ettiği durumlarda, burada bırakılan kömürler yok olmaya terk edilmekte ve önemli miktarlarda rezerv kaybına neden olmaktadır. Oysa, şev altında bırakalılan bu kömür, şartların elverdiği durumlarda üretilmeye hazır bir kömür rezervi olarak değerlendirilebilir. Dünyada farklı şevaltı üretim yöntemleri kullanılarak, aksi takdirde yok olmaya bırakılacak olan, çok önemli miktarlarda kömür üretilmektedir. Bu bildiride, dünyada kullanılan farklı şevaltı üretim yöntemleri ve kullanılan ekipmanlar hakkında bilgiler verilmektedir.

**ABSTRACT:** Open pit limits are determined, to a great extent, by means of increased stripping ratio. Where a coal seam extends under the highwall, this reserve is left leading to a decreased overall extraction ratio. However, coal left below higwalls can be considered as a ready reserve for production where conditions prevail. Considerable amount of coal is produced by higwall mining methods in the world, otherwise the reserve would have been lost. This paper briefly presents highwall mining methods, technology and equipments used.

## I GİRİŞ

Ülkemizde özellikle sanayi sektöründe enerji ihtiyacının önemli bir kısmı mevcut kömür rezervleri tarafından karşılanmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması ve bunun ülke ekonomisine sağlayacağı yararlar göz önünde bulundurulduğunda, şev altında terkedilmiş kömür rezervleri ve bu rezervlerin üretilme olanağını sağlayan şevaltı üretim yöntemleri önem kazanmaktadır (Ceyhan vd., 2006)

Kelly (1999) ve Matsui vd. (2001), şevaltı üretim yöntemini açık işletmelerde şev altında bırakılan kömür rezervlerinin basamak üzerinde konumlandırılan burgu (auger), ya da sürekli kazı makinesi (continuous miner) ile üretilmesi olarak tanımlamışlardır.

Şevaltı üretim yöntemlerinde uygun yöntemin belirlenmesinde en önemli etmenlerden biri, kömür tabakasının kalınlığıdır. Kömür tabakaları ince, orta ve kalın olarak sınıflanmaktadır. Dünyada kalın kömür tabakası tanımı, ülkelere ve yerel madencilik endüstrilerine göre değişmekle birlikte, kalın kömür tabakası için 4.8 m alt sınır olarak kabul edilmektedir (Singh, 1999).

İnce damarlarda şev altında bırakılan kömür rezervlerini üretmek için burgu (auger) kazı yöntemi 1940'lı yılların sonunda ABD'deki dağlık Appalachia kömür sahalarında, örtü kazı oranının aşıldığı ya da açık işletme sınırlarında terkedilecek veya sadece yeraltı üretim yöntemleri ile çıkarılabilecek kömüıü elde etmek için

geliştirilmiştir (Hartman, 1987; Erdem, 2001). Burgu kazı yöntemi konusunda toplanan ilk istatistiksel bilgiler, 205000 ton üretimin yapıldığı 1951 yılına aittir (Erdem, 2001). 70'li yıllarda, bu üretim yöntemi kullanılarak ABD'de 18 milyon ton kömür üretimi yapılmıştır. Birleşik Devletler Maden Bürosu (USBM) 'un bir çalışmasında; Appalachia bölgesinde çoğu kontur tipi açık kömür işletmelerinde 30000 kın uzunluğundaki basamaklarda bu yöntem uygulanabilir bulunmuştur. 260 m derinliğe ulaşabilen kazı yöntemiyle, mevcut açık işletme üretim yöntemleri ile üretilmesi ekonomik olmayan 18 milyon tondan fazla kömür rezervinin üretilebilirliği de ortaya konulmuştur (Chadwick, 1993).

Avustralya'da, burgu kazı yöntemi ilk defa German Creek Ocağı'nda ve daha sonra 1991'de Callide Ocağında denemeler şeklinde uygulanmıştır. Günümüzde burgu kazı yönteminde verimliliği artırabilmek için yeni makine tasarımları yapılmaktadır. Gelişen şevaltı üretim teknolojisi ile birlikte 90'lı yılların başında ABD'deki Appalachia kömür sahalarında şev altında bırakılan kömür rezervleri, Joy-Addington Addcar™ şevaltı üretim yöntemi kullanılarak, yine kömür damarına dik olarak 3.5 m genişliğinde ve 360 m derinliğinde açıklıklar oluşturularak üretilmiştir (Robl vd., 1998).

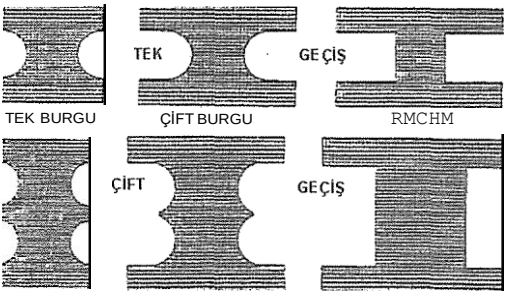
Şevaltı üretim yöntemleri; ABD'de ve Avustralya'da kalınlıkları 3 m'den az olan tabakalarda, %40'dan az kömür kazanım oranı ile uygulanmaktadır. Avustralya' da şev altında terk edilmiş rezervlerde, yüksek kazanım elde etmek için 3-15 m arasındaki kalın damarlarda şevaltı üretim yöntemleri uygulamalarının gerekli olduğu belirtilmektedir (Clark ve Boyd, 1998). Şevaltı üretim yöntemlerinin başarılı olabilmesi için aşağıda belirtilen konuların araştırılarak gerçekçi öngörülerde bulunulması gereklidir:

i. Desteklenmeyen açıklıklardaki tavan tabakaları davranışlarının önceden tahmin edilmesi (sayısal modelleme vb., çalışmaların yapılması),
ii. Şev duraylılığının sağlanması,
iii. Açıklıklarda oluşabilecek olası göçük problemlerine karşı güvenilir topuk tasarımlarının yapılması ve ek destek yöntemlerinin belirlenmesi (Follington vd., 1997).

Özellikle kalın kömür damarlarının üretildiği yeraltı ocaklarında dolgulu üretim yönteminin kullanılmasıyla daha etkin bir destek ve tasman kontrolu yapılmakta, çevre kayacın kontı·olu daha iyi sağlanmaktadır ( Shimada vd., 2003). Kazılan açıklıkların doldurulması neticesinde duraylılık aıiacak ve şevaltı üretimin yapıldığı kısmın üzerinde bulunan şevde oluşabilecek duraysızlık problemleri en aza indirilebilecektir.

## 2 ŞEVALTi ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE KULLANILAN MAKİNELER

Şevaltı üretim yönteminin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken etkenler damar kalınlığı, kömür kazanım miktarı ve kazının sürekliliğidir. Esas itibariyle oluşturulacak açıklık geometrilerine göre farklı şevaltı üretim yöntemleri mevcuttur. Şekil 1'de üç farklı açıklık geometrisi gösterilmiştir (Clark ve Boyd, 1998).




Şekil 1 Farklı şevaltı üretim açıklığı şekilleri (Clark ve Boyd, 1998).

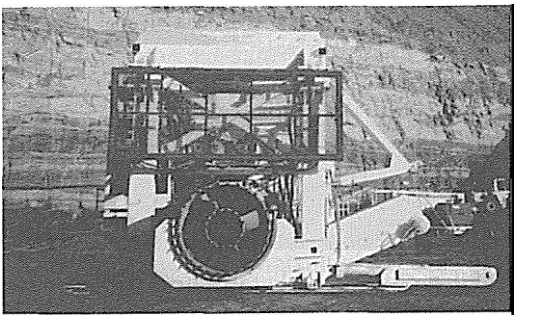
### 2.1 Burgu Kazı Yöntemi

Burgu kazı yöntemi; geleneksel açık işletme yöntemi uygulamaları sonrasında şev altında bırakılan, 0.6 ile 2.4 m arasında kalınlığa sahip kömür damarlarının kazılması için kullanılan bir yöntemdir. Kömür, damar içerisinde dairesel açıklıklar oluşturularak üretilir. Bu yöntem, genellikle kalınlığı az olan damarlarda uygulanır (McCarter, 1992). Başka bir ifadeyle burgu kazı yöntemi; Chadwick (1993) tarafından basamak üzerine

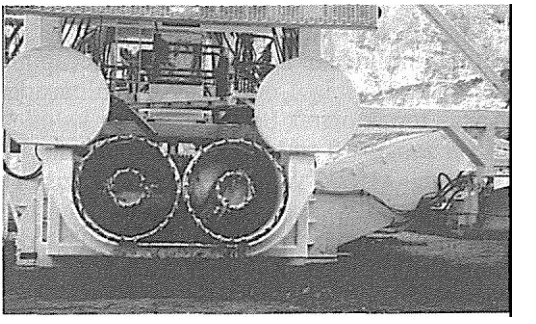
yerleştirilen ve kömür damarına dik olacak şekilde konumlandırılan burgu kazı makinesinin damar içerisinde ilerletilmesi ve birbirine paralel açıklıklar oluşturnlması olarak tanımlanmıştır.

Basu (1997)'ya göre, en ideal koşullarda bile, burgu kazı yöntemi ile kömür kazanımı %30-40 civarındadır. Önemli miktarlarda kömür, burgulanmış deliklerin altında veya üzerinde ya da delikler arasında topuk olarak bırakılmaktadır. Erdem (2001)' e göre ise, Beasley vd. (199l)'dan elde edinilen bilgilere göre, kazıcı burgu makine serbest ayarlanabilir hidrolik kriko ile donatıldığından burgu düzeneği tavan ve tabandaki pasaya göre ayarlanıp düzeltme olanağına sahiptir. Böylece kömür kazanım oranlan, damarın %80'ine kadar çıkabilmektedir. Geleneksel tipteki bir makine, kesici kafa ya da kesici kafalar ile kömür taşımak için kullanılan burgular ve motorlu bir tahrik biriminden oluşmaktadır (Erdem, 2001). Tek ve çift kesici kafalı burgu makineleri Şekil 2 ve Şekil 3'de, tipik burgu birimi de Şekil 4'de gösterilmiştir.

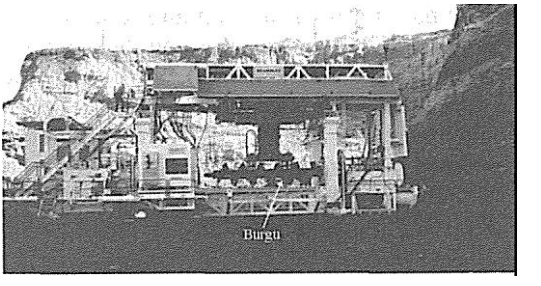
Kazı sırasında, kesici kafa bir rota uzunluğu kadar itilmektedir. Tahrik biriminden ayrılıp, geri çekilmesinden sonra diğer bir rota birimi yerleştirilmekte ve birim yine kömür damarı içerisine itilmektedir. Çoğu burgunun ilerleme derinliği; damarın kalınlığına ve dalımına, kömüıün ufalanabilirliğine, tavan ve taban tabakalarının koşullan ile kömürün yapısına göre değişmektedir. Burgu çapında genellikle göz önünde bulundurulan ölçüt, damarın olabilecek en kalın kısmının bir delikten alınabilmesi ile olmakla beraber, damar kalınlığından dolayı tek burgunun yetersiz olduğu durumlarda birinci deliğin üzerine ikinci bir delik delinmektedir. Şekil 5'de tek kesici kafalı burgu makinesiyle, açılmış delikler, Şekil 6' da da çift kesici kafalı burgu makinesi ile açılmış delikler görülmektedir. Bu şekilde damar kalınlığından dolayı burgu çapı daman bir defada açmaya yetersiz olduğundan, birinci burgu deliğinin üzerine ikinci burgu delikleri açılmıştır.



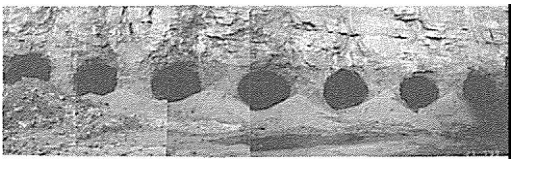
Şekil 2 Tek kesici kafalı burgu makinesi (Anon, 2003).



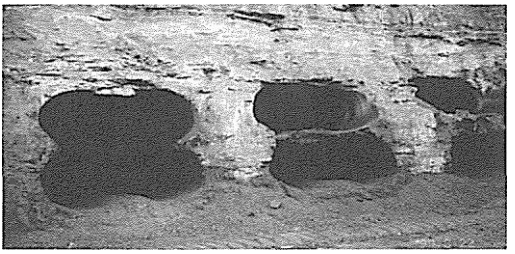
Şekil 3 Çift kesici kafalı burgu makinesi (Anon, 2003).




Şekil 4 Tipik burgu birimi (Anon, 2003).



Şekil 5 Tek kesici kafalı burgu makinesi ile açılmış delikler (Anon, 2003).



Şekil 6 Çift kesici kafalı burgu makinesi ile açılmış delikler (Anon, 2003).

Delikler arasında bırakılan topuk genişlikleri, damarın üzerinde ve altında bulunan tabakaların kalınlıklarına ve dayanımlarına bağlıdır. Topuk kalınlıklarının belirlenmesindeki ana kural, burgu çapının her 25 cm'si için 4 cm topuk bırakılmasıdır. Ancak topuk olarak bırakılan kömür kalınlığı hiçbir zaman 10 cm'den az olmamaktadır.

Sanda (199l)'ya göre burgu kazısında üretim oranı ile kazanım oranı arasında ters ilişki bulunmaktadır (Erdem, 2001). Delikler derinleştikçe kazanım oranı artmakta, ancak delikler kısaldıkça vardiyada üretilen kömür miktarı artmaktadır. Örneğin; 1.22 m çapında bir burgu ile genel olarak 122 m'nin üzerindeki delik boylarında 700 ton/gün üretim sağlanırken, 92 m'lik deliklerde ise ortalama üretim 1000 ton/gün olmakta ve günlük 300 ton fazla üretim için her delikten 30 m uzunluğunda kömür kaybedilmektedir. Burgu makineleri teknolojisindeki gelişmeler sonucunda 45 m'lik delik uzunluğunda %35'1ik kazanım oranlarının geçmişte kaldığı, 120-150 m'lik burgu derinliği ile %75'1ik kazanım oranına ulaşılabildiği belirtilmektedir.

Gerard vd. (198l)'a göre ABD'de açık ocaklardan yılda yaklaşık olarak 15 milyon ton kömür burgu kazı yöntemi ile üretilmiştir. Orta Queensland, (Avustralya)'da bulunan Oaky Creek Ocağında, 1977 yılının sonlarına doğru bir "zımbalama (punch)" burgu işlemi başlatılmıştır. Proje, daha önce gerçekleştirilen açık işletme çalışmalarından kalan bir basamakta, yılda 7 milyon ton kömür üretimini kapsamaktadır (Erdem, 2001). Avustralya'daki Ulan kömür ocağında burgu kazı yöntemi, açıklıkların her biri 200 ıh uzunluğunda olacak şekilde açılmış ve her ay yaklaşık olarak 60.000 ton kömür kazanımı başarılmıştır (Shen ve Fama, 2000). Carter (1997)'a göre Queensland'da bulunan Maura Ocağında ise, işletilmeye hazır 109 milyon ton rezervin yalnızca %19'u 1995 yılından bu yana geleneksel yöntemlere bağlı kalınarak uygulanan yönteme uyacak şekilde yatay olarak (4°-6°) üretilmektedir (Erdem, 2001). 12°'ye varabilen daha eğimli damarlar için bir burgu makinesi ile bu tür damarların kazılması planlanmaktadır.

## 2.2 Sürekli Şevaltı Üretim Yöntemleri

Geleneksel burgu kazı tekniğinin değişik bir uygulaması olan 'şevaltı madenciliği' doğal olarak, ya da örtü kazısı sonrası ortaya çıkan kömür damarı mostralarındaki kömür rezervlerinin sürekli kazı makinesi ile kazanılmasını içermektedir. Avusturalya'da 1989 yılında BHP Avustralya kömür şirketi tarafından bu yöntem ilk kez kullanılarak her biri 30 m uzunluğunda olan 1O adet dikdörtgen şekilli açıklıktan üretim yapılmıştır. Yine Avustralya' daki Ulan kömür ocağında bu yöntem kullanılarak her biri 500 m uzunluğunda olan açıklıklardan ayda 124.000 ton kömür üretilmiştir (Shen ve Fama, 2000). 1991 yılında uygulanmaya başlanan şevaltı üretim yöntemleri ile sadece Avustralya'da 2002 yılına kadar toplam 25 milyon ton civarında kömür üretiminin güvenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirildiği bildirilmektedir (Adhikary vd, 2002). Bu üretim miktarı gerçekten de çok önemlidir.

Sürekli olarak kazı yapılan şevaltı üretim yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

### *2.2.1 AddcarTM şevaltı üretim yöntemi*

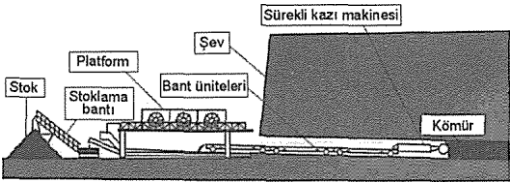
Giriş kısmında değinildiği gibi, 1990'1ı yılların başında The Joy-Addington Addcar™ şevaltı üretim yönteminin geliştirilmesi (Robl vd., 1998) ile şev altında bırakılan ince, orta ve kalın kömür damarlarında, sürekli olarak kazı yapılarak üretim yapılmıştır. 1993 yılının başında

Avustralya'daki Oaky Creek Ocağında bu yöntem başarı ile uygulanmıştır (Shen ve Fama, 2000).

Addcar üretim yöntemi; bir adet tambur tipli kollu sürekli kazı makinesi (continuous miner), bir adet nakliye ünitelerinin birbirine bağlandığı ya da dolu nakliye ünitelerin birbirinden ayrıldığı platform (lauch vehicle), bir adet kontrol birimi, 30 adet nakliye ünitesi ve şev altından kazanılan kömürün şev dışına çıkarıldıktan sonra yığın olarak depolanmasını sağlayan stoklama konveyöründen oluşmaktadır (Matsui vd., 2001). Addcar™ şevaltı üretim yöntemi, burgu kazısıyla kömür kazanımı yöntemine göre oldukça başarılı olan bir yöntemdir (O'Hagan, 1997). Şevaltı üretim yöntemlerinde, sürekli kazıyla üretim yapılabilmesi, jeolojik faktörlere de bağlıdır. Özellikle çalışma bölgesindeki tavan tabakaları türlerinin ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, üretim sırasında duraylılığı sağlamak için oldukça önemli olmaktadır (Moelle vd., 1995).

Tambur tipli kollu sürekli kazı makinesi, kömür damarı ile dik açı yapacak şekilde yerleştirilir (Matsui vd., 2001). Kazı makinesi ile kazılan kömür, kazıcı makinenin hemen arkasında yer alan, uzunluğu 12.5 ın ve ağırlığı 12 ton olan, çelikten yapılmış, lastik tekerlekli ve birbirlerine eklenerek uzunlukları arttırılan nakliye üniteleriyle (addcar) şev altından dışarı çıkartılır (O'Hagan, 1997). Bu ünitelerin her birinde 1-1.5 m genişliğinde bant konveyörler ve baş kısımlarında kendi motorları vardır. Böylece bant konveyörlerin, kömürün bir sonraki üniteye boşaltabilmesi için alçalması, ya da yükselmesi sağlanmaktadır (Robl ve Rathbone, 1997). Addcar üretim yöntemi; 0.97 m gibi ince kömür damarlarında kullanıldığı gibi, 5.2 m'lik kalın kömür damarlarında da kullanılabilir (Matsui vd., 2001). Bu yöntemdeki kazı açıklıklarının genişlikleri de 3.5 ın'dir (O'Hagan, 1997 Şekil 7'de Addcar™ şevaltı üretim yönteminin akım şeması ve ekipmanları gösterilmektedir.

Addcar™ üretim yöntemi ile haftada 20000-30000 ton kömür üretilebilmektedir. Yöntem; üretim giderlerini azalttığı gibi, açık ocaklardaki şev altında bırakılan kömürün üretimi sırasında güvenli bir çalışına ortamı sağlamaktadır. Kömür damarı içerisinde 500 m, ya da daha fazla ilerleme yapılabilmektedir. Tambur tipli kollu kazı makinesinin kazı yapabilmesi için makine üzerinde yer alan hidrolik kollar gerekli baskıyı sağlar. Bu kollar aracılığıyla kazı makinesinin kesme yüksekliği de arttırılabilmektedir (Matsui vd., 2001).




Şekil 7 Addcar™ şevaltı üretim yöntemi (O'Hagan, 1997).

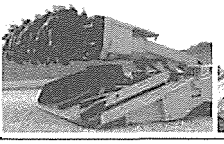
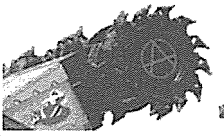
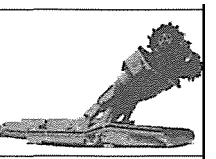
Çizelge 1'de farklı damar kalınlıklarına göre, Addcar™ üretim yönteminde kullanılan tambur tipli kollu sürekli kazı makineleri bazı özellikleri ile verilmiştir.

### 2.3 Archveyor™ Şevaltı Üretim Yöntemi

Archveyor şevaltı üretim yöntemi; bir adet tambur tipli kollu sürekli kazı makinesi ve zincirli konveyörlerin bağlandığı, ya da dolu konveyörlerin birbirinden ayrıldığı platformdan (loadout vehicle) oluşmaktadır. Yükleme aracında güç dağıtım ve kontrol üniteleri bulunmaktadır (Matsui vd., 2001).

Kazılan kömür, kazıcı makineden zincirli konveyöre aktarılır. Zincirli konveyör, kazılan kömürü şev altındaki kazı bölgesinden yükleme aracına kadar taşır. Yükleme aracına ulaşan kazılmış kömür, madencilikte kullanılan nakliye kamyonlarına yüklenebilecek şekildeki bir yüksekliğe stoklama konveyörü yardımıyla çıkartılarak kamyonlara yüklenir (Matsui vd., 2001). Bu yöntem kullanılarak şev altında bırakılan kömür rezervi sürekli olarak üretilebilmektedir. Ayrıca oluşturulan açıklıklar arasında bir miktar kömür rezervi topuk olarak bırakılmaktadır.

Çizelge 1 Farklı kalınlıktaki kömür damarlarında kullanılan tambur tipli kollu sürekli kazı makineleri ve özellikleri (Anon, 2004).

| |  |  |  |
|---|---|---|---|
| Damar kalınlığı | | orta | kalın |
| Model | HWH600 | HWH800 | HWHl000 |
| Motor gücü (HP) | 200 | 275 | 350 |
| Kesici kafa çapı (cm) | 81.28 | 106.68 | 122 |
| Kesme derinliği (cm) | 96.5-213 | 127-300 | 182-426 |
| Üretim kapasitesi (ton/ay) | 80000-100000 | 150000-200000 | 250000-300000 |
| Gerekli bant konveyör genişliği (m) | 1.2 | 1.5 | 1.5 |

Archveyor şevaltı üretim yöntemi ile şev altında güvenli bir şekilde üretim yapabilmek için her vardiyada yalnızca 2 işçiye gereksinim vardır ve madencilik koşullarına bağlı olarak haftada 30000 ton kömür üretilebilmektedir. Tambur tipli kollu sürekli kazı makinesi kazı yaparak ilerledikçe, her biri 1.85 m olan zincirli konveyör üniteleri birbirlerine eklenerek, kazı makinesinin arkasında yer alır. Bu yöntemle 350 m, ya da damar içerisinde daha fazla ilerleme yapılabilir (Matsui vd., 2001).

Konveyörlerin hareketi, her 7.5 m'de bir yer alan elektrik motorları ile sağlanmakta ve tüm motorlar aynı anda çalıştırılmaktadır. Motorlar ters yönde çalıştırıldığında ise, kazılan kömür şev altından dışarıya taşınmaktadır. Bu işlemler, kömür damarı içerisinde açılan delikte kazı işlemi sona erene kadar devam etmektedir (Matsui vd., 2001).

Tambur tipli kollu sürekli kazı makinesinde yer alan değişik güvenlik algılayıcılar aracılığıyla, otomatik olarak güvenli bir çalışma ortamı sağlanmış olmaktadır. Algılayıcılar; taban ve tavan pasif gama dedektör sistemi, çoklu eğim ölçerler, bir yüzük (halka) lazer ciroskop ve bir programlanabilir kontrol kaydedici biriminden oluşmaktadır. Bu programlanabilir kaydedici birimi (PLC) ile kazı işlemleri kontrol edilebilmektedir. PLC teknolojisi son 20 yılda kullanılmaya başlanmıştır ve gelişimi devam etmektedir. Son 1O yıldır yeraltında uzunayak üretim yöntemlerinde kullanılmaktadır. Archveyör şevaltı üretim yöntemiyle ucuz, verimli ve güvenli bir üretim yapılabilmektedir (Matsui vd., 2001).

### 2.4 Uzaktan Kumandalı Mostra Madenciliği Yöntemi

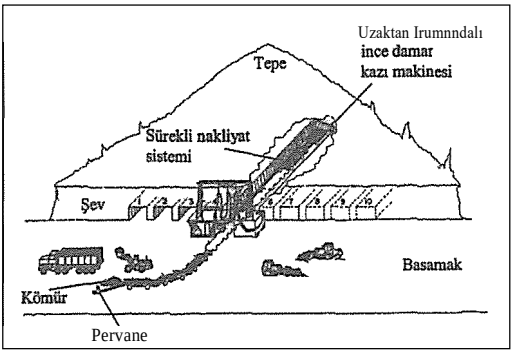
Uzaktan kumandalı mostra madenciliği yönteminde, sürekli kazı yöntemi basamaktan kontrol edilmekte ve kömür damarı içerisinde oluşturulan açıklıklarda personel bulunmadığından tavan kontrolüne ihtiyaç duyulmamaktadır. Kazı planı, yeni oluşturulan açıklıklar arasında önceden belirlenen kalınlıkta topuklar bırakılması ilkesine dayanmaktadır (Erdem, 2001).

Madencilik uygulamaları sırasında yapılan kazı çalışmalarında, makine üzerinde kullanıcı operatörleri ve kontrol birimleri için bir korumanın sağlanamaması, yani tavan tahkimatının yapılmamasından dolayı kullanıcının tehlikeli koşullar altında çalışma zorunluluğunun olması nedeniyle uzaktan kontrol yöntemi gündeme gelmiştir (Kwitowski vd., 1992).

Uzaktan kontrol, bilgisayar tabanlı ve kullanıcının çalışma sahasını göremeyeceği şekilde konumlandığı bir kabinden yönlendirmesi olarak tanımlanmıştır (Kwitowski vd., 1992). Dolayısıyla çalışan makine ile ilgili veriler doğrudan elde edilmemekte, ancak bilgiler video ve algılayıcılar yardımıyla toplanarak

kullanıcının bulunduğu bölgeye elektronik olarak iletilmektedir. Algılayıcılardan alınan bilgilerle kömür üretimi ve nakliye yöntemi kontrol edilebilmektedir. Operatörler, bu veriler yardımıyla kazı bölgesinde 3-15 m'lik bir kısmı görebilmektedir (Kwitowski vd., 1992).

Kwitowski vd. (1992)'a göre, 1985 yılında New Jeffrey model 102 HP gücünde bir makinenin yapılmasıyla "uzaktan kumandalı mostra madenciliği yöntemi" devreye alınmış ve kömür nakliyesi içinde, USBM tarafından geliştirilen "çok birimli bant nakliyesi" (Multiple Unit Conveyor Haulage) yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir (Erdem, 2001). Şekil 8'de uzaktan kumandalı mostra madenciliği yönteminin şematik görünümü verilmiştir.




Şekil 8 Uzaktan kumandalı mostra madenciliği yöntemi (Kwitowski vd.,1992; Erdem, 2001).

Bu tür bir kazı planının amaçlarından biri, kazı makinesinin mümkün olduğu kadar kısa sürede ilerleyip, geri çekilmesini sağlayarak kazıda harcanan zamanı en aza indirmektir. Böylece tavan desteğine gerek duyulmadan üretim yapılmaktadır. Bu yöntemde, burgu kazı yönteminin aksine, kazı derinliği arttıkça kömür kazısı ve nakliyatta meydana gelen güç kayıpları söz konusu değildir. Dolayısıyla, 305 m derinliğe kadar kömür kazısı gerçekleştirilebilmektedir.

1989 Ağustos ve Eylül ayları boyunca Morgentown W.V yakınlarında bir deneme bölgesinde yaklaşık 24.5 m genişliğindeki kısa bir platformda başarılı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Basamaktaki tabakalar % 6'lık eğimle, 140 cm kalınlıkta bir alt W.V damarı, 30.5 cm'lik şeyl ara kesmesi ve 99 cm kalınlığında üst W.V damarıdır. Tabanı kil olan damar 3.5 m kalınlığında sağlam şeyl ve 6 m uzunluğunda kumtaşı ile örtülmüştür. İnce damar sürekli kazı makinesinin kazı kalınlığı 122 cm olduğundan, alt W.V damarının tabandan 122 cm'lik kısmı kazılmıştır. Tavanda da üst ve alt kömür damarı arasındaki kesmeyi tutacağı umulan 15 cm'lik kömür bırakılmıştır. Kazı ortalama derinlikleri 36.5 m olan iki açıklıktan gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 4 işçi ve 1 nezaretçi yeterli bulunmuştur. Sonraki yıllarda bu yöntemde kullanılan kazı makinesinde gelişime gidilmiş, kesici kafa genişliği 3 m'den 3.5 m'ye, bum kol uzunluğu da 3 m'ye çıkartılmıştır (Kwitowski vd.,1992).

## 2.5 Dolgulu Şevaltı Üretim Yöntemi

Diğer şevaltı üretim yöntemlerinde de değinildiği gibi, açıklıklar arasında topuk olarak bir miktar kömür bırakılmaktadır. Şevaltı üretim yöntemlerinde karşılaşılan sorunlardan biri de, yeryüzünde meydana gelen tasmandır (Matsui vd., 2001).

Tasman; özellikle yeraltı kömür işletmelerinde kömür damarı üzerindeki kaya ve zemin tabakalarının damar içerisinde açılan açıklıklara doğru ani olarak çökmesi, ya da açıklık içerisine doğru kademeli olarak hareket etmesi sonucunda yeryüzünde meydana gelen tasman, örselenme olgusudur (Anon, 2002). Yeraltı kazılarında, özellikle yeryüzünde meydana gelebilecek tasman olaylarına karşı duyarlı olan birimlerde dolgu uygulaması halinde, yerüstü tasman olgusunun etkileri en aza indirilecektir (Akcan, 1986).

Afrouz (1994) çalışmasında, dolgunun yeraltı kömür ocaklarında aşağıdaki yararları sağladığını ifade etmiştir (Shimada vd., 2003):

- Dolgu uygulanan kazı bölgelerinde, daha ıyı bir destek ve tasman kontrolü yapılmaktadır.
- Çevre kayacın kontrolü daha iyi sağlanmaktadır.

- Özellikle oda-topuk yönteminde kömür kazanım miktarı artmaktadır.
- Bitişik üretim açıklıkları arasındaki havalandırma sırasında oluşabilecek kısa devre sorunları azalır.
- Kazılan yan kayacın yeryuzune çıkartılması ve bir yerde depolanması için yapılacak harcamalar ortadan kalkmaktadır.

Dolgu işleminde istenen dayanım, tabaka ve üretim koşullarına bağlıdır. Bu koşullar; kaya türleri ve özellikleri ile kazı derinliği ve üretim yöntemi gibi özelliklere bağlıdır. Sığ derinlikteki bir madende dolgunun dayanım gereksinimi, derin bir madene göre daha azdır. Ayrıca dolgu yapılmasıyla topukların "boy/genişlik" oranları azaltılabilmekte ve topukların yük taşıma kapasitelerinin artması ile özellikle kalın kömür damarlarında başarı ile üretim yapılabilmektedir (Matsui vd., 2001).

Ceyhan (2004) yaptığı çalışmada; açılan kalın kömür damarların açılan açıklıklar arasında topuk bırakılması, bırakılan açıklıkların kısmen doldurulması ve de kömür üretiminde kullanılan kazıcı makinenin dolgu malzemesinin üzerine çıkartılması ile tavan kömürünün kazılarak üretilmesi ve üretim işlemlerine bu şekilde devam edilmesi prensibine dayanan bir dolgulu şevaltı üretim yöntemi önermiştir.

## 3 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi özellikle ülkemiz gibi sanayi sektöründe enerji ihtiyacının büyük bir kısmını kömürle karşılayan ülkelerde kömür rezervlerinin tamamına yakınının kullanılıyor olabilmesi ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Bu açıdan şev altında yok olmaya terk edilen kömür rezervlerinin üretilebiliyor olması büyük önem kazanmaktadır.

Uygun şevaltı üretim yömteminin seçimi, kömür damarı kalınlığı, konumu vb bir çok etmene bağlıdır. Seçilen yöntemin verimli ve etkin olarak kullanılabilmesi de üretim aşamasında kulanılacak makine ve ekipman seçimine bağlı olmaktadır.

Yapılan bu araştırmanın geliştirilmesi ve ülkemizde terk edilmeye aday rezervlerin verimli şekilde üretilebilmesi için aşağıdaki çalışmaların da yapılması önerilmektedir:

a) Öncelikle şev altında terkedilen kömür rezervlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

b) Şev altında kömür bırakılan bölgelere, ileride üretilebilme ihtimali düşünülerek, tekrar döküm yapılmaması gerekmektedir. Çünkü, pasa malzemelerinin kaldırılması ilave bir maliyet çıkarmaktadır.

c) Herhangi bir şevaltı üretim yönteminin uygulanması durumunda karşılaşılabilecek durumların ya da sorunların önceden belirlenebilmesi ıçın yapılacak sayısal modelleme çalışmalarına daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Adhikary D.P., Shen, B. and Fama, M.D., 2002, "A study of highwall mining panel stability", Int. Journal of Rock Mechanics and Min. Sci., 39, pp. 643-659.

Akcan, Z., 1986, "Ramble Usülleri ve Uygulama Değerleri", Türkiye Taşkömürü Kurumu, M.M. İnsangücü-Eğitim Md.Yayını, No: 52, 58 s.

Anon 2002, Kentucky Coal Education, http://www.coaleducation.org/subsidance-www.coaleducation_file/corecky.html.

Anon, 2003, Cutting Edge Technology Pty. Ltd.,http://ceptl.com/Highwall_Mining_Tech/highwali_mining_tech:html.

Anon, 2004, Mining Technologies, Inc, http://www.addcarsystem.com/pages/pages/page2b.cfm.

Basu, K., 1997, "Feasibility of an integrated thin seam coal mining and waste disposal system ", Msc. Thesis, Blacksburg, Virginia, USA, pp. 102.

Ceyhan, M. M., 2004, "Kalın Kömür Damarlarında Şevaltı Üretim Yönteminin Sayısal Modelleme Tekniğiyle İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 139 s., Yayımlanmamış

Ceyhan, M.M., Ünver B. ve Yaşıtlı N.E., 2006, "Kalın Kömür Tabakalarında Uygulanabilecek Şevaltı Üretim Yöntemi Seçenekleri ve Dolgulu Yöntemin Sayısal Modelleme İle İncelenmesi", TMMOB Maden Mühendisleri Odası Madencilik Dergisi, Haziran, Ankara, s. 3-16.

Chadwick, J., 1993, "Highwall Mining", Mining Magazine, December, pp. 347-350.

Clark, H. and Boyd, G.L, 1998, "The potential for backfill in Highwall Mining", Minefill '98, April 1998, Brisbine, Australia, pp. 235-238.

Erdem, B., 2001, *Terkedilen Ocaklar veya Mostra/ardan Kömür Kazanımı,* TMMOB Maden Mühendisleri Odası Madencilik Dergisi, Mart 2001, Ankara, s. 25-39.

Follington, I.L., Leiseman, B.E., Duncan - Fama, M.E., and Shen, B., 1997, "Geotechnical Monitoring for Safety in Highwall Mining": Project No: 3053, Australian Coal Research Limited, Australia, 4 p., http://www.acarp.com.au /Completed/Open_Cut/briefs/oc/3053brief.html

Gerard, C., Gambs, M. and Walsh, A., 1981, "Surfuce Mining ofCoal", Meyers, R. (ed), pp. 137-138.

Kelly, M., 1999, "Developing Coal Mining Technology for the 21st Century", Mining Science and Technology'99, Xie, H. and Golosinski, T.S. (eds), Balkema, Rotherdam, pp. 3-7.

Kwitowski, A.J. , Brautigam, A.L. and Leigh, M.C., 1992, "Teleoperation ofa Highwall Mining System: Report of Investigations", United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Pa, 29569, USA, l 7p.

Matsui, K., Shimada, H., Kramadibrata, S. and Rai, M.S., 2001, "Some Considerations of Highwall Mining Systems in Coal Mines", IMCET 2001 Proceedings, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Ünal E. et al. (eds), Ankara, pp. 269-275.

McCarter, M.K., 1992, "Continuous Surface Mining With Augers ", SME Mininig Engineering Handbook. Hartınan, H. et al. (eds.), Volume 2, Chapter 14.4, Auger Mining, pp. 783-1540.

Moelle, K.H.R, Dean-Jones, G.L, Li, G. and She, T., 1995, "Engineering-geological aspects of highwall mining methods and techniques", Intemational Joumal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 32, Issue 8, December 1995, p. 409A

O'Hagan, G., 1997, "Highwall Mining: The Way Ahead", The Australian Coal Rewiev, November 1997, pp. 12-16.

Robl, T. and Rathbone, R., 1997, "Backfilling of Highwalls for Improved Coal Recovery", http://www.mcrcc.osmre.gov./PDF/Foru ms/CCB2/3b.pdf, pp. 107-116.

Robl, T.L, Rathbone, R.F., Graham, U. and Hower J.C., 1998, "Field demonstration of mine grout made from fluidized bed combustion aslı", Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Balkema, Rotterdam, pp. 525-530.

Shen, B. and Fama, M.D., 2000, "Highwall Mining", The Australian Coal Review, October, pp. 20-24.

Shimada, H., Sasaoka, T., Kubota, S., Matsui, K. and Yoshida, Y., 2003, "The application of Flyash Cement In Mining Material", Proc. of Intemational Symposium on Rock Stress, November, Kumamoto JAPAN, pp. 527-533.

Singh, R., 1999, "Mining methods to overcome geotechnical problems during underground working of thick seams-case studies", Trans. Instn. Min. Metali. (Sec. A: Min. Industry), 108, May- August, pp.Al21-Al31.

# Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi açık ocaklarında çalışan elektrikli ekskavatörlerin yükleme performanslarının istatistiksel süreç kontrol yöntemi ile iyileştirilmesi

# *Improvement of loading parameters far electrical excavators working in Western Lignite Enterprise utilizing the method of statistical process control*

C. Şensöğüt & H. Aykul
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*
A. Sezgin
*Garp Linyitleri İşletmesi, Açık Ocak Servisi, Tavşanlı-Kütahya*

**ÖZET** Bu çalışmada Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Müessesesi açık ocaklarında çalışan elektrikli ekskavatörlerin yükleme değerleri için istatistiksel süreç kontrol çalışması yapılmıştır. 170 ston'luk dekapaj kamyonlarının yükleme değerleri kullanılarak yapılan çalışmada, öncelikle 2005 yılı yükleme tonajlarının süreç kararlılığı ve süreç yeterliliği incelenmiştir. Süreç kararlılık analizi, yükleme tonajlarının ortalama ve değişim aralığı grafikleri dikkate alınarak, süreç yeterlilik analizi ise yine yükleme tonajlarının yeterlilik indeksleri kullanılarak yapılmıştır.

Ekskavatörlerin 2005 yılı yüklemelerinin kararsız ve yetersiz olduğu görülmüş olup 2006 yılında süreci kararlı ve yeterli hale getirebilmek tüm personele iki aşamalı eğitim verilmiş, çalışmalar neticesinde başarılı olunmuş ve süreç ise kararlı ve yeterli hale getirilmiştir.

**ABSTRACT** in this study, the electrical excavators working in the open pits of Westem Lignite Enterprise to determine whether loading parameters is under control or not. For this purpose, the process stability and capability of the overburden trucks with the payload of 170 short tonnes capacity were investigated for the year 2005. Process stability analysis was carried out by taking the average and the range control charts. Process capability analysis was also realized by considering capability indexes.

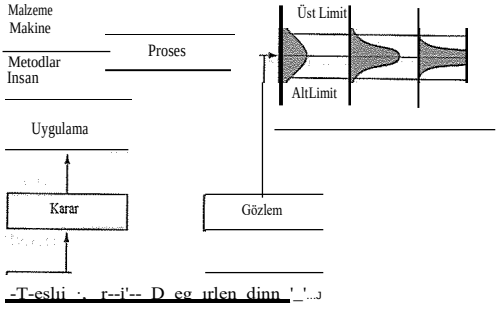
In 2005, the loading parameters of electrical excavators were found to be instable and incapable in comparison with the year 2006. Some works were realized in order to make the process stable and capable. Therefore, all mine workers were taken under the education process twice.

## 1 GİRİŞ

Günümüzün rekabet şartları, üretim ve hizmet sektöründeki diğer tüm firmalarda olduğu gibi maden işletmeleri için de müşteri memnuniyetini önemli bir rekabet kriteri haline getirmiştir. Finnalardaki kaliteye ilişkin sorunların çözümü, geçmişte kalan rast gele girişimler yerine bugün giderek ekonomik yaklaşımlı, istatistik temelli, sistemli yöntemlere doğru kaymaktadır. Kalite kontrolün bugün geldiği noktada temel yaklaşım, sorun yaratmayacak ürünleri ve süreçleri tasarlamaktır. (Faigenbaum, 1961)

İstatistiksel süreç kontrol (İSK) yöntemi, toplam kalite yönetiminin üretim aşamasında kullanılan kalite tekniklerinden biri olup, pek çok disiplinde olduğu gibi madencilikte de kalite ile ilgili problemlerin tespiti ve çözümünde kullanılabilecek bir tekniktir. **İSK,** üretimin önceden belirlenmiş kalite özelliklerine uygunluğunu sağlar ve kusurlu ürün üretimini en aza indirir (Besterfield, 1990; Akın, 1996). İSK, basit bir muayene ve kontrol işlemi olmadığı gibi amacı sadece

kusurları yakalamak değil aynı zamanda kusurlu urun üretimini engellemektir. İSK'nın şematik gösterimi Şekil 1'deki gibidir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi İSK ile süreç sürekli gözlemlenerek problemler tespit edilir, problemin sebepleri belirlenir ve en etkin sebep bulunur, sebepten yola çıkarak çözüm geliştirilir, geliştirilen çözüm uygulanır ve süreç tekrar izlenir. Bu döngü sonsuz bir döngüdür ve bu sayede sürecin sürekli gelişimi sağlanır. Bu adımlar uygulanırken beyin fırtınası, pareto, sebep sonuç diyagramı, veri toplama, kontrol grafikleri, histograın vb gibi problem çözme araçları kullanılır (Aykul ve ark., 2005). Burada sürecin gözlemlenmesi aşamasında, süreç kararlılığı ve süreç yeterliliği incelenmelidir. Süreç kararlılığını ölçmede kontrol grafikleri, sürecin yeterliliğini ölçmede ise süreç yeterlilik analizi kullanılır (Devor ve ark., 1992; Anonim, 1992). İSK çalışmaları ancak bir ekip çalışmasıyla sürdürülebilir. Ekip çalışmalarını sağlıklı sürdürebilmek için ise her düzeyden çalışanın İSK konusundaki gerekli eğitimleri alınası gerekmektedir.




Şekil 1. İstatistiksel süreç kontrol yönteminin şematik gösterimi (Devor ve ark., 1992)

kamyonların akaryakıt, yağ, filtre gibi sarf malzeme maliyetleri yani birim taşıma maliyetleri artmaktadır. Yine kapasitesinden fazla yük taşıyan kamyonlarda ise zorlanmaktan dolayı elektrik motorları zaman zaman ark yapmakta ve arızalanmalar artmaktadır. Bu durum ise tamir ve bakım masraflarını artımıaktadır.

GLİ açık ocaklarında fiili olarak 5 adet 20 $yd^3$ ve 5 adet 10$yd^3$'lük elektrikli ekskavatör çalışmaktadır. Bunlarla birlikte 53 adet 85 ston'luk ve 10 adet 170 ston'luk kamyon kullanılmaktadır. Çalıfan 10 adet 170 ston'luk kamyon 20 yd 'lük 2 adet elektrikli ekskavatöre teiiip edilmekte, bu ekskavatörlerin arızalanması durumunda kamyonlar, çalışan diğer ekskavatörlere yönlendirilmektedir.

Bu çalışmada; İSK yöntemi kullanılarak GLİ açık ocaklarında çalışan elektrikli ekskavatörlerin yükleme perfomıanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

### 1.1 Kontrol Grafikleri ve Proses Yeterliliği

Kontrol şemalarının ilk uygulaması, 1924 yılında Shewhart tarafından başlatılmıştır. Bu şemalara **"Shewhart Grafiği"** denmesinin nedeni de budur. Bir süreçte meydana gelen kalite ile ilgili problemlerin temel sebebi değişkenliktir. Bu değişkenlikler kabul edilebilir tesadüfi nedenler (voltaj düşmesi, malzeme yapısındaki farklar, sıcaklık, rutubet v.b.) ve kontrol edilebilir özel nedenler (tezgah, işçi, körlenmiş kesme kalemi, hatalı işlem uygulaması, aşınmış kalıp, makine ayarının bozulması v.b.) olarak sıralanabilir. Kontrol grafikleri, istenilen niteliklerde ürün veya hizmet üretebilmek amacı ile süreçte zaman içinde, özel nedenlerden kaynaklanan değişkenlikleri belirleyip, bunları genel GLİ Müessesesi kendi olanakları ile yıllık sebeplerden ayırarak sürecin istatistiksel toplam dekapaj miktarının % 40'nı olarak kontrol ve analiz edilmesinde gerçekleştirmektedir. Bu oranın gün geçtikçe kullanılmaktadır (Besterfield, 1990; Anonim, azalması, dekapaj faaliyetlerinde çalışan 1992). Özel sebebe rastlanmayan veya özel ekskavatör ve kamyonların daha verimli sebeplerden arındırılmış sadece genel çalışmasını gerektırınektedir. Bu da ancak (tesadüfi) sebeplerden kaynaklanan değişime çalışan ekskavatörlerin ve kamyonların sahip bir süreç, kararlı veya kontrol altında dengeli ve yeterli kapasitede yüklenmesi ile kabul edilir. Özel sebeplerden kaynaklanan mümkün olabilir. Düşük kapasiteli çalışan değişimi ortadan kaldırmak yani süreci

kontrol altına almak için çalışanların düzeltici önlemler alması gerekmektedir. Kontrol grafikleri ile süreç kararlılık analizi yapılırken şu adımlar izlenir:

- incelenecek kalite ozellıgı tespıt ılır,
- Rasyonel alt gruplara dayalı ornekleme yapılır,
- Ko:1trol_ şema tıpı ve kontrol limitleri belırlenır,
- Zamana bağlı üretı l. ılgılı noktalar işaretlenerek grafikler çızılır,
- Kontrol şemalarında varsa sınırlar dışında kalan noktalar ve diğer normal dışı davranışlar belirlenerek sebepleri araştı ı ır düzeltici önlemler alınır (Ankara ve Bılır, 1995; Akın, 1996).

Öncelikle incelenecek kalite özelliği belirlenmelidir. Bir kalite özelliği ölçülebilir (ısıl değer, tonaj, tenör vb) veya niteliksel (kusurlu, bozuk, kalın v?) duğ 1:dan, _?u grafikler incelenecek kalıte ozellıgıne gore ölçülebilen (niceliksel) ve ölçülemeyen (niteliksel) değişkenler için kullanılan kontrol grafikleri olmak üzere 2 gruba ayrılır (Akın 1996). İncelenecek kalite özelliği belirlendikten sonra rasyonel örnekleme buna göre yapılır. Bu örneklemede belirli bir sayı (m) ve büyüklüğü (n) lan alt grup_la oluşturulur. Alt grup örnekları, süreçte belırlı bir zaman dilimi içindeki belirli bir anda veya zaman diliminin farklı anlarında örneklenebilir (Besterfield, 1990). Kontrol şema tipi, incelenecek kalite özelliğine gör seçilir. Kontrol grafiklerinin yatay eksem belirli bir sayıda örneği içeren alt grupların zamana bağlı sıralanışını gösterirken, düşey ekseni ise ölçülebilir kalite özellikleri için büyüklüğü, niteliksel veri için sayımı veya oluşum yüzdesini gösterir (Anonim, 19 2_). Bir kontrol grafiğinin oluşturulması ıçın değişkenin cinsi ne olursa olsun, belirlenmesi gereken 3 temel eleman; orta çizgi (OÇ), alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limitidir (ÜKL). Alt ve üst kontrol limitleri, alt grupların genel ortalamasını gösteren orta çizgiden itibaren ±3cr uzaklığı veya standart normal dağılım eğrisinin % 99.73'lük alanını ifade eder (Ankara ve Bilir, 1995; Akın, 1996).

Grafik çizimi, alt grupl rı temsil ed n her bir değerin grafiğe ıaretl_e1:mesı_ :7e işaretlene1.: _noktaların bı:l şt!rılmesı ıle gerçekleştırılır. Grafik çızıl? kten sonra yorumlama aşamasına geçılır. Kontro grafiklerinde kontrol limitleri dışındakı noktalar, özel sebep göstergeleridir. Bununla beraber tüm noktalar, kontrol sınırları içerisinde olsa bile, özel neden değişkenliğini ifade eden aşağıdaki süreç davranışları da söz konusu olabilir.

Bu normal dışı davranışlar;

- AKL ve/veya ÜKL dışında nokta,
- Orta çizginin bir yanında sıralanmış 9 nokta,
- Sürekli yükselen veya düşüş gösteren 6 nokta,
- Aynı sırada bir artış bir azalış gösteren 14 nokta,
- 2'si ±2 *a* sınırlarının dışında olan ardışık 3 nokta,
- 4'ü ±1 *a* sınırlarının dışında olan ardışık 5 nokta,
- +1 *a* sınırları arasında 15 nokta ve
- ±1 *a* dışında ardışık 8 noktadır.

Bu davranışlar sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olmadığını, pek yakında yetersiz süreç durumu ile karşılaşılabileceğini ve eğer önlem alınmazsa hatalı parça üretilebileceğini ifade etmektedir. Özetle bu davranışlar bir problemin varlığını anlatmaktadır. Kontrol grafikleri, süreç kararlığını bozan problem olduğunu ortaya koymasına rağmen bunu:1 sebepleri ve çözümü konusunda fıkır verememektedir. Sebeplerin bulunması. ve çözüm geliştirilmesi, kalite gruplarının I K yöntem ve tekniklerinin uygulanması ıle gerçekleştirilir (Besterfield, 1990) .

Bu calısmanın uygulama bölümünde, kalite ö elliği olarak kamyonların taşıdığı yükler incelendiğinden ve bu taşınan yükler ölçülebilir özellikte olduğundan (ton) niceliksel kontrol grafikleri kullanılmıştır. Niceliksel kontrol grafikleri için ortalama (X), değişim genişliği (R), ve standart sapma (cr) şemaları kullanılmaktadır. Bu şe!llalar icin kontrol limitleri hesaplamaları Çızelge ı"deki gibi yapılır.

Çizelge 1. Ölçülebilen özellikler için kontrol limitleri hesaplamaları (Akın, 1996).

| Şema Türü | Merkez Hattı | Alt Kontrol Limiti | Üst Kontrol Limiti |
|---|---|---|---|
| Ortalama | $\bar{\bar{X}}$ | $\bar{\bar{X}}-A.\bar{R}$ | $\bar{\bar{X}}+A,\bar{R}$ |
| Değişim Genişliği | $\bar{R}$ | $D_3\bar{R}$ | $D\bar{R}$ |
| Standart Sapma | $\bar{\sigma}$ | $B_3\bar{\sigma}$ | $B40''$ |

Burada X ve R sırasıyla, alt grup ortalamalarının genel ortalaması ile alt grup değişim aralıklarının ortalamasını ifade etmekte olup aşağıdaki gibi hesaplanırlar.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{m} \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{m} \quad (2)$$

$B_3$, B4, $D_3$ ve D4 kontrol şemaları için çarpan katsayıları olup, çarpan katsayı tablosundan (Besterfield, 1990) alt grup örnek büyüklüğüne göre belirlenir. Her bir alt grubun ortalamasının *(x)* ve değişim aralığının (Ri) bulunmasında ise aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\bar{X} = \frac{X_1+X_2+\cdots+X_n}{n} \quad (3)$$

$$Ri = x_{enbüyük} - x_{enküçük} \quad (4)$$

Formüllerde kullanılan malt grup sayısını, n alt grup büyüklüğünü, $X_i$ ise her bir örnekleme değerini ifade etmektedir (Devor ve ark., 1992).

Süreç kararlılığı ile beraber incelenmesi gereken diğer bir kontrol aracı ise süreç yeterlilik analizidir. Süreç yeterlilik analizi ile süreç çıktısının, incelenen kalite özeliğinin daha önceden müşteri isteklerine göre belirlenmiş ortalama ve toleranslara uygunluğu tahmin edilir. Bu yapılırken sürecin ortalaması ve standart sapması izlenir ve değerlendirilir (Besterfield, 1990). Bir üretim sürecinin yeterli olabilmesi için yapılan üretimin değişkenliğinin tolerans sınırları içinde kalması gerekir. Bunun ölçüsü olarak *"60""* açıklığı tanımlanır ve bu **"doğal toleranslar"** olarak adlandırılır. Normal dağılımlar için süreç yeterliliğinin belirlenmesinde *Cp* ve *Cpk* olarak isimlendirilen süreç yetenek indeksleri yöntemi kullanılır. Proses yetenek indeksleri kullanılırken, *Cp* sürecin sadece yayılımını, *Cpk* sürecin hem yayılımını hem de ortalamasının hedeflerden sapmasını kontrol etmektedir. *Cp* ve *Cpk* indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Anonim, 1992; Akın, 1996).

$$Cp = \frac{T}{60''} \quad (5)$$

$$Cpk_{alt} = \frac{\bar{X} - \text{Belirlenen alt limit}}{3\sigma''} \quad (6)$$

Burada T özellik sınırlarının genişliğini

$$Cpk_{Ust} = \frac{\text{Belirlenen üst limit} - \bar{X}}{3\sigma''} \quad (7)$$

(üstlimit - altlimit), er ise prosesin standart sapmasını göstermekte olup aşağıdaki eşitlik yardımı ile de hesaplanabilir. Burada $d_2$ çarpan katsayısıdır.

$$\sigma'' = \frac{\bar{R}}{d2} \quad (8)$$

Herhangi bir süreç için hesaplanan *Cp* ve *Cpk* değerleri şöyle yorumlanır;

- *Cp* ve *Cpk* > 1 .33 ise süreç yeterlidir ve istenenleri karşılayabilecek yetenektedir.
- 1.33 2:: *Cp* ve *Cpk* > l.0 ise süreç kabul edilebilir. Ancak süreç bu spesifikasyonları karşılamada zorluk çekmektedir.
- *Cp* ve *Cpk* < l.0 ise süreç yetersizdir. Süreci geliştirmek için yaygın çaba gösterilmelidir (Akın, 1996).

Süreç yeterlilik analizi, sürecin özellik sınırları içerisinde ürün üretip üretmediğini gösterir. Ancak sürecin kararlı olup olmadığı

konusunda yani sürecin özellik sınırları içinde üretim yapmaya devam edip etmeyeceği konusunda bilgi vermez. Bunun ıçın kontrol grafiklerinin kullanılması gerekir. Kısaca yeterlilik analizi, sürecin herhangi bir andaki fotoğrafını çekerken, kontrol grafikleri sürecin filmini ortaya koyar. Bir sürecin izlenmesi, bu iki analizin beraber yapılması ile sağlanabilmektedir (Anonim, 1992 ).

## 2 GLİ A<:;IKqCAKLARINDA ÇALIŞ N ELEKTRiKLi EKSKAVATORLERIN YÜKLEME PERFORMANSLARININ İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ

GLİ'deki yükleme değerlerinin istatistiksel süreç kontrolünün sağlanması amacıyla temel çerçeve olarak aşağıda belirtilen başlıklar sırayla incelenmiştir.

- Süreç geliştirme hedefi,
- Yükleme sürecinin tanımlanması,
- Sürecin 2006 yılındaki durumunun izlenmesi,
- Sürecin iyileştirilmesi,
- İyileştirmeden sonra sürecin tekrar izlenmesi.

### 2.1 Süreç Geliştirme Hedefi

Yapılan gözlem ve incelemelerle, GLİ' deki yükleme sürecinin verimsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Yükleme sürecinin verimsizliği kamyonlara gereğinden çok veya gereğinden az malzeme yüklenmesini ifade etmektedir. Burada az yükleme, taşıma maliyetlerinin artmasına, aşırı yükleme ise tamir bakım maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu çerçevede süreç geliştirme hedefi; ekskavatörlerin yükleme performanslarının optimum seviyede gerçekleştirilmesidir. Somut olarak bu hedef 145 ± 35 ton olarak belirlenmiştir.

### 2.2 Sürecin Tanımlanması

GLİ açık ocaklarında yükleme işlemi 2 adet 20 $yd^3$ elektrikli ekskavatörle (34 ve 38 numaralı) yapılmaktadır. Bu ekskavatörler kazdıkları malzemeyi 170 ston'luk kamyonlara yüklemektedirler. Yüklenen bu malzeme daha sonra döküm sahasına taşınmaktadır. Ekskavatörlerden herhangi biri, bir sebepten dolayı çalışamaz veya kamyon fazlalığı oluşur ise diğer ekskavatörler de çalışmaktadırlar. Kazı ve yükleme işleri, yılda ortalama 200 gün sürdürülmekte olup, günde 3 vardiya çalışılmaktadır. Vardiya başına çalışılabilir süre ise 7 saattir.

Ekskavatörlerin kazı ve yükleme performanslarının ölçülmesinde temel gösterge, şüphesiz dekapaj malzemesinin yükleme değerleridir. Kamyonların taşıdıkları her bir sefere ait bu ton cinsinden yükler, operatör kontrol panelinden dijital olarak okunmakta olup, hangi kamyona hangi ekskavatörün yükleme yaptığı da vardiya boyunca izlenmektedir. Bu yükleme değerleri her vardiya sonunda kaydedilip saklanmaktadır.

### 2.3 Sürecin 2005 Yılındaki Durumunun İzlenmesi

Yükleme sürecinin verimsiz çalıştığı (yükleme değerlerinin değişkenliğinin kontrol altında olmadığı) düşüncesinin doğruluğunu veya yanlışlığını bilimsel olarak ortaya kayabilmek için sürecin 2005 yılındaki durumunun, kararlılık ve yeterlilik analizleri yapılarak izlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla süreçten 2005 yılına ait veriler toplanmış, bu veriler kullanılarak yükleme sürecının kararlılığı ve yeterliliği incelenmiştir.

Veri toplama aşamasında, işletmece tutulmuş yükleme kayıtlarından faydalanılmıştır. İşletmede yükleme değerlerinin kaydı, 2 halatlı ekskavatörün 3 vardiyadaki çalışması dikkate alınarak yapılmaktadır. Yani her bir ekskavatörün her bir vardiya süresi içinde yaptığı yüklemeler kayıt altına alınmaktadır. Burada vardiya boyunca kamyonlara yapılan yükleme sayısı ise 13-19 arasında değişmektedir. Bu örnekleme planı doğrultusunda, işletmenin 2005 yılındaki süreç kararlılığı incelenirken, ekskavatörlerin yükleme değerlerinin bir vardiya süresince gösterdiği değişimler izlenmelidir. Bu şekilde, yılda 200 günlük

çalışma günü boyunca her bir ekskavatör için 600 (3 vardiya . 200 gün) kontrol grafiğinin çizilmesi gerekmektedir. Mevcut durum izlenirken uygulanması gereken bu süreç, geçmişe yönelik oldukça zaman alıcı bir çalışma gerektirdiğinden, 2005 yılı için temsili rasgele örnekleme yapılmıştır. Bunun için 2005 yılında, her bir ekskavatörü ve her bir vardiyayı temsil eden 33 adet örnek alınmıştır. Bu örneklerin 15'i 34 no'lu, 18'i ise 38 no'lu ekskavatörler için alınmış olup, her bir ekskavatörün her bir vardiyası için eşit sayıda örnekleme yapılmıştır. Alınması gerekli minimum örnek sayısı $n = z^2s^2/d^2$ formülünden 31 olarak bulunmuş olup, bu değer alınan örnek sayısının yeterli olduğunu göstermektedir. Formülasyonda z, güven seviyesi olup% 95 (çizelge değeri 1.96), $s^2$ örnek vaıyansı olup değeri 196, d ise duyarlılık olup 5 ton olarak alınmıştır. Örnek varyansı bulunurken, örneklerin yükleme değer ortalamalarının değişim aralıkları (R) dikkate alınmıştır. Yukarıda anlatıldığı şekilde örnekler toplandıktan sonra, her bir örnek için kontrol grafikleri çizilerek süreç kararlılığına ve indeksler kullanılarak süreç yeterliliğine bakılmıştır. Belirlenen sonuçlar Çizelge 2 ve 3'de verilmiştir. Çizelge 2 ve 3'den de görüldüğü gibi, 34 no'lu ekskavatör için örnek süreçlerin % 86'sı (> % 70) kararsız,% 93'ü (> % 70) yetersiz; 38 no'lu ekskavatör için ise örnek süreçlerin % 78'i (>% 70) kararsız, % 83 ü (>% 70) ise yetersiz çıkmıştır. Her iki ekskavatörün Çizelge 2 ve 3'deki bazı vardiyalar için çizilmiş kontrol grafikleri ise Şekil 2 ve 3'de görülmektedir. Elde edilen bu verilere göre 2005 yılında yükleme sürecinin kararsız ve yetersiz olduğu sonucu çıkmaktadır.

Dolayısıyla bu kararsızlığın ve yetersizliğin sebepleri incelenmeli ve süreç iyileştirilmelidir.

Her bir örnek için süreç kararlılığının ve yeterliliğinin belirlenişini açıklamak amacıyla, 34 no'lu ekskavatörün 29.08.2005 vardiya 1'deki çalışması örnek olarak incelenmiştir. Belirtilen tarih ve vardiyada 34 no'lu ekskavatör, vardiyanın başlangıç zamanından sonuna kadar 16 adet yüklemeyi üç farklı kamyona yapmıştır. Yani alt grup sayısı 16, alt grup büyüklüğü 3'tür. Bu yüklemelere ait veriler ile hesaplanan ortalamalar ve değişim aralığı değerleri Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 2. 34 no'lu ekskavatör için kararlılık ve yeterlilik analizi sonuçları

| 34 no'lu ekskavatör | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kararlılık | | Yeterlilik | | |
| No | Tarih | X | R | *Cn* | *C,a ,* | *emir* |
| 1 | 27.04.2005 vl | Kararlı | Kararlı | 0,98 | 1,34 | 0,63 |
| 2 | 10.05.2005 v3 | Kararlı | Kararsız | 1,25 | 1,62 | 0,87 |
| 3 | 24.05.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 1,39 | 1,91 | 0,87 |
| 4 | 02.06.2005 vl | Kararsız | Kararsız | 1,23 | 1,62 | 0,83 |
| 5 | 14.06.2005 v3 | Kararsız | Kararsız | 1,32 | 2,03 | 0,62 |
| 6 | 19.07.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 1,04 | 1,02 | 1,06 |
| 7 | 27.07.2005 vl | Kararlı | Kararsız | 1,09 | 0,95 | 1,23 |
| 8 | 29.08.2005 vl | Kararlı | Kararsız | 0,85 | 1,02 | 0,68 |
| 9 | 29.08.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 0,92 | 1,06 | 0,78 |
| 10 | 29.08.2005 v3 | Kararlı | Kararsız | 1,28 | 1.58 | 0,98 |
| 11 | 08.09.2005 vl | Kararsız | Kararlı | 0,8 | 0,97 | 0,64 |
| 12 | 08.09.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 1,01 | 1,14 | 0,88 |
| 13 | 08.09.2005 v3 | Kararlı | Kararlı | 1,24 | 1,53 | 0,95 |
| 14 | 06.10.2005 v2 | Kararlı | Kararsız | 0,7 | 0,66 | 0,73 |
| 15 | 12.10.2005 v3 | Kararsız | Kararsız | 1,27 | 1,78 | 0,77 |

Süreç kararlılığını belirlemede kullanılan ortalama (X) ve değişim aralığı (R) kontrol grafiklerinin çizimi için yukarıda hesaplanan veriler ile birlikte, grafiğin MH (merkez hattı) ile alt ve üst kontrol limitlerinin (AKL, ÜKL) belirlenmesi gerekmektedir. Bu limitlerin belirlenmesinde kullanılan sabitler ise Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 3. 38 no'lu ekskavatör için kararlılık ve yeterlilik analizi sonuçları.

| 38 no'lu ekskavatör | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kararlılık | | Yeterlilik | | |
| No | Tarih | X | R | C" | C usı | Cv::ılt |
| 1 | 12.04.2005 vl | Kararlı | Kararlı | 0,93 | 0,95 | 0,9 |
| 2 | 20.04.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 0,91 | 1,1 | 0,73 |
| 3 | 20.05.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 0,94 | 0,98 | 0,91 |
| 4 | 30.05.2005 v3 | Kararlı | Kararlı | 0,92 | 0.94 | 0,89 |
| 5 | 09.06.2005 vl | Kararsız | Kararsız | 1,05 | 1,25 | 0,85 |
| 6 | 23.06.2005 v3 | Kararsız | Kararsız | 1,15 | 1,49 | 0,81 |
| 7 | 07.07.2005 v2 | Kararlı | Kararsız | 1,09 | 1,32 | 0,86 |
| 8 | 30.07.2005 vl | Kararsız | Kararsız | 1,51 | 2,46 | 0,57 |
| 9 | 17.08.2005 v3 | Kararlı | Kararlı | 1,05 | 1,ü4 | 1,06 |
| 10 | 20.08.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 0,95 | 0,94 | 0,97 |
| ll | 08.09.2005 vl | Kararlı | Kararsız | 0,94 | 1,ü4 | 0,84 |
| 12 | 08.09.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 1 | 0,9 | 1,11 |
| 13 | 08.09.2005 v3 | Kararsız | Kararlı | 1,09 | 1,41 | 0,77 |
| 14 | 22.09.2005 vl | Kararlı | Kararlı | 1,02 | 1,02 | 1,02 |
| 15 | 22.09.2005 v2 | Kararsız | Kararsız | 0,99 | 1,3 | 0,68 |
| 16 | 22.09.2005 v3 | Kararsız | Kararsız | 1,11 | 1,28 | 0,94 |
| 17 | 0LI0.2005 v3 | Kararsız | Kararsız | 1,17 | 1,4 | 0,95 |
| 18 | 10.10.2005 vl | Kararlı | Kararsız | 1,14 | 1,15 | 1,13 |

Çizelge 4. 34 no'lu ekskavatörün 29.08.2005 vardiya 1 yüklemeleri.

| Yükleme No | Yükleme Ağırlıkları (ton) | | | Toplam | Ortalama | R |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1450 | 1451 | 1452 | | | |
| 1 | 117 | 125 | 146 | 388 | 129,3 | 29 |
| 2 | 146 | 141 | 133 | 420 | 140,0 | 13 |
| 3 | 132 | 149 | 123 | 404 | 134,7 | 26 |
| 4 | 153 | 139 | 121 | 413 | 137,7 | 22 |
| 5 | ili | 139 | 154 | 404 | 134,7 | 43 |
| 6 | 126 | 156 | 136 | 418 | 139,3 | 30 |
| 7 | 128 | 147 | 118 | 393 | 131,0 | 29 |
| 8 | 148 | 139 | 149 | 436 | 145,3 | 10 |
| 9 | 126 | 138 | 128 | 392 | 130,7 | 12 |
| 10 | 136 | 158 | 136 | 430 | 143,3 | 22 |
| il | 131 | 164 | 145 | 440 | 146,7 | 33 |
| 12 | 147 | 134 | 140 | 421 | 140,3 | 13 |
| 13 | 125 | 152 | 150 | 427 | 142,3 | 27 |
| 14 | 143 | 143 | 132 | 418 | 139,3 | 9 |
| 15 | 120 | 159 | 134 | 413 | 137,7 | 39 |
| 16 | 127 | 141 | 140 | 408 | 136,0 | 14 |
| TOPLAM | | | | 6625 | 2208,3 | 371 |
| n=3 | | | ORTALAMA | | 138,0 | 23,2 |

Çizelge 5. Grafiklerin çizilmesinde kullanılan sabitler (Ankara ve Bilir, 1995).

| | n=2 | n=3 | n=4 | n=5 |
|---|---|---|---|---|
| *Aı* | 1.88 | 1.023 | 0.729 | 0.577 |
| d2 | 1.128 | 1.693 | 2.059 | 2.326 |
| D3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | 3.267 | 2.575 | 2.282 | 2.115 |

MH, ÜKL ve AKL aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

n=3 için $A_2$=1.023, $D_3$=0, $D_4$=2.575'dir (Çizelge 5'ten).

Ortalama (X) kontrol grafiği için;

$$MH=X=\frac{\sum X}{m}=\frac{2208,3}{16}=138 \text{ O ton}$$

$$ÜKL=X+A_2R=138,0+(1,023*23,2)=161,7 \text{ ton.}$$

$$AKL=X-A_ıR=138,0-(1,023*23,2)=114.3 \text{ ton.}$$

R için,

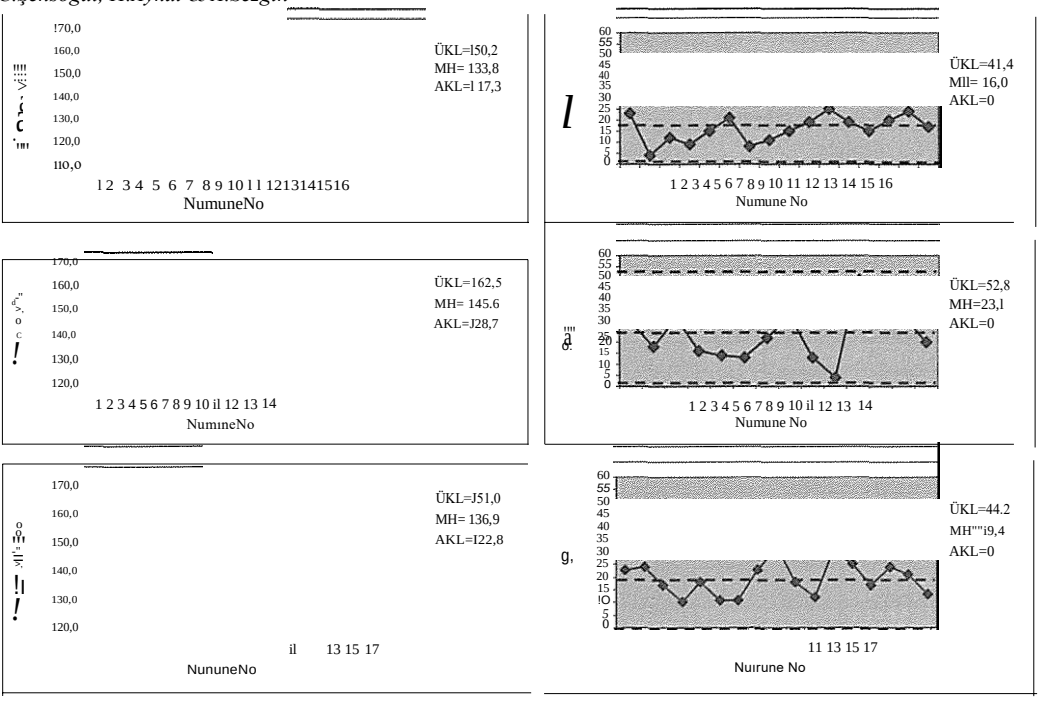
$$MH=R=\frac{\sum R}{m}=\frac{371}{16}=23\ 2 \text{ ton}$$

$$ÜKL=D_4R=2.575*23,2=59,7 \text{ ton}$$

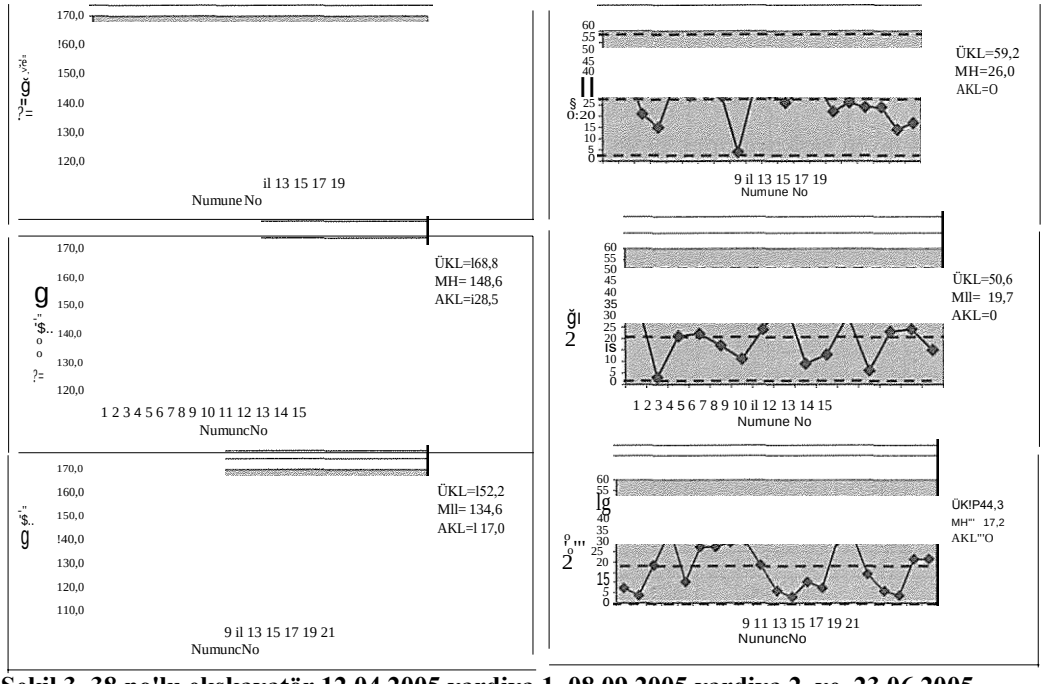
$$AKL=D/?.=O*23,2=O \text{ ton}$$

Elde edilen bu verilere göre oluşturulan X ve R kontrol grafikleri Şekil 4 ve 5'de görülmektedir.

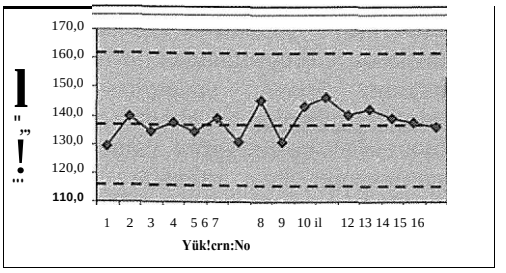
Grafikler çizildikten sonra özel sebep değişkenliğini ifade eden süreç davranışları incelenerek sürecin kontrol altında olup olmadığı belirlenmiştir.



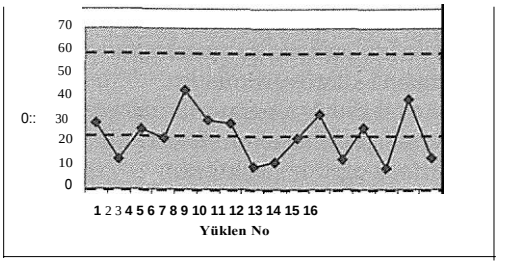

Şekil 2. 34 no'lu ekskavatörün 02.06.2005 vardiya 1 (en üst), 19.07.2005 vardiya 2 (orta) ve 08.09.2005 vardiya 3 (en alt) deki X (solda) ve R (sağda) kontrol grafikleri.




**Şekil 3. 38 no'lu ekskavatör 12.04.2005 vardiya 1, 08.09.2005 vardiya 2 ve 23.06.2005 vardiya 3 deki X (solda) ve R (sağda) kontrol grafikleri.**




Şekil 4. 34 no'lu ekskavatörün 29.08.2005 vardiya 1'deki *X* grafiği.




Şekil 5. 34 no'lu ekskavatör 29.08.2005 vardiya 1'deki *R* grafiği.

Buna göre X grafiğinde herhangi bir özel sebep değişkenliği gözlenmezken, **R** grafiğinde 4'ü ±1 *a-* sınırlarının dışında olan ardışık 5 nokta şeklinde özel sebep tespit edilmiştir. Burada 12, 14, 16 no'lu R değerleri (13, 9, 14) -la=15.4 değerinin altında, 15 no'lu R değeri (39) +la=35.4 değerinin üstünde kalmıştır. Bu durum sürecin kararsız olduğunu ifade etmektedir.

Süreç yeterliliğine karar verilebilmesi için ise süreç yeterlilik indekslerinin ( *cp* ve *cpk)* belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için yine Çizelge 2'de verilen 34 no'lu ekskavatörün 29.08.2005 tarihindeki vardiya 1 yüklemeleri dikkate alınmış olup, süreç özellik sınırları 145±35 olarak seçilmiştir. Alt ve üst sınırların ± 35 ton olarak belirlenmesinin sebebi; ekskavatörün bir kepçesinin ağırlığının yaklaşık 35 ton gelmesidir. C" ve *Cpk* indeksleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

n=3 için $d_2$= 1.693 tür.

$$O' = \frac{R}{d_2} = \frac{23,2}{1,693} = 13\ 7$$

Belirlenen üst limit=l80 ton(l45+35);

Belirlenen alt limit=l 10 ton (145-35)

*T* = Belirlenen üst limit - Belirlenen altlimit=

=180-110=70

$$C_p = \frac{T}{60'} = \frac{70}{(6*13,7)} = 0\ 85$$

$$C_{piist} = \frac{\text{Belirlenen üst limit - } X}{30'}$$

$$= \frac{(180-138,0)}{(3*13,7)} = 1.02$$

$$C_{palı} = \frac{X - \text{Belirlenen altlimit}}{30'}$$

$$= \frac{(138,0-110)}{(3*13,7)} = 0.68$$

Görüldüğü $cp$ '$cpalt$ <lolduğundan incelenen zaman dilimindeki süreç yetersizdir.

### 2.4 Sürecin Kararsız ve Yetersiz Olmasının Sebepleri ve Çözüm Yaklaşımları

2006 yılında yükleme sürecin kararsız ve yetersiz olduğunun görülmesinden sonra mühendisler, nezaretçiler, ekskavatör operatörleri ve kamyon şoförleri ile beraber beyin fırtınası yapılarak bunun sebepleri araştırılmış ve aşağıdaki sebepler üzerine odaklanılmıştır.

***Patlatmanın etkisi:*** Patlatmanın etkili yapılamamasından dolayı tane boyu dağılımı düzensiz olmakta bu da kamyonların dengeli yükleme yapılmasını engellemektedir.

***Pirim sisteminin yanlış anlaşılması:*** Uygulanmakta olan prim sisteminde esas olan, o ay içerisinde bir ekskavatörün yaptığı dekapaj miktarı ve çalışma saati'dir. Bu parametreler dikkate alınarak söz konusu makine için toplam bir prim ortaya çıkmaktadır. Bu toplam primin, operatör ve şoförlere dağıtımı (bölüştürülmesi) ise operatörler için; o ay içerisinde o makine ile yüklenmiş olan kamyon sayısına; şoförler için ise; yine o ay içerisinde gerçekleştirilmiş olan sefer sayısına göre yapılmaktadır. Ancak yapılan toplantı ve görüşmeler sonunda operatörlerde, daha fazla sayıda

kamyon yüklemenin, şoförlerde ise daha fazla sayıda sefer yapmanın daha çok pirim getireceği şeklinde bir düşüncenin hakim olduğu görülmüştür. Ancak, aylık bazda yapılan iş miktarı ne kadar çok olursa operatör ve şoförlerinde bundan alacakları payda o kadar yüksek olacaktır. Yapılan iş miktarı yüksek olmadıkça seferi fazla yapmanın hiç bir anlamı olmamaktadır. Prim sisteminin operatörler ve şoförler tarafından bu şekilde yanlış anlaşılmasından dolayı operatörler ve şoförler daha fazla prim alacakları düşüncesiyle daha faza kamyon yükleme ve daha fazla sefer yapma eğiliminde olmuşlardır. Bu eğilim ise kamyonların daha az tonajda yüklenmesine ve daha fazla sefer yapmasına sebep olmaktadır. 2005 yılı verileri incelendiğinde, kamyonların ortalama taşıma tonajlarının oldukça düşük gerçekleştiği görülmektedir. Yukarıda anlatılan süreç dikkate alındığında prim sisteminin yanlış anlaşılmasının temel nedeninin ise bilgilendirme ve eğitim eksikliği olduğu saptanmıştır.

***Tertip Bozukluğu:*** Ekskavatör operatöıü, ekskavatöre tertip edilen kamyon sayısı fazla ise, kamyonu çabuk gönderebilmek için daha az tonajda yükleme, ekskavatöre tertip edilen kamyon sayısı az ise, boş beklememek için daha fazla tonajda yükleme yapmaktadır..

***Kamyonların yüklenme için düzensiz gelmeleri:*** Kamyonlar arızalanınca dengeli yüklemenin önemi ve verimli ekskavatöre tertip edilen kamyon sayısı yükleme esasları anlatılarak, 2005 yılında düşmekte, bazı zamanda arızadan çıkan yükleme sürecinin değerlendirilmesi ile elde kamyonlar servise girince kamyonlar edilen sonuçlar tüm personel ile yığılmaktadır. paylaşılmıştır. Bu eğitim her vardiya başında

***İşletme şartları:***

- Yolların durumu: Dekapaj yolları düzgün olduğu zaman kamyonlar daha hızlı gidip daha çabuk gelmekte, yollar bozuk olduğu zaman ise hız düştüğünden sefer sayıları azalmaktadır.
- Ayna yüksekliği:Düşük ayna yüksekliğinde çalışan ekskavatörün kepçe dolma oranı düşmekte; bu da kepçe periyot süresini arttırmakta ve sonuçta kamyonlar ekskavatör kuyruğunda birikmektedirler.
- Harman mesafesi: Uzun harman (çizelgede atlanan vardiya ve tarihlerde hava mesafelerine yapılan taşımada, sefer sayısı azaldığından kamyonlar malzeme üretim yapılamamıştır). Çizelge 6'da yüklemeye seyrek gelmekte, yakın harman görüldüğü gibi, her iki ekskavatör için 2005 mesafelerine yapılan taşımada ise ekskavatör kuyruğunda birikmeler olmaktadır.
- Psikolojik sebepler: Çalışılan mevsim, vardiya ve saate göre operatörlerin konsantrasyonu artmakta veya azalmaktadır.
- Makinenin arıza durumu: Sık sık arıza yapan makinenin operatörünün konsantrasyonu düşmektedir. Makinenin arızasız çalışma süresi arttıkça konsantrasyon artacaktır.

Bütün bu faktörler değerlendirilmiş ve aşağıdaki iyileştirme çalışmalarının sırası ile yapılmasına karar verilmiştir:

1. Tüm ekskavatör operatörlerine ve kamyon şoförlerine prim sistemi ve verimli yükleme konularında eğitim verilmesi.
2. Eğitimden istenilen sonuç elde edilemez ise patlatma parametrelerinin ideal parça boyutunun sağlanması için iyileştirilmesi ve optimize edilmesi.
3. İlk iki çözüm yaklaşımından sonuç elde edilemezse işletme şartlarının iyileştirilmesi.

## 3 SÜRECİN KONTROL ALTINA ALINMASI VE İYİLEŞTİRİLMESİ

Sürecin iyileştirilmesi amacıyla nezaretçi, operatör, şoför ve manevracılara 3 vardiya eğitim verilerek pirim sistemi, ekskavatörleri verimli yükleme esasları anlatılarak, 2005 yılında yükleme sürecinin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar tüm personel ile paylaşılmıştır. Bu eğitim her vardiya başında IO gün süreyle sürdürülmüştür.

Çalışanlara gerekli eğitimler verildikten sonra, yükleme süreci tekrar izlenmeye başlanmıştır. İzleme aşamasında her iki makine, 13 gün ve 3 vardiya boyunca düzenli takip edilmiş, elde edilen yükleme değerleri kararlılık ve yeterlilik bakımından her vardiya sonrasında anında değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Çizelge 6'da her iki makine için eğitim sonrasında elde edilen kararlılık ve yeterlilik sonuçları görülmektedir

yılına göre kararsızlık ve yetersizlik sayısında dikkate değer bir azalma yani iyileşme olmuştur. Ancak sürecin tam anlamıyla kararlı ve yeterli olduğunu yani kontrol altında olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu nedenle iyileştirme çalışmalarına devam edilmiştir.

2005 yılı yeterlilik verilerine bakıldığında yeterlilik problemi yaşanan yani 1'in altında değer veren indeksin *Cpküsı* endeksi olduğu görülmektedir. Bu durum ise ekskavatörlerin kamyonları gereğinden fazla yüklediğini ifade etmektedir. Yani 2005 yılında kamyonları yetersiz yükleyen ekskavatörler, eğitimden sonra aşırı yüklemeye başlamışlardır. Bu durum verilen eğitimde bir takım noktaların eksik kaldığı veya çalışanlar tarafından tam olarak anlaşılmadığı şeklinde yorumlanmış ve çalışanlara ikinci bir eğitim verilmesine karar verilmiştir. 3 gün süren 2. eğitim sonrasında süreç veri toplanarak tekrar izlenmeye başlanmıştır. 17.5.2006 ile 27.5.2006 tarihleri arasında 3 vardiya boyunca 2 ekskavatör için yapılan örnekleme ve izleme (kararlılık ve yeterlilik) sonuçları Çizelge 7' de verilmiştir. Bununla beraber iki ekskavatörün çeşitli zamanlara ait kontrol grafikleri de Şekil 6 ve 7'de sunulmuştur. Çizelge 7' den de görüldüğü gibi 1O gün boyunca tüm vardiyalardaki yükleme değerleri, kararlı ve yeterlidir. Yani 2. eğitim sonucunda amaçlanan iyileşme sağlanmıştır. Ancak bazı yeterlilik indeks verileri 1 ile 1.33 arasında olduğundan süreç izlenmeye devam edilmelidir. Bu durum ise sürecin kabul edilebilir ancak spesifikasyonların karşılanmasında zorluk çekilebileceğini göstermektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İSK yöntemi madencilikte kalite ile ilgili problemlerin çözümünde etkin olarak kul anılabilecek bir tekniktir. Bu çalışmada, GLI açık ocaklarında çalışan elektrikli ekskavatörlerin yükleme sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Burada, iyileştirilmesi planlanan parametre, işletmede çalışan 170 ston'luk kamyonların ton cinsinden yükleme değerleridir.

Çalışma kapsamında, öncelikle yükleme sürecinin 2005 yılındaki eğilimi izlenmiştir. Bu amaçla rasgele olarak seçilen 33 değişik zamanda, 2 ekskavatörün 3 değişik kamyona yapmış olduğu yüklemelerin X ve R kontrol grafikleri kullanılarak **"süreç kararlılığı"na** ve *Cp, Cpk* indeksleri kullanılarak **"süreç yeterliliği"** ne bakılmıştır. Süreç yeterlilik analizi yapılırken, özellik sınırları 145±35 ton olarak alınmıştır. Yapılan bu analizler neticesinde sürecin 2005 yılında kararsız ve yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bu durum, süreçte bazı problemler olduğunu ve ekskavatörlerin yükleme parametrelerinde iyileştirmeler yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Süreci iyileştirmek amacıyla Nisan 2006'da ekip çalışması yapılarak bu kararsızlık ve yetersizliğin sebepleri araştırılmaya başlanmış, pek çok sebep belirlenmiş, sebeplerin etki faktörleri derecelendirilmiş ve "işçilerin uygulanan pirim sistemi hakkındaki bilgi eksikliğinin" en etkin sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Burada çalışanlarda bilgi eksikliği olan nokta; yüksek prim alabilmek için yüklenen kamyon ve kamyon sefer sayısının fazla olması gerektiğinin düşünülmesidir. Ne var ki yapılan incelemelerde yoğun olarak eksik yükleme değerlerine ve sefer sayısında abartmalara rastlanmıştır. Ancak, prim sistemine göre kişi başına düşen primi artırabilmek sadece üretilen veya taşınan miktarı arttırmakla mümkün olmaktadır.

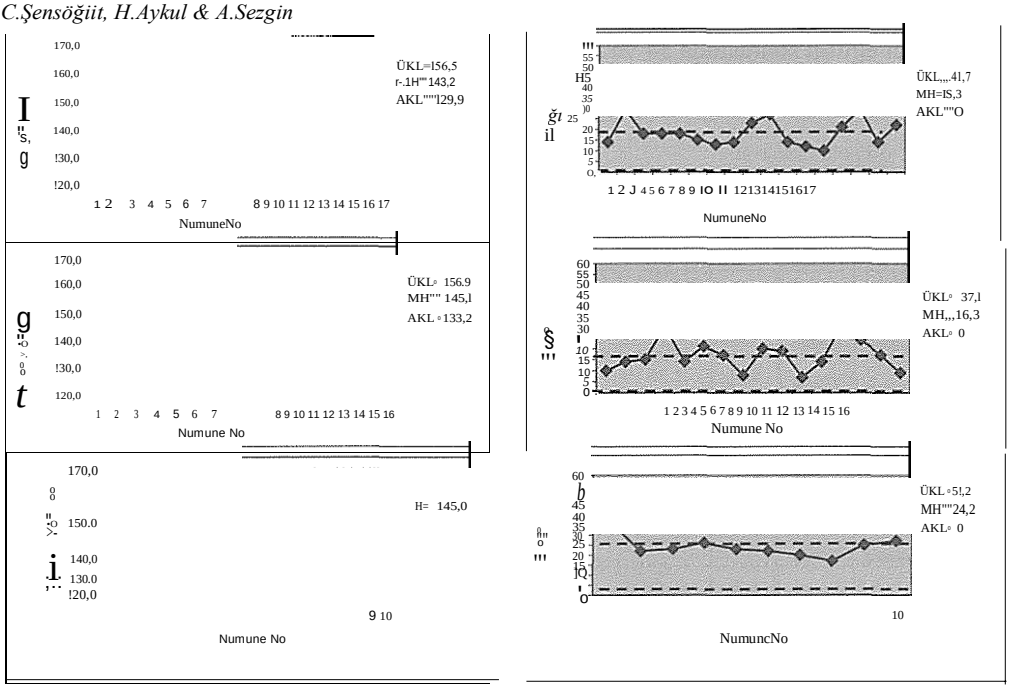
Bu temel sebepten yola çıkarak; en uygun çözüm yaklaşımının "yükleme sürecinde çalışan personele prim sistemi ve verimli yükleme konularında eğitim verilmesi" olacağına karar verilmiştir. 1O gün süren eğitimler sonrasında yükleme süreci tekrar izlenmeye başlanmıştır. İzleme sonucunda, süreçte ciddi iyileşmeler görülmüş olmasına rağmen kararlılık ve yeterlilik tam olarak sağlanamamıştır. Bunun sebebinin ise aşırı yüklemeler olduğu belirlenmiş ve ilk eğitimdeki bazı noktaların tam olarak vurgulanmadığı veya anlaşılmadığı düşünülerek 2. bir eğitim verilmesine karar verilmiştir. 2005 yılında eksik yüklenen ekskavatörlerin 1. eğitim sonrasında aşırı yüklenmeye başlanması çözümün 2. bir

Çizelge 6. Birinci eğitim sonrasında 34 ve 38 no'lu ekskavatörlerin kararlılık ve yeterlilik analizi sonuçları.

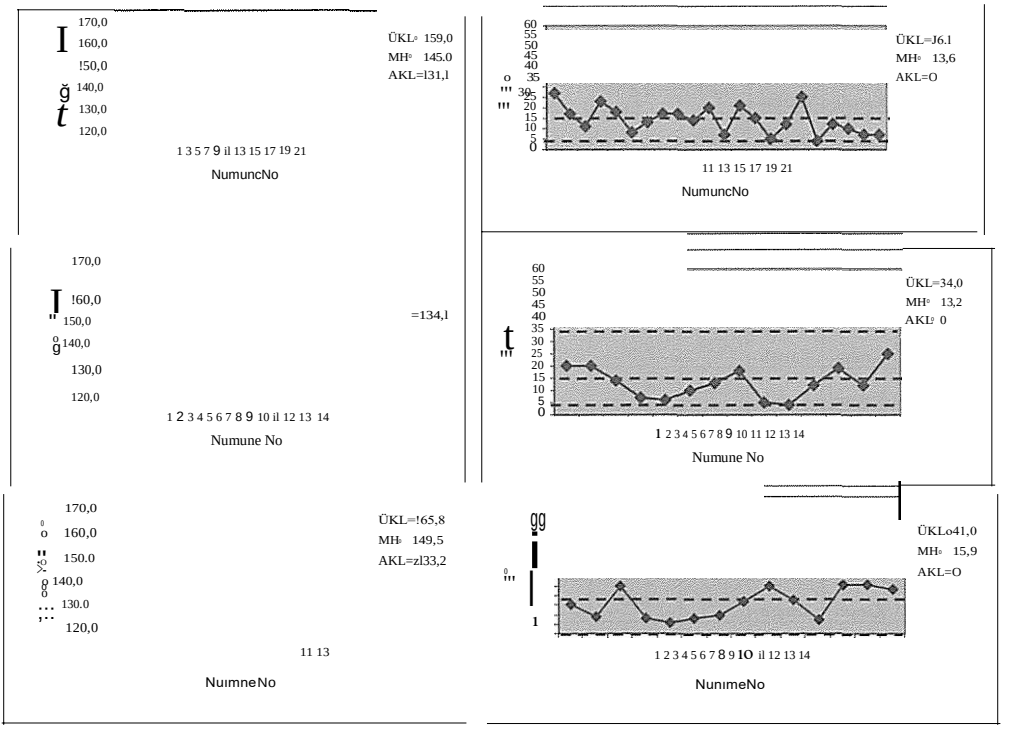
| 34 no'lu ekskavatör | | | | | | | 38 no'lu ekskavatör | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kararlılık | | Yeterlilik | | | | | Kararlılık | | Yeterlilik | | |
| No | Tarih | X | R | C, | Cniit't | **Cwu,** | No | Tarih | X | R | C" | **Cıii ,** | ***Cul,*** |
| **l** | 02.05.2206 V2 | Kararlı | Kararlı | 1,28 | l.17 | 1.38 | **l** | 02.05.2206 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.25 | l.09 | 1.41 |
| 2 | 02.05.2206 V3 | Kararlı | Kararlı | l.24 | 1.12 | 1.37 | 2 | 02.05.2206 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.00 | 1.13 | 0.88 |
| 3 | 03.05.2006 vl | Kararlı | Kararlı | 1.33 | 1.28 | 1.39 | 3 | 03.05.2006 VI | Kararlı | **Kararsız** | 1.80 | 1.46 | 2.15 |
| 4 | 03.05.2006 v2 | **Kararsız** | Kararlı | l.11 | 0.86 | 1.36 | 4 | 03.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | l.15 | 0.96 | 1.34 |
| 5 | 03.05.2006 v3 | Kararlı | Kararlı | 1.31 | 1.18 | l.45 | 5 | 03.05.2006 V3 | **Kararsız** | Kararlı | l.22 | 1.11 | 1.32 |
| 6 | 04.05.2006 vl | Kararlı | Kararlı | l.23 | l.03 | l.42 | 6 | 10.05.2006, Vl | **Kararsız** | Kararlı | l.71 | 1.52 | l.90 |
| 7 | 04.05.2006 v2 | Kararlı | Kararlı | 1.25 | 1.09 | 1.42 | 7 | 10.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 0.95 | 0.86 | l.04 |
| 8 | 04.05.2006 v3 | Kararlı | Kararlı | 1.53 | 1.51 | 1.55 | 8 | 10.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | l.19 | 1.16 | l.23 |
| 9 | 05.05.2006 vl | Kararlı | Kararlı | 1.04 | 1.08 | 1.01 | 9 | 11.05.2006 VI | **Kararsız** | **Kararsız** | l.70 | 1.56 | l.84 |
| 10 | 05.05.2006 v2 | **Kararlı** | Kararlı | 1.22 | 1.08 | 1.36 | 10 | 11.05.2006 V2 | Kararlı | **Kararsız** | 1.10 | 0.85 | 1.34 |
| il | 05.05.2006 v3 | Kararlı | Kararlı | J.J 7 | l.06 | 1.27 | 11 | l l.05.2006 V3 | **Kararsız** | Kararsız | 1.52 | 1.20 | 1.84 |
| 12 | 06.05.2006 vl | Kararlı | Kararlı | 1.72 | 1.81 | l.62 | 12 | 12.05.2006 VI | **Kararsız** | **Kararsız** | 1.42 | l.25 | l.60 |
| 13 | 8.05.2006 v2 | Kararlı | **Kararsız** | l.60 | 1.44 | 1.77 | 13 | 12.05.2006 V2 | **Kararlı** | Kararlı | 1.16 | 0.94 | 1.37 |
| 14 | 8.05.2006 v3 | **Kararsız** | **Kararsız** | l.16 | l.18 | l.15 | 14 | 12.05.2006 V3 | Kararlı | **Kararsız** | l.16 | 1.06 | 1.25 |
| 15 | 09.05.2006 vl | Kararlı | Kararlı | 1.41 | 1.27 | 1.55 | 15 | 13.05.2006 V2 | Kararsız | **Kararsız** | 1.83 | 1.74 | 1.93 |
| 16 | 09.05.2006 v2 | Kararlı | Kararlı | l.19 | l.19 | l.18 | 16 | 13.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.37 | 1.36 | 1.39 |
| 17 | 09.05.2006 v3 | Kararlı | **Kararsız** | l.16 | 1.07 | 1.26 | | | | | | | |
| 18 | 10.05.2006, vl | Kararlı | Kararlı | 1.19 | l.15 | 1.22 | | | | | | | |
| 19 | 10.05.2006 v2 | Kararlı | Kararlı | 1.08 | 0.90 | 1.26 | | | | | | | |
| 20 | 10.05.2006 v3 | Kararlı | **Kararlı** | 1.26 | 1.21 | 1.32 | | | | | | | |
| 21 | l 1.05.2006 vl | Kararlı | **Kararsız** | l.65 | 1.69 | 1.62 | | | | | | | |
| 22 | 11.05.2006 v2 | **Kararsız** | **Kararsız** | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | | | | | | |
| 23 | 11.05.2006 v3 | Kararlı | **Kararsız** | l.07 | **1.1O** | 1.04 | | | | | | | |
| 24 | 12.05.2006 vl | **Kararlı** | **Kararsız** | 0.98 | 0.86 | 1.10 | | | | | | | |
| 25 | 12.05.2006 v2 | Kararlı | Kararlı | 0.99 | 0.89 | 1.09 | | | | | | | |
| 26 | 12.05.2006 v3 | Kararlı | Kararlı | 1.26 | l.13 | 1.40 | | | | | | | |
| 27 | 13.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.04 | 0.94 | l.15 | | | | | | | |
| 28 | 13.05.2006 V3 | **Kararlı** | Kararlı | 1.25 | l.10 | 1.40 | | | | | | | |

Çizelge 7. **İkinci** eğitim sonrasında 34 ve 38 no'lu ekskavatörlerin kararlılık ve yeterlilik analizi sonuçlan.

| 34 nolu Ekskavatör | | | | | | | 38 nolu Ekskavatör | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kararlılık | | Yeterlilik | | | | | Kararlılık | | Yeterlilik | | |
| No | Tarih | X | R | C, | c)Off | Cmi11 | No | Tarih | X | R | C, | Cı1ç, | Cıa1t |
| l | 17.05.2006 Vl | Kararlı | Kararlı | 1.56 | 1.56 | 1.56 | l | 17.05.2006 Vl | Kararlı | Kararlı | 2.98 | 2.99 | 2.98 |
| 2 | 17.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.29 | 1.25 | 1.33 | 2 | 17.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.40 | 1.40 | 1.41 |
| 3 | 17.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.37 | 1.27 | 1.47 | 3 | 17.05.2006 V3 | **Kararlı** | Kararlı | 1.32 | 1.28 | 1.36 |
| 4 | 18.05.2006 Vl | Kararlı | Kararlı | 1.34 | 1.24 | 1.44 | 4 | 18.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.49 | 1.38 | 1.61 |
| 5 | 18.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.23 | 1.19 | 1.28 | 5 | 19.05.2006 V3 | **Kararlı** | Kararlı | 1.13 | 1.20 | 1.07 |
| 6 | 18.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.14 | 1.13 | 1.14 | 6 | 20.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.67 | 1.78 | 1.57 |
| 7 | 19.05.2006 Vl | Kararlı | Kararlı | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 7 | 20.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.25 | 1.24 | 1.26 |
| 8 | 19.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.06 | 1.07 | 1.04 | 8 | 20.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.27 | 1.10 | 1.45 |
| 9 | 19.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.78 | 1.78 | 1.78 | 9 | 22.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.31 | 1.19 | 1.43 |
| 10 | 20.05.2006 Vl | Kararlı | Kararlı | 1.04 | 1.07 | 1.00 | 10 | 22.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.27 | 1.32 | 1.22 |
| 11 | 20.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.27 | 1.43 | 1.12 | il | 22.05.2006 V3 | Kararlı | **Kararlı** | 1.44 | 1.46 | 1.42 |
| 12 | 20.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.31 | 1.38 | 1.25 | 12 | 23.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.55 | 1.59 | 1.52 |
| 13 | 22.05.2006 VI | Kararlı | Kararlı | 1.11 | 1.13 | 1.10 | 13 | 23.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 2.29 | 2.15 | 2.43 |
| 14 | 22.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.34 | 1.08 | 1.61 | 14 | 24.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.22 | 1.15 | 1.28 |
| 15 | 22.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.67 | 1.67 | 1.68 | 15 | 24.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.82 | 1.61 | 2.04 |
| 16 | 23.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.15 | 1.12 | 1.19 | 16 | 25.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.23 | 1.16 | 1.30 |
| 17 | 23.05.2006, V2 | Kararlı | Kararlı | 1.26 | 1.27 | 1.25 | 17 | 25.05.2006 V2 | Kararlı | **Kararlı** | 1.13 | 1.05 | 1.21 |
| 18 | 23.05.2006 V3 | Kararlı | **Kararh** | 1.67 | 1.64 | 1.70 | 18 | 25.05.2006 V3 | **Kararlı** | Kararlı | 1.44 | 1.27 | 1.62 |
| 19 | 24.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.15 | 1.04 | 1.27 | 19 | 26.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.40 | 1.22 | 1.59 |
| 20 | 24.05.2006 V3 | Kararlı | **Kararlı** | 1.57 | 1.42 | 1.73 | 20 | 26.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.41 | 1.26 | 1.55 |
| 21 | 25.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.23 | 1.21 | 1.24 | 21 | 27.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.55 | 1.49 | 1.60 |
| 22 | 25.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 22 | 27.05.2006 V2 | Kararlı | **Kararlı** | 1.61 | 1.59 | 1.64 |
| 23 | 25.05.2006 v3 | Kararlı | Kararlı | 1.52 | 1.27 | 1.76 | 23 | 27.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.29 | 1.46 | 1.13 |
| 24 | 26.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.37 | 1.48 | 1.26 | | | | | | | |
| 25 | 26.05.2006 V3 | Kararlı | Kararlı | 1.49 | 1.30 | 1.67 | | | | | | | |
| 26 | 27.05.2006 v1 | Kararlı | Kararlı | 1.12 | 1.12 | 1.12 | | | | | | | |
| 27 | 27.05.2006 V2 | Kararlı | Kararlı | 1.08 | 1.03 | 1.12 | | | | | | | |
| 28 | 27.05.2006 V3 | Kararlı | **Kararlı** | 1.40 | 1.28 | 1.53 | | | | | | | |




Şekil 6. 34 no'lu ekskavatör 20.05.2006 vardiya 3, 25.05.2006 vardiya 2, 27.05.2006 vardiya 1 kontrol grafikleri.




**Şekil** 7. **38 no'lu ekskavatör 17.05.2006 vardiya 2, 18.05.2006 vardiya 1, 20.05.2006 vardiya 3 deki kontrol grafikleri.**

eğitimle sağlanacağı düşüncesini * Iyileştirme çalışmalarının yalnız bir güçlendirmiştir. 3 gün süren ikinci eğitimin birimde değil tüm birimlerde eş zamanlı sonrasında yükleme süreci 1O gün süreyle yapılması, gerekmektedir.
izlenmiş ve sürecin tam anlamıyla kararlılığı ve yeterliliği sağlanmıştır.

Sürecin kararlı ve yeterli hale getirilmesi ilerleyen dönemde; ekskavatörlerin yapmış olduğu aylık iş miktarını %15 arttırmış, çalışanların aldıkları primde ise %25'e yakın bir yükselme sağlamıştır. Prim artışı çalışanların memnuniyetini arttırmakla beraber motivasyonunu da yükseltmiştir.

GLİ'de 1999 yılından beri kayıt altına alınan bu yükleme verileri, daha önceden herhangi bir istatistiki çalışmaya konu olmamıştır. Önceleri elde edilen verilerin sadece aritmetik ortalamalarına, yüksek ve düşük tonajlarına bakarak değerlendirme yapılırken bu çalışmayla birlikte yükleme değerleri ayrı bir anlam kazanmıştır. Bu çalışma, tutulan bu verilerin değerlendirilmesi açısından da çok faydalı olmuştur.

Yine GLİ'de çalışan 85 ston'luk kamyonlarda çok fazla sefer abartıları ve eksik k taşıma durumları görülmektedir.
50 yd /sefer kapasiteli kamyonların aylık ortalama taşıma kapasiteleri 25 $yd^3$/sefer' e düşmektedir. Bu durumun bir kısmı eksik yük taşımaktan bir kısmı da fazla prim alabilmek için seferlerin abartılmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum işin layıkıyla yapılmasını engelleyen bir ortam yaratmaktadır.

Bu çalışmadan çıkan sonuçlar İSK yaklaşımının GLİ'de yükleme yapılan süreçlerde, hatta tüm üretim süreçlerinde kullanılabileceğini ve kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu noktada aşağıda belirtilen konular önem kazanmaktadır.

* Maden işletmesi yöneticilerinin (müdür, başmühendis, mühendis) sorunları çözmek için fikir birliği yapması,
* Personele sürekli ve her fırsatta eğitimler verilmesi,
* Tüm işletme çapında performans ölçüm denetim sistemi kurulması ve sonuçların titizlilikle takip edilmesi,

## KAYNAKLAR


Akın, B., 1996; *İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol,* Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

Ankara, H. ve Bilir, K., 1995; Kriblaj tesisinde kalite denetimi, *l.Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, ss* 235-240, DEÜ Müh. Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Anonim 1992; *System approach to process improvement,* Minister of Navy, Total Quality Leadership Office and Naval Personnel, Research and Development Center, San Diego, USA.

Aykul, H., Akçakoca, H. ve Ediz, İ. G., 2005, Gaıp Linyitleri İşletmesi Termik Santral Kömürleri İçin İstatistiksel Süreç Kontrol Analizi, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı,* ss 313-320., İzmir.

Besterfield, D.H., 1990; *Quality Coutrol,* Prentice-Hall Intemational Editions, New Jersey, USA.

Devor, R.E., Chang, T., Sutherland, J.W., 1992; *Statistical Quality Design aıud Control,* Macmillan Publishing Company, New York, USA.

Faigenbaum A.V, *Total Quality Coutrol,* Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1961.

# Kaya Kamyonları, Yapı ve Performanslarının İncelenmesi
## *Dump Trucks, Investigation of their Structures and Performances*

M. Zıypak
*TKİ Genel Müdürlüğü, Makina ve İkmal Daire Başkanlığı, Ankara*

ÖZET Bu çalışma kapsamında, Ege Linyitleri İşletmesi (Soma) ve Garp Linyitleri İşletmesi (Tunçbilek) ocaklarında çalışan 85 ston'luk mekanik ve 170 ston'luk elektrikli kamyonların 2002 yılına ait yıllık çalışma saatleri, akaryakıt ve yağ sarfiyatı ile yedek parça giderlerine ilişkin verileri esas alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT In this study, <lata of 85 tons mechanical and 170 ton electrical tıucks working at Ege Lignite Corporation (Soma) and Westem Lignite Corporation (Tunçbilek)was taken base, at the comparison of annual working hours, fuel and oil consumption and spare paıi expenses, of the year 2002

## 1 AÇIKOCAK ÜRETİM SİSTEMLERİ

Açık ocak madenciliğinde çok büyük miktarlardaki hafriyat (dekapaj) ve cevherin (tüvenan) kazılması ve taşınması söz konusudur. Bu faal yetler makine-teçhizat kullanılarak mekanıze olarak yürütülür. Kullanılan makine-teçhizata göre açık ocak madenciliği genel olarak iki guıupta ele alınabilir:

1. Ekskavatör-kamyon metodu
2. Döner kepçeli ekskavatör(DKE)- bant konveyör-dökücü metodu

Ekskavatör-kamyon metodunda delme-patlatma yoluyla gevşetilmiş malzeme ekskavatörlerle kazılarak kamyonlara yüklenir, döküm harmanına taşınarak boşaltılır. Bu metot her saha koşulunda kullanılabilir.

DKE-bant konveyör-dökücü metodu sürekli sistemdir. DKE ile kazılan malzeme bant konveyöre aktarılarak taşınır. Döküm sahasında bulunan dökücü makine vasıtasıyla dökülür. Bu metod, taş veya sert marn ihtiva etmeyen yumuşak malzemelerin olduğu sahalarda başarılı olmaktadır.

Bu metotlardan özellikle birincisiyle entegre olarak çalışan dragline, açıkocak madenciliğinde önemli yeri vardır. Dragline, genelde, rezerv üzerinde bulunan dekapajın kazılarak rezervi boşaltılmış alana dökülmesinde kullanılır. Taşıma gerektirmediğinden en ekonomik çalışma şeklidir.

Bu metotlardan diğerlerine göre daha yaygın olanı ekskavatör-kamyon metodudur. Bu çalışma sisteminde ana üretim makineleri ekskavatör ve kamyondur. Değişik kapasite aralı ında bulunan ekskavatörlere eş olarak çeşitli kapasite ve özelliklerde kamyonlar kullanılır. Ekskavatör-kamyon çalışmasında önemli miktarda yardımcı makine (dozer, greyder, delik makinesi gibi) kullanılır. Bu metotta harınan mesafesine de bağlı olarak en yüksek gider nakliyeye (kamyon) aittir.

Açıkocak makine-teçhizatı, maliyetleri düşürmek amacıyla kapasite açısından sürekli artış eğilimi izlemektedir. Bu kapsamda kaya kan onlan 400 short ton, ekskavatörler 70 yd, draglinelar 165 $yd^3$, döner kepçeli ekskavatörler 36000 m3/saat kapasiteye ulaşmıştır.

Açık maden ocaklarında yaygın olarak uygulanmakta olan ekskavatör-kamyon metodunda çoğunlukla rijid tip kaya kamyonları kullanılmaktadır. Uzun ekonomik ömre sahip olan kaya kamyonları

genel olarak mekanik ve elektrikli olmak üzere iki gurnpta sınıflandırılmaktadır. Bu kamyonlar ana yapı (şase, damper, motor v.s) olarak birbirinin benzeridir. Esas farklılık aktarma organları ve retarder frenindedir. Mekanik kamyonlarda motordan sonra gelen şaft, tork konventer, şanzıman, diferansiyel, aks ve nihai tahrikin yerini elektrikli kamyonlarda alternatör ve yürüyüş motorları almıştır. Büyük tonajlı kamyonlar (150 ston ve üstü) büyük oranda elektrikli olarak imal edilirken küçük tonajlılar mekanik olarak yapılmaktadır. Mekanik ve elektrikli kamyonların birbirlerine göre avantajları bulunmaktadır.

## 2 KAMYONLAR

### 2.1 Genel Bilgiler

Gerek açıkocaklarda yürütülen dekapaj çalışmaları, erekse muhtelif hafriyat işlerinde iki tıp kamyon kullanılmaktadır: Bunlar kaya kamyonları ve damperli kamyonlardır.

Damperli kamyonlar karayolunda çalışabilen (plakalı) araçlar olduğundan her çeşit hafriyat işinde kullanılmaktadır. Ihtiyaçların karşılanması ve maliyetlerin düşürülmesi için son yıllarda bu kamyonlarda önemli gelişmeler olmuştur. Bu tip kamyonlarda kapasiteler 40 tona yükselmiş; ayrıca kapasitesi 50-60 tonu bulan tır tipi kamyonlar geliştirilmiştir. Bu kamyonlar ülkemizde müteahhitlerce dekapaj işinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Çoğunlukla açıkocak maden işletınecilinde kullanılan kaya kamyonları yapılarına göre üç gurnpta toplanabilir.

- Rijid,
- Belden kırmalı,
- Alttan boşaltmalı kamyonlar

Bunlardan rijit tip kamyonlar en yaygın kullanılan kaya kamyonu olup kapasiteleri 35 ile 400 ston arasında değişmektedir. Ekonomiklik gerekçesiyle dünyadaki önemli maden ocaklarında büyük kapasiteli (190 ston ve üstü) kamyonlar kullanılmaktadır.

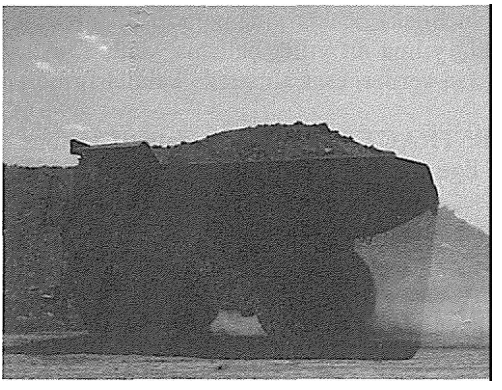
Kapasiteleri 35-60 ston arasında değişen belden kırmalı kamyonlar, özel ocak şartlarında kullanılmaktadır.

Alttan boşaltmalı kamyonlar çekici tipinde olup genelde cevher naklinde kullanılmaktadır.

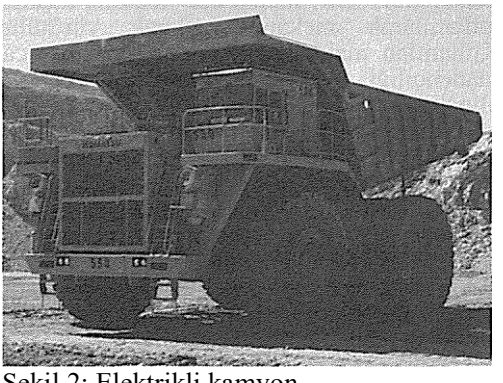
Ulkemiz maden ocaklarında büyük çoğunluğu devlet işletmelerinde olmak üzere 650 civarında kaya kamyonu faaliyet göstermektedir.. Bunların yaklqşık % 80'i Türkiye Kömür Işletıneleri (TKI) Kurnmuna aittir.

### 2.2 Kaya Kamyonlarının (Rijid) Yapısı

Rijid kaya kamyonları tahrik durnmlarına göre mekanik ve elektrikli olarak iki gurnpta sınıflandırılır (Şekil 1 ve 2). Bu kamyonlar ana yapı (şase, damper, motor v.s) olarak birbirinin benzeridir. Esas farklılık aktarma organları ve retarder frenindedir.



Şekil 1: Mekanik kamyon



Şekil 2: Elektrikli kamyon

Dünyada öne çıkan kaya kamyonu üreticisi 6 adet firma vardır. Bunların çoğunluğu hem mekanik hem elektrikli kamyon üretimi yaparken, sadece birisi tamamıyla mekanik kamyon üretmektedir. Büyük tonajlı kamyonlar, biri hariç, elektrikli olarak

üretilirken, küçük tonajlılar (150 ston altı) mekanik tahrikli imal edilmektedir.

Büyük tonajlı kamyonlar tamamen madencilikte kullanılırken, küçük tonajlılar hem madencilik hem inşaat işlerinde kullanılmaktadır.

Kaya kamyonlarının, başta ana şase olmak üzere tüm üniteleri dayanıklı ve güvenirlikleri yüksektir. Dolayısıyla ekonomik ömürleri de yüksektir. Ancak doğal olarak yatırım bedelleri de yüksektir.

### *2.2.1 Mekanik Kamyonlar*

Mekanik kamyonlar ana şase, damper, motor, aktarma organlan, hidrolik sistem, hava sistemi, fren sistemi ve elektrik sisteminden oluşmaktadır (Şekil 5).

Son yıllarda özellikle motor- şanzımanda elektronik kontrol uygulamasına geçilerek kamyonun performansı artırılmış, tamir-bakımları (bilgi toplama, arıza teşhisi) kolaylaştırılmıştır.

Ana şase yüksek kaliteli çelik sactan kaynaklı konstrüksiyon olarak yapılır. Kritik yük taşıyan bölümleri için çelik döküm malzemeler kullanılır. Damperler de yüksek kaliteli çelik sactan (hardox gibi) taban ve yan plakalar güçlendirilerek V tipi konstrüksiyon olarak yapılırlar. Damaperlerden baştanbaşa eksoz gazı geçirilerek nemli malzemenin yapışması önlenir (Komatsu, 1985; Cat 777, 1985)

Bu kamyonlarda ağır hizmet tipi turboşarzlı ve aftercoolarlı motorlar kullanılmakta olup son zamanlarda düşük emisyon sağlayan common-rail (yakıt enjeksiyon sistemi) teknolojisine sahip elektronik kontrol modüllü motorlara geçilmiştir.

Mekanik kamyonların motordan sonra güç aktarılan aksamları sırasıyla 1 .şaft, tork konventer, şanzıman, 2. şaft, diferansiyel, nihai tahrik (cer) ve lastiklerdir (şekil 1). Bazı markalarda tork motor volanına, şanzıman diferansiyele akuple olmak suretiyle tek şaft kullanılmaktadır.

Kamyon yüklü ve düşük hızda veya geri viteste ise tork (lock up) devrededir. Hız artınca tork devreden çıkarak gücü direk 6-7 ileri 1-2 geri vitesli planet tip otomatik şanzımana iletir. Kamyonun yük, hız ve hareket yönüne göre vitesler otomatik olarak seçilir. Daha sonra diferansiyel ve nihai tahrikte (planet dişli sistemi) devir düşerek güç lastiklere iletilir. Kamyonlarda genelde yol dışı (OTR) radyal lastikler kullanılmaktadır.

Servis frenleri önde kampanalı, arkada yağ soğutmalı çok-diskli sistemlerdir. Arka frenler aynı zamanda retarder freni görevini de görürler. Fren gücü, fren körüklerinde pnömatik eneıjinin hidrolik enerjiye çevrilmesi ile elde edilir.

Hidrolik sistem kapsamında arka fren ve şanzıman yağının soğutulması ile direksiyon ve süspansiyon sistemleri bulunmaktadır. Hidrolik sistemde transferden (PTO) güç alan dişli tip pompalar kullanılmaktadır. Süspansiyonlar hidro-pnömatik yapıda olup sarsıntıları absorbe ederek rahat bır hareket sağlarlar.

### *2.2.2 Elektrikli Kamyonlar*

Mekanik kamyonların en sorunlu, tamir-bakım gideri yüksek ve verim kaybına sebep olan kısmı aktarma organlarıdır. Bu sorunları gidermek için kamyonun ana yapısı aynı kalmak kaydıyla şaft, tork konventer, şanzıman ve diferansiyel gibi üniteler kaldırılarak kamyonun hareketi elektriksel ünitelerle sağlanabilmekte olup bu yapıdaki kamyonlara elektrikli yada elektrik tahrikli kamyonlar denilmektedir (Joseph, 1983; Dietz, et. Al, 1984; ELİ Komatsu 630ES Elektrikli Kamyon Perf. Raporu, 2004; GLİ Komatsu 630ES Elektrikli Kamyon Perf. Raporu, 2004).

Elektrikli kaya kamyonlarının elektriksel üniteleri esas olarak alternatör ve yürüyüş motoru ile kontrol sistemidir (şekil 2). Alternatör motora akupledir. Arka aks üzerinde her biri bir taraftaki lastikleri tahrik eden 2 adet yürüyüş motoru bulunmaktadır (Şekil 6).

Dizel motor tarafından tahrik edilen alternatörün ürettiği alternatif akım diyotlar tarafından doğrultularak (eğer motorlar doğru akım ise) yüıüyüş motorlarını (doğru akım) beslerler. Bu motorlara akuple durumda olan planet dişli sistemli cerler vasıtasıyla devir düşürülerek tahrik sağlanır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle doğru akım motorlarının yerini hız kontrollü asenkron motorlar almaya başlamıştır.

Elektrikli kamyonun diğer bir özelliği elektronik kontrol sistemine sahip olmasıdır. Sistem operasyon kontrolü (öm. hız kontrolü), arıza teşhisi, veri depolama işlevini yerine getirir.

Elektrikli kamyonlarda ocak şartlarının uygun olması halinde yürüyüş için gerekli enerjiyi bu iş için çekilmiş olan gerilim hattından almak mümkündür. Bu

uygulamada değişken olan yükleme ve harman alanlarında dizel motor devrededir; kalan sabit bölümde dizel motoru rölanti devrine alınarak yürüyüş enerjisi hattan çekilir. Uygulamanın akaryakıt tasarrufu sağlaması, motor ve alternatörün ömrünün artırması, inişlerde motorların generatör olarak çalıştırılmasıyla hatta enerji vermesi gibi avantajlarından bahsedilmektedir.

Elektrikli kamyonlarda önemli bir avantaj da retarder freninde sağlanmıştır. inişlerde retarder pedalına basılmasıyla yürüyüş motorları jeneratör olarak çalışmaya başlarlar; buradan üretilen enerji rezistansların ısıtılmasıyla bertaraf edilmektedir.

### *2.2.3 Mekanik ve Elektrikli Kamyonların Karşılaştırılması*

Yukarıdaki bilgiler ışığında Mekanik ve elektrikli kamyonların birbirlerine göre üstünleri aşağıda özetlenmiştir.

#### *2.2.3.1 Mekanik kamyonların avantajları*

1. Düşük hızda tork konventer tahriki devrede olduğundan yüksek patinaj gücüne sahiptir. Bu durum kötü çalışma koşullarında çok avantajlıdır.
2. Yüksek eğimlerde, elektrikli kamyonların yürüyüş motorlarında yaşanan yalıtım limitlerine benzer sorunları fazla bulunmamaktadır.
3. Kamyonların elektrik-elektronik tamir-bakımları için yetişmiş eleman istihdamı erektirmez.
4. Mekanık tahrik ekipmanlarının elektrik tahrik ünitelerine göre daha ucuz olması nedeniylemekanik kamyonların ilk yatırım maliyeti daha düşüktür.

#### *2.2.3.2 Elektrikli kamyonların avantajları*

1. Elektrik-elektronik sistemlerin bakım ve kontrolü kolaydır.
2. Güvenli ve denenmiş komponentlere sahip olduğundan düşük arıza görülmektedir.
3. Aktarma organlarının olmaması sürtünmeden kaynaklanan verim kaybını ve yedek parça sarfiyatını azaltmaktadır.
4. Düşük bakım ve akaryakıt giderlerinden dolayı işletme giderleri oldukça düşüktür.
5. Yıllık çalışma saatları ve üretim miktarları yüksektir.
6. Retarder fren sistemi daha güvenlidir, tamir-bakım gideri düşük, soğutması daha kolaydır.
7. Şanzıman ve diferansiyel olmaması, retarder frenlerinin yağ yerine hava ile soğutulması nedeniyle yağ kullanımı mekaniklere göre oldukça düşüktür.
8. Yürüyüş motorlarının gerilim hattına bağlı olarak çalıştırılması durumunda ekstra akaryakıt tasarrufu, motor ve alternatörün ömür artışı, inişlerde motorların jeneratör olarak çalıştırılmasıyla enerji kazanımı mümkün olmaktadır.

## 3 PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

Ülkemizdeki kaya kamyonlarının büyük çoğunluğu (yaklaşık 500 adet) TKİ Kurumu bünyesinde olup bt!nların 20 adedi elektrikli kamyondur. TI .I'nin Ege Linyitleri Müessesesi (ELi). ile Garp Linyitleri Müessesesinde (GLI) çalıştırılan 85 ston'luk mekanik kamyonlar ile 170 ston'luk elektrikli kamyonlara ait bazı performans değerlendirmeleri aşağıda açıklanmıştır.

Performans değerleri kapsamında çalışma saatleri, akaryakıt sarfiyatı, madeni yağ sarfiyatı ve yedek parça giderleri incelenmiştir. Her iki işletmede de ele alınan kamyonlardan mekanikler 1985 model farklı marka, elektrikliler 1998 model aynı kamyonlardır.

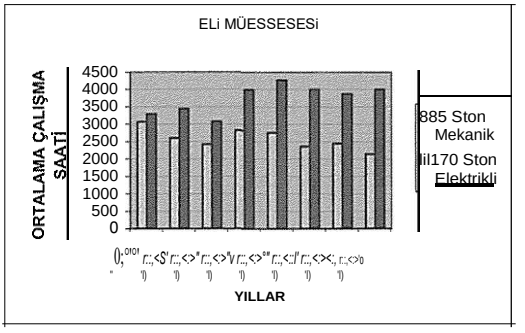
Kaya kamyonlarının çalışma saatlerinin mukayesesi için Şekil 3-4 incelendiğinde;

- Elektrikli kamyonların çalışma saatlerinin mekaniklere göre daha yüksek olduğu, farkın son yıllarda daha da çıldığı,
- ELi kamyon çalış ma saatlerinin karşılıklı olarak GLI'ninkilere göre daha yüksek olduğu görülecektir.

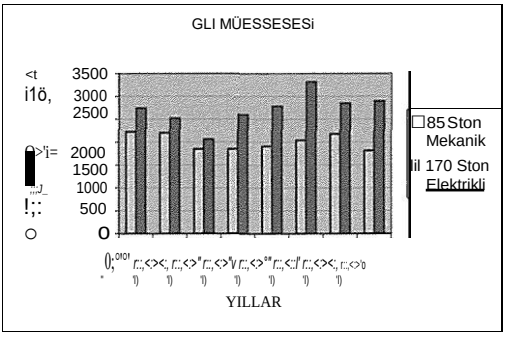
Kamyonların akaryakıt sarfiyatları incelendiğinde (Tablo 1);

- Her iki işletmede de saatlik sarfiyatların elektriklilerin, 2 kat tonaj büyüklüğüne rağmen, ı:nekaniklere gö re sırasıyla sadece ELI'de 1.28 ve GLI'de 1.26 kat yülçsek olduğu, .
- ELi saatlik sarfiyatlarının GLI'ye göre mekanik ve elektriklilerde sırasıyla % 17, % 19 oranında daha yüksek ol uğu, . .
  m başına sarfiyatların ELi ve GLI'de mekaniklerin elektriklilere göre sırasıyla % 43 ve% 17 daha yüksek,

ELi m sarfiyatının GLI'ye göre mekanik ve elektriklilerde sırasıyla 2,61 ve 2,14 kat yüksek olduğu anlaşılacaktır.




Şekil 3. ELİ Mekanik-Elektrikli Kamyon Çalışma Saatleri




Şekil 4. ELİ Mekanik-Elektrikli Kamyon Çalışma Saatleri

ELİ madeni yağ sarfiyatına bakıldığında (Tablo 1); mekaniklerin, yarı tonaja rağmen, el ktriklilere göre saatlik sarfiyatının 2 kat, m başına sarfiyatının 3,8 kat yüksek olduğu hesap}anmaktadır.

ELi yedek parça giderleri tablosu (Tablo 2) incelendiğinde, mekanik kamyonların, yarı tonaja rağmen, elektriklere göre 2002'de 2.67, 2003'de 2.48 kat fazla yedek parça tükettiği görülecektir.

## 4SONUÇ

MaliY.etleri düşürerek piyasada rekabet edebılmek amacıyla maden makineleri kapasitesiteleri sürekli artış eğilimi göstermektedir. Bu kapsamda kaya kamyonlarının kapasiteleri 400 ston'u bulmuştur. Ancak küçük işletmelerde veya küçük işlerde düşük kapasiteli makineler ekonomik olabilmektedir.

Kaya kamyonları da teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilmektedir. Bu konuda elektronik kontrol uygulamaları, elektrikli kamyonlarda asenkron motorlara geçilmesi, dizel motorlarda common-rail teknolojisinin uygulanması önemli örnekler arasında sayılabilir.

Elektrikli ve mekanik kamyonların birbirlerine göre avantajları incelendiğinde elektriklilerin daha avantajlı olduğı.ı. rahatlıkla sqylenebilir,. Bu durum, TKI Kurumu ELı ve GLI Müesseselerine ait mekanik ve elektrikli kamyonlarının 2002 performans değerlerinin analizinde de görülmektedir.

## KAYNAKLAR

Joseph W.J., 1983, Statex: An offHighway Vehicle Electric Drive Systemfor the Present and Future, Atlanta

Dietz, J.H, Brzezniak, W.E, 1984, The Economics and Productivity Impact ofTrolley Assisted Truck Haulage, Los Angeles

Rijid-Frame Haulers Make Smooth Operators, 2004

Komatsu HD785-1 ve HD785-2 Kaya Kamyonlarına ait Shop Manueller, 1985

Cat 777 Kaya Kamyonlarına ait shop manueller, 1985

ELİ İşletme Müdürlüğü Komatsu 630ES Elektrikli Kamyonlara için hazırlanmış performans raporu, 2004, Soma

GLİ İşletme Müdürlüğü Komatsu 630ES Elektrikli Kamyonlara için hazırlanmış performans raporu, 2004, Tavşanlı

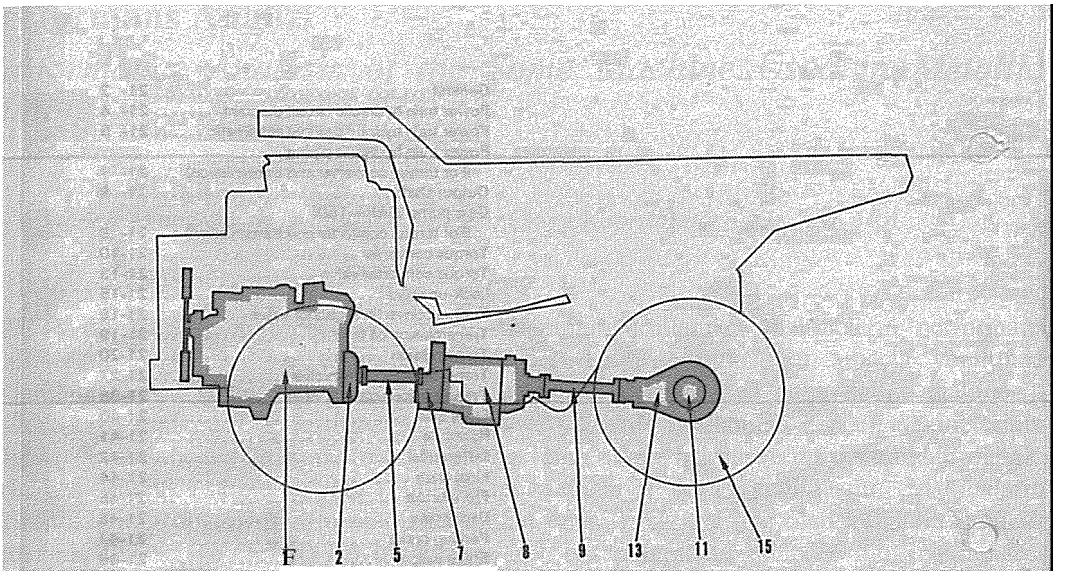
Tablo 1 Kaya Kamyonları Akaıyakıt ve Yağ Sarfiyatı Mukayese Tablosu (2002 Yılı)

| iŞLETME | CiNSi | | TOPLAM ÇALIŞMA SAATI | TOPLAM DEKAPAJ (m3) | TOPLAM KÖMÜR (Ton) | TOPLAM AKAR. SARF.(Lt) | TOPLAM YAĞ SARF.(Lt) | SAATLiK SARF. AKAR. (LT/SA.) | SAATLiK SARF. YAĞ (LT/SA.) | m' BAŞ.SARF. AKAR. (LT/m3) | m' BAŞ.SARF. YAĞ (LT/m3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ELi | MEKANiK 85 STON | 83 | 234.251 | 15.416.414 | 2.550.625 | 15.347.131 | 520.529 | 65,52 | 2,23 | 0,896 | 0,013 |
| | ELEKTRiKLi 170 STON | 10 | 39.932 | 5.346.660 | 0 | 3.341.407 | 44.704 | 83,67 | 1,12 | 0,625 | 0,003 |
| GLİ | MEKANiK 85 STON | 63 | 98.008 | 15.937.998 | | 5.465.728 | | 55,77 | | 0,343 | |
| | ELEKTRiKLi 170 STON | 10 | 26.000 | 6.253.002 | | 1.826.602 | | 70,25 | | 0,292 | |

NOT: 1) 2002'DE GLİ'DE DÖKÜM SAHASI MESAFESİ 1000m CİVARINDA İKEN ELİ'DE 2500-3000 ARASINDA YD!
2) 2002'DE GLİ'DE MEKANİK KAMYONLAR-! EĞİMDE, ELEKTRİKLİ KAMYONLAR +4 EĞİMDE ÇALIŞMIŞLARDIR.

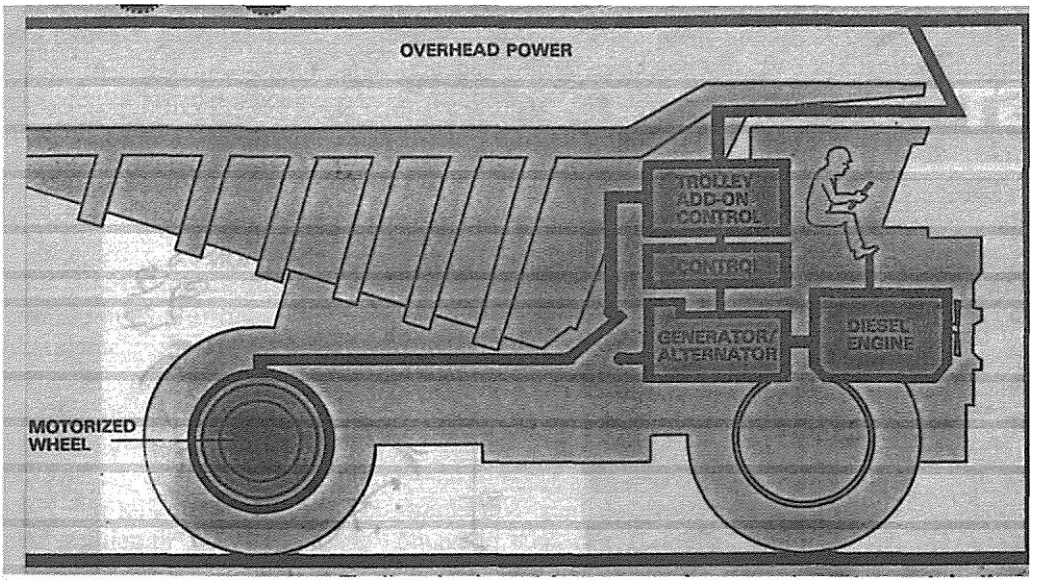
Tablo 2 ELİ Müessesesi Kaya Kamyonları Yedek Parça Giderleri Mukayesesi (TL)

| MAKİNA CiNSİ | MAKİNA ADEDİ | 2001 | | 2002 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | TOPLAM | BiRiM GİDER | TOPLAM | BİRİM GİDER |
| MEKANİK 85 STON | 121 | 1.505.329.490.372 | 12.440.739.590 | 2.125.781.936.539 | 17.568.445.757 |
| ELEKTRİKLİ 170 STON | 10 | 46.599.338.403 | 4.659.933.840 | 70.822.652.429 | 7.082.265.243 |




l.DİZEL MOTORU 2.TİTREŞİM DAMPERİ
5.ÖN TAHRİK ŞAFTI 7.TORK KONVERTÖR
8.ŞANZUMAN 9.ARKA TAHRİK ŞAFTI
11.NİHAİ TAHRİK 13.DİFERANSİYEL
IS.LASTİK

Şekil 5: Mekanik Kaya Kamyonunun genel krokisi




Şekil 6: Elektrikli Kaya Kamyonunun Genel Krokisi

# Metal Madenciliğinde Kullanılan Bazı Makinelerin Performans Analizi

# *Performance Analysis of the Some Machine Used ın Metallic Mining*

G. Kalyoncu Ergüler
*MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Çevre Koordinatörlüğü, ANKARA*

**ÖZET:** Bu çalışmanın amacı, bir metal madeninde kullanılan makinelerin performans analizlerinin yapılması ve verimliliklerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla yeraltında kullanılan; Cubex (delik delme makinesi), Solomatic (katlar arası delik delme makinesi), Bolter (kaya saplaması yerleştirme makinesi) ve yükleme (kullanılan kepçe) makinelerinin çalışma durumları; net çalışma, hazır halde bekleme, tamir bakım ve durma zamanı olarak, kırk beş günlük sürelerle, her bir makine için ayrı ayrı ölçülmüştür. Makinalann verimliliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli faktörlerden olan kullanım oranları (mekanik, fiziksel ve efektif) her bir makine için hesaplanmıştır. Sonuçta, tüm makinelerin %85.18 - %95.77 arasında değişen mekanik kullanım oranıyla verimli olarak kullanıldıkları ve maximum kapasiteyle çalıştıkları sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT: The aim of this study is to analyze the machine performance and to evaluate their efficiency used in metallic mining. For this purpose, the working conditions such as net working time, standby time, repair-maintenance time and stop time of Cubex (drilling machine), Solomatic (machine used in drilling between stratum), Bolter (machine used for settling of rock bolts), loading (ladle) machine have been measured for a period of forty fıve days for each machine used in underground. On of the most important parameter used in evaluation of machine perfonnance (mechanical, physical and effective availability) has been calculated for each machine. As a result, it is concluded that the machines were used effectively with %85.18 - %95.77 mechanical availability and these machines worked with their maximum capacity.

## 1 GİRİŞ

Üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve işletme verimliliğinin artırılması için işletmelerde kullanılan makine performanslarının artırılması gerekmektedir. Bu da ancak makinelerin kullanımlarının ve durma nedenlerinin analizi ile mümkün olmaktadır. Performans analizinde en önemli faktör makinenin kullanım oranlan ve bu oranların kabul edilebilir sınırlar içinde olmasıdır (Özgüven, 2002). Makine performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili olarak Türkiye'de farklı işletmelerde çalışılan makineler üzerine yapılmış olan çalışmalar bulunmaktadır (Kahraman ve Mülazımoğlu, 1999; Tokgöz ve Kesimal, 1997; Erçelebi vd., 1999; Ceylanoğlu ve Gül, 1999; Özgüven, 2002). Kahraman ve Mülazımoğlu (1999), Pozantı-Tarsus ayrımı otoyol inşaatında kullanılmış olan yerüstünden darbeli hidrolik deliciler üzerine performans analizi yapmışlardır. Performans analizinde değerlendirme ölçütü olarak, makine kullanılabilirlik oranı ve mekanik faydalanma oranını kullanmışlardır. Tokgöz ve Kesimal (1997), bir açık ocak kömür işletmesinde kullanılan iş makinelerinin (ekskavatör, loder, kamyon, dozer, greyder,

vd.) verimlilikleriyle ilgili karakteristik büyüklükleri, ekipmanlar bazında ve sistem genelinde araştırmışlardır. Erçelebi vd. (1999), K.B.İ. Murgul İşletmesi'nde açık ocaklarda kullanılan iş makinelerinin performans analizleri için mekanik, fiziksel ve efektif kullanım oranları değerlerini hesaplamışlardır. Ceylanoğlu ve Gül (1999), bazı yeraltı ocaklarında kullanılan yükle-taşı-boşalt (YTB) makinelerinin seçimi ve kullanımında dikkate alınan parametreleri incelemişlerdir. Ayrıca her bir çalışına durumu için maliyet analizleri de yapılmıştır. Özgüven (2002), tarafından yapılan çalışmada ise, Özbeyli (Sivas-Uşak) Mermer Ocağı'nda kullanılan elmas tel kesme, havalı delik delme ve sayalama makineleri, hidrolik ekskavatör ve hidrolik yükleyicinin çalışma durumlarını ölçümlerle belirlemiş ve her bir makine için kullanım oranlarını hesaplamıştır. Bu araştırmacı, incelenen işletmede kullanılmakta olan bu makinelerden üretimde yeterli şekilde faydanılamadığını ortaya koymuştur.

Bu çalışmada ise, Türkiye'de ki bir metal madeninde yeraltında kullanılan bazı makinelerin performans ölçümleri yapılarak, işletme verimliliği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Böylece elde edilen sonuçlara bağlı olarak tam mekanize çalışan ve diğer tam mekanize üretim sistemine geçmeyi düşünen ocak işletmelerine bu yönüyle ışık tutması amaçlanmıştır. Makinelerin performans incelenmesi, makinelerin kullanım oranlarının hesaplanmasıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle, kullanım oranlarına ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir.

## 1.1 Kullanım Oranı

Kullanım oranı, bir donanım veya makinenin bulunduğu çalışma şartlarında kendisinden istenilen işlevi yerine getirebilme olasılığı olup, aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$KO = (W / T) * 100 \quad (1)$$

Burada; KO: Kullanım oranı (%), W: Makinenin çalıştığı süre ve T: Toplam çalışma ve durma süresidir (saat).

Kullanım oranı amaca göre üç grupta incelenebilmektedir. Bunlar, mekanik kullanım oranı, fiziksel kullanım oranı ve efektif kullanım oranıdır. Ayrıntılı analiz için, her üç kullanım oranın da hesaplanması gerekmektedir.

### *1.1.1 Mekanik Kullanım Oram*

Mekanik verimlilik, herhangi bir işe özgü koşullarda çalışan donanımın verimliliğinin güvenilir olup olmadığını göstermektedir. Ekipman kullanılabilirliğini, mekanik sebeplerden dolayı durma sürelerine bağlı olarak göstermektedir. Hazır halde bekleme zamanı mekanik verimlilik için kullanılan eşitliklerde çoğu zaman kullanılmamaktadır. Bunun nedeni ise, bu değerin eşitlik içine katılmasının, sonucu değiştirilemeyeceğinin ve güvenilir bir sonuç elde edilemeyeceğinin düşünülmesidir. Bu değer hesaplamalara katılırsa verimlilik değeri yüksek olacaktır (Özgüven, 2002). Mekanik kullanım oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$MKO = [W / (W+R)] * 100 \quad (2)$$

Burada; MKO: Mekanik kullanım oranı (%), W: Makinenin net çalışma zamanı (saat) ve R: Tamir ve bakım zamanıdır (saat).

Çalışılan süre; makinenin çalışılabilir olduğu ve operatörün bulunduğu süreyi kapsamaktadır. Bunun dışında her türlü durına süresini içermektedir. İşe başlama, operatörün dinlenmesi, yakıt ikmali, yağlama, hava şartlarından dolayı durma, vb. gibi durma süreleri de buna dahildir. Tamir bakım süresi; donanım bozulduğunda tamir için harcanan süreyi, planlı bakım sürelerini ve parça beklemeden dolayı durma sürelerini kapsamaktadır. Mekanik kullanım oranı,

makinenin bozulma ve bakım dışında ne kadar süreyle kullanılabileceğini göstermektedir. Farklı markalardaki makinelerin karşılaştırılmasında oldukça faydalıdır. Ayrıca, bir makinenin yaşlanma ve eskimeden dolayı azalan performansının bir göstergesidir.

### *1.1.2 Fiziksel Kullanım Oram*

İdari planlamanın ve organizasyonun ne derecede iyi olduğunun bir göstergesidir. Bir makinenin ne kadar süre kullanılabileceğini göstermektedir. Her ne kadar makine mekanik olarak hazır olsa da, uygun veya kullanım için ekonomik olmayabilmektedir. Fiziksel verimlilik bu koşullar içın hesaplanmaktadır. Ayrıca, makinenin planlanan programının verimliliğinin bir göstergesidir. Fiziksel kullanım oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$FKO= [(W+S)/P] *100 \quad (3)$$

Burada; FKO: Fiziksel kullanım oranı(%), W: Makinenin net çalışına zamanı (saat), S: Hazır halde bekleme süresi ve P: Çalışması planlanan süredir (saat).

Çalışması planlanan süre; çalışılan süreyi, tamir ve bakım sürelerini ve makinenin hazır halde bekletildiği süreyi kapsamaktadır. Bir başka deyişle, toplam süreden planlı durma sürelerinin çıkarılmasıyla bulunur. Planlı durma süreleri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$PDS= B+ R+ İBK+ OD \quad (4)$$

Burada; PDS: Planlı durma süresi (saat), B: Bakım süresi (saat), R: Revizyon süresi (saat), İBK: İşe başlamadaki kayıp süre (saat) ve OD: Operatör dinlenme süresidir.

Makinenin yedekte bekletildiği süre planlı durma süresine dahil edilmez. Eğer fiziksel kullanım oranı, mekanik kullanım oranından çok büyükse bu makinenin tam kapasite kullanılmadığını göstermektedir (Sense, 1968).

### *1.1.3 Efektif Kullanım Oranı*

Makinenin gerçekte üretim için kullanıldığı süre, efektif kullanım oranı ile hesaplanmaktadır. Efektif kullanım oranı ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$EKO= (F/ T) *100 \quad (5)$$

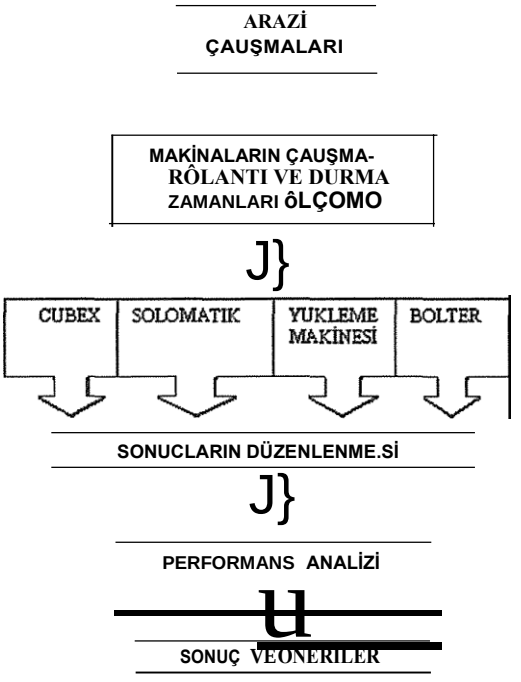
Burada; EKO: Efektif kullanım oranı (%), F: Fiili iş süresi (saat) ve T: Toplam süredir (saat).

Eğer bir makinenin efektif kullanım oranı çok düşük ise, bu makinenin işletmeye gerçekte ne kadar faydalı olduğu detaylı olarak incelenmektedir. Oranın düşük olma nedenlerinin mekanik nedenlerden mi yoksa idari nedenlerden mi kaynaklandığı uygun kullanım oranlarına bakılarak analiz edilmelidir (Sense, 1968; Özgüven, 2002).

## 2 MAKİNE BİLGİLERİ VE ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEM

Bu çalışına kapsamında yeraltında kullanılan; Cubex (delik delme makinesi), Solomatic (katlar arası delik delme makinesi), Bolter (kaya saplaması yerleştirme makinesi), yükleme (kullanılan kepçe) makineleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu makinelerin çalışma durumları, net çalışına zamanı, hazır halde bekleme zamanı, tamir bakım zamanı ve durma zamanı olarak, kırk beş günlük sürelerle, her bir makine için ayrı ayrı ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler değerlendirilerek her bir makineye ait kullanım oranları değerleri hesaplanmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara dayanarak makinelerin incelenen ocak içerisinde verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadıkları ortaya konulmuştur. Bu çalışma sırasında yapılan tüm işlem adımları

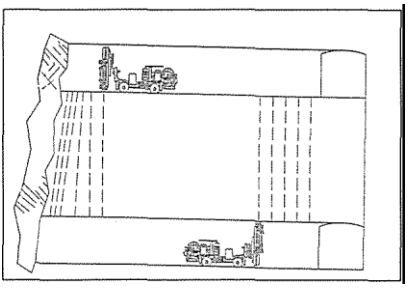
Şekil l 'de verilerek, çalışma yöntemi olarak verilmiştir.




Şekil 1 Çalışma yöntemi aşamalarının şematik gösterimi.

### 2.1 Solomatic Delik Delme Makinesi

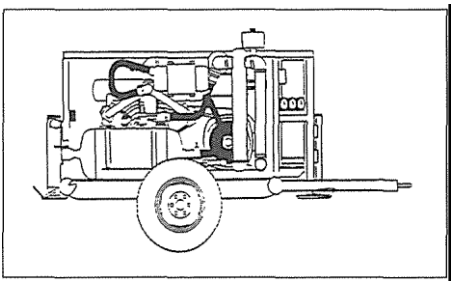
Katlar arası patlatma delikleri, solomatic delik delme makinesi ile delinmektedir. 51 ile 102 mm çapları arasındaki delikleri 40 m uzunluğa kadar delebilen bu makine ile yukardan aşağıya veya aşağıdan yukarıya doğru delik delinebilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2 Solomatic delik delme makinesinin, delik açımı

### 2.2 Cubex Delik Delme Makinesi

102 mm ile 203 mm çapındaki delikleri de delebilen, cubex delik delme makinesi solomatic makinesinin alternatifi olarak nadiren patlatma deliklerinin delinmesinde kullanılmaktadır. Esas amacı, serbest yüzey oluşturulması ıçın açılan başyukarı bacalarının kesiminden önce 203 mm çapındaki pilot deliğin delinmesi ve daha sonra baca kesicinin buna montajı ile başyukarının sürülmesini sağlamaktır. Cubex, ufak delik (39 mm), pilot delik (203 mm) ve V30 deliğinin delinmesi için kullanılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3 Cubex delik delme makinesi.

Rot uzunluğu l,5m'dir. 10-12 rot kullanılarak delik delinebilmektedir. Bir operatör makinenin çalışması süresince makinenin başında bulunmaktadır.

Machine Roger adı verilen genişletme kafası göbek delik açımında kullanılır ve cubex makinesine bağlanır. 3 m/saat hızla 762 mm çapında, bir baca açabilen bu makine serbest yüzey oluşturulmasında kullanılmaktadır. Cubex makinesinin çalıştırılmasından önce, delik delinecek yüzey düzleme makinesi (tak tak) ile gerekli görülüyorsa düzenlenir. Delik sıralarını belirlemek için yan duvarlara numaralar boya ile işaretlenir. Makine bağlantıları yapılarak çalışmaya hazır hale getirilir. Delinecek delik için deliğin açı ayarı yapılmaktadır. Çalışma ortamından çıkan yoğun tozun operatörü etkilememesi için özel toz makinesi kullanılmaktadır.

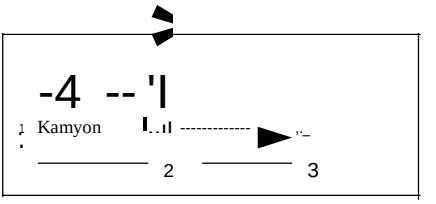
### 2.3 Bolter Kaya Saplaması Yerleştirme Deliği Açma Makinesi

Üretim galerilerinde, tavan ve yan duvarların tahkimatı swellex kaya saplamasıyla sağlanmaktadır. Swellex saplamasının yerleştirme deliklerinin açılması Rock Bolter makinesiyle olmaktadır. Tahkimata çelik hasır takviyesi de yapılmaktadır. Bir operatör aracı kullanmaktadır. Forınasyonun sertliği arttıkça kullanılacak bit çapı da artar. Su sarfiyatı 0,693 lt/sn'dir. Hava ihtiyacı ise 4 $m^3$/sn'dir.

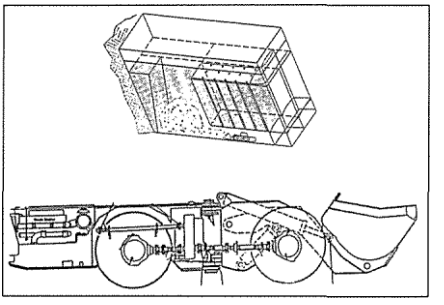
### 2.4 Yükleme Makinesi

Yükleme makinesinin görevi tahkimatsız ortamlarda, patlatılarak yerinden sökülen cevheri otomatik kepçe sayesinde yüklemektir (Şekil 5). Uzaktan kumanda ile yükleme gerçekleştirildiğinden can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Operatöckomut sinyallerini göndererek makinenin çalışmasına yön vermektedir. Bir kamyonu ortalama 4 kepçe doldurmaktadır.

Yükleme makinesiyle yükleme işlemi Şekil 4'te gösterildiği gibi olmaktadır. Burada; (1) yükleme yerinden çıkış, (2) kamyona yükleme, (3) geri çıkış ve (4) ise yükleme yerine girişi göstermektedir.




Şekil 4 Yükleme makinesiyle yükleme işlemi.



Şekil 5 Otomatik kepçenin görünümü.

Makine ölçüm süreleri, makinenin bekletildiği alan veya bulunduğu cepten alınması ile başlayıp, makine ile ilgili çalışmaların bitirilerek yerine nakli veya bir sonraki çalışma sahasına gidiş süreleri de dahil olmak üzere, süreölçer ile belirlenen zamanlardan oluşmaktadır. Bu ölçümler 45 gün boyunca her makine için ayrı ayrı aşağıda maddeler halinde belirtilen yöntemlerle alınmıştır.

1. Solomatic katlar arası delik delme makinesinde, delik delme işlemi ve tij takımının sürülmesi net çalışma zamanı, makinenin çalışma alanına getirilmesi, makine tijinin deliğin delineceği noktaya getirilmesi ve diğer deliğe geçiş süresi hazır halde bekleme süresi, başlangıç ve dönüş çalışmalarında kablolarm takılıp makinenin harekete geçip geçmediğinin denenmesi amaçlı çalıştırma işlemi tamir bakım zamanı olarak kaydedilmiştir.

2. Cubex delik delme makinesinde, makinenin delik delmesi, tij takımmın

sürülmesi, genişletme kafası takılıyken delik çapının 762 mm'ye çıkartılması net çalışma zamanı olarak kaydedilmiştir. Genişletme kafasının alt kata indilerek Cubex'e monte edilmesi, çalışılan tabanı ihtiyaç varsa düzeltmek için tak tak makinesinin düzleme çalışmalarını yapması, operatörün Cubex özel toz maskesini takması hazır halde bekleme zamanı, makinenin delik delmede zorlanması sonucunda oluşan tıkanmalar, parça tamiri veya değişimleri ise tamir bakım zamanı olarak alınmıştır.

3. Bolter kaya saplaması yerleştirme makinesinde, çelik hasırın tij üzerine koyulması, operatörün çelik hasırları birbirine bağlaması, Swellex'in deliğe yerleştirilmesi ve saplama başlığının sıkıştırılması net çalışma zamanı, makinenin diğer delik üzerine gelmesi, operatörün bazen saplama delikleri arası dinlenmesi, tijin deliği yakalaması hazır halde bekleme süresi, makine bakımına yönelik olarak makinede parça değiştirilmesi için geçen zamanlar ise tamir ve bakım zamanı olarak ölçülmüştür.

4. Yükleme makinesinde ise, kepçenin dolum yapmak ıçın aynaya gelişi, kepçenin dolumu, kamyona gidişi için aynadan çıkışı, kamyona cevherin dökülmesi kepçe yükünün ve yöneliminin belirlenmesi ıçın operatörün sinyal göndermesi net çalışma zamanı olarak ölçülmüştür. Dolu giden kamyonun yerini almak için gelen boş kamyonun dolum için uygun yere yerleşmesi, operatörün dinlenmesi ve kumanda sistemi yerinin daha etkin kullanımı için yapılan çalışmalar hazır halde bekleme süresi olarak kaydedilmiştir. Kamyon, kepçe ve kumanda tablasının mekanik arızalarının bakımı için harcanan zamanlar ise tamir bakım zamanı olarak ölçülmüştür.

Araziden alınan her bir makineye ait ö1çüm sonuçları Çizelge 1'de ayrı ayrı verilmiştir.

Yeraltında çalışan işçilerin işletmede, öğle yemeği için mesai arası yoktur. Bu tür ihtiyaçlar işçi tarafından kısa süreli olarak giderilmektedir. Çalışma zamanı bu yüzden bir vardiya çalışım saati olan 8 saat olarak alınmıştır. Yemek ve zaruri ihtiyaçlara yarım saat ayırarak ta ayrıca performans analizi yapılmıştır.

## 3 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Araziden alınan ölçüm süreleri kullanılarak her bir makineye ait belirlenen oratalama çalışma durumları Çizelge 2'de, bu veriler kullanılarak hesaplanan kullanım oranı değerleri ise Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 3'te çalışması planlanan zaman sekiz saat, Çizelge 4'te ise çalışması planlanan zaman yedi buçuk saat alınarak hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, herbir makineye ait kullanım oranları değerleri grafiksel olarak Şekil 8-a ve b' de sırasıyla çalışılması planlanan zaman 8,0 ve 7,5 saat için ayrı ayrı verilmiştir.

Şekil 8-a ve b incelendiğinde, yemek ve zaruri ihtiyaçlardan dolayı çalışma zamanının yarım saat azaltıldığında, kullanım oranları arasında çok belirgin farklar oluşmadığı sonucuna varılmaktadır. Fakat bu sürenin artması halinde, kullanım oranlarının da belirgin olarak değişim göstereceği sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 1 Kullanılan makinaların toplu ölçüm süreleri (Kalyoncu, 2000)

| GÜN | NET ÇALIŞMA ZAMANI (SAAT) | | | | HAZIR HALDE BEKLEME ZAMANI (SAAT) | | | | TAMİR VE BAKIM ZAMANI SAAT) | | | | ÇALIŞMANIN PLANLANAN ZAMANI (SAAT) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | S | B | y | C | S | B | y | C | S | B | y | |
| 1 | 3,52 | 4,23 | 2,23 | 2,23 | 1,35 | 0,23 | 0,23 | 0,36 | 0,30 | 0,10 | 0,07 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 2 | 2,27 | 5,02 | 1,56 | 2,21 | 2,56 | 0,20 | 0,45 | 0,21 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 3 | 2,58 | 3,57 | 3,26 | 1,98 | 0,96 | 0,25 | 0,19 | 0,24 | 0,00 | 0,12 | 8,00 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 4 | 2,53 | 2,59 | 3,24 | 2,54 | 1,58 | 0,13 | 0,75 | 0,13 | 0,57 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 5 | 3,44 | 3,56 | 1,47 | 2,48 | 1,32 | 0,18 | 0,46 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 8,00/7,50 |
| 6 | 3,22 | 4,28 | 1,64 | 2,56 | 1,24 | 0,40 | 0,12 | 0,12 | 0,00 | 0,15 | 0,13 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 7 | 3,18 | 5,02 | 2,23 | 2,48 | 1,78 | 0,08 | 0,11 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 8 | 2,18 | 4,06 | 2,65 | 2,15 | 0,85 | 0,45 | 0,16 | 0,04 | 0,45 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 9 | 3,75 | 4,08 | 2,13 | 2,47 | 0,84 | 0,15 | 0,45 | 0,13 | 0,21 | 0,15 | 0,13 | 0,45 | 8,00/7,50 |
| 10 | 4,02 | 3,47 | 2,19 | 2,16 | 0,41 | 0,10 | 0,16 | 0,14 | 0,00 | 0,96 | 0,06 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 11 | 2,97 | 3,59 | 2,15 | 2,18 | 0,74 | 0,58 | 0,18 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 12 | 3,45 | 2,05 | 2,46 | 2,36 | 0,59 | 0,45 | 0,09 | 0,16 | 0,57 | 0,00 | 0,12 | 0,23 | 8,00/7,50 |
| 13 | 2,22 | 3,49 | 2,48 | 2,45 | 0,64 | 0,16 | 0,15 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 1,23 | 8,00/7,50 |
| 14 | 3,46 | 3,11 | 2,76 | 2,85 | 0,89 | 0,14 | 0,49 | 0,46 | 0,00 | 0,14 | 0,10 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 15 | 3,03 | 3,45 | 2,16 | 2,54 | 1,23 | 0,16 | 0,75 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 16 | 2,74 | 4,05 | 2,89 | 2,47 | 1,56 | 0,47 | 0,16 | 0,15 | 0,26 | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 17 | 2,59 | 4,57 | 2,78 | 2,15 | 1,45 | 0,24 | 0,78 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,45 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 18 | 2,55 | 4,06 | 2,96 | 2,16 | 1,87 | 0,19 | 0,13 | 0,19 | 0,84 | 0,00 | 0,23 | 0,25 | 8,00/7,50 |
| 19 | 2,58 | 7,05 | 2,75 | 2,47 | 1,74 | 0,28 | 0,10 | 0,48 | 0,00 | 0,46 | 0,18 | 0,41 | 8,00/7,50 |
| 20 | 2,47 | 3,28 | 2,46 | 2,16 | 0,42 | 0,39 | 0,06 | 0,22 | 0,41 | 0,25 | 0,13 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 21 | 2,41 | 1,44 | 2,21 | 3,12 | 0,09 | 0,21 | 0,11 | 0,15 | 0,25 | 0,23 | 0,12 | 0,26 | 8,00/7,50 |
| 22 | 2,81 | 1,36 | 3,58 | 3,05 | 0,06 | 0,11 | 0,09 | 0,06 | 0,26 | 0,13 | 0,ü7 | 1,12 | 8,00/7,50 |
| 23 | 2,56 | 5,66 | 3,56 | -2,59 | 0,12 | 0,09 | 0,10 | 0,02 | 0,35 | 0,70 | 0,00 | 1,23 | 8,00/7,50 |
| 24 | 1,33 | 4,59 | 3,42 | 2,68 | 0,23 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,65 | 0,20 | 0,00 | 3,66 | 8,00/7,50 |
| 25 | 4,59 | 4,25 | 2,89 | 1,59 | 0,12 | 0,12 | 0,09 | 0,18 | 0,42 | 0,13 | 0,00 | 2,56 | 8,00/7,50 |
| 26 | 2,85 | 3,26 | 2,56 | 3,65 | 0,15 | 0,02 | 0,03 | 0,62 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,25 | 8,00/7,50 |
| 27 | 4,26 | 2,56 | 2,74 | 3,47 | 0,41 | 0,03 | 0,08 | 0,35 | 0,00 | 0,10 | 0,15 | 1,28 | 8,00/7,50 |
| 28 | 4,20 | 3,47 | 2,57 | 3,12 | 0,40 | 0,08 | 0,05 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 2,26 | 8,00/7,50 |
| 29 | 5,21 | 2,31 | 3,25 | 3,16 | 0,26 | 0,15 | 0,15 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,41 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 30 | 4,85 | 4,23 | 3,56 | 2,84 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,41 | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 31 | 4,72 | 5,26 | 4,02 | 2,45 | 0,23 | 0,36 | 0,07 | 0,11 | 0,15 | 0,32 | 0,21 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 32 | 4,26 | 3,38 | 4,05 | 2,56 | 0,15 | 0,13 | 0,06 | 0,06 | 0,74 | 0,15 | 0,12 | 0,00 | 8,00/7,50 |
| 33 | 2,36 | 1,23 | 2,02 | 2,79 | 0,14 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,26 | 0,24 | 0,15 | 0,56 | 8,00/7,50 |
| 34 | 1,36 | 5,26 | 2,59 | 2,11 | 0,18 | 0,09 | 0,16 | 0,09 | 0,52 | 0,15 | 0,00 | 0,25 | 8,00/7,50 |
| 35 | 3,26 | 4,53 | 2,74 | 2,31 | 0,41 | 0,07 | 0,08 | 0,12 | 0,36 | 0,08 | 0,09 | 0,68 | 8,00/7,50 |
| 36 | 3,85 | 2,35 | 2,81 | 2,65 | 0,23 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,48 | 0,16 | 0,05 | 0,16 | 8,00/7,50 |
| 37 | 3,47 | 2,56 | 2,45 | 2,61 | 0,00 | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,15 | 0,13 | 0,74 | 0,47 | 8,00/7,50 |
| 38 | 3,74 | 2,45 | 3,21 | 2,86 | 0,00 | 0,23 | 0,00 | 0,08 | 0,45 | 0,15 | 0,12 | 0,19 | 8,00/7,50 |
| 39 | 1,26 | 3,21 | 3,54 | 2,36 | 0,02 | 0,45 | 0,02 | 0,04 | 0,13 | 0,47 | 0,41 | 0,46 | 8,00/7,50 |
| 40 | 2,35 | 4,41 | 3,74 | 2,47 | 0,10 | 0,12 | 0,05 | 0,07 | 0,74 | 0,23 | 0,12 | 0,35 | 8,00/7,50 |
| 41 | 2,65 | 3,54 | 2,86 | 2,38 | 0,11 | 0,13 | 0,08 | 0,26 | 0,36 | 0,26 | 0,05 | 0,21 | 8,00/7,50 |
| 42 | 2,59 | 3,59 | 2,95 | 2,31 | 0,25 | 0,ü7 | 0,04 | 0,45 | 0,42 | 0,15 | 0,02 | 0,51 | 8,00/7,50 |
| 43 | 4,52 | 5,23 | 2,15 | 3,26 | 0,41 | 0,06 | 0,12 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,06 | 0,16 | 8,00/7,50 |
| 44 | 2,26 | 4,23 | 3,16 | 2,15 | 0,13 | 0,09 | 0,07 | 0,19 | 0,52 | 0,48 | 0,16 | 0,15 | 8,00/7,50 |
| 45 | 2,57 | 2,44 | 3,48 | 3,17 | 0,54 | 0,15 | 0,04 | 0,52 | 0,26 | 0,13 | 0,13 | 0,26 | 8,00/7,50 |

C: Cubex S: Solomatik B: Bolter Y: Yükleme makinesı

Çizelge 2 Her makinanın ortalama çalışma durumu.

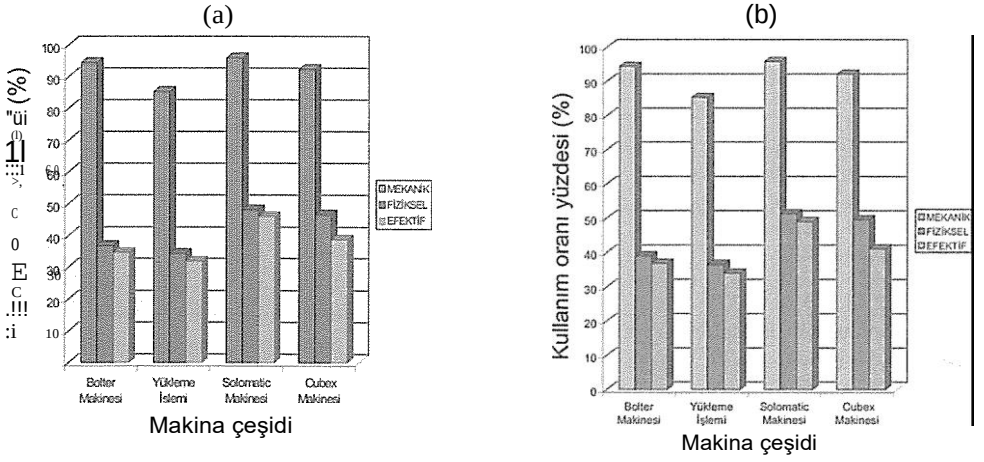
| | Makinelerin Ortalama Çalışına Durumu | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Net çalışına zamanı (Saat) | Hazır halde bekleme zamanı Saat | Tamir ve bakım zamanı (Saat) | Çalışması planlanan zaman (Saat) | Yemek ve zaruri ihtiyaçlar dışında kalan çalışması planlanan zaman (Saat |
| ***Cubex*** | 3,08 | 0,63 | 0,26 | 8,00 | 7,50 |
| ***Solomatic*** | 3,67 | 0,167 | 0,162 | 8,00 | 7,50 |
| ***Bolter*** | 2,76 | 0,16 | 0,31 | 8,00 | 7,50 |
| ***Yükleme*** | 2,55 | 0,19 | 0,44 | 8,00 | 7,50 |

Çizelge 3 Çalışması planlanan zaman 8,00 saat olarak alındığında tüm makinelere ait kullanım oranları

| | KULLANIM ORANLARI(%) | | |
|---|---|---|---|
| | *MEKANİK* | *FİZİKSEL* | *EFEKTİF* |
| ***Bolter Makinesi*** | 94,32 | 36,68 | 34,60 |
| ***Yükleme İşlemi*** | 85,18 | 34,28 | 31,87 |
| ***Solomatic Makinesi*** | 95,77 | 48,02 | 45,93 |
| ***Cubex Makinesi*** | 92,14 | 46,56 | 38,62 |

Çizelge 4 Çalışması planlanan zaman 7,50 saat olarak alındığında tüm makinelere ait kullanım oranları

| | KULLANIM ORANLARI(%) | | |
|---|---|---|---|
| | *MEKANİK* | *FİZİKSEL* | *EFEKTİF* |
| ***Bolter Makinesi*** | 94,32 | 38,93 | 36,80 |
| ***Yükleme İşlemi*** | 85,18 | 36,53 | 34,00 |
| ***Solomatic Makinesi*** | 95,77 | 51,16 | 48,93 |
| ***Cubex Makinesi*** | 92,14 | 49,46 | 41,06 |




Şekil 8 Makinaların kullanım oranları (a) 8 saat ve (b) 7.5 saat için hesaplanan değerler.

## 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Metal maden işletmesinin diğer işletmeler gibi amacı ekonomik ve emniyetli çalışmaktır. Ocak üretim maliyetlerini en aza indirebilmeleri için yakıt, yağ vb, sarf malzemelerini düşük fiyata almalarının yanında, üretimde kullandıkları iş makinelerini de verimli bir şekilde kullanmaları gerekmektedir. Bu çalışmada, tam makinize üretim sistemine sahip olan maden işletmesi'nde çalışan makinelerin çalışma durumları tespit edilmiş ve verimlilikleri kullanım oranları ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Araştınnanın amacına uygun olarak yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a. Solomatic makinesinin mekanik kullanım oranı % 95.77 ile en yüksek, yükleme makinesinin ise %85.18 ile en düşük olduğu bulunmuştur.

b. Solomatic makinesinin % 48.02 ile en yüksek yükleme makinesinin ise % 34.28 ile en düşük fiziksel kullanım oranına sahip olduğu saptanmıştır.

c. Efektif kullanım oranı açısından ise, % 45 ile solomatic makinesi yine en yüksek ve yükleme makinesi % 31.87 ile en düşük olarak bulunmuştur.

d. İncelenen işletmede kullanılan makineler için, işçilerin yemek ve çay gibi zaruri ihtiyaçlardan kaynaklanan durma zamanları da göz önüne alınarak yapılan kullanım oranı hesabında, makinelerin kullanım oranlarının, zaruri ihtiyaçlardan çok fazla etkilenmediğinden aynı değerlere yakın kaldığı tespit edilmiştir.

e. Performans analizi yapılan bu makinelerin yıllık üretim miktarları göz önüne alındığında verimli bir biçimde ve istenilen randımanda kullanıldıkları görülmektedir.

İşletmede kullanılan ve çalışmaya konu olan bu makinelerin kullanım oranları iş organizasyonunda yapılacak düzenlemelerle arttırıldığı takdirde, diğer çalışmalarda (cevher hazırlama vb.) kullanılan makinelerin sayısının veya boyutlarının da doğru orantılı olarak arttırılması gerekecektir.

## KAYNAKLAR

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 Perfom1ans Analizi ve Optimum Yenilenme Zamanları", Türkiye 16, Madencilik Kongresi, s 65-70.

Kahraman, S. ve Mülazımoğlu, A., 1999, "Pozantı-Tarsus Ayrımı Otoyol İnşaatında Kullanılmış Olan Delici Makinelerin Performans Analizi", Madencilik Dergisi, Cilt: 38, No: 2-3, s 31-35.

Kalyoncu, G., 2000, "Mekanize Üretim Sistemlerinde Temel Işlem Modelleri", Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi

Tokgöz, N ve Kesimal, A., 1997, "Küçük Ölçekli Bir Açık Ocak Kömür İşletmesinde Dekapajda Kullamlan Ekipmanların Verimlilik Analizi", Türkiye 15. Madencilik Kongresi, s 89-100.

Özgüven, A.,2002, *"Özbeyli* (Sivas- Uşak) Mermer Ocağı'nda Kullamlan Makinelerin Performans Analizi", Hacettepe Üniversitesi Yüksek Mühendislik Tezi, s 61.

Sense, J.J., 1968, "Equipment Scheduling- lncluding Utilization and Availability", Surfacc Mining, 659-670pp.

# Istanbul'da Yeraltı Kazılarının Dünü Bugünü ve ITU Kazı Mekanizasyonu Laboratuarının Gelişme Öyküsü

## *Underground Excavations in Jstanbul from Past to Now and Development of Rock Excavation Laboratory in ITU*

N. Bilgin, H. Çopur, C.Balcı, D. Tumaç & İ. Düzyol
*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak-İstanbul*

**ÖZET** İstanbul'da atık su ve metro tünellerinin kazısı her gün çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Birkaç yıl içersinde bu gibi tünellerin açılmasına 1O Milyar Dolar civarında bir yatırımın yapılacağı hesap edilmektedir. Bu tünellerin kazısı, havalandıması, pasa nakli ve tahkimatı gibi işleri birçok yönden yeraltı madencilik faaliyetleri ile örtüşmekte ve tünel proje ve uygulamalarında maden mühendislerinin yer alması da gün geçtikçe atmaktadır. Üniversitelerin bu projelerin içersinde yer alması ancak yeni teknolojilerin uygulanması ile paralel gelişmesi gereken la oratuar imkanlarına sahip olmaları ile mümkün gözükmektedir. Bu bildiride dünden bugüne Istanbul yeraltı yapılarının açılması özetlenmekte ve buna paralel olarak İ.T.Ü'de mevcut kazı mekanizasyonu laboratuarlarının nasıl geliştiği ve yeni gelişen maden mühendisliği bölümlerine gerek müfredat gerekse de laboratuarlar yönünden bazı öneriler getirilmektedir.

**ABSTRACT** The excavation of metro and sewerage tunnels in Istanbul are increasing considerably and it is estimated that 1O Billion USD will be spent in the near future for this pıırpose. it is a fact that tunnel excavation, ventilation, muck transport and rock support is one of the main jobs of mining engineers and the number of mining engineers working in tunnels are increasing also with a great extend. However the universities or research centers willing to participate in these activities should develop their own research capabilities including well advanced laboratories. in this paper the underground excavations in lstanbul from past to now are summarized including the development of rock excavation laboratories in ITU, Mining Engineering Department. Some recommendations are suggested to the universities to develop their own research capabilities.

## 1 GİRİŞ

Türkiye'de gerek ulaşım gerekse de alt yapılar için tünel açma işleri son senelerde önemli ölçüde artmıştır. Hızlı ve emniyetli kazı için mekanize sistemler kaçınılmaz olmaktadır. Yerleşim yerlerinde zorunlu durumların dışında patlayıcı madde kullanımına ızın verilmemesi mekanize kazıyı zorunlu kılmaktadır. Mekanize kazı, ilk yatırıma ayrılacak finans miktarına, zemin veya kaya kütlesi özelliklerine göre darbeli kazıcılar, kollu makineler veya TBM yani tam cepheli makinelerle olmaktadır. Avrupa'da gelecek on yılda 100 Milyar Euro'luk bir yatırımın bu işlere ayrılacağı tahmin edilmektir. Bu çalışmalara tipik bir örnek 3 Milyar Dolarlık Marmaray projesidir. İnşaat sektöründe tünel açma projeleri inanılamayacak hızda gelişme göstermektedir. 2007 yılında İstanbul'da 20 adet TBM (tam cepheli tünel açma makinesi) kullanılması planlanmıştır. Bu projelerin bazıları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. TBM Kullanılan Tünel Projeleri

| Tünel açım nedeni | Hat | İşveren Yüklenici | Tünel Uzunluğu (km) | Çap (m) | Kullanılan Makine ve Adedi | Not |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Raylı sistem metro | Otogar - Bağcılar (İstanbul) | IBB-İETT<br>Doğuş - Gülennak | 12 | 6 | 1 Herrenknecht TBM-FPB<br>1 Lovat TBM-EPB | Kazı devam ediyor |
| Raylı sistem metro | Bağcılar İkitelli Olimpiyat Köyü | IBB IETT<br>Dofuış - Gülermak | 15 | 6 | 2 Lovat TBM-EPB | Makineler kuruldu, Kazı başlıyor |
| Raylı sistem metro | Kazlıçeşme Yenikapı Sirkeci-Üsküdar Ayrılıkçeşme | DLH<br>Taisei Gama<br>Nurol | 2xl3,5 | 7,8 | 4 Hitachi TBM-Slurry<br>1 Lovat TBM-EPB | 18.7 km TBM ile açılacak diğer kısmı batırma tünel yaklaşım tünelleri NATM, kazı devam edivor |
| Raylı sistem metro | Kadıköy - Kozyatağı ozyatağı - Kartal (Istanbul) | IBB İETT<br>Anadoluray | 2lx2 | 6m | 4 Herrenkenecht TBM-EPB Yaklaşım tünellerinde<br>2 WAV **1**78 roadheader | 2 adet makinenin inşası bitti, yolda. Yaklaşım ve istasyon tünelleri NATM ile acılıvor |
| Raylı sistem metro | Kızılay - Çayyolu (Ankara) | Güriş | 3,4 | 5,92 | 1 Lovat TBM-EPB | Kazı devam ediyor Bağlantı ve istasyon tünelleri NATM ile acılıvor |
| Raylı sistem metro | Ulus - Keçiören (Ankara) | Limak-Turk | 9,6 | 5,92 | 1 Herrenkenecht TBM-EPB | Kazı devam ediyor |
| Su tüneli, Melen Projesi | İst. Bağaz Geçişi | DSI<br>STFA | 1,4 | | **1** Herrenkenecht TBM-EPB | 1 Herrenknecht TBM-EPB<br>Makine inşa halinde |
| Atık su | İstanbul | ISKI<br>NTF | 7 | 3 | **1** Robins TBM-EPB | Kazı devam ediyor |
| Atık su | İstanbul | ISKI<br>Ilki-Özgün | 4,8 | 4,5 | **1** Lovat TBM-EPB | Kazı devam ediyor |
| Eneıji | Bursa | Akenerji<br>Tinsa | 11,8 | 5 | **1** Herrenkenecht | Kazı devam ediyor |

Bir tünel projesinde madencinin yapacağı çok şey vardır ve ekipmanların çoğu müşterek kullanıma açıktır. Bugün birçok projede madenciler taşeron olarak çalışmaktadırlar. Bunun yanında ise birçok inşaat firması ise madenciliğe soyun ş . Bugün Küre'deki maden çıkarına ışı bır gırmelıdır. inşaat şirketi olan STFA tarafın n yapılmaktadır. STFA Türk Madencılık Sektörü'ne ilk yatay bantı getiren şirket olmuştur. Yap-Tek İnşaat firması ise Zonguldak TTK'da Karodon Bölgesi'nde ilk kollu galeri açma makinesi ile galeri açan kuruluştur. Bu girift etkileşimin ana nedeni yüksek kapasiteli iş makinelerinin ve mekanize sistemlerin her iki sektörde de uygulanabilir olmasıdır. Park Enerji 'nin mekanizasyon sayesinde Çayırhan'da gösterdiği başarı buna tipik bir örnektir.

Yeraltı yapılarının kazısı, havalandırması, pasa nakli, tahkimatı, iş organizasyonu ve emniyet işleri maden mühendisliğinin en önemli uğraşları içerisindedir.

Mekanik kazıda, kazı makinesinin efektif olarak çalışması, kesme mekaniğinin ve keski -kaya etkileşiminin iyi anlaşılmasına bağlıdır. Bu konu ise maden mühendisliği öğretimi yapılan birçok bölümde detaylı okutulmakta ve endüstriye hizmet verilmektedir. Örneğin, İstanbul'daki Kartal-Kadıköy Metro hattında çalışacak makinelerin seçim ve tasarımı için gerekli tam boyutlu kesme deneyleri İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ndeki kazı setinde yapılmıştır.

TBM gibi karmaşık makinelerin çalıştığı tünellerde emniyet mühendisinin yeri büyüktür. Havalandırma, gaz çıkışı, toz oluşumu, göçük ve yangın gibi sorunlar tünel kazı işi yapan firmaların her gün karşılaştığı sorunlar içerisindedir. Bu konularla ilgili uluslararası düzeyde birçok sempozyum yapılmıştır. İstanbul' da açılan tünellerin birçoğunda, petrol istasyonlarının altından geçilirken, önemli problemler yaşanmış, tanklarından yeraltına sızan petrol önemli emniyet sorunları ortaya çıkarmıştır. Maalesef bugünkü uygulamalarda her tünelde emniyetle ilgili bir maden mühendisi yoktur, bu yasal zorunluluk haline getirilmelidir.

Bugün yeni k!.z tekn l jil_erin kullanıldığı tüneller e . degışık dısıplınlerden gelen mühendısleın çalışması_ kaçı ılm_a dır. 1: uygulama a da m_ d n m hendıslerının yerını aln:ıası. ıçır.ı Unıver :t er ve. M en tıhe d sleı Odası buyuk çaba ıçerısıne

## 2 İSTANBUL'DAKİ İLK UYGULAMALAR

Şehirlerde yeraltı kazılarının en önemlileri Metro tünelleridir. Dünyanın 3. metrosu sayılabilecek Karaköy-Tünel hattı Fransız Mühendis Henry Gavand tarafından projelendirilmiş, kazıya 1871'de başlanmış ve 3 yılda tamamlanmıştır. 570 m uzunluğundaki metro hattı o zaman için 350.000 İngiliz lirasına mal olmuştur (Başar, 2004).

Daha sonra yapılan metro projeleri şöyle sıralanabilir; 1908'de Mecidiyeköy-Y enikapı metro hatttı projesi, 1953'de Fransız SGTE firmasının hazırladığı Mecidiyeköy-Y enikapı Metro projesi, 1960'da İtalyanların, 1964'de Sovyetlerin, 1965'de bir USA firmasının hazırladığı Zincirlikuyu, Şişli, Taksim, Karaköy, Yenikapı, Eminönü, Beyazıt, Yenikapı, Topkapı güzergahlarını içeren projesi, 1972'de Tekfen-Fransız Bouyges-Alman Siemens firmalarının hazırladığı projeler, 1973'de İstanbul Rail-Tunnel Consultants kurulması ve kazıya 1992'de Tefken-Garanti-Koza/Enka/Doğuş Ortak Girişimi tarafından başlanması. Bu tarihten sonra yeni metro tünel yapımları hızlanmıştır.

## 3 ATIKŞU TÜNELLERİNDE KOLLU GALERİ AÇMA MAKİ EI.ı;ERİNİN KULLANILMASI VE l({JÇUK BOYUTLU KAZI SETiNiN GELİŞTİRİLMESİ

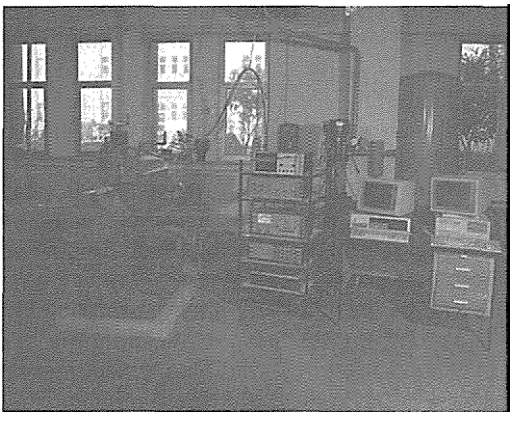
İstanbul'da atık su projeleri için, 1986 ile 1994 yılları arasında Haliç, Eyüp, Beşiktaş, Kuruçeşme, Arnavutköy ve Baltalimanı'nda açılan tüneller İstanbul' da yer altı kazılarının hızlanmasını sağlamıştır (Bilgin, vd., 1988, 1989, 1990, 1993, 2006). Kazı da kullanılan

kollu galeri açma makinelerinden biri Şekil 1'de verilmiştir. Kullanılan makineler Herrenknecht SM 1 marka ve kalkanlıdır. Kesici kafa güçleri 95 HP ve tünel çapları 2,88-3,91 m arasında değişmektedir. Tüneller Trakya formasyonunda açılmıştır. Bu formasyon ince taneli, tabakalı, kırıklı çatlaklı ve ardalanmalı silttaşı, kıumtaşı ve çamurtaşından oluşmuştur ve yer yer çok sert diyabaz ve andezit dayklarına rastlanmıştır. Foımasyonun basınç dayanımı 35 ile 160 MPa arasında RQD değeri ise % 0-90 arasında değişmiştir. Elde edilen net kazı hızları 3,5 ile 10 $m^3$/h, makine kullanım oranı: % 6-60, Keski tüketimi 0,05 ile 0,21 keski/$m^3$ arasındadır.

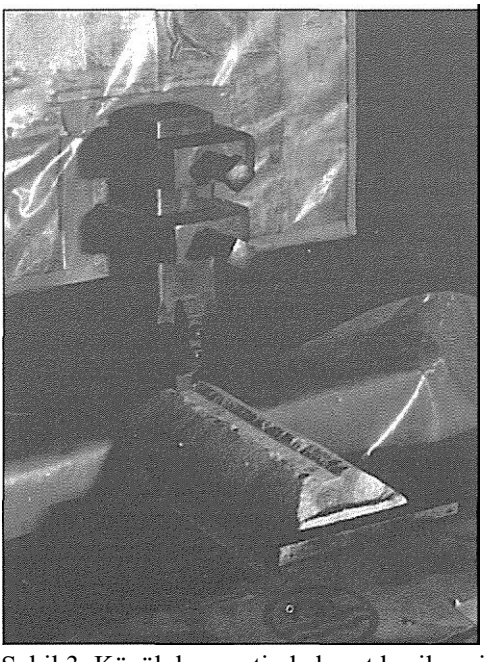
Yukarıda bahsedilen galeri açma makineleri İstanbul'daki birçok başka tünelde de başarı ile kullanılmıştır. Nuh Çimento malzeme nakil tüneli (Bilgin vd., 2004) ve Küçüksu atıksu tünelleri bunların arasındadır (Bilgin vd., 2005).

Bu gelişmeler sırasında Üniversite-Endüstri ilişkileri de hızla gelişmiştir. Makine performansının önceden kestirilmesi için bir model geliştirilmiş ve bu model uluslararası düzeyde kabul görınüştür (Dunn vd, 1997). Herhangi bir kayaçda keski davranışlarının nasıl olacağı önem kazanmaktadır. Bu ihtiyacın endüstriyel bazda karşılanabilmesi için R.J Fowell ve McFeat Smith'in geliştirdiği kazı seti İTÜ laboratuarlarına kıınılmuştur (Kourosh, 1988). Kazı seti için gerekli planya, TTK'nın kullanılmayan ekipmanlarının arasından İTÜ'ye hibe edilmiştir. Küçük boyutlu kazı setinin genel görünümü Şekil 2'de ve karot numunesi üzerinde kesme işlemi Şekil 3'de görülmektedir. İlk kullanılan dinamometre 1 ton kapasiteli piezo elektrik prensiple çalışan Kistler marka kuvvetölçerdir. İleriki çalışmalarda bu cihazın kapasitesinin yeterli olmadığı görülünce İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü imkanları ile 5 ton kapasiteli yeni bir dinamometre tasarımlandırılmış ve yapılmıştır (Balcı, 1994).

Şekil 1. İstanbul atık su tünellerinde kullanılan bir kollu galeri açma makinesi.



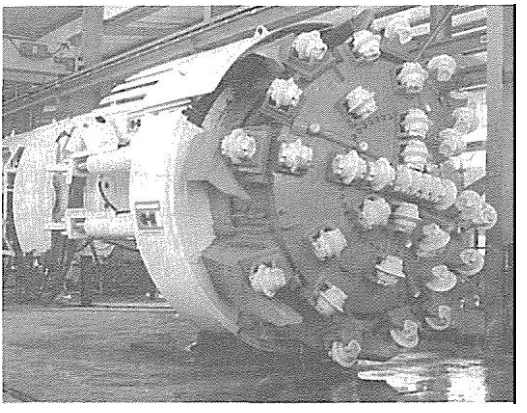
Şekil 2. Küçük boyutlu kazı seti.



Şekil 3. Küçük kazı setinde karot kesilmesi.

## 4 ATIKSU TUNELLERINDE TAM BOYUTLU TÜNEL AÇMA MAKİNELERİNİN (TBM) KULLANILMASI VE TAM BOYUTLU KAZI SETİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Geniş kesitli atıksu tünellerinin daha hızlı yöntemlerle açılmasına ihtiyaç göstermesi , bu uygulamalarda TBM'lerin kullanılmasını gerektirmiştir. Buna ilk örnek Baltalimanı Tünelidir (Bilgin vd., 1993, Seyrek vd. 1994), Şekil 4. Kullanılan makine özellikleri; Robbins 145-168 marka, açık tip, kesici kafa çapı 4,5 m, kesici kafa gücü 875 HP, keski adedi 35 disk keskidir.

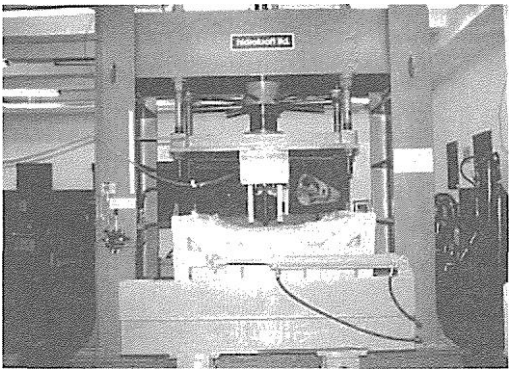


Şekil 4. Baltalimanı atık su tünellerinde kullanılan TBM.

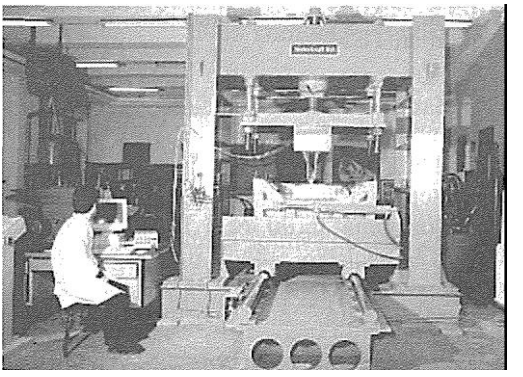
Kazı 1.09.1990 tarihinde başlamış ve makine kazısı 25.05.1991 tarihinde sonlandırılmıştır. Makine faydalanma oranı % 7-20, ortalama aylık ilerleme 75 m, en iyi aylık ilerleme 177 m, en düşük aylık ilerleme 17 m olmuştur.

Makinenin kalkanlı olmayıp açık tip olması ve Trakya Formasyonunda RQD değerlerinin çok düşük değerlere ulaşması göçüklere sebep olmuş, makine faydalanma oranı düşmesi sonucu TEM ile kazıya son verilmiş ve kalkanlı kollu galeri açma makineleri ile tünel açmaya devam edilmiştir.

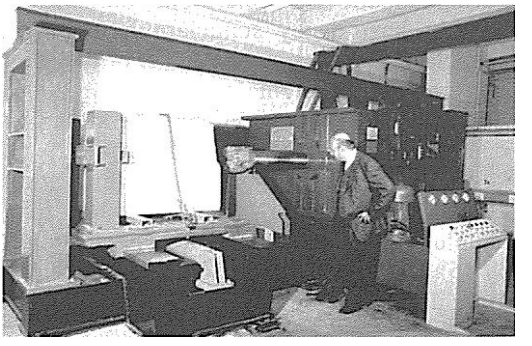
Baltalimanı tünelinde TBM uygulaması sırasında disklerin aşın aşınması ve çıkan teknik sorunlar, bu tür uygulamalarda disk keskilerin denenebildiği yüksek kapasiteli tam boyutlu deney setinin gereğini açıkça otaya çıkarmıştır. Bu nedenle NATO Sfs (bilim için istikrar programı) çerçevesinde 1994 yılında 700,000 USD bütçeli bir araştırma projesi teklif edilmiş ve proje kabul edilmiştir. Bu proje kapsamında 50 ton kapasiteli bir tam boyutlu kazı seti, her türlü kesici kafanın test edilebildiği bir yatay sondaj makinesi tasarımlandırılmış ve inşa edilmiştir, Şekil 5, 6, 7 (Eskikaya vd., 2000, Ergin vd., 2000).



Şekil 5. Tam boyutlu kazı setinde disk keskinin test edilmesi.

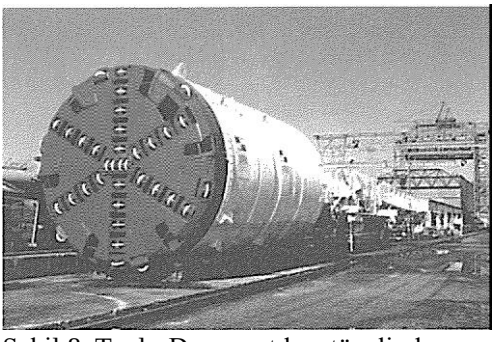


Şekil 6 Tam boyutlu kazı setinde konik uçlu keskinin test edilmesi.



Şekil 7 Yatay sondaj makinesi.

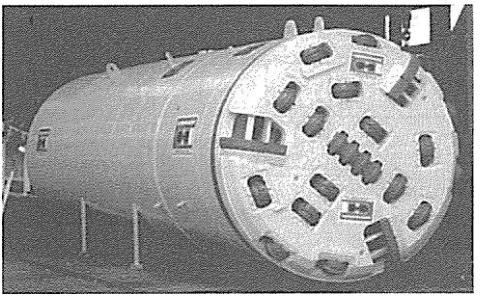
Istanbul'da Baltalimanı atık su tünelinden sonraki ikinci TBM uygulaması Moda atıksu tünelidir. Üçüncü TBM uygulaması Tuzla Dragos atıksu tünelinde olmuştur. Kullanılan makine Şekil 8'de görülmektedir. Uygulama başlamadan önce tünel güzergahından alınan kaya numuneleri tam boyutlu kazı setinde test edilmiş ve bir TBM performans tahmin yöntemi oluşturulmuştur. Tünel açımı sırasında toplanan veriler, tahmin edilen ve elde edilen verilerin birbirlerine çok yakın olduğunu göstermiştir (Bilgin vd., 1999).



Şekil 8. Tuzla-Dragos atıksu tünelinde kullanılan TBM

Kullanılan makine özellikleri şu şekilde sıralanabir; makine çapı 5 m, disk sayısı 36, kafa dönüş hızı 6 rpm, maksimum baskı 784 t, kesici kafa gücü 600 HP. Diğer veriler; tünel başlama tarihi 6.11.1997, tünel bitiş tarihi 31.07.1998, tünel uzunluğu 1600m, ortalama aylık ilerleme 135 m, en iyi a1,lık ilerleme 253m, disk sarfiyatı 4$/m 'dir (Bilgin vd., 1999).

Tarabya atık su tüneli yine bir TBM ile açılmıştır. Kullanılan makine Şekil 9'da görülmektedir. Bu tünel için yapılan tam boyutlu kazı deney sonuçlarının uygulama sonuçlan ile ne kadar örtüştüğünü göstermiştir, (Bilgin vd., 2005, 2006). Sonuçlar şu şekilde özetlenebilir; kullanılan makine, Herrenknecht TBM, çapı 2,9 m, kesme gücü 620 kW, başlama tarihi Haziran 2000, tünel bitimi Kasım 2004, tünel uzunluğu 7700m, makine faydalanma oranı % 45, ortalama aylık ilerleme 378 m, en iyi aylık ilerleme 531 m, en düşük aylık ilerleme 145 m.

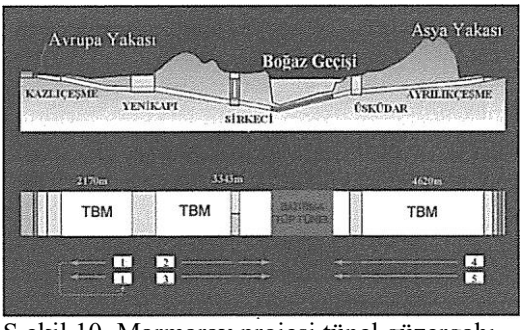


Sekil 9. Tarabya atık su tünelinde kullanılan TBM.

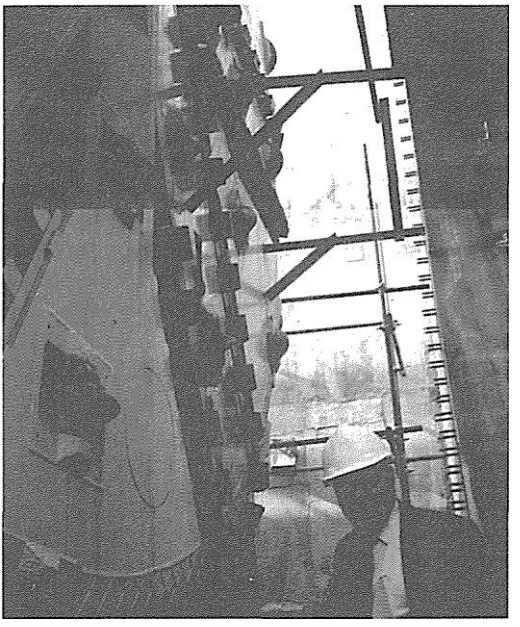
## 5 DİĞER BAZI ÖNEMLİ PROJELER

### 5.1 Marmaray Projesi

Marmaray projesinde toplam 5 adet TBM (Slurry ve EPB) kullanılması planlanmıştır. Proje güzergahı Şekil lü'da ve kullanılan bir TBM ise Şekil 11'de verilmiştir. Diğer veriler ise; batırma tüp uzunluğu 1,387 km, TBM ile açılacak uzunluk 18,7 km, proje süresi 56 ay, aç kapa tünel uzunluğu 2,4 km, bir yöndeki yolcu sayısı 75.000 yolcu/saat dir.



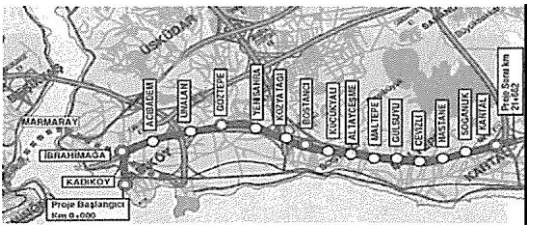

S.ekil 10. Marmaray projesi tünel güzergahı (lstanbul).



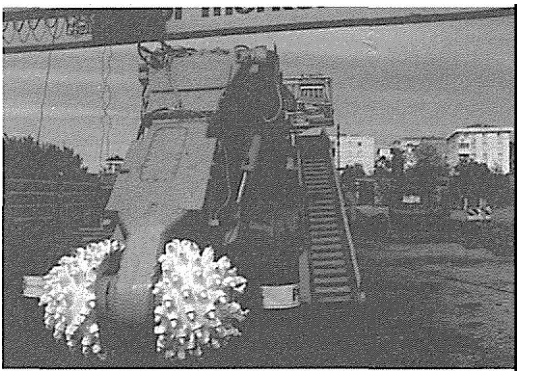
Şekil 11. Marmaray projesinde kullanılan bir slurry tip TBM.

### 5.2 Kadıköy-Kartal Metro Tünel Projesi

İstanbul'daki Kadıköy-Kartal Metro Tünel hattı Şekil 12'de görülmektedir. Tünel çapı 6 m, toplam tünel uzunluğu 44 km <lir. Tünel hattını temsil eden 5 değişik Jeolojik formasyondan alınan kayaç numuneleri, disk keskilerle İTÜ'deki tam boyutlu deney setinde kesme deneylerine tabi tutulmuş ve kullanılması düşünülen 4 adet TEM'in tasarımı ve performans tahminleri bu sonuçlara dayanılarak yapılmıştır. Bu TBM'lerden ikisinin inşası bitmiş ve Türkiye'ye gelmek üzere yola çıkmıştır. Şu anda yaklaşım ve istasyon tünelleri Yeni Avusturya yöntemi ile açılmaktadır. Tünel kazısı için yer yer hidrolik kırıcılar, patlayıcı madde ve kollu galeri açma makinesi kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalar hakkında yayınlanmış kaynaklar mevcuttur (Bilgin vd., 1997, 2002). Kullanılan kollu galeri açma makinesi Şekil 13'te gösterilmektedir.




Se: il 12. Kartal-Kadıköy Metro Tünel Hattı Guzergahı



Şekil 13 Kartal-Kadıköy Metrosu yaklaşım tünellerinde kullanılan kollu galeri açma makinesi (WAV 178)

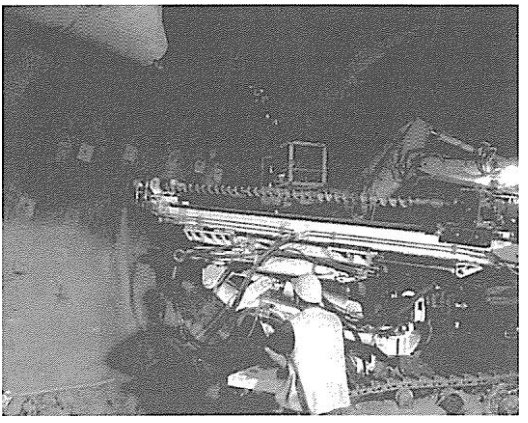
### 5.3 Melen Projesi

Melen proJesı İstanbul'un 180 km doğusundaki Melen Çayı'ndan şehre yılda 268 milyon metre küp su sağlama projesidir. Proje; 25 km. tünel olmak üzere toplam uzunluğu 180 km olan bir iletim hattını içermektedir. Halen Beykoz, Beykoz Orta Çeşme hattı ve Ayazağa tünelleri Yeni Avusturya yöntemleri ile açılmaktadır. TBM kullanılacak Boğaziçi Tüneli ihalesi sonuçlanmış ve inşa işlerinin yakında başlaması planlanmaktadır.

### 5.4 Levent-Maslak Metro Tünelleri

Tüneller Yeni Avusturya Yöntemi ile açılmaktadır, proje başlama tarihi Mart 2005 proje bitiş tarihi 2009 olarak planlanmıştır. Tünel uzunluğu 5324 m servis tünelleri dahil 16189 m. <lir Kazı 5 şafttan ve 16 aynadan yapılmaktadır. Tünel kesiti 36,9 $m^2$ <lir , kazı genelde hidrolik kırıcılarla yapılmaktadır, günlük ortalama ilerleme 17 m'dir. Akıcı zeminlerde tavanı tutmak için şemsiye

(ambrella arch), ayna için zemin çivileri kullanılmaktadır, Şekil 14, 15.



Şekil 14. Levent-Maslak Tünellerinde ayna stabilizasyonu için delik delinmesi

Şekil 15. Levent-Maslak Tünellerinde şemsiye ve zemin çivi uygulaması

### 5.5 Otagar-Esenler Metro Tünelleri

27 km uzunluğundaki metro tünelleri 4 adet TBM ile açılmaktadır. Bunlar arazi basıncını dengeleme prensibine (EPB-Earth Pressure Balance) göre çalışan makinelerdir.

### 5.6 Kavacık-Paşabahçe-Beykoz Atıksu Tüneli

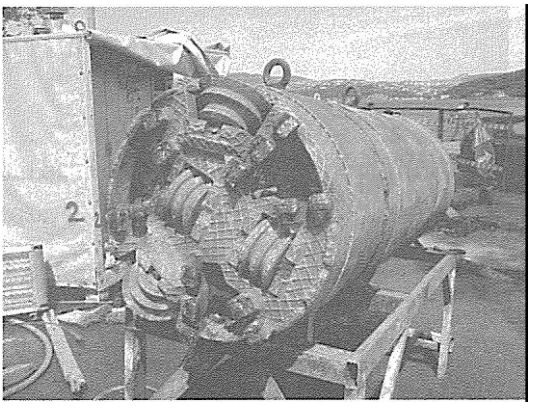
Karbonatlı şeyl, kireçtaşı yer yer alüvyondan oluşan bir formasyonda TBM ile atıksu tüneli açılmaktadır. Tünel uzunluğu 7075 m, kazı çapı 3,2 m'dir. Tünel Kazısı Mart 2007 de başlamıştır.

### 5.7 Ambarlı-Istanbul atıksu tünelleri

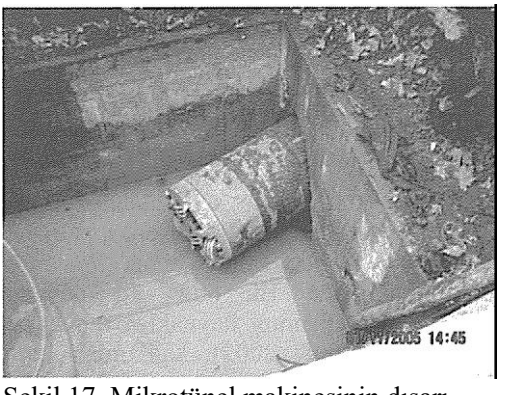
4798 m uzunluğunda ve 4,5 m çapındaki tünel silt-kil karışımı bir zeminde TBM-EPB ile açılmaktadır.

### 5.8 Mikrotünel Projeleri

İstanbul'da uzun süredir, çeşitli amaçlı, boru itme yöntemi ile mikro tüneller açılmaktadır. Bunlara tipik bir örnek Baltalimanı-Sarıyer tali kolektör hattıdır. Bu hattın uzunluğu 1O km'dir, projede 3 adet 50 cm çapında mikrotünel açma makinesi kullanılmaktadır. Kullanılan makinelerden biri Şekil 16 ve 17'de görülmektedir.



Şekil 16. Baltalimanı-Sanyer tali kolektör hattında kullanılan bir mikrotünel makinesi.




Şekil 17. Mikrotünel makinesinin dışarı çıkışı.

## 6 SONUÇLAR VE ONERILER

istanbul'da atık su ve metro tünellerinin kazısı her gün çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Birkaç yıl içersinde bu gibi tünellerin açılmasına 1O Milyar Dolar civarında bir yatırımın yapılacağı hesap edilmektedir. Avrupa'da ise gelecek on yılda 100 Milyar Euro'luk bir yatırımın bu işlere ayrılacağı tahmin edilmektir.

Yeraltı yapıların kazısı, havalandırması, pasa nakli, tahkimatı, iş organizasyonu ve emniyet işleri maden mühendisliğinin en önemli uğraşları içersindedir. Maden mühendislerinin tünel projelerinde daha fazla yer almaları için aşağıdaki öneriler getirilmektedir.

Mekanik kazıda, kazı makinesinin efektif olarak çalışması, kesme mekaniğinin ve keski-kaya etkileşiminin iyi anlaşılmasına bağlıdır. Bu konu ise maden mühendisliği öğretimi yapılan birçok bölümde detaylı okutulmakta ve endüstriye hizmet verilmektedir. Buna rağmen ders müfredatlarında sert kaya ve arazi basıncını dengeleyen tünel açma makineleri, disk kesme mekaniği, makine performans yöntemleri, mikrotünel uygulamaları muhakkak yer almalıdır. Şehirlerde çoğu tünel yumuşak zemin şartlarında açılmaktadır ve arazi hareketleri önem kazanmaktadır. Zemin mekaniği ve nümerik modelleme konuları aynca üzerinde durulması gereken hususlardır. Yeni Avusturya Yöntemi ile tünel açmanın temel prensipleri, püskürtme beton, ambrella arch (şemsiye yöntemi), beton enjeksiyonu gibi konuların ders müfredatlarına eklenmesi maden mühendislerinin tünel sektöründe de hak ettiği yeri almasını hızlandıracaktır.

TBM gibi karmaşık makinelerin çalıştığı tünellerde emniyet mühendisinin yeri büyüktür. Havalandırma, gaz çıkışı, toz oluşumu, göçük ve yangın gibi sorunlar tünel kazı işi yapan firmaların her gün karşılaştığı sorunlar içersindedir. Bu konularla ilgili uluslararası düzeyde birçok sempozyum yapılmıştır. İstanbul' da açılan tünellerin birçoğunda, petrol istasyonlarının altından geçilirken, önemli problemler yaşanmış, tanklarından yeraltına sızan petrol önemli emniyet sorunları ortaya çıkarmıştır. Maalesef bugünkü uygulamalarda her tünelde, emniyetle ilgili bir maden mühendisi yoktur, bu yasal zorunluluk haline getirilmelidir.

Bugün yeni kazı teknolojilerin kullanıldığı tünellerde değişik disiplinlerden gelen mühendislerin çalışması kaçınılmazdır. Bu uygulamalarda maden mühendislerinin yerini alması için Üniversiteler ve Maden Mühendisleri Odası büyük çaba içerside girmelidir. Bu konuda Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi önemli bir adım atmış ve 2. Ulaşımda Yeraltı Kazılan Sempozyumu'nu 15-17 Kasım 2007 tarihinde İTÜ'de yapmaya karar vermiştir. Bu çabada bütün madencilerin yer alması en büyük dileğimizdir.

## KAYNAKLAR


Balcı C., 2004. Mekanize kazı makinelerinin seçiminde küçük boyutlu kazı ile tam boyutlu kazı deneylerinin Karşılaştırılması, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,* s.269.

Başar Ş., 1994. Yeraltı faaliyetleri tarihçesi. Ulaşımda Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu, Maden Mühendisleri Odası, 1-3 Aralık 1994, s.7-12

Bilgin N, Feridunoglu C, Tumac D, Cinar M, Ozyol L., 2006. TBM cutting performance in Istanbul. *Tıınnels & Tıınnelling International,* February, 17-19.

Bilgin N., Balcı, C.,Tunçdemir, H., Eskikaya, Ş., Akgül, M., Algan, M., 1999. The performance of a TBM in difficult ground condition. *AFTES* Paris, 25-28 October, pp.115-121

Bilgin N., Seyrek T., Erdinç E., 1990. Kuzey ve Güney Haliç Projeleri örneği ve tünel açma makinelerinin seçimi için yeni bazı kriterler. *2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu,* Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği, Ankara, s.113-133.

Bilgin N., Shahriar K, 1989. İstanbul Haliç Tüneli'nin sürülmesinden elde edilen sonuçlar, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi,* Maden Mühendisleri Odası, 24-28 Nisan, Ankara, s.305-319.

Bilgin, N., Balcı, C., Acaroğlu, Ö., Tunçdemir, H., Eskikaya, Ş., Akgül, M., Eskikaya, Ş., 1999. The perfonnance prediction of a TBM in Tuzla-Dragos Sewerage Tunnel. *Challangesfor the 21st Century,* Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 063 9,pp. 817-822.

Bilgin, N., C. Feridunoglu, D. Tumac, M. Cinar, Y. Palakci, O. Gunduz & L. Ozyol, 2005. The perfonnance of a full face tunnel boring machine

(TBM) in Tarabya (Istanbul), *Proc. of the 31th ITA-AITES World Tunnel Congress,* Istanbul, Turkey. Underground Space Use: Analysis ofthe Past and Lessons for the Future Erdem & Solak (eds), Balkema. ISBN 0415374529, pp 821-826

Bilgin, N., Demirçin M.A., Çopur, H., Balcı, C., Tunçdemir, H., Akçin., N., 2006. Dominant rock properties effecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results. *Int J Rock Mech Min* Sci. Yol. 43, pp.139-156.

Bilgin, N., Dinçer, T. and Çopur, H., 2002. The performance prediction of impact hammers from schmidth hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages. *Tıunnelling and Underground Space Technology,* July, Yol. 17, No. 3, pp. 237-247.

Bilgin, N., Kuzu, C., Eskikaya, Ş., Özdemir, L., 1997. Cutting performance of jack hammers and roadheaders in Istanbul Metro Drivages, *Tunnels far People,* Balkema, ISBN 90 541O 868 1, pp 455-460.

Bilgin, N., Nasuf, E., Çığla, 1993. M., Stability problems affecting the performance ofa full face tunnel boring machine in Istanbul-Balltalimanı Tunnel. *Assessment and Prevention of Failure Phenomene in Rock Engineering,* Balkema, ISBN 9054103094, pp.501-506.

Bilgin, N., Seyrek, T., Erdinç, E., Shahriar, K., 1990. Roadheaders glean valuable tips for Istanbul Metro. *Tunnels and Tıunnelling,* October, pp.29-32.

Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar K., 1988. İstanbul Eyüp Tüneli'nde galeri açma makinesi ile elde edilen sonuçlar ve bunların maden mühendisliği açısından önemi. *Madencilik,* cilt 27, sayı 2, s 9-16.

Bilgin, N., Shahriar, K., 1988. Roadheaders in Istanbul, Golden Hom clean up contributes valuable <lata. June, *Tıunnels and Tımnelling,* pp. 41-44.

Bilgin, N., Tumaç, D., Ferdunoğlu, C., Karakas,A.R., Akgül M., 2005. The performance ofa roadheader in high strength rock formation in Küçüksu tunnel. In: Erdem,Y., Solak, T., Editors. Proc. of 31st *World Tımnel Congress, Underground Space Use,* Turkey, Balkema ISBN 0415374529, pp.815-820.

Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H., Erdogan, M. 2004. Some geological and geotechnical factors affecting the performance of a roadheder in an inclined tunnel, *Tıunnelling and Underground Space Technology* Volume 19: 629-636.

Dunn, P. G., Howarth, D. F., Schmidt, S. P. J., Bryan, I. J., 1997. A review of 11011 explosive excavation projects for the Australian metalliferrous mining industry. In: Gurgenci H. Hood M. editors. *Proceedings of 4ıı, International Symposium on Mine Mechanization and 'Automation. Brisbane.* Queensland. A5-2/13.

Ergin H, Kuzu C, Balci C, Tuncdemir H, Bilgin N., 2000. Optimum bit selection and operation for the rotary blast hole drilling through HDR - a case study at KBI Murgul Mine. International Journal of Surface Mining Reclamation and Environment, Yolume 14, pp.296-204.

Eskikaya, Ş., Bilgin, N., Ozdemir., L. et al., 2000. Development of rapid excavation technologies for the Turkish mining and tunnelling industries. NATO TU Excavation SfS Programme Project Report. *Istanbul Technical University, Faculty of Mines.* p.172.

Kourosh, S., 1988, Investigations into the effect of cuttability and geotechnical properties on the performance of Roadheaders. PhD Thesis, *Istanbul Technical University, Mining Engineering Department,* p 241.

Seyrek T., Akgül M., Kurumuş k., Bilgin N., 1994. The perfonnance analysis of roadheaders and TBM in İstanbul Tunnels with respect to the equipment selection. *Mine Planning and Eqıuipment Selection,* İstanbul, Balkema, ISBN 9054103272, pp.527-537.

# GLİ Yeraltı Ocaklarında Mekanizasyonun Gelişimi

## *The Development of Mechanized Systems in GLI Underground Coal Mines*

R. Çelik
*Gaıp Linyitleri İşletmesi, Ömerler Yeraltı Ocağı, Tavşanlı, Kütahya*

**ÖZET** Bu tebliğde, GLİ Müessesesi yeraltı ocakları hakkında genel bilgi verilmiş, geçmişte yapılan mekanizasyon uygulamaları özetlenmiştir. 1997 yılında montajı yapılarak üretime başlanan ve halen beşinci panoda üretime devam edilen tam mekanize ayak uygulaması anlatılmıştır. Tahkimatların tasarımı ve çalışma sistemine bağlı olarak sistemin dezavantajları açıklanmıştır. Yakın gelecekte açık ocak sahalarının rezervinin tükeneceğinden üretimin yeraltından karşılanması hedeflenmektedir.

Sonuç bölümünde, yeraltı üretimini hedeflenen miktarlara yükseltmek amacıyla, ileriki yıllarda yeraltı sahalarında yapılması planlanan ve devanı etmekte olan mekanizasyonu geliştirme çalışmalarına yer verilmiştir.

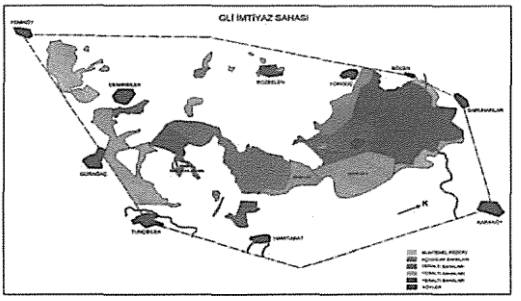
ABSTRACT In this paper, firstly GLI Underground Mines are generally introduced. Then, applications for the nıechanized production in past are reviewed and sunınıarized. Full mechanized longwall application started in 1997, continuing the production in fıfth panel, is explained. The powered support design in this coal seam and disadvantages of this full mechanized longwal systenı are discussed by depending on past experinıent. In near future, the coal production fronı underground mine in this region is getting more important because of fınishing the coal production fronı the open pit coal reserves.

Finally, the development and investment studies of mechanized system and production plans from underground coal reserves are given in order to increase the coal production from underground coal mines in future.

## 1 GİRİŞ

Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Tunçbilek imtiyaz sahasında (Şek. 1) 2007 yılı başı itibariyle toplam işletilebilir rezerv 296.428.000 ton'dur. Bu rezervin % 84,S'i yeraltı,% 15,S'i de açıkocak üretim yöntemi ile üretilmeye müsaittir. Yeraltı ocağı yatırımlarının gecikmesi ve kömür talebine cevap verme zorunluluğu nedeniyle yeraltı üretiminin toplam üretimdeki payı % 15'i geçememiştir. Bu nedenle açıkocak sahalarındaki rezervler hızla tükenmiş ve yaklaşık on yıllık rezerv kalmıştır. Yeraltı ocağı yatırımlarının yapılarak yeni üretim sahalarının açılması ülkemizin ihtiyacı olan kömürün zamanında arzı için zorunluluktur. Yeraltı kömür üretim maliyetleri, açıkocak üretim maliyetlerine göre oldukça yüksek olmaktadır. Maliyetleri düşürınek hızlı ayak ilerlemeleri ve yüksek üretim kapasitesiyle, bu ise mekanizasyon uygulamalarının genişletilmesiyle mümkündür.

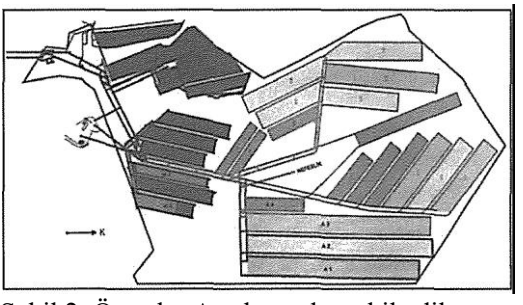
GLİ Müessesesi Yeraltı ocaklarında mekanizasyon uygulamasının ilk denemeleri 1956 yılında başlamıştır. 1983 yılında Pilot Mekanize Ayak uygulamasına geçilmiş, "Ömerler Yeraltı İşletmesi Modernizasyon ve Mekanizasyon Projesi" kapsamında temin edilen, 1997 yılında montajı tamamlanarak üretime başlanan teçhizatlarla beşinci panoda üretim devam etınektedir.




Şekil 1. GLİ imtiyaz sahası

## 2 YERALTi SAHALARI

Tunçbilek Bölgesinde yeraltı üretim yöntemleriyle üretilebilecek rezervler; Büyükdüz, İğdekuzu, 42 panolar, Ömerler A, Ömerler B ve Derin Sahalar'dır. Büyükdüz sahasında özel sektör tarafından klasik yöntemle kömür üretimi yapılmaktadır. Ömerler A sahasında (Şek. 2) kömür üretimi; klasik yöntemle üretim yapılan 2 adet taban ayaktan ve tam mekanize üretimin yapıldığı 90 metre uzunluğundaki mekanize ayaktan yapılmaktadır.



Şekil 2. Ömerler A sahasında teşkil edilen Panolar

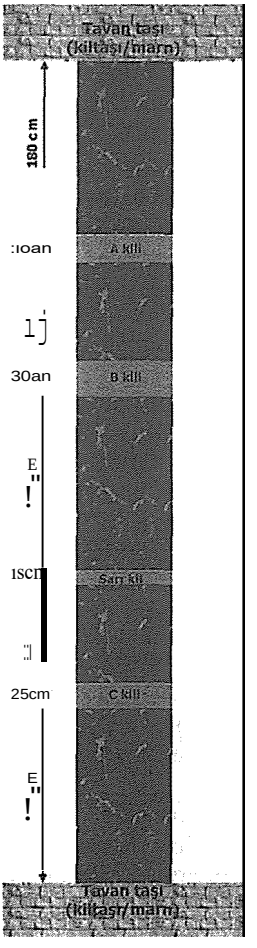
### 2.1 Kömür Damarının Yapısı

Kömür havzasında, alt seri (miosen) içinde iki seviyede linyit damarı teşekkül etmiştir. Bunlardan alttaki damar şistli kil horizonu içinde olup, adese şeklindedir. Her yerde görülmemekte ve yanlara doğru süratle fakirleşmektedir. Kalınlığı az olan bu "alt linyit damarı"nın ekonomik değeri yoktur, bu nedenle işletilememektedir.

Havzada halen işletilmekte olan kömür damarı alt seviyede ve alt marn horizonunun üst seviyelerinde veya alt marn horizonu ile üst marn horizonu geçişinde teşekkül eden "ana linyit damarı"dır (Ayaydın, 1987).

Ana linyit damarının genel olarak yatımı 10° civarında ve kalınlığı 4 - 12 metre arasında olup, damar içinde muhtelif kalınlıkta tabaka ve adese şeklinde ara kesmeler mevcuttur. Bunların en önemlileri, yukarıdan aşağı olmak üzere A, B ve C killeri olarak adlandırılmakta olan ara kesmelerdir. Bu ara kesmelerden başka C kilinin 1 metre kadar üzerinde "sarı kil" diye adlandırılan bir ara kesme daha bulunmaktadır (Şek.3).

A kili tavan taşından itibaren 130 - 180 cm mesafede ve 15 - 20 cm kalınlıktadır. Bu kil tabakasına her kesitte rastlanmamakla




Şekil 3. Kömür damarı stampı (Çelik, 2005)

birlikte genellikle ya çok ince ya da arada kömür tabakası olmadan birleşmiş olarak bulunmaktadır. B kili 25 - 30 cm kalınlıkta ve taban taşından yaklaşık 5 metre yukarıda damarın ortasında yer almaktadır. C kili ise, 20 - 25 cm kalınlıkta ve taban taşından 180 - 200 cm yukarıdadır.

Damarın tavanından tabanına doğru kömür kalitesi homojen değildir. Tavan taşı ile A kili arasındaki kısım "tavan kömürü" olarak adlandırılmakta olup, bu kısımdaki kömür damarın diğer kısımlarına nazaran daha temiz ve kalitelidir. C kilinin altında yer alan kısma "taban kömürü" denilmektedir. Taban kömürü tavan kömüründen sonra damarın en kaliteli kömürüdür. A kili ile C kili arasındaki kömüre "orta kömür" denilmektedir. Orta kömür özellikle B kili civarında bantlı ve karışık olup bu kısmın kömürü damarın en düşük kaliteli kömürüdür.

Bu ara kesmelerden başka taban taşından 15 - 20 cm mesafede "taban kili" olarak tarif edilen, 1O cm kalınlığında, zaman zaman görülen bir ara kesme daha mevcuttur.

Tavan ve taban kömürlerinin basınç dayanımı ortalama 120 kg/cm$^2$ olup, 250 kg/cm$^{2'}$ ye kadar yükselmektedir. Orta kömürün basınç dayanımı ise 350 kg/cm$^{2'}$ ye kadar ulaşabilmektedir. Tavan kömürü içinde çeşitli büyüklüklerde ve yer yer kendini gösteren ve "kaynak taşı" olarak tabir edilen silisli 1,umruların basınç dayanımı ise 1300 kg/cm 'ye kadar çıkabilmektedir.

Damarın tavan ve taban formasyonu marn olup, içindeki kil / kalker oranına göre genel anlamda basınç dayanımı 500 - 600 kg/cm$^2$ arasında değişmektedir (Eskikaya, 1975).

## 3 MEKANİZASYON UYGULAMALARI

### 3.1 Geçmişte Yapılan Uygulamalar

Yeraltı ocaklarında ilk mekanizasyon denemeleri 1956 yılında kömür sabanı uygulaması ile başlamış, bunu 1983 yılında "Pilot Mekanize Ayak Kazı, Tahkimat ve Nakliye" uygulaması izlemiştir.

#### *3.1.1 Kömür sabanı denemesi*

1956 yılında Alman Josef Brand Firması tarafından Tunçbilek Yeraltı Ocağı 2. Zon 37 nolu panoda tavan ayağa kurularak uygulamaya konulmuştur. Tek yönde kazı yapabilen kömür sabanında (Brand Hobel) aynada kazı mekanizasyonu hedef alınmıştır.

1961 yılına kadar devam eden uygulamada çeşitli problemlerle karşılaşılmış, bu nedenle çalışmalar duraklamalara uğramıştır. Beş yıl süren denemelerden olumlu sonuç alınamayınca uygulamaya son verilmiştir (Kundur, 1984).

Bu ilk mekanizasyon denemesinde, jeolojik şartlar ve ocak şartlarının güçlüğü, kullanılan sabanın gelişmiş sahanlara göre tasarım eksikliği ve tavan kömürü içinde bulunan kaynak taşları nedeniyle başarılı olunamamıştır.

#### *3.1.2 Pilot mekanize ayak*

Yeraltı üretiminin mekanize hale getirilerek üretimin arttırılması fikri II. Beş yıllık plan döneminin (1968-1972) başlarında oluşmuştur. Mekanizasyon uygulamalarını yerinde görmek ve yakından takip etmek amacıyla kalın kömür damarı madenciliğinin yapıldığı ülkelere heyetler gönderilmiş, bu konuda uzman yabancı elemanların da Müessesemiz yeraltı ocaklarını ziyaretleri ve incelemeler yapmaları sağlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda "Pilot Mekanize Ayak Kazı, Tahkimat ve Nakliye Projesi" hazırlanarak ihaleye çıkılmıştır.

İhale sonucunda; Fransız Stephanoise (SDS) firmasının önermiş olduğu teçhizatlar temin edilerek 1983 yılında Tunçbilek Yeraltı Ocağı'nda çalışılmaya başlanmıştır. Sistemin çalışması; ortalama 7 metre kalınlığındaki kömür damarının tabandan itibaren 2,5 metr·elik bölümünün kesici-yükleyici makine ile kazılarak üretilmesi, tavan taşı ile kesilerek üretilen bölüm arasındaki kömürün ise ayak arkasından göçertilerek kazanılması şeklindedir. Bu sistemde temin edilen teçhizatlar;

- 20 adet yürüyen tahkimat ünitesi,
- **1** adet kesici-yükleyici makine,
- 35 metre uzunluğunda 1 ünite çift zincirli ayna konveyörü,

- 35 metre uzunluğunda 1 ünite çift zincirli arka konveyörü,
- 21 metre uzunluğunda ünite çift zincirli toplayıcı konveyör,
- 1 adet kırıcı,
- 2 adet hidrolik pompa,
- Elektrik teçhizatları' dır.

Pilot mekanize ayak uygulamasında; tavanda bulunan kömür bloğunun kırılma hattının genellikle aynaya doğru taşınmasından dolayı tahkimatların önünden boşalmalar meydana gelmiş, tahkimatların stabilitesi olumsuz etkilenerek dengeleri bozulmuş, tahkimatların düzeltilmesi, ayna kazısı yapamama ve arka kömürünü alamama gibi duıumlarla karşılaşılmıştır.

## 3.2 Devam Eden Uygulamalar

Yeraltı ocaklarında mekanizasyon uygulanabilirliğinin daha detaylı araştırılması için, 1988 yılında Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi Müessesesi mekanizasyon pro3esını hazırlayan ve yürüten Alman Montan Consulting GmbH firması ile anlaşmaya varılmıştır. Anlaşma çerçevesinde;

- Mevcut yeraltı ocaklarının incelenmesi ve koşullarının iyileştirilmesi,
- Yeraltı sahalarında mekanizasyona uygun panoların tespiti ve planlanması,
- Mekanizasyonda kullanılacak makine ve teçhizatın teknik karakteristiklerinin belirlenmesi konularında çalışma

yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda "Ömerler Yeraltı İşletmesi Modernizasyon ve Mekanizasyon Projesi" hazırlanmıştır. Şartnameler hazırlanarak 1992 yılında ihaleye çıkılmıştır. 05.10.1994 tarihinde sözleşme imzalanmış, 09.O1.1996 tarihinde kredi anlaşması onaylanarak sözleşme yürürlüğe girmiştir. İhale kapsamında aşağıdaki teçhizatlar temin edilmiştir.

- 66 adet tahkimat ünitesi,
- 1 adet çift tamburlu kesici-yükleyici makine,
- 1 ünite ayak konveyörü (90 metre),
- 1 ünite toplayıcı konveyör (40 metre),
- 1 ünite bantlı konveyör,
- 1 ünite shunting troley
- 1 ünite tabana monteli taşıma sistemi (kulikar),
- 1 ünite tavana monteli taşıma sistemi (monoray),
- 4 adet elektrikli manevra vinci,
- 2 adet delik delme makinesi,
- 4 adet elektrikli tali vantilatör,
- 3 adet dalgıç tipi pis su pompası,
- Merkezi izleme, kontrol, haberleşme ve sinyalizasyon sistemi,
- Elektı·ik teçhizatları.

1997 yılında montajı tamamlanarak üretime başlanan sistemin kesin kabulü 08.01.1999 tarihinde yapılmıştır.

### *3.2.1 Mekanize ayak üretim periyodu*

Mekanize ayakta üretim periyodu; taban temizliği yapılarak konveyörün ötelenmesi ve ayna kesiminin yapılması, tahkimatların ayna kazısı yapılan bölüme ötelenmesi ve tavan kömürünün göçertilerek kazanılması aşamalarından oluşmaktadır. Proje aşamasında 3 have kesim (0,6 metre x 3=1,8 metre) yapılarak tavan kömürünün kazanılması planlanmış, ilk çalışılan panoda bu sistem uygulanmıştır. Ancak, ayak ilerleme yönünde panonun eğiminin arttığı bölümlerde göçertme esnasında tavan taşının kırılarak kömürün önünü kapattığı, bu nedenle kömürün ayak gerisinde kalarak kazanılmasının imkansız hale geldiği gözlemlenmiştir. Kömür kaybının önüne geçmek için 2 have kesim (0,6 metre x 2=1,2 metre) uygulaması devam etmektedir.

#### *3.2.1.1 Ayna kesimi*

Ayna kömürünü kazma işlemi tek yönlü olarak yapılmakta, kesici makinenin ayak aynasına girmesinde ayak başı yöntemi uygulanmaktadır. Kesici makine ayak sonundan taban temizliği yaparak ayak başına giderken makinenin 6- 7 tahkimat gerisinden tahkimatların itme-çekme pistonları aynaya itilerek konveyörün ötelenmesi sağlanır. Makine ayak başına vardığında geriye doğru hareket ederek zincirli oluğun kıvrımlı olan bölümünden çapraz olarak aynaya girer. Bunu takiben

zincirli konveyörün kıvrımlı ve baş tarafta ötelenmemiş olan kısmı aynaya itilerek öteleme işlemi tamamlanmış olur. Kesici makine ayak başı yönünde hareket ederek ayağın başına kadar kesilmemiş olan bölümü keser, bunu takiben geriye dönerek ayak sonuna kadar kesim yaparak ilerler. Makine ayak sonuna vardığında bir havelik kesim (0,60 metre) tamamlanmış olur. Bu işlemden sonra da anayol tahkimatı sabit konveyör (stage loader) ile birlikte ilerletilir.

*3.2.1.2 Tahkimatların ilerletilmesi*

Tahkimatların ilerletilmesi işlemi teker teker, makinenin 4-5 tahkimat gerisinden ve bir önceki tahkimat içindeki valflerle yapılır. Makinenin ön tamburunun kazdığı bölümlerde tavanın akmaması için geçici olarak tahkimatların kayan sarmaları aynaya doğru sürülmekte ve ayna tutucular açılmaktadır. Kazısı tamamlanan bölümde tahkimat ile zincirli konveyör arasının temizliği yapılır. İlerletilecek olan tahkimatın kayan sarması geriye çekilerek ana direkler tavanın parçalanmasına müsade etmeyecek şekilde 10 - 15 cm kadar indirilir. İtme - çekme pistonunun rotu açılarak tahkimatın zincirli konveyöre bağlı kızağının geriye gitmesi sağlanır ve yükü boşalmış olan tahkimat aynaya doğru hareket ederek makinenin kazdığı alanı tahkim eder. Ana direkler tavanı ezmeyecek kadar yüklenerek tahkimat sıkılanır. Eğer bu işlem sonunda kayan sarmanın ön kısmında hala bir boşluk kalmış ise kayan sarma sürülerek boşluk kapatılmaktadır. Aynadan akma olduğu durumlarda ayna tutucular açılarak akma önlenmektedir.

Mekanize ayak teçhizatlarının düzenli olarak bakım ve kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Kesici makinenin kovan ve piklerinin kontrolü ve tamamlanması, yağ seviyelerinin ve cıvatalarının kontrolü, zincirli konveyörlerin palet, zincir, cıvata ve kilitlerinin kontrolü, nakliye yolundaki banttan parça çıkarılarak kuyruk ünitesinin çekilmesi, fazla kayışın depolama ünitesinden alınması, elektrik kablolarının ön tarafa çekilmesi gibi işlemler kazı vardiyasını takip eden vardiyada yapılır. Ayrıca nakliye ve malzeme yollarındaki rijit bağların alınarak yerine geçici ağaç boyunduruk - hidrolik direk tahkimat sistemi de bu vardiyada yapılmaktadır.

*3.2.1.3 Tavan kömürünün alınması*

Tavan kömüıü, tahkimatlarda bulunan oluk şeklindeki kömür akıtma pencerelerinin açılarak tahkimat üzerindeki kömürün bu pencerelerden ayak zincirli konveyörün üzerine akıtılması ile alınmaktadır. Tahkimatların üzerindeki kömür tabakası kademeli olarak birkaç seferde alınarak tavanın ayak boyunca kırılması sağlanmakta, böylece kömürün tamamına yakın miktarı tahkimat pencerelerinden alınarak kömüre tavan taşının karışması önlenmektedir. Tavan kömürünün kendiliğinden kırılmadığı ya da askıda kaldığında tahkimat pencerelerinin içinden ve tahkimat aralarından delik delinerek parçalama amaçlı patlatma yapılmaktadır.

### *3.2.2 Mekanize sistemin klasik sisteme göre avantajları*

- Ayak ilerleme hızları yüksektir.
- Randımanlar yüksektir.
- Kömür kazanma oranları yüksektir.
- Emniyetli çalışma ortamı vardır.
- İş kazası oranları düşüktür.
- Rahat bir çalışma ortamı sağlar.
- Kontrollü bir kömür akışı sağlanabilir.

### *3.2.3 Kullanılan mekanize teçlıizatıuın eksiklikleri ve karşılaşılan sorunlar*

- Sistem, ayna kazısı yaparken tavan kömürü alma işlemine uygun değildir. Bu nedenle ayna kesimi ve tavan kömüıü alma işlemi ayrı vardiyalarda yapılmaktadır.
- Meyil yukarı çalışılan panolarda kesici makine ayna kazısını yaparken konveyörün tabandan yükselmesi nedeniyle kesici makine aynayı tam kesememektedir.
- Tahkimatların kayan sarmaları 60 cm ilerletilmekte ve ayna tutucu plakalar 90° açılabilmektedir. Faylı zonlarda kesim yapılırken 60 cm'den daha fazla

derinlik oluşması durumunda ancak kesme derinliği kadar mesafe kayan sarmalarla tutulabildiği için tavandan boşalmalar olmaktadır. Tavandan kontrolsüz olarak gelen malzeme nakliyatta tıkanmalara ve tahkimat önlerinin dolarak tahkimatların ilerletilme işleminin gecikmesine neden olmaktadır.

- Kesim vardiyalarında, tavan kömürü alınırken tahkimatlar ile konveyör arasına dolan malzemenin temizliği tahkimatların ilerletilmesi işlemini geciktirmektedir.
- Ayak baş ve sonunda kesici makine tabanı tam kesemediği için, kazma-kürek ile kazı ve temizlik yapılması gerekmektedir.
- Ayakiçi meyilinin fazlalaştığı (ayak başı ile sonu arasında kot farkı olduğu) panolarda, tahkimatların bozulan dengelerini düzeltmek için denge pistonları olmadığından düzeltme işlemi hidrolik direkle yapılmakta, bu esnada konveyör çalıştırılamamaktadır.
- Meyil yukarı çalışılan panolarda, tahkimatların meyili kolaylıkla tırmanması ıçın taban şaselerinin kaldırılarak sürtünmenin azaltılması gerekmektedir. Tahkimatların taban şaselerini kaldıracak sistem olmadığı için bu işlem hidrolik direk ya da ağaç domuzdamı malzemesi ile yapılmaktadır. Bu da her bir tahkimatın ilerletilme süresini kat kat artırmaktadır.
- Meyil yükselme yönündeki panolarda kömür akışı esnasında pencere kenarlarından taşan tavan kömürü tahkimatlar ile konveyör arasına ve tahkimat içlerine dolmakta, tahkimat pencereleri açılıp kapatılırken hidrolik hortumların sıkışarak arızalanmalarına sebep olmaktadır.
- Tahkimat içlerindeki hortumlarda meydana gelen arızaların tamirinde, tahkimat içlerine dolan pasanın temizliği zaman kaybına neden olmaktadır.
- Elektrik, ana hidrolik sistem, nakliyat ve kesici makine arızalarında üretim genellikle tamamen durmaktadır.
- Tavan kömürünün kendiliğinden göçmemesi halinde pencerelerin içlerinden delik delme ve patlayıcı doldurına işlemi yapılırken konveyör durdurulmakta, bu sırada üretim yapılamamaktadır.
- Tavandan su gelirinin olduğu bölümlerde kömüre karışan tavan taşı malzemenin pencere içinde sıkışmasına neden olmakta, bu da kömür akışını engellemektedir.
- Pano ilerleme yönündeki eğimin her bir derece artışına karşılık olarak pencerelerin açılma açıları o kadar azalmakta, bu nedenle pencerelerden kömür akışında zorluklar ortaya çıkmakta malzemenin kazma ve sivriç ile eşilerek çekilmesi gerekmektedir.
- Tavan kömürünü göçertmek için yapılan delme - patlatma işlemleri sırasında konveyör emniyet yönünden kilitlenerek stop edilmekte, bu da üretimde duraklamalara neden olmaktadır.
- Meyil yükselme yönünde çalışılan panolarda tavan kömürü göçertilirken tahkimatların pencereleri üzerinde oluşan kırılma zonu, tahkimatların ön tarafına hareketli sarmaların üzerine taşınarak burada meydana gelen yük artışı nedeniyle sarmalarda aşağıya doğru eğilme olmaktadır. Bunun sonucunda hem tahkimatların yüksekliğinin azalmasına bağlı olarak tavan kömürü almada zorluklar çıkmakta, hem de ayna kesimi esnasında kesici makinenin tahkimat altından geçerken aynayı kesememesi ve tabanı oyması nedeniyle tahkimatların dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır.

### 3.3 Gelecekteki Mekanizasyon Hedefleri

Yıllık 350.000 ton kömür üretiminin yapıldığı mevcut mekanize ocağın üretim kapasitesini 1.400.000 ton'a yükseltmek amacıyla "1.400.000 ton/yıl Tüvenan Üretim

Kapasiteli Omerler Yeraltı Mekanizasyon Tevsii Projesi" hazırlanmıştır. Proje kapsamında iki adet 120'şer metre uzunluğunda mekanize ayak teçhizatı alımı öngörülmüştür. TKİ 2006 yılı yatırım programına dahil edilmek üzere Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı onayına sunulan proje onaylanarak 7 Ocak 2006 tarih ve 26046 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış, 2006 yılı yatırım programına dahil edilmiştir.

Projenin uygulamaya geçmesi için gerekli olan hazırlıkların yapılması amacıyla ilk aşamada; 6.475 metre galeri açılması ve tahkimatının yapılması, 7 ünite bantlı konveyör, 1 ünite kulikar, 1 ünite monoray ve 4 ünite shunting troley tesis edilmesi ihalesi yapılmıştır. İhale sonucunda çalışmalara başlanmış ve ermine uygun olarak devam etmektedir. !kinci aşamada açılacak 7.745 metre uzunluğunda galeri açılması ihalesi için şartname hazırlıkları yapılmaktadır. İhale ile ilgili hazırlıklar tamamlanınca 2007 yılı içerisinde ihaleye çıkılacaktır.

Proje kapsamında temin edilmesi öngörülen iki adet yeni mekanize ayak teçhizatının teknik özelliklerini belirlemek ve şartnameleri hazırlamak üzere teşkil edilen komisyon, mevcut sistemin dezavantajlarını göz önünde bulundurarak teknik incelemelerine ve bu konuda uzman firmalarla görüşmelerine devam etmektedir. 2006 yılında;

- 2 adet 34,5/6,3 KV 2500 KVA trafo
- 1 adet 34,5/0,231 KV 1000 KVA trafo
- 4 adet 36 KV 1250A 25kA arabalı kesici
- 4 adet 12 KV 1250A 25kA arabalı kesici
- 2 adet 6,3 KV 630 A kesici
- 6 adet 6,3 KV 400 A kesici
- Muhtelif miktarlarda güç ve kumanda kablosu temin edilmiştir.

Tahkimat, kesici makine, kırıcı ve konveyör şartnameleri yıl içinde tamamlanarak 2008 yılı başlarında ihaleye çıkılacaktır.

**KAYNAKLAR**

Ayaydın, C, 1987. Kuyu Sistemi ile Üretim Yapılacak Sahaların Jeolojisi ve Mevcut Sondajların Havza Jeolojisiyle Korelasyonu, Yayımlanmamış.

Çelik, R, 2005. GLİ Ömerler Mekanize Ocakta Yürüyen Tahkimatın Taşınmasının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Eskikaya, Ş, 1975. Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek Bölgesi Ana Linyit Damarının Kazı Yetenekleri ve Mekanizasyon Olanakları, Tübitak 5. Bilim Kongresi, İstanbul, Ekim 1975, s. 77 - 92.

Kundur, A, 1984. Tunçbilek Bölgesinde Pilot Mekanize Ayak Uygulaması, Tavşanlı.

Montan-Consulting GMBH Rapor, 1994, Yayımlanmamış.

# Seyitömer Linyit Işletmeleri'nde kullanılan kazı yükleme ekipmanlarının performanslarının incelenmesi

## *A research on the performances of excavating and loading machineries utilized at Seyitomer Lignite Corporation*

G. Önce, H. Aykul, C. Şensöğüt & Ö. Ören
*Maden Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya*

**ÖZET:** Performans, genel anlamda hem hedeflere ulaşım seviyesini hem de ulaşım çalışmalarının etkinliğini belirleyen bir ölçüt olarak tanımlanmaktadır. Açık işletme madenciliğinde kullanılan kazı ve yükleme makinelerinin performansı, işletme performansını ve dolayısıyla da karlılığını direk olarak etkileyen bir konudur. Makine performansındaki düşüklüklerin temel kaynakları ise kazı ve yükleme esnasında makine ve makine dışı sebeplerden kaynaklanan zaman ve üretim kayıplarıdır. Kazı ve yükleme makinelerinin performansının artırılması bu makineler için uygun performans göstergelerinin (boyutlarının) belirlenmesi, bu göstergelerin sürekli ölçümü ve denetimi (kontrol ve iyileştirme) ile mümkündür.

Bu çalışmada; Seyitömer Linyit İşletmesi'ne ait halatlı ve hidrolik ekskavatörler ile, yükleyicilerin 9 aylık (Ocak - Eylül 2004) performanslarının belirleyicisi olarak kabul edilen verim, verimlilik ve etkenlik değerlerinin tespiti yapılmış ve bu 3 değere bağlı olarak makine performansları belirlenmiştir. Bu belirleme sonrasında performans düşüklüklerinin nedenleri araştırılmış ve performansı arttırabilmek için neler yapılabileceği üzerinde durulmuştur.

**ABSTRACT:** Performance is generally described as a criterion which defines both the level of reaching objectives and efficiency and productivity of access studies. The performance of excavating-loading machinery which are used in open pit mining, is a critic issue influencing the enterprise performance and consequently profitibility. The basic reasons of the lowness of machinery performance are the wastes of time which take place during the activities such as excavation, loading, transportation. To increase the performance of excavating-loading machineries, it is necessary to determine appropriate perfoımance indicators, to ıneasure and control these indicators continuously. In this study, the ındicators of the efficieancy, productivity and effectiveness which are accepted as the determinant of a nine-month perforınance of rope shovels, hydraulic excavators and loaders in Seyitöıner Coal Enterprise were determined and machines performances were established according to these determined indicators. Finally, reasons of the performance deficiencies of the machines are searched and the points to increase the performance are focused on.

## 1 GİRİŞ

Her işletme belli misyon, amaç ve görevleri gerçekleştirmek için kurulmaktadır. İşletme yönetiminin temel sorumluluğu ise; bu misyon, amaç, ve görevleri mümkün olabildiğince en iyi ve en başarılı şekilde gerçekleştirmektir. Bu çerçevede, bir işletmenin (veya iş sisteminin) perfoımansı, belirli bir zaman dilimi sonunda, işletmenin amaç ya da hedeflerinin yerine getirilme derecesini gösteren çıktı ya da çalışına sonucu olarak tanımlanmakta olup, bu çıktı veya sonuç, nicel veya nitel olarak belirlenebilmektedir. Bu anlamda

performans, işletme veya iş sistemi için belirlenmiş olan stratejik, taktiksel ve operasyonel amaçların gerçekleştirilmesi için gösterilen tüm çabaların değerlendirilmesi olarak da tanımlanabilir. İşletme için hedeflere ulaşmada en iyi ya da en başarılı olanın ne olduğu ise, yönetimin performans anlayışına bir başka deyişle yönetimin performansı ifade eden performans boyutlarına (göstergelerine) verdiği öneme ve önceliğe bağlıdır. Bu bakımdan bütün işletmeler hedeflerine ulaşabilmek için işletme, birim ve operasyon düzeyinde, performansı ifade eden boyutların ne olduğunu ve nasıl ölçüleceğini belirleyerek bu boyutları sürekli ölçmek ve denetlemek zorundadır (Barutçugil, 2002; Canıtez, 2000; Akal, 2002).

Genel anlamda bir işletme veya iş sisteminin modeli girdi değişkenleri (enerji, işçi, makine, vb), dönüştürme süreci ve çıktı değişkenleri (üretim, kar) ve dış çevreden oluşmaktadır. Dolayısıyla performans kavramı da bu temel öğelerle ilgilidir (Akal, 2002).

Günümüzde, firmalar açısından performansın sürekli geliştirilmesi rekabet edebilir olmak için vazgeçilmez bir amaçtır. Bu noktada tüm firma ve birimler bazında performansın veya performansı ifade eden göstergelerin ölçümü ve denetimi önem kazanmaktadır. Çünkü ölçülmeyen bir şeyin geliştirilmesi de mümkün değildir. Performans ölçüm ve denetiminin önemini anlatan diğer konuları ise aşağıda belirtilen başlıklar altında şöyle sıralayabiliriz:

- İşletmenin devamlılığını sürdürebilmek için örgüt içerisinde performans ve verimlilik anlayışını yaratmak ve devam ettirebilmek,
- Yönetimin temel görevleri olan planlama, yöneltme, uygulatma, kontrol etme işlevlerinin sağlıklı yerine getirilmesi için işletme performansına ait bilgilerin sürekli yönetime beslenmesi gerekmektedir. Böylece sisteme ne zaman nerede müdahale edileceğini bilmek,
- işletmenin mevcut ve potansiyel 'sorunlarını erken belirleyerek gelişme gerektiren alanları saptamak,

  Gerçekleştirilen etkinliklerin sonucunu değerlendirmek ve ilgili bilgilerin tüm düzeylere iletimini sağlamak,

  Yapılan ölçümler ve bu ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda örgüt içerisindeki kişiler arasındaki iletişim sağlanmakta veya optimize edilmekte ve kişisel gelişim sağlanmaktadır. Ortaya çıkan kişisel gelişim örgütsel gelişime de katkı sağlamaktadır (Akal, 2002; Canıtez, 2000).

Açık işletme madenciliğinin 2 temel süreci kazı ve yüklemedir. Dolayısıyla kazı ve yüklemede kullanılan araçların performansı işletme karlılığını direk olarak etkilemektedir. Bu noktada, kazı yükleme araçlarının performansını arttırmak için; performansı en sağlıklı şekilde ifade eden göstergelerin belirlenmesi, bu göstergelerin sürekli olarak ölçümü-denetimi ve sonrasında iyileştirme çalışmalarının hayata geçirilmesi önem kazanan konular olmaktadır. Bu çalışmada; SLİ deki halatlı ve hidrolik ekskavatörler ile yükleyicilerin 2004 yılının ilk dokuz ayındaki performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu performansın ölçütü olarak ise makinelerin verimlilik verim ve etkenlik değerlerleri dikkate alınmıştır.

### 1.1 Performans Boyutları

Bir işletme açısından performans kavramı ve boyutları zamana bağlı olarak ciddi değişimler göstermiştir. Esasta bu değişimlerin temel sebebi yönetim anlayışlarının değişmesidir. Geleneksel yönetim anlayışında en düşük maliyette en yüksek karı ve üretimi elde etmek amaçlanırken, günümüzün rekabetçi koşullarında müşteri doyumu, kalite, yenilik, ekip çalışması ve yaratıcılık gibi kavramlar önem kazanmıştır. Dolayısıyla günümüz yönetim anlayışında performans daha geniş boyutta incelenmekte ve ölçülmektedir. Örneğin klasik anlayışta performans kavramı verimlilik kavramı ile özdeş kabul edilmesine rağmen, günümüz anlayışında

verimlilik performansın sadece bir boyutu olarak kabul görmektedir. Genel olarak örgütsel bir sistemde performans kavramı 7 ayrı performans boyutu ile birlikte tanımlanmaktadır. Bu boyutlar etkenlik, verim, verimlilik, kalite, yenilik, çalışma yaşamının kalitesi ve karlılık olarak karşımıza çıkmaktadır (Akal, 2002).

Etkenlik örgütlerin tanımlanmış amaçlarına ulaşmak amacıyla gerçekleştirdikleri etkinliklerin sonucunda bu amaca ulaşma derecesi olarak tanımlanmaktadır. Amaçların gerçekleşme düzeyini işletmenin çıktıları ile ilişkilendirerek belirler. Bundan dolayı etkenlik işletme düzeyinde toplam performansı yansıtan en önemli performans boyutudur. Doğru işlerin yapılması olarak ta tanımlanan etkenlik aşağıdaki gibi tanımlanır;

Etkenlik = Gerçekleşen çıktı / Beklenen çıktı

Burada elde edilen etkenlik değeri 1 den büyükse örgütler beklenenden daha etken düşükse beklenenden daha düşük performansa sahiptir. Makul etkenlik değeri 1'dir (Akal, 2002).

Verim, ürün ve hizmet süreci içinde üretim kaynaklarının ne düzeyde ve nasıl kullanıldığını gösteren performans boyutudur. Verim işletmenin çıktıları ile değil girdileri yani kaynak tüketimi ile ilgilidir. Amaçlara değil araçlara yöneliktir. Yani işlerin doğru yapılıp yapılmadığını belirler. Bir işletme etken olduğu halde verimli olamayabilmekte veya tersi bir durum da söz konusu olabilmektedir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Tüketilen girdi (kaynak)} \times 100}{\text{Potansiyel girdi (kaynak)}}$$

Verim oranının 1 olması standart verim düzeyini, 1 den büyük olması ise standarttan daha yüksek verim düzeyini ifade eder (Akal, 2002).

Verimlilik, bir üretim sürecinin çıktısının ne kadar girdi (kaynak) kullanılarak elde edildiğini açıklar. Dolayısıyla en yüksek verimlilik en düşük kaynak harcaması ile en yüksek sonuca ulaşmanın ifadesidir. Eğer herhangi bir üretim biriminde, o birimde yapılan iyileştirme ve çözüm getirici ilave kullanılan malzeme, makine, işgücü, enerji ve yönetim kaynaklarının bileşiminden daha önceki dönemlere göre daha fazla ve daha iyi ürün elde edilmişse o birimin verimliliği artmış olur. Verimliliğin en genel ifadesi; Verimlilik = Çıktı / Girdi dir.

Bu ifadeye göre verimlilik; aynı girdi ile daha çok çıktı sağlayarak, aynı çıktıyı daha az girdi ile sağlayarak veya çıktıyı girdi artışından daha yüksek düzeyde arttırarak yükseltilir. Günümüzde verimlilik; girdi/çıktı nın yanında pek çok kaynağın etkileş _mi göz önüne alınarak belirlenmektedir. Örneğin kalitenin göz ardı edildiği verimlilik değerlendirmeleri anlamlı değildir. Verimlilik artışı; işletme düzeyinde uzun vadede, daha düşük maliyet ve daha yüksek karın bir göstergesi olmakla beraber, üretim artışı her zaman verimlilik aıiışını ifade etmemektedir. Bununla beraber Verimlilik analizleri ancak verim analizleri beraber yapılırsa anlamlı olmaktadır. Aksi takdirde yanlış yorumla yapılabilmektedir (Akal, 2002; Barutçugil, 2002).

Kalite; müşteri memnuniyetinin önem kazandığı günümüz şartlarında, ürün ve hizmetlere kullanım uygunluğu kazandıran önemli bir performans boyutudur. Birçok ayrı tanım yapılabilse de bu tanımlardaki ortak nokta olarak kalite, işletmenin ortaya çıkarttığı ürün ya da hizmetin kullanıcıların isteklerini karşılama, ürünlerin teknik standartlara uygunluğunu ve de hatasız olma derecesini belirleyen bir kavramdır. Ürün kalitesi ise ürünü üreten sistemin kalitesine bağlıdır. Dolayısıyla kalitenin ölçülmesi ve denetimi geniş açılı bir bakışla ele alınmalıdır. Kaliteli etkinler ve kaliteli yönetimlerde bu anlamda önemli performans göstergeleridir. Kalite boyutunun, üretim sürecinde, ürün özelliklerinde, örgüt içi diğer etkinliklerde ve satış sonrasında ölçülmesi gerekir. Kalite boyutunun temel göstergeleri, kalite maliyetleri, hatalı ürün yüzdeleri, hizmet hızı, pazar payı analizi ve müşteri memnuniyetidir (Akal, 2002).

Yenilik, mevcut teknoloji ile performansı yüksek sonuca ulaşmanın ifadesidir. Eğer yeni gereksinimleri karşılamak amacıyla herhangi bir üretim biriminde, o birimde yapılan iyileştirme ve çözüm getirici ilave

uygulamalar bütünüdür. Yenilik çalışmaları işletmelerde sadece mühendislik ve araştırma dallarında değil satış, muhasebe, kalite kontrolü vb. organlarda da gerçekleştirilmesi gereken bir performans boyutudur. Genel olarak işletme düzeyinde yapılan yenilikler; ürün ve hizmet yenilikleri, üretim süreci ya da üretim yöntemlerinde yenilikler, kullanım yenilikleri ve pazar yenilikleri olarak sınıflanmaktadır. Yöntem geliştirme, önerilen ve uygulanan proje sayıları bu boyutun başlıca göstergeleridir (Akal, 2002).

Çalışma yaşamının kalitesi, işletme çalışanlarının ücret, fiziksel çalışma koşulları, iletişim, bilgi ve beceri geliştirme, ortak karar alma vb. düşünceleri ve bu düşünceleri geliştirmeyi amaçlayan bir performans boyutudur. Çalışma yaşamı ile performans arasındaki ilişki çok karmaşıktır. Çünkü bu konu insanla dolayısı ile insanın değişken yapısı ile ilgilidir. İdeal bir yönetim ideal bir çalışma ortamı yaratabilmek için insanın zamana ve duruma göre sürekli değişen ihtiyaçlarını olabildiğince karşılamak zorundadır. Örgüt; çalışanların beklentilerine emellerine ve isteklerine ne kadar yüksek düzeyde yanıt verirse çalışanların dolayısı ile işletmenin performansı da o ölçüde artacaktır. Çalışma yaşamı kalitesini etkileyen örgüt içi davranışlar; hakça ücret sistemleri, parasal ve parasal olmayan özendirici sistemler, iş güvencesi, uygun ve modem fiziki çalışma şartları, mesleki eğitim, geliştirme eğitimi, yükselme olanakları, katılımcı yönetim, grup çalışmaları.,öneri sistemleri ve kalite kontrol çemberleridir. Bu uygulamalar ve bunların getirdiği katkılar bir işletınede çalışma yaşamının kalitesini belirleyen göstergeler olarak sayılabilir (Akal, 2002).

Karlılık, işletmede toplam gelirler ve toplam maliyetler arasındaki sonuç ilişkisidir. Dönemsel karın, satışlara bölünmesiyle bulunan bir oransal ifadedir. Kar ya da karlılığın bir performans boyutu olarak kabul edilip edilemeyeceğine dair eleştiriler söz konusudur. Bunun nedenleri olarak işletme yöneticilerinin kısa dönemlik kar için çalışma yaşamının kalitesi, kalite ve yenilik gibi diğer performans boyutlarından feragat etmeleri ve karın yönetim ve çalqşanların kontrolu altında olmayan birçok parametreden direk olarak etkilenmesi gösterilmektedir. Ama unutulmaması gereken önemli nokta kar ya da karlılığın bir amaç değil sonuç olarak görülmesi gerçeğidir (Akal, 2002).

Her işletme belirlediği hedefleri yakalayabilmek için kendi örgütsel yapısına uygun olarak perfom1ans göstergelerini geliştirmek yani nelerin nasıl ölçüleceğine karar vermek ve perforınans ölçümlerini sürekli yapmak zonmdadır. Bunun için ise öncelikle performans kavramının boyutlarının tam olarak bilinmesi gerekmektedir.

İşletıne bazında iyi bir performans ölçüm sistemini tesis edebilmek için işletmenin tüm yönetim görevlerine (Planlama, örgütleme, yönetme, kontrol, geliştirme) yönelik çok yönlü bilgi sağlanmalı ve örgüt performansını etkileyen 7 boyutun ve bunlar arasındaki ilişkilerin göz önüne alınması gerekmektedir. Bununla beraber işletme bazındaki performans değerlendirme ve ölçümlerinde, işletınenin önceliklerine, amaç ve hedeflerine hatta yönetimin değer ve isteklerine bağlı olarak bu 7 boyuttan bazıları seçilmekte veya bu boyutlara farklı ağırlıklar verilebilmektedir. Bununla beraber boyutların önemi, önceliği ve sayısı incelenen analiz birimine bağlı olarak da değişebilmektedir. Bu çalışmada SLİ de üretim biriminde kazıcı yükleyici makinelerin performansı incelendiğinden üretim kaynaklarının kullanımına ilişkin boyutlar (göstergeler) dikkate alınmıştır (Barutçugil, 2002; Canıtez, 2000; Akal, 2002).

### 1.2 Üretim Kaynaklarının Temel Performans Göstergeleri

Üretim kaynaklarının performansının ölçümünde ağırlıklı olarak kullanılan 3 temel gösterge etkenlik, verimlilik ve verimdir. Bu göstergelerin sağlıklı olarak eleştiriler söz konusudur. Bunun nedenleri hesaplanabilmesi ve yorumlanabilmesi için iş etütleri ile yapılacak ölçümlerden elde edilecek verilere ihtiyaç duyulur. Bir üretim makinenin etkenliği (E)

kapasiteye bağlı olarak belirlenmekte olup aşağıdaki şekilde ifade edilir.

E Kullanılan kapasite / Kuramsal (Kullanılabilir veya Planlanan) kapasite

Bir makinenin verimliliği (MV) ise girdi ve çıktıya bağlı olup aşağıdaki göstergeyle belirlenmektedir.

MV = Üretimin fiziksel (parasal) değeri / Kullanılan makine saatleri (Toplam makine giderleri)

Makine girdisi verim oran göstergelerini açıklamadan önce bu oranların hesaplanmasında kullanılacak kavramların açıklanması faydalı olacaktır.

*Kuramsal makine süresi:* Belli bir devre içinde bir makinenin ya da makine grubunun çalışabileceği en uzun süredir. (Örneğin haftada 168 saat ya da günde 24 saat gibi)

*Kullanılabilir makine süresi:* Devam süresi içinde bir makinenin çalışabileceği süredir. (Örneğin bir iş günü ya da iş haftası - hizmet dışı süreler + ek çalışına süresi)

*Boş makine süresi:* Makinenin üretim ya da diğer yan işlerin yapılmasına hazır olmasına karşın iş, malzeme, enerji ya da işçi yokluğundan dolayı çalıştırılamadığı süredir.

*Makine hazırlık süresi:* Değiştirmeler, ayar, kurma, sökme, temizlik vb. gibi nedenlerle makinenin geçici olarak kullanılmadığı sürelerdir.

*Makine duruş süresi:* Makinenin bozulma ve bakım gibi nedenlerle üretimde kullanılmadığı sürelerdir.

*Makine çalışma süresi:* Makinenin fiili olarak çalıştığı süredir. (Kullanılabilir makine süresi - makine duruş süresi - boş makine süresi makine hazırlık süresi)

*Standart makine çalışma süresi (standart zaman):* Makinenin en uygun (Makul) koşullarda üretime harcaması gereken süredir Akal, 2002).

Açıklanan bu kavramlara göre makine verim oranları (MVO) aşağıdaki ifadelerle belirlenir;

$MVO_1$ Makine çalışına süresi / Kullanılabilir makine süresi (veya kuramsal makine süresi)

$MVO_2$ = Standart makine çalışına süresi / Makine çalışına süresi (veya kullanılan makine süresi) (Akal, 2002).

## 2 SEYİTÖMER LİNYİTLERİ İŞLETMESİNİN GENEL TANITIMI

SLI Müessesesi Kütahya il merkezinin kuzeybatısında olup, 28 km mesafededir (Beder, 1996). Seyitömer bölgesinde genellikle karasal iklim hakimdir. Yılın en sıcak ayları Temmuz ve Ağustos, en soğuk ayları ise; Aralık, Ocak ve Şubat' tır. Sıcaklık -28 $C^0$ ile +36 $C^0$ arasında değişmektedir. Bölgede nem oranının az olmasına karşın yılda ortalama toplu yağış 550 mm, günlük maksimum yağış ise 67 mm dir. (DEU, 1989) Kömür içeren neojen birimler gölsel ortamda çökelıniştir. Havza paleontolojik bulgulara göre Geç Miyosen-Erken Pliosen olarak yaşlandırılmıştır. Neojen öncesi temel kayalar önceki çalışmalara göre (Akkuş, 1962; Okay, 1981) Kretase yaşlı olarak kabul edilmiştir (Beder, 1996).

Seyitöıner bölgesi linyit havzasında linyit damarları, doğu-Batı yayılımı daha geniş olan ve A ve B damarı olarak adlandırılan yatay (O-7° G) iki seviyeden oluşmuştur. Saha genelinde ara tabakalar kömürlü seviyelerle tekrarlanmaktadır. Her iki damar, kalınlığı 1O cm ile 2 metre arasında değişen ara tabakalarla şeritlere ayrılmaktadır. Ustte yer alan A damarının ortalama kalınlığı 1O ın, A damarının 30 metre altındaki B damarının ortalama kalınlığı 20 metredir. (Işık, vd, 1997). Bölgede yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, havza sakin bir göl ortamı olarak tanımlanmakta ve havzanın büyük çapta tektonik hareketlere maruz kalmadığı belirtilmektedir. Seyitöıner Linyit havzasında üretilen kömürler %33-39 arasında nem oranları ile mat linyitlerle yumuşak linyitler arasında bir sınıfta bulunmaktadır. Mevcut şartlarda üretimin gerçekleştirildiği B damarı damar tavanından tabanına doğru $B_1$, $B_2$, $B_3$ olmak üzere 3 ayrı alt damardan oluşmakta ve bunların kalori değerleri tabana doğru artan yoğun kömür

arakesme ardalanması nedeniyle düşmektedir (Beder, 1996).

Müessese de açık işletme yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Dekapaj faaliyetleri; delme, patlatma, kazı ve yükleme, taşıma, dökme ve serme işlemlerini içermektedir. Kömür üzerinde 35-60 m kalınlıktaki örtü tabakası gevşetildikten sonra 1O ar metrelik dilimler halinde 1O y $d^3$ lük ekskavatörlerle kazılıp, 65-85 tonluk kamyonlar ile kömürü alınmış veya kömürsüz alanlara taşınarak dökülmektedir. 1988 yılı haziran ayından itibaren Seyitömer Bölümü Gülbektepe Mevkiinde Dragline ile dekapaj sisteminin uygulanmasına geçilmiştir. Dekapaj sonucu üzeri tamamen açılan kömür ekskavatör-kamyon ve yükleyici-kamyon yöntemleri ile kömür hazırlama tesislerine taşınmaktadır. Kömür taşımada da 65-85 tonluk damperli kömür kamyonları kullanılmaktadır. Son yıllarda termik santralin talep özelliklerini, tüvenan üretim kalitesinin sağlamaması işletmede imkanlar ölçüsünde belli bir derecede seçimli madenciliği zorunlu kılmış bu amaçla ripper-dozer, yükleyici ve hidrolik ekskavatörlerin kullanımı da yoğunlaşmıştır. Her ne kadar 2006 yılına kadar bu seçimli madencilik ve kriblaj sistemiyle teımik santral ve teshinin talep özelliklerine uygun kömür üretilebildiyse de, bu tarihten sonra çıkan çevre yönetmeliği SLİ kömürlerinin teshin amaçlı kullanımını oldukça sınırlamıştır. Bu nedenle SLİ de hem termik santrale hem teshine uygun kalitede kömür verebilmek için 300 t/h kapasiteli bir yıkama tesisi kurulmuştur. Zaten uygulanmakta olan seçimli madencilik-kriblaj sistemine bu tesisinde eklenmesiyle termik santrale uygun özelliklerde kömür beslemede başarı sağlanmış, teshine ise % 20 kül ve 3000 kcal/kg da kömür verilmeye başlanmıştır.

Seyitömer kömür havzasında Seyitömer, Aslanlı ve Draglayn panolarından üretilen kömürler işletme sahası içindeki kriblaj, Kömür hazırlama ve kömür yıkama tesislerine verilerek, parça kısımları piyasaya (+50,-100), toz kısımları (-200) ise Termik santrale beslenmektedir (Beder, 1996). İşletmede toplam üretiminin %92 si termik santrale, geri kalan %8 i ise teshinde tüketilmektedir. işletmede kazı ve yükleme kullanılan ekipmanlar ise 12 adet halatlı ekskavatör, 3 adet hidrolik ekskavatör ve 4 adet yükleyiciden oluşmaktadır (Beder, 1996).

## 3METOD

Çalışmada SLİ de kullanılan kazıcı-yükleyici ekipmanların 2004 yılındaki performansları incelenmiştir. Bu ekipmanlar; 12 adet halatlı ekskavatör, 3 adet hidrolik ekskavatör ve 4 adet yükleyiciden oluşmaktadır. Perfonnanslar belirlenirken makine kaynağının temel performans göstergeleri kabul edilen verim, verimlilik ve etkenlik göstergeleri dikkate alınmış, bu üç parametrenin çarpımı performans indeksi olarak tanımlanmıştır.

Verim, verimlilik ve etkenlik göstergeleri belirlenirken işletmeden temin edilen makine çalışmalarına ilişkin girdi ve çıktı değerleri kullanılmıştır. Çalışmada makinelerin temel girdisi olarak zaman (saat), temel çıktısı olarak ise üretilen miktar (ton) dikkate alınmıştır.

### 3.1 Makine Girdi ve Çıktı Değerlerinin Belirlenmesi

Verim, verimlilik ve etkenlik değerlerinin belirlenebilmesi için öncelikle makine girdisi ve çıktısına ilişkin gösterge değerlerinin hesaplaması yapılmıştır. Makine girdisine ilişkin göstergelerin değerleri hesaplanırken her bir makine için öncelikle kuramsal makine süresi ve kullanılabilir makine süresi hesaplanmıştır. Kullanılabilir makine süresi belirlenirken işletmenin haftada 6 gün (Bayram tatil haftaları hariç) ve gün içinde 3 vardiya üzerinden 21 saat faal olduğu dikkate alınmıştır. Kullanılabilir makine süresinden işletme tarafından hesaplanmış boş makine, makine hazırlık ve makine duruş süreleri çıkarılarak makine (fiili) çalışma süresi bulunmuştur. Burada bakım, yıllık bakım, mekanik arıza, elektrik arızası makine duruş süresi içinde; Enerji kesilmesi, hava muhalefeti, yedek bekleme boş makine süresi içinde; işletme kaybı ise makine hazırlık süresi içinde sınıflanmıştır. Makine çıktısına ilişkin temel göstergeler ise üretilen ton cinsinden kömür ve dekapaj miktarları ve planlanan üretim değerleridir. Planlanan

üretim değerleri işletmenin tasarrufunda belirlenen bir konu olduğundan işletme kayıtlarından temin edilmiştir. Yukarıdaki gibi belirlenen makine girdisine ve çıktısına ilişkin bu gösterge değerleri ocak ayından eylül ayına kadar ay bazında ve 9 aylık (toplam) bazda kazı-yükleme ekipmanlarının her biri için hesaplanmıştır.

9 aylık bazda kazı-yükleme ekipmanları için yapılan girdi çıktı hesaplamaları Çizelge 1 de verilmiştir. Girdi ve çıktı hesaplamalarını açıklamak amacıyla Çizelge 1 deki 14 numaralı halatlı ekskavatör dikkate alınırsa; 2004 ün 9 aylık dönemi için kuramsal makine süresi 6552 saat (273 gün x 24 saat), kullanılabilir makine süresi ise 4746 saat (226 gün x 21 saat)'tir. Bu ekskavatör için boş makine, makine hazırlık ve makine duruş süreleri toplamı 4543 saat olup bu süre kullanılabilir makine süresinden (4746 saat) çıkarılarak makine çalışma süresi 203 saat bulunmuştur. Bu sürenin 4 saati dekepaj kazısı, 199 saati ise kömür kazısı için harcanmıştır. Yine bu makine için yapılan üretimler kömür için 110718 ton, dekapaj için 5193 ton dur. Makine girdi ve çıktısına ilişkin belirlenmesi gereken diğer önemli ölçütler standart kapasite ve standart zaman ölçütleridir. Çünkü bu ölçütler makul şartlarda üretilmesi gereken miktarı veya harcanması gereken zamanı göstermekte olup, bir makinenin yapmış olduğu üretim, standart kapasiteyle veya makinenin üretim için harcadığı zaman standart zamanla karşılaştırıldığında, makinenin çalışma esnasında ne kadar iyi çalıştığı belirlenmektedir. Karşılaştırma bu ölçütlerden biri kullanılarak da yapılabilmektedir. Çalışmada Standart kapasite hesapları **1** nolu eşitlikle yapılmış olup 14 nolu ekskavatör için bu hesaplama aşağıdaki gibidir. Burada 14 nolu makinenin hem kömür hem dekapajda çalıştığı dikkate alınarak, standart kapasite her iki malzeme için hesaplanmıştır.

$$SK = \frac{V x t_1 x t_2 x \mu x \gamma_k}{p x 17 k} \quad \ldots\ldots 1$$

Burada;

SK= Standart kapasite (t/h)

V = Ekskavatör kepçe hacmi ($m^3$)

$t_1$ = Zaman sabiti (60 sn)

$t_2$ = Zaman sabiti (60 dak)

μ=Kepçe dolma faktörü

$\gamma_k$ = Kömürün yoğunluğu ($t/m^3$)

p = Kepçe periyodu (sn)

T]k = Kabarma faktörü dür.

Buna göre 14 nolu ekskavatör için;

**SK** kömür= 751,4 ton/h,

**SK** dekapar 1343,5 ton/h olarak bulunmuştur.

Makineler genellikle hem kömür hem de kilde çalıştıkları için, makine veya her hangi bir dönem bazındaki standart kapasite belirlenirken makinelerin kömür ve kildeki çalışma zamanları dikkate alınarak hesaplama yapılmalıdır. Bu şekilde, 14 nolu ekskavatör için standart kapasite aşağıdaki gibi belirlenir.

**SK 14** =(751,4x199+1343,5x4)/203=762,9 t/h

Çizelge 1 dede görüldüğü gibi 199 h ve 4 h sırasıyla ekskavatörün kömür ve dekapajdaki çalışma saatleridir. 14 nolu makinenin saatlik gerçekleşen kapasitesi ise toplam kazılan miktar olan 115911 t un toplam çalışma süresine (203 h) bölünmesi ile 570,9 t/h olarak bulunur. Bu değer 762,9 t/h standart değerden düşük olduğu için makinenin bu dönemdeki çalışması verimsiz olarak yorumlanır. Diğer kazıcı makinelerin standart kapasiteleri ise; kömür ve dekapajdaki kazılar için sırasıyla hidrolik ekskavatör için 564,04 t/h ve 1008 t/h, yükleyici için 697,63 t/h ve 1247,36 t/h bulunmuştur.

Standart zaman hesapları ise 2 nolu eşitlik kullanılarak yapılmıştır. Yani; makinelerin kömür ve dekapajda yapmış olduğu üretimler kömür ve dekapaj için belirlenmiş standart kapasitelere ayrı ayrı bölünerek toplanmaktadır.

$$SZ = \frac{TKÜ}{SK_{kömür}} + \frac{TDÜ}{SK_{dekapaj}} \quad \ldots\ldots 2$$

Çizelge 1 Kazıcı ve yükleyici ekipmanların 2004 yılı 9 aylık toplamda (Ocak - Eylül) girdi ve çıktı hesaplamaları

| | | Makine Duruş Süresi (h) | | | | Boş Makine Süresi (lı) | | | Makine Hazırlık Süresi (h) | Makine Çalışma Süresi (h) | | | Dekapaj Kazısı M³ /Ton | | Kömür Üretimi (ton) | Toplam Üretim (Kömür+ Dekapaj) | Standart Makine Süresi (h) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ekipman | | | | | | | | | | Kömür | Dekapaj | Toplam | M' | Ton | | | |
| **Ekskavatör** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 4746 | 7 | 0 | 104 | 48 | 0 | 4 | 3709 | 671 | 199 | 4 | 203 | 2077 | 5193 | 110718 | 115911 | 151,21 |
| 17 | 3108 | 7 | 0 | 74,5 | 853,5 | 28 | 2 | 1777 | 288,5 | 77,5 | 0 | 77,5 | 0 | 0 | 43184 | 43184 | 57,47 |
| 22 | 4746 | 115 | 0 | 49,5 | 19,5 | 45,5 | 27,5 | 894 | 902,5 | 2576,5 | 115,5 | 2692 | 59595 | 148989 | 757092 | 906081 | 1118,47 |
| 23 | 4746 | 35 | 0 | 22,5 | 0 | 159 | 33 | 3515 | 348,5 | 127,5 | 505,5 | 633 | 278328 | 695822 | 54820 | 750642 | 590,87 |
| 24 | 4746 | 92 | 0 | 417 | 335 | 42 | 81 | 1731 | 648 | 133,5 | 1265,5 | 1399 | 538180 | 1345652 | 47300 | 1392952 | 1064,55 |
| 25 | 4746 | 7 | 952 | 2382 | 3 | 96 | 9 | 1141 | 51,5 | 0 | 104,5 | 104,5 | 56172 | 140431 | 200 | 140631 | 104,79 |
| 26 | 4746 | 61 | 0 | 31 | 687 | 61 | 37 | 2231 | 466,5 | 51 | 1119,5 | 1170,5 | 599897 | 1499744 | 23330 | 1523074 | 1147,35 |
| 27 | 4809 | 83 | 0 | 782 | 19,5 | 48 | 30 | 1350 | 919 | 1079 | 498,5 | 1577,5 | 324984 | 812461 | 356590 | 1169051 | 1079,30 |
| 28 | 4746 | 23 | 567 | 633 | 233 | 86,5 | 29 | 2239 | 375,5 | 0 | 560 | 560 | 316540 | 791351 | 0 | 791351 | 589,02 |
| 29 | 4746 | 50 | 0 | 1023 | 1359 | 34,5 | 7,5 | 1028 | 338,5 | 578 | 328,5 | 906,5 | 147900 | 369751 | 211660 | 581411 | 556,90 |
| 30 | 4746 | 55 | 0 | 97 | 87 | 16,5 | 31,5 | 2859 | 544,5 | 59,5 | 995,5 | 1055 | 432750 | 1081877 | 25210 | 1107087 | 838,82 |
| 31 | 4746 | 74 | 0 | 115 | 385 | 40,5 | 56 | 2110 | 584 | 30 | 1351,5 | 1381,5 | 655992 | 1639982 | 17420 | 1657402 | 1243,86 |
| **Tonlam** | **55377** | **609** | **1519** | **5730** | **40295** | **657,5** | **347 5** | **24584** | **6138,5** | **4911,5** | **6848,5** | **11760** | **3412415** | **8531253** | **1647524** | **10178777** | **Ort. 711,884** |
| **Yüklcvici** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 277 | 4781 | 23 | 0 | 2701 | 4 | 0 | 24 | 196 | 473,5 | 540,5 | 819 | 1359,5 | 253445 | 526113 | 201238 | 727351 | 796,42 |
| 278 | 4326 | 28 | 0 | 2638 | 0 | 0 | 12 | 168 | 417,5 | 382 | 680,5 | 1062,5 | 211985 | 442468 | 145910 | 588378 | 634,01 |
| 279 | 4774 | 47 | 0 | 2005 | **1** | 0 | 33 | 175 | 614 | 919,5 | 979,5 | 1899 | 301267 | 698169 | 424080 | 1122249 | 1211,70 |
| 280 | 4459 | 37 | 0 | 2012 | 0 | 0 | 6 | 140 | 518,5 | 1053 | 692,5 | 1745,5 | 341276 | 578502 | 511102 | 1089604 | 1416,63 |
| **Toolam** | **18340** | **135** | **0** | **9356** | **5** | **0** | **75** | **679** | **2023 5** | **2895** | **31715** | **6066,5** | **1107973** | **2245252** | **1282330** | **3527582** | **Ort.1014 6** |
| **Hidrolik Ekskavatör** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 2184 | 18 | 0 | 447 | 87 | 0 | 27 | 126 | 361 | 543 | 575 | 1118 | 142300 | 355750 | 189900 | 545650 | 689,43 |
| 8 | 4256 | 45 | 147 | 521,5 | 13 | 0 | 35 | 280 | 725,5 | 1247 | 1242 | 2489 | 354825 | 887063 | 434950 | 1322013 | 1650,72 |
| 10 | 959 | 32 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 178 | 364 | 383 | 747 | 115300 | 288250 | 154190 | 442440 | 559,20 |
| **Tonlam** | **7399** | **95** | **147** | **970 5** | **100** | **0** | **62** | **406** | **1264,5** | **2154** | **2200** | **4354** | **612425** | **1531063** | **779040** | **2310103** | **Ort, 966,45** |
| **Genel Toplam** | **81116** | **839** | **1666** | **16056,5** | **4134,5** | **657,5** | **484,5** | **25669** | **9426,5** | **9960,5** | **12220** | **22180,5** | **5132813** | **12307568** | **3708894** | **16016462** | **Ort.897,4** |

Burada;

SZ = Standart çalışma zamanı (saat)

TKÜ Kazıcı makinenin incelenen dönemdeki kömür üretimi (ton)

TDÜ Kazıcı makinenin incelenen dönemdeki dekapaj kazı miktarı ( ton)

Buna göre 14 nolu ekskavatör için;

$SZ_{14}$ = (110718/751,4) + (5193/1343,5)

=151,2 saat bulunur.

Bu değer 14 nolu ekskavatörün 203 saatlik fiili kullanım süresinden küçük olduğu için 14 nolu ekskavatörün verimsiz çalıştığı söylebenilir. Tüm makineler için 9 aylık bazda belirlenmiş standart zamanlar Çizelge 1'de görülmektedir.

Etkenlik hesaplamaları için gerekli bir çıktı olan planlanan üretim değerleri ise makine performans hesaplama çizelgelerinde tutulmuştur.

### 3.2 Makine Performans Göstergelerinin ve Performanslarının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında, SLİ deki kazı-yükleme ekipmanlarının performansının ölçütü olarak verim, verimlilik ve etkenlik göstergeleri dikkate alınmıştır. Bu göstergeler ise makinelerin daha önce hesaplanan makine girdi ve çıktı değerleri yardımı ile belirlenmiştir. Her bir makine için aylık bazda 9 ay boyunca verim, verimlilik ve etkenlik değerleri belirlenerek performans indeksi aşağıdaki formülasyonla hesaplanmıştır;

Performans İndeksi = Verimlilik (ton/h) x Verim(%) x Etkenlik(%)

Burada her bir makine için verimlilik değeri (ton/h) toplam (gerçekleşen) üretim değerinin kullanılabilir makine çalışma süresine, verim değeri (%) makine çalışma süresinin kullanılabilir makine süresine, etkenlik değeri (%) ise gerçekleşen üretim değerinin planlanan üretime bölünmesi ile belirlenmiştir. İşletmenin 2004 yılı ilk 9 ayına ait planlama verileri Çizelge 2 de sunulmuş olup, hem kömür hem de dekapaj için yapılacak üretimin % 66,7 sinin halatlı ekskavatörlerle, % 20,6 sının yükleyicilerle, % 12,7 sinin ise hidrolik ekskavatörle yapılacağı öngörülmüştür. Bu oranlar belirlenirken makine cinslerinin saatlik kapasitesi ve sayısı dikkate alınmıştır. Bu göstergelerle beraber incelenen makine veya döneme ait standart kapasite (verimlilik) ve standart perfonnans değerleri de belirlenmiştir. Bu değerler daha önce belirtildiği gibi hesaplanan verimlilik ve performans değerlerinin ne kadar iyi olduğunu konusunda fikir veren referans değerlerdir.

Çizelge 2 2004 yılı 9 aylık planlama verileri

| AYLAR | DEKAPAJ | | KÖMÜR |
|---|---|---|---|
| | PROĞRAM (mı) | PROGRAM (Ton) | PROĞRAM (ton) |
| Ocak | 200000 | 500000 | 525000 |
| Şubat | 200000 | 500000 | 377000 |
| Mart | 200000 | 500000 | 403000 |
| Nisan | 600000 | 1500000 | 233000 |
| Mayıs | 750000 | 1875000 | 139000 |
| Haziran | 850000 | 2125000 | 315000 |
| Temmuz | 800000 | 2000000 | 473000 |
| Ağustos | 800000 | 2000000 | 475000 |
| Eylül | 750000 | 1875000 | 395000 |
| **2004-9 aylık TOPLAM** | **5150000** | **12875000** | **3335000** |

#### *3.2.1 Halatlôekskavatsrlerin performaısô*

12 adet halatlı ekskavatörün her biri için, ocak ayından eylül ayına kadar aylık bazda belirlenmiş olan performans göstergeleri (Verimlilik, verim, etkenlik) ve performans indeksinin hesaplanışı ocak ayı örnek alınarak Çizelge 3 de sunulmuştur. Bu aylık bazdaki çalışma ocak ayından eylül ayına kadar makine gruplarındaki her bir makine için yapılmıştır. Çizelge 3 deki 14 nolu halatlı ekskavatör dikkate alınacak olursa; Verimlilik değeri; toplam üretim değerinin (42732 ton) fiili üretim süresine (78 saat) bölünmesiyle 547,8 t/h olarak, verim değeri fiili çalışına süresinin (78 h) kullanılabilir makine süresine (525 h) bölünmesiyle % 14,6 olarak bulunmuştur. Etkenlik değeri ise kömür ve dekapaj ıçın gerçekleşen üretimlerin ayrı ayrı kömür ve dekapaj için planlanan üretimlere bölünüp ortalamasının alınması ile bulunmuştur. Yani;

Etkenlik (ocak,!4 nolu eks.) = ((42732 / 29222,2) + (O/ 27830,7)) / 2 = % 73,1 dir.

Çalışmadaki tüm etkenlik değerleri bu yaklaşımla belirlenmiştir. Burada ekskavatör başına planlanan üretimler, işletmenin 2004 yılı için aylık bazda yapmış olduğu senelik üretim planlamasına bağlı olarak bulunmuştur. Verim verimlilik ve etkenlik değerlerinin çarpımı ile belirlenmiş olan performans değeri ise 14 nolu ekskavatör için 58,4 t/s bulunmuştur. Hesaplanan bu değerlerin grafik gösterimi ise Şekil l 'deki gibidir.

Her bir halatlı ekskavatörün Ocak ayı çalışması değerlendirilecek olursa, verimliliği en yüksek olan ekskavatör 30 nolu, verimi en yüksek olan ekskavatör 22 nolu, etkenliği en yüksek olan ekskavatör 24 nolu, performansı en yüksek ekskavatör ise 24 nolu ekskavatördür. Tüm halatlı ekskavatörlerin Ocak ayı çalışması dikkate alındığında ise verimlilik, verim, etkenlik ve performans değerleri sırasıyla 446 t/h, %18,1, % 74,5 ve 59,8 t/h dir. Bu sonuçlara bakıldığında verim değerinin oldukça düşük gerçekleştiği, etkenliğin ise düşük olmamakla beraber tatmin edici olmadığı söylenebilir. Verimliliği yorumlamada gerekli olan halatlı ekskavatör Ocak ayı standart kapasitesi 881 t/h olup, aşağıdaki gibi bulunmuştur. Bu kapasite kömür ve dekapajda ki fiili çalışma saatlerine (893,9 h ve 252,1 h) ağırlıklı olarak hesaplanmalıdır.

Standart kapasite (ocak, hal.eks.ler) = (751,4 x 893,9 + 1343,2 x 252,1) / 1146 = 881 t/h dir.

Bu değer dikkate alındığında ocak ayı verimliliğinin (446 t/h) makul şartlara göre yarı yarıya düşük olduğu görülür. Performansı değerlendirmede kullanılacak standart performans değeri ise verim ve etkenlik değerlerinin ideal şartlarda % 80 ve % 100 olacağı göz önüne alınarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Standart performans (ocak, lıal.eks.ler) = 881 x 0,80 x 1 = 704,8 t/h

Ocak ayındaki 59,8 t/h lik performans değerinin bu değer (704,8 t/h) dikkate alındığında oldukça düşük bir performans olduğu görülmektedir.

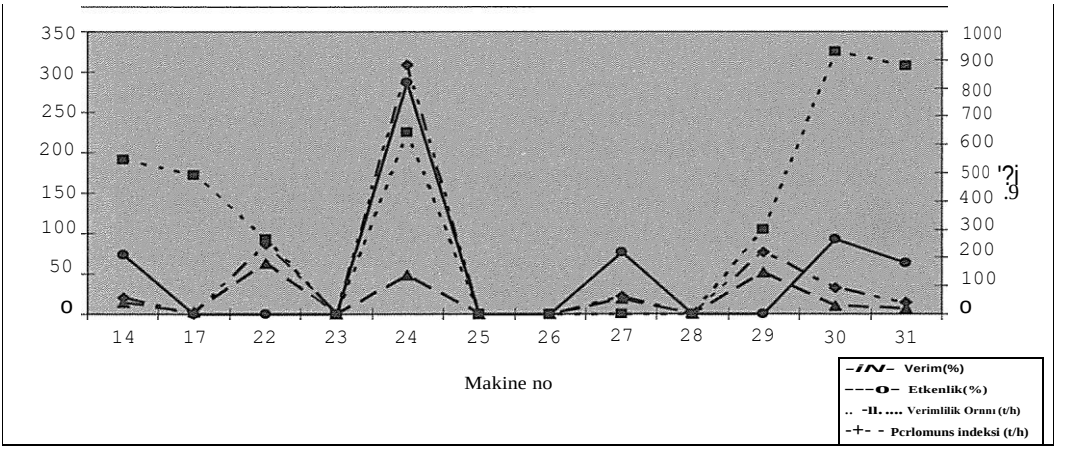
12 adet halatlı ekskavatörün her biri için, 9 ay toplamında hesaplanan verim verimlilik, etkenlik ve performans indeksi değerleri Çizelge 4'te, bu değerlerin grafik görünümü ise Şekil 2' de verilmiştir. Çizelge 4 ve Şekil 2'de görüldüğü gibi, verimliliği en yüksek olan ekskavatör 28 nolu, verimi en yüksek olan ekskavatör 22 nolu, etkenliği en yüksek olan ekskavatör yine 22 nolu, performansı en yüksek ekskavatör ise 31 nolu ekskavatördür. Tüm halatlı ekskavatörlerin 9 aylık çalışması dikkate alındığında ise verimlilik, verim, etkenlik ve performans değerleri sırasıyla 865,5 t/h, % 21,2, % 86,1 ve 156,3 t/h'dir. Bu sonuçlara bakıldığında verim değerinin oldukça düşük gerçekleştiği, etkenliğin ise yeterli olduğu söylenebilir. Burada Çizelge 1'deki veriler dikkate alınırsa verim değerinin düşük olmasında en temel etkenler ağırlık sırasına göre; yedek bekleme (%56), elektrik ve mekanik arıza (%23) ve işletme kayıplarıdır (%14). Halatlı ekskavatörlerin 9 aylık standart kapasitesinin 4911,5 h kömür, 6848,5 h dekapaj kazısı için 1096 t/h hesaplandığı göz önüne alınırsa, 9 aylık verimlilik (865,5 t/h) değeri, bu değerden yani makul %25 düşük gerçekleşmiştir. 9 aylık standart performans değeri ise 876,8 t/h (1096 t/h x 0,80 x 1) bulunmuş olup, 156,3 t/h lik performans değeri bu değerden oldukça düşüktür.

Tüm Halatlı ekskavatörlerin aylık bazda (Ocaktan Eylüle) verim, verimlilik, etkenlik ve performans değerleri Çizelge 5'de grafik görünümü ise Şekil 3'deki gibidir. Çizelge 5 ve Şekil 3'de görüldüğü gibi, verimliliği en yüksek olan ay Mayıs ayı olup bu aydaki verimlilik (1183,2 t/h), standart kapasiteden (1096 t/h) yüksek yani oldukça tatmin edicidir. Ancak Mayıs ayı dışında hiçbir ayda standart kapasitenin üstüne çıkılamamıştır. Bununla berber yaz aylarında verimliliğin yükseldiği de görülmektedir.

Çizelge 3 Halatlı ekskavatörlerin 2004 Ocak ayı performans göstergeleri ve performans hesaplamaları

| | | Boş **Makine Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine Duruş Süresi /saat)** | **Fiili çalışma Süresi (saat)** | Kömür **Üretimi (ton)** | Dekapaj **Kazısı (ton)** | T,oplam **Urctim** (Kömür+ **dekapaj) (ton)** | **Kömür Planlanan Üretim (ton)** | Dekapaj **Planlanan Üretim (ton)** | **Verimlilik Oranı (saat/saat, %)** | **Verim Oranı (ton/saat)** | **Etkenlik (ton/ton, %)** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 525 | 447 | 78 | 42732 | 0 | 42732 | 29222,3 | 27830,7 | 547,8 | 14,6 | 73,1 | 58,4 |
| 17 | 525 | 509,5 | 15,5 | 7628 | 0 | 7628 | 29222,3 | 27830,7 | 492,1 | 2,95 | 13 | 1,8 |
| 22 | 525 | 195,5 | 329,5 | 87084 | 0 | 87084 | 29222,3 | 27830,7 | 264,2 | 62,7 | 149 | 246,8 |
| 23 | 525 | 525 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29222,3 | 27830,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 525 | 273,5 | 251,5 | 27700 | 133500 | 161200 | 29222,3 | 27830,7 | 640,9 | 47,9 | 287,2 | 881,6 |
| 25 | 525 | 525 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29222,3 | 27830,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 525 | 525 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29222,3 | 27830,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 525 | 422,5 | 102,5 | 44490 | 0 | 44490 | 29222,3 | 27830,7 | 434 | 19,5 | 76,1 | 64,4 |
| 28 | 525 | 525 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29222,3 | 27830,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 525 | 251,5 | 273,5 | 81860 | 0 | 81860 | 29222,3 | 27830,7 | 299,3 | 52,1 | 140 | 218,3 |
| 30 | 525 | 469,5 | 55,5 | 1250 | 50375 | 51625 | 29222,3 | 27830,7 | 930,1 | 10,5 | 92,6 | 90,4 |
| 31 | 525 | 485 | 40 | 0 | 35125 | 35125 | 29222,3 | 27830,7 | 878,1 | 7,6 | 63,1 | 41,1 |
| | 6300 | 5154 | 1146 | 292744 | 219000 | 511744 | 350667,6 | 333968,4 | 446,5 | 18,1 | 74,5 | 59,8 |

* Standart kapasite: 881 t/h; **Standart performans: 704,8 t/h

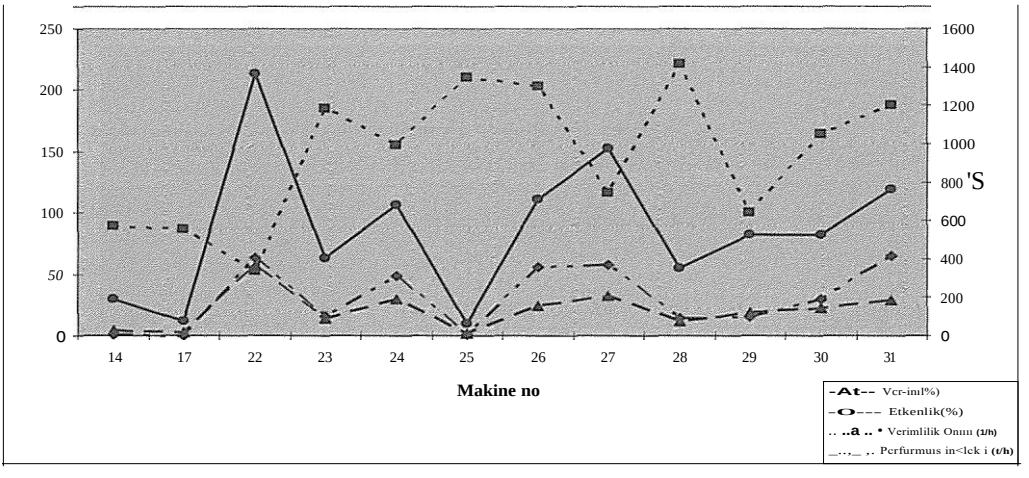



Şekil 1 Halatlı ekskavatörlerin 2004 Ocak ayı performans göstergeleri ve performansı

Çizelge 4 Halatlı ekskavatörlerin 2004 ilk (Ocak -Eylül) 9 aylık toplamda performans göstergeleri ve performans hesaplamaları

| | | Boş **Makine Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine Duruş Süresi** (saat) | **Fiili çalışma Süresi** (saat) | **Kömür Üretimi** (ton) | Dckapaj **Kazısı** (ton) | **Toplam Üretim** (Kömür+ dekapaj) (ton) | **Kömür Planlanan Üretim (ton)** | Dckapaj **Planlanan Üretim (ton)** | **Verimlilik Oranı (ton/ saat)** | **Verim Oranı (saat/saat,** %) | Etkenlik **(ton/ton,%** ) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 4746 | 4543 | 203 | l 10718 | 5193 | 115911 | 186744.5 | 716642.6 | 570.9 | 4.28 | 30 | 7.3 |
| 17 | 3108 | 3030,5 | 77,5 | 43184 | 0 | 43184 | 186744.5 | 716642.6 | 557.2 | 2.49 | 11.5 | 1.5 |
| 22 | 4746 | 2054 | 2692 | 757092 | 148989 | 906081 | 186744.5 | 716642.6 | 336.5 | 56.73 | 213.1 | 406.8 |
| 23 | 4746 | 4113 | 633 | 54820 | 695822 | 750642 | 186744.5 | 716642.6 | 1185.8 | 13.34 | 63.2 | 99.9 |
| 24 | 4746 | 3347 | 1399 | 47300 | 1345652 | 1392952 | 186744.5 | 716642.6 | 995.5 | 29.48 | 106.5 | 312.5 |
| 25 | 4746 | 4641,5 | 104,5 | 200 | 140431 | 140631 | 186744.5 | 716642.6 | 1345.7 | 2.20 | 9.8 | 2.9 |
| 26 | 4746 | 3575,5 | 1170,5 | 23330 | 1499744 | 1523074 | 186744.5 | 716642.6 | 1301.2 | 24.66 | 110.8 | 355.5 |
| 27 | 4809 | 3231,5 | 1577.5 | 356590 | 812461 | 1169051 | 186744.5 | 716642.6 | 745.8 | 32.81 | 152.1 | 369.7 |
| 28 | 4746 | 4186 | 560 | 0 | 791351 | 791351 | 186744.5 | 716642.6 | 1413.1 | 11.80 | 55.2 | 92 |
| 29 | 4746 | 3839,5 | 906,5 | 211660 | 369751 | 581411 | 186744.5 | 716642.6 | 641.3 | 19.10 | 82.4 | 100.9 |
| 30 | 4746 | 3691 | 1055 | 25210 | l081877 | 1107087 | 186744.5 | 716642.6 | 1049.3 | 22.23 | 82.2 | 191.7 |
| 31 | 4746 | 3364,5 | 1381,5 | 17420 | 1639982 | 1657402 | 186744.5 | 716642.6 | 1199.7 | 29.11 | 119 | 415.6 |
| | 55377 | 43617 | 11760 | 1647524 | 8531253 | 10178777 | 2240934.9 | 8599712.1 | 865.5 | 21.2 | 86.1 | 156.3 |

* Standart kapasite: 1096 t/h, **Standaı1 performans: 876.8 t/h

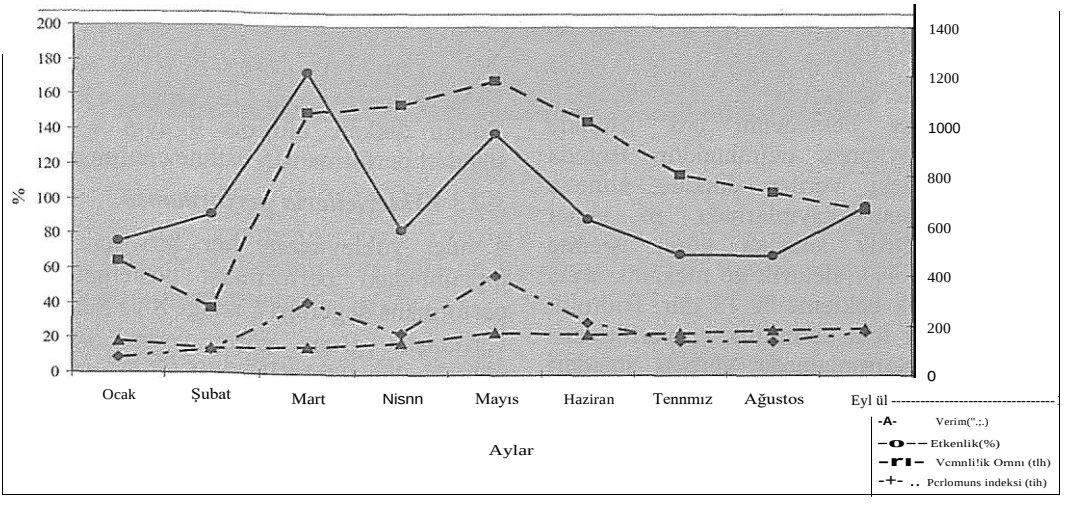



Şekil 2 Halatlı ekskavatörlerin 2004 ün ilk (Ocak -Eylül) 9 aylık toplamında performans göstergeleri ve performansı

Çizelge 5 Tüm Halatlı ekskavatörlerin 2004 aylık bazda (Ocaktan Eylüle) performans göstergeleri ve perfoımans hesaplamaları

| .S | | Boş Makine Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine Duruş Süresi (saat) | Fiili çalışma Süresi (saat) | Kömür Üretimi (ton) | Dckapaj Kazısı (ton) | Toplam Üretim (Kömür+ dckapaj) (ton) | Kömür Planlanan Üretim (ton) | Dckapaj Planlanan Üretim (ton) | Verimlilik Oranı (ton/ saat) | Verim Oranı (saat/ saat,%) | Etkenlik (ton/ton, %) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocak | 6300 | 5154 | 1146 | 292744 | 219000 | 511744 | 346500 | 330000 | 446.5 | 18.2 | 75.4 | 61.2 |
| Şubat | 5292 | 4558 | 734 | 112252 | 449893 | 562145 | 248820 | 330000 | 765.8 | 13.8 | 90.8 | 95.5 |
| Mart | 6804 | 5730 | 1074 | 78120 | 1050413 | 1128533 | 265980 | 330000 | 1050.2 | 15.8 | 173 | 286.8 |
| Nisan | 6048 | 4939 | 1109 | 97446 | 1106423 | 1203869 | 153780 | 990000 | 1085.5 | 18.3 | 83.1 | 165.2 |
| Mayıs | 6300 | 4766 | 1534 | 132960 | 1682128 | 1815088 | 91740 | 1237500 | 1183.2 | 24.3 | 139 | 398.8 |
| Haziran | 6552 | 5025 | 1527 | 169064 | 1386298 | 1555362 | 207900 | 1402500 | 1018.4 | 23.3 | 89.3 | 211.2 |
| Tem-muz | 6237 | 4736 | 1501 | 194556 | 1018762 | 1213318 | 312180 | 1320000 | 808 | 24.1 | 69.3 | 134.7 |
| Ağustos | 5775 | 4272 | 1503 | 213486 | 893893 | 1107379 | 313500 | 1320000 | 736.2 | 26 | 68.5 | 135.6 |
| Eyi.il! | 6069 | 4437 | 1632 | 356896 | 724443 | 1081339 | 260700 | 1237500 | 662.6 | 26.9 | 97.2 | 172.8 |
| °25 °_g | 55377 | 43617 | 11760 | 1647524 | 8531253 | 10178777 | 2240934.9 | 8599712 | 865.2 | 21.2 | 86.1 | 156.3 |

Standart kapasite: l 096 t/h, ** Standart pcrfonnans: 876,8 t/lı




Şekil 3. Tüm Halatlı ekskavatörlerin 2004 aylık bazda (Ocaktan Eylüle) performans göstergeleri ve performansı

Verimi en yüksek olan ay % 26,9 ile eylül ayıdır. Yine yaz ve sonbahar aylarında verim değerinin yükseldiği gözlenmesine rağmen, tüm aylarda verim değerlerinin oldukça düşük olduğu da bir gerçektir. Etkenliği en yüksek olan ay ise Mart ayı olup, 9 ayın altı ayında etkenlik değeri % 80'nin üstünde çıkmıştır. En yüksek performans elde edilen ilk 3 ay ise sırası ile Mayıs (398,8 t/h), Mart (286,8 t/h) ve Hazirandır (211,2 t/h). Ancak standart performans değerinin 876,8 t/h olduğu dikkate alınırsa çalışılan tüm aylarda oldukça düşük performansta çalışılmıştır.

### *3.2.2 Hidrolik Ekskavatsrlerin Perforuauso*

3 adet hidrolik ekskavatörlerin her biri için 9 ay toplamındaki performans göstergeleri ve performans değerleri Çizelge 6 ve Şekil 4'de verilmiştir. Buna göre; verim ve verimlilik oranı en yüksek olan ekskavatör **1**O nolu ekskavatör, etkenlik ve performans değeri en yüksek olan ekskavatör 8 nolu ekskavatördür. Bütün hidrolik ekskavatörlerin 9 aylık toplam değerleri incelendiğinde; verimlilik, verim, etkenlik ve performans değerleri sırasıyla 530,7 t/h, % 58,8, % 139, 434 t/h <lir. Bu sonuçlara bakıldığında verim değerinin ideal şartlara göre orta derecede ve % 139 etkenlik değerinin ise beklenenin çok üstünde olduğunu söylemek mümkündür. Burada Çizelge 1'deki veriler dikkate alınırsa makine zaman kayıplarında en temel etkenler, ağırlık sırasına göre; işletme kayıpları (% 41), elektrik ve mekanik arıza (% 35) yedek bekleme % 13 dür. Hidrolik ekskavatörler için verimlilik ve performans değerlerini yorumlamada gerekli standart kapasite ve standart performans değerleri kömür ve kildeki çalışma saatlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Standart kapasite $_{(9a_y\ \ hidrolik)}$ = [(564,04 x 2154) + (1008,5 x 2200)] / 4354 = 788,61 t/h

Standart performans $_{(9ay\text{-}hidroiik)}$ = 788,61 x 0.80 x 1 = 630,88 t/h

Hidrolik ekskavatörlerin standart kapasitesinin 788,61 t/h hesaplandığı göz önüne alınırsa, 9 aylık verimlilik (530,7 t/h) çieğeri, bu değerden yani makul seviyeden % 32 düşük gerçekleşmiştir. 9 aylık standart performans değerine göre ise, 438,6 t/h lik performans değerinin orta derecede tatmin edici olduğu söylenebilir.

Tüm hidrolik ekskavatörlerin aylık bazda (Ocaktan Eylüle) verim, verimlilik, etkenlik ve performans değerleri Çizelge 7' de grafik görünümü ise Şekil 5'deki gibidir. Görüldüğü gibi, verimliliği en yüksek olan ay Mayıs ayı olup bu aydaki verimlilik (584,08 t/h), standart kapasiteden (788,6 t/h) düşüktür. Bununla beraber hiçbir ayda standart kapasitenin üstüne çıkılamamıştır. Yaz aylarında verimliliğin bir miktar yükseldiği de görülmektedir. Verimi en yüksek olan ay % 76,5 ile haziran ayıdır ki bu değer tatmin edicidir. Yine yaz ve sonbahar aylarında verim değerinin yükseldiği gözlenmesine rağmen, tüm aylarda verim değerlerinin çok düşük olmamakla birlikte standart değerden düşük olduğu görülmektedir. Etkenliği en yüksek olan ay ise Mart ayı(% 218) olup, 9 ayın 8 ayında etkenlik değeri % 100 ün üstünde çıkmıştır. En yüksek performans elde edilen ilk 3 ay ise sırası ile Eylül (722,8 t/h), Mayıs (697,8 t/h) ve Ağustos (687,3 t/h) aylarıdır. Standart performans değerinin 630,8 t/h olduğu dikkate alınırsa 9 ayın 4 ayında standart performansın üstüne çıkılmıştır.

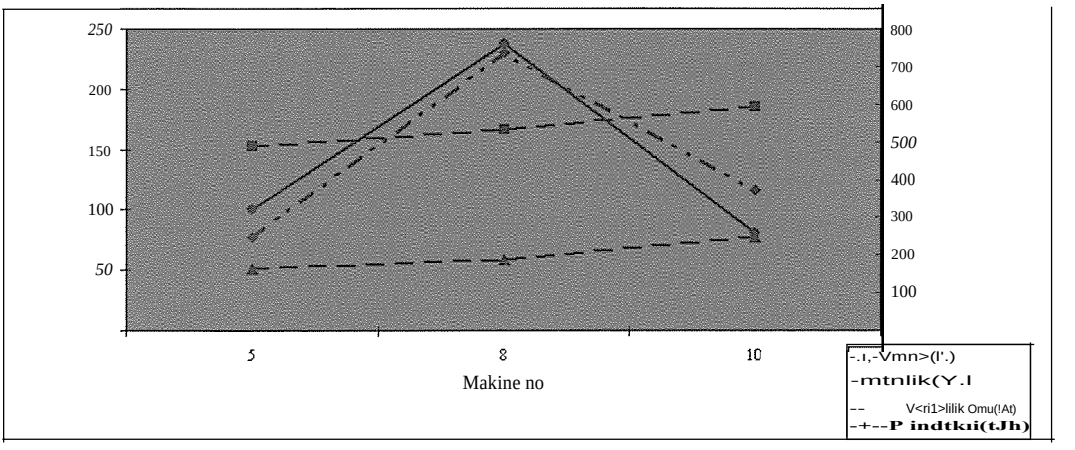
### *3.2.3 YYkleyicileriu performanso*

4 adet yükleyicinin her biri için 9 ay toplamındaki performans göstergeleri ve performans değerleri Çizelge 8 ve Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre; verim oranı en yüksek olan yükleyici 279 no lu yükleyici, verimlilik, etkenlik ve performans değeri en yüksek olan yükleyici ise 280 no lu yükleyicidir. Bütün yükleyicilerin 9 aylık toplam değerleri incelendiğinde; verimlilik, verim, etkenlik ve performans değerleri sırasıyla 581,4 t/h, % 33,07, % 135,1, 259,9 t/h' <lir. Bu sonuçlara bakıldığında verim değerinin ideal şartlara göre düşük, etkenlik değerinin ise beklenenin çok üstünde olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 6 Hidrolik ekskavatörlerin 2004 ün ilk (Ocak -Eylül) 9 aylık toplamında performans göstergeleri ve performans hesaplamaları

| | | Boş Makine Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine Duruş Süresi (saat) | **Fiili çalışma Süresi** (saat) | Kömür **Üretimi** (ton) | Dckapaj **Kazısı** (ton) | Toplam **Üretim** (Kömür+ dckapaj) (ton) | **Kömür Planlanan Üretim** (ton) | Dckapaj **Planlanan Üretim** (ton) | **Verimlilik Oranı** (ton/saat) | **Verim Oranı (saat/saat, %)** | Etkenlik (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2184 | 1066 | 1118 | 189900 | 355751 | 545651 | 139344.5 | 545041.6 | 488 | 51.2 | 100 | 248.9 |
| 8 | 4256 | 1767 | 2489 | 434950 | 887064 | 1322014 | 139344.5 | 545041.6 | 531.1 | 58.4 | 237 | 735.1 |
| 10 | 959 | 212 | 747 | 154190 | 288250 | 442440 | 139344.5 | 545041.6 | 592.3 | 77.8 | 81 | 373.1 |
| | 7399 | 3045 | 4354 | 779040 | 1531065 | 2310105 | 418032 | 1630168 | 530.5 | 58.8 | 139 | 434.3 |

Standart kapasite: 788.6 t/h, •• Standart performans: 630.8 t/h




Şekil 4 Hidrolik ekskavatörlerin 2004 ün ilk (Ocak -Eylül) 9 aylık toplamda performans göstergeleri ve performansı

Burada Çizelge 1'deki veriler dikkate alınırsa makine zaman kayıplarında en temel etkenler, ağırlık sırasına göre; mekanik arıza (% 76) ve işletme kayıpları(% 16)'dır.

Yükleyicilerin standart kapasite ve standart performans değerleri kömür ve kildeki çalışma saatlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Standart kapasite (9ay-yükleyici) = (697,63 x 2895 + 1247,36 x 3171,5) / 6066,5 = 985,02 t/h

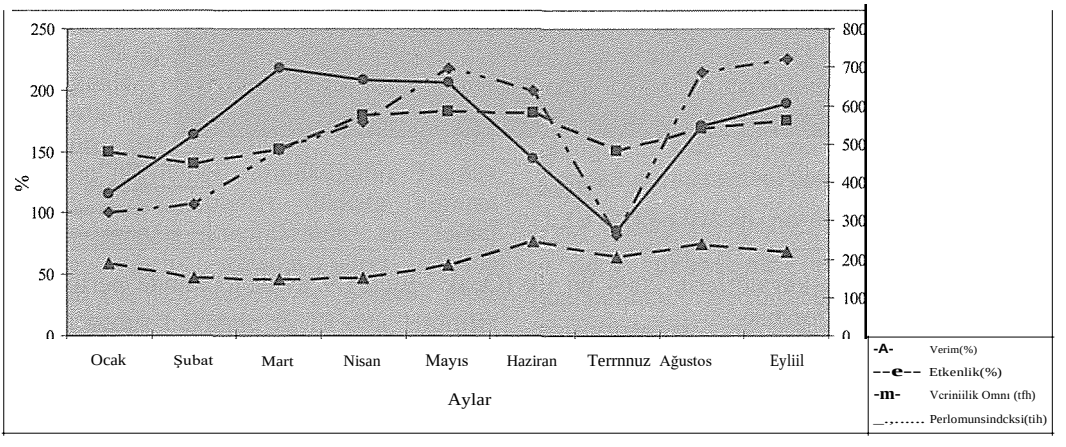
Standart performans (9ay-yükleyici) = 985,02 x 0,80 x 1 = 788,01

Bu değerler dikkate alındığında ideal şartlara göre verimlilik değeri % 45 ve performans değeri ise % 60 düşük gerçekleşmiştir. Bu değerlerin tatmin edici olmadığı söylenebilir.

Çizelge 7 Tüm Hidrolik ekskavatörlerin 2004 aylık bazda (Ocaktan Eylüle) performans göstergeleri ve performans hesaplamaları

| | | Boş Makine Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine Duruş Süresi (saat) | Fiili çalışma Süresi (saat) | Kömür Üretimi (ton) | Dekapaj Kazısl (ton) | Toplam Üretim (Kömür+ dekapaj) (ton) | Planlanan Üretim Kömür (ton) | Planlanan Üretim Dekapaj (ton) | Verimlilik Oranı (ton/saat) | Verim Oranı (saat/saat,%) | Etkenlik (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocak | 525 | 218 | 307 | 31020 | 115500 | 146520 | 65807.3 | 62673.6 | 477.2 | 58.4 | 115.9 | 323 |
| Şubat | 882 | 467.5 | 414.5 | 59830 | 125313 | 185143 | 47255.9 | 62673.6 | 446.6 | 46.9 | 163.2 | 341.8 |
| Mart | 1134 | 613 | 521 | 87660 | 164625 | 252285 | 50514.9 | 62673.6 | 484.2 | 45.9 | 218.1 | 484.7 |
| Nisan | 1008 | 536.5 | 471.5 | 94240 | 176313 | 270553 | 29205.9 | 188020.9 | 573.8 | 46.7 | 208.2 | 557.9 |
| Mayıs | 672 | 282 | 390 | 59670 | 168125 | 227795 | 17423.2 | 238125.2 | 584 | 58 | 206 | 697.8 |
| Haziran | 546 | 128 | 418 | 91900 | 151188 | 243088 | 39484.4 | 269875 | 581.5 | 76.5 | 144 | 640.6 |
| Temmuz | 567 | 202.5 | 364.5 | 78690 | 97313 | 176003 | 59289.3 | 254000 | 482.8 | 64.2 | 85 | 263.4 |
| Ağustos | 938 | 240 | 698 | 151840 | 225313 | 377153 | 59540 | 254000 | 540.3 | 74.4 | 171 | 687.3 |
| Eyl,ül | 1127 | 357.5 | 769.5 | 124190 | 307375 | 431565 | 49512.2 | 238125 | 560.8 | 68.2 | 189 | 722.8 |
| 9 ay bazında | 7399 | 3045 | 4354 | 779040 | 1531065 | 2310105 | 418032 | 1630168 | 530.5 | 58.9 | 139 | 434.3 |

Standart kapasite: 788.6 t/h, Standart performans: 630.8 t/h

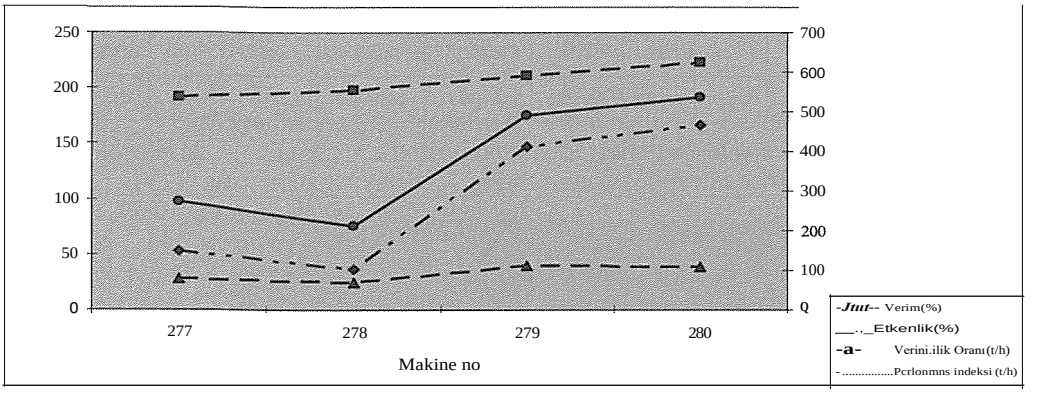



Şekil 5 Tüm Hidrolik ekskavatörlerin 2004 aylık bazda (Ocaktan Eylüle) performans göstergeleri ve performansı

Çizelge 8 Yükleyicilerin 2004 ün ilk (Ocak -Eylül) 9 aylık toplamında performans göstergeleri ve performans hesaplamaları

| | | Boş Makine **Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine** Duruş Süresi (saat) | **Fiili çalışma Süresi** (saat) | **Kömür Üretimi** (ton) | Dekapaj **Kazısı** (ton) | Toplam Üretim (Kömür+ dekapaj) (ton) | **Kömür Planlanan Üretim** (ton) | Dekapaj **Planlanan Üretim** (ton) | **Verimlilik Oranı** (ton/saat) | **Verim Oranı** (saat/saat, %) | Etkenlik (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 277 | 4781 | 3421.5 | 1359.5 | 201238 | 526113 | 727351 | 172347.5 | 6653 I0.2 | 535 | 28.4 | 97.9 | 148.7 |
| 278 | 4326 | 3263.5 | 1062.5 | 1459!0 | 442468 | 588378 | 172347.5 | 6653 I0.2 | 553.7 | 24.5 | 75.5 | !02.4 |
| 279 | 4774 | 2875 | 1899 | 424080 | 698169 | 1122249 | 172347.5 | 6653I0.2 | 590.9 | 39.7 | 175.4 | 411.5 |
| 280 | 4459 | 2713.5 | 1745.5 | 511!02 | 578502 | 1089604 | 172347.5 | 665310.2 | 624.2 | 39.1 | 191.7 | 467.8 |
| | 18340 | 12273.5 | 6066,5 | 1282330 | 2245252 | 3527582 | 689390.3 | 2661440.9 | 581.4 | 33.1 | 135.2 | 259.9 |

• Standart kapasite: 985 t/h , ** Standart performans: 788 t/h



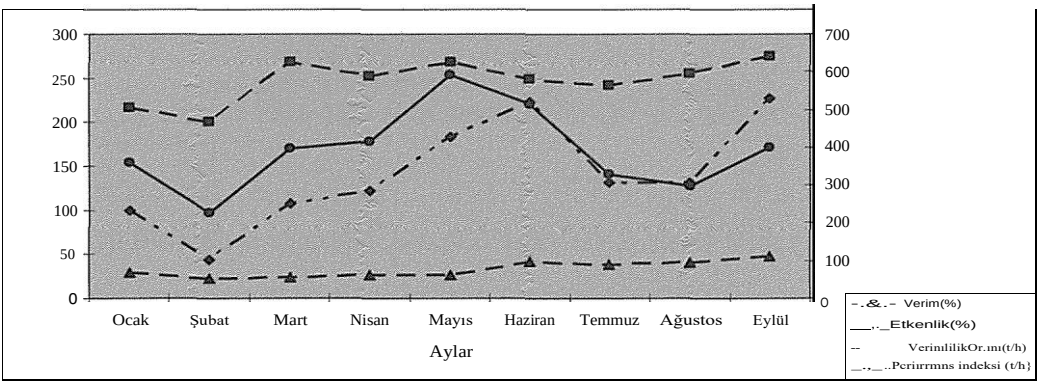

Şekil 6 Yükleyicilerin 2004 ün ilk (Ocak -Eylül) 9 aylık toplamda performans göstergeleri ve performansı

Tüm yükleyicilerin aylık bazda (Ocaktan Eylüle) verim, verimlilik, etkenlik ve performans değerleri Çizelge 8'de grafik gorunumü ise Şekil 6'daki gibidir. Görüldüğü gibi, verimliliği en yüksek olan ay Eylül ayı olup bu aydaki verimlilik (642,8 t/h), standart kapasiteden (985,02 t/h) düşüktür. Bununla beraber hiçbir ayda standart kapasitenin üstüne çıkılamamıştır. Yaz aylarında verimliliğin bir miktar yükseldiği de görülmektedir. Verimi en yüksek olan ay % 48,5 ile Eylül ayıdır ki bu değerde standart değere göre düşüktür. Bununla beraber tüm aylarda verim değeri standart değerden (% 80) düşük gerçekleşmiştir. Etkenliği en yüksek olan ay ise Mayıs ayı (% 253,3) olup, 9 ayın 8 ayında etkenlik değeri % l00'ün üstünde çıkmıştır. En yüksek performans elde edilenilk 3 ay ise sırası ile Eylül (529,3 t/h), Haziran (520,9 t/h) ve Mayıs (426,6 t/h) aylarıdır, Standart performans değerinin 788,01 t/h olduğu dikkate alınırsa hiçbir ayda standart performansın üstüne çıkılamamıştı

Çizelge 9 Tüm yükleyicilerin 2004 aylık bazda (Ocaktan Eylüle) performans göstergeleri ve performans hesaplamaları

| | | Boş Makine Süresi+ Makine Hazırlık Süresi +Makine Duruş Süresi /saat) | Fiili çalışma Süresi (saat) | Kömür Üretimi (ton) | Dekapaj Kazısı (ton) | Toplam Üretim (Kömür+ dekapaj) (ton) | Kömür Planlanan Üretim (ton) | Dekapaj Planlanan Üretim (ton) | Verimlilik Oranı (ton/ saat) | Verim Oranı (saat/saat,%) | Etkenlik (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ocak | 2142 | 1502.5 | 639.5 | 72892 | 248983 | 321875 | 108524.7 | 103356.9 | 503.3 | 29.8 | 154 | 231 |
| Şubat | 1792 | 1385 | 407 | 34438 | 155585 | 190023 | 77931.1 | 103356.9 | 466.8 | 22.7 | 97.3 | 103.1 |
| **Mart** | 2289 | 1748 | 541 | 50084 | 287965 | 338049 | 83305.6 | 103356.9 | 624.8 | 23.6 | 169.3 | 249.7 |
| Nisan | 2016 | 1468 | 548 | 144134 | 177698 | 321832 | 48164.2 | 310070.7 | 587.2 | 27.1 | 178.2 | 283.7 |
| Mayıs | 2100 | 1535 | 565 | 128924 | 224793 | 353717 | 28733.2 | 387588.4 | 626 | 26.9 | 253.3 | 426.6 |
| Haziran | 2184 | 1287 | 897 | 245918 | 272477 | 518395 | 65114.8 | 439266.9 | 577.9 | 41 | 219.8 | 520.9 |
| Temmuz | 2268 | 1386.5 | 881,5 | 207330 | 288958 | 496288 | 97775.6 | 413427.6 | 563 | 38.8 | 140.9 | 307.9 |
| Ağustos | 1652 | 981 | 671 | 202780 | 195880 | 398660 | 98189 | 413427.6 | 594 | 40.6 | 126.9 | 306.1 |
| Eyl,ül | 1897 | 980.5 | 916.5 | 195830 | 392913 | 588743 | 81651.9 | 387588.4 | 642.3 | 48,3 | 170.6 | 529.3 |
| 9ay bazında | 18340 | 12273.5 | 6066.5 | 1282330 | 2245252 | 3527582 | 689390.3 | 2661440.9 | 581.4 | 33.1 | 135.1 | 259.9 |

* Standart kapasite: 985 t/h , •• Standart perfonnans: 788 t/h




Şekil 7 Tüm yükleyicilerin 2004 yılı aylık bazda (Ocaktan Eylüle) performans göstergeleri ve performansı

## 4 GENEL DEGERLENDIRME

Halatlı ekskavatörlerin çalışması değerlendirilecek olursa; performans değerleri (156,3 t/h) makul şartlara göre yaklaşık %80 oranında düşüktür ve performansı belirleyen tüm göstergeler yine makul seviyelerinin altındadır. Ancak bu düşüklükte en etkin sebep verimin (%21,2) oldukça düşük gerçekleşmesidir. Verimlilik (865 t/h) makul seviyeye göre yeterli olmamakla beraber verim değerlerine göre nispeten çok daha tatmin edicidir. En tatmin edici gösterge ise etkenlik göstergesi olup (%86), bu göstergenin de bir miktar daha iyileşmesi gerekmektedir. Halatlı ekskavatörler için aylık bazda verimliliği en yüksek ay Mayıs, verimi en yüksek ay Eylül, etkenliği en yüksek ay Mart, perfonnansı en yüksek ay Mayıs ayıdır. Bu aylardaki verimlilik ve etkenlik değerleri standart değerlerden yüksek, verim ve performans değerleri standart seviyeden düşüktür.

Hidrolik ekskavatörlerin çalışması değerlendirilecek olursa; performans değerleri (434 t/h) makul şartlara göre yaklaşık %30 oranında düşük olup etkenlik dışındaki performansı belirleyen diğer göstergeler makul seviyelerinin çok altında gerçekleşmiştir. Performans değerinin düşüklüğünde birinci derecede etili göstergeler verim ve verimlilik göstergeleridir. Bununla beraber her iki gösterge makul seviyeye göre yeterli olmamakla beraber orta derecede tatmin edicidir. En tatmin edici gösterge ise etkenlik göstergesi olup (%139), bu gösterge beklenenin üstünde gerçekleşmiştir. Hidrolik ekskavatörler için aylık bazda verimliliği en yüksek ay Mayıs, verimi en yüksek ay Haziran, etkenliği en yüksek ay Mart, performansı en yüksek ay Eylül ayıdır. Bu aylardaki etkenlik değerleri standart değerden yüksek, performans değeri standart seviyeden düşük, verim değeri ise standart seviyededir.

Yükleyicilerin çalışması değerlendirilecek olursa; performans değeri (259,9 t/h) makul şartlara göre düşük olup etkenlik dışındaki performansı belirleyen diğer göstergeler makul seviyelerinin altında gerçekleşmiştir. Yükleyicilerin performansının düşüklüğünde verim göstergesi birinci derecede etkili olmuştur, Bununla beraber verimlilik değeri de beklenenin altında gerçekleşmiştir. En tatmin edici gösterge ise etkenlik göstergesi olup (%140), bu gösterge beklenenin üstünde gerçekleşmiştir. Yükleyiciler için aylık bazda verimliliği en yüksek ay Eylül, verimi en yüksek ay Eylül, etkenliği en yüksek ay Mayıs, performansı en yüksek ay Eylül ayıdır. Bu aylardaki etkenlik değeri standart değerlerden yüksek, verimlilik, verim ve performans değerleri standart seviyeden düşüktür.

Yukarıdaki veriler dikkate alındığında performans düşüklüğünde makine tiplerine göre en etkin göstergeler sırasıyla; halatlı ekskavatörler için verim ve verimlilik, hidrolik ekskavatörler için verimlilik ve verim, yükleyiciler için verim ve verimliliktir.

İşletmenin tüm kazıcı ve yükleyici makineleri dikkate alındığında genel performans değeri 303,2 t/h'dir. Standart genel performans değerinin 804 t/h (1005 t /h x 0,8 x 1) olduğu dikkate alınırsa bu performans tatmin edici düzeyin çok altındadır ve yetersizdir. Bu performans elde edilirken; Etkenlik değeri %110, verimlilik değeri 745 t/h, verim değeri ise %37,5, gerçekleşmiştir. Burada genel etkenlik değeri ideal seviyeye göre %10 daha yüksektir ve tatmin edicidir. Genel verimlilik değeri, 1005 t/h olarak hesaplanan standart genel kapasiteye göre %25 daha düşüktür. Genel verim değeri ideal seviyeye göre %42 düşük olup genel performans düşüklüğündeki temel faktördür. Yine işletmenin tüm kazıcı ve yükleyici makineleri dikkate alındığında aylık bazda verimliliği en yüksek ay Mayıs, verimi en yüksek ay Eylül, etkenliği en yüksek ay Mart, performansı en yüksek ay Mayıs ayıdır. Bu aylardaki etkenlik değeri standart değerlerden yüksek, verimlilik, verim ve performans değerleri standart seviyeden düşüktür.

İşletmede genel verim düşüklüğündeki temel etkenler; yedek bekleme (%43),

elektrik- mekanik arıza (%34) ve işletme kayıpları (%15)'dir. Boş makine süresi başlığı altında tutulan yedek bekleme süresi; makinenin üretim işi için hazır olmasına karşın enerji kesilmesi ve hava muhalefeti dışındaki bazı sebeplerden çalışmadığı süreleri ifade etmektedir. Bu sebepler işletmede uzman kişilerle yapılan görüşme ve gözlemlerle doğrultusunda ağırlık sırasına göre şöyle sıralanabilir;

* SLİ piyasa kömürlerinin il merkezlerinde satışının yasaklanması sebebi ile ciddi bir talep ve arz düşüşü yaşanması, bunun sonucu olarak da kurulu kazıcı makine kapasitesinin talep edilen kömür miktarının çok üstünde kalması, özetle iş yokluğu.

* Makine tertibindeki hatalar ve işçi veya kamyon eksikliği gibi organizasyonel problemler sebebi ile makinelerin çalışamaması,

* Makinenin, çalışan başka bir makinenin yanında, çalışan makinede olabilecek bir probleme karşı hazırda bekletilmesi,(Bu durum ve makinenin yan işlerde kullanılabileceği zaten doğal bir kayıp olarak düşünülmüş ve verim hesaplamalarında bu yüzden makul verim değeri %80 kabul edilmiştir.)

Makine duruş süresi içinde tutulan elektrik mekanik arızanın yüksek oluşunun en büyük sebepleri ise ağırlık sırasına göre şöyle özetlenebilir;

* Hidrolik ekskavatörler dışındaki kazıcı makinelerin yaşlarının yüksek oluşu ve ekonomik ömürlerini doldurmaları,

* Makinelerin yedek parça temininde yurtdışına bağımlı olunması ve yedek parça temininde güçlükler yaşanması sebebi ile parça beklemeden dolayı makinelerin bakımda uzun süre kalması

* Özellikle makinelerin elektrik sistemlerinde meydana gelen arızalar ile büyük sistem arızalarının teknolojik yetersizlik sebebiyle uzun sürede tamir edilebilmesi,

Makine hazırlık süresi içinde tutulan işletme kayıpları ise; Ayar, kurına, yer değiştirme, temizlik ve operatörden kaynaklanan nedenlerle makinenin geçici olarak kullanılmadığı süreleri ifade etmektedir.

Genel verimlilik değerinin standart seviyenin altında gerçekleşmesinin sebepleri ise yine ağırlık sırasına göre şöyle açıklanabilir;

* Kamyon sayısının yetersiz olması sebebi ile kazıcı makinelerin yükleme aşamasında beklemek zorunda kalması,

* Tasarımı sağlıklı olmayan patlatmaların tatminkar bir gevşetme sağlayamaması, bu durumun kazıcı makinelerin kazıyı ayırdıkları zamanı arttırması ve sert formasyonlarda çalışırken bu iyi gevşememiş formasyonların kazı makine aksamında ve halatlarda zorlanma suretiyle halat kopmalarına ve arızalara sebep olması, bu gevşememiş fom1asyonların dozerlerle ripperlenerek gevşetilmesinin ise zaman ve iş kaybına sebep olması

* Basamak yüksekliğinin bom yüksekliğinden düşük veya fazla olması

* İyi yetişmiş operatör eksikliği

* Personelin motivasyon ve sinerji eksikliği,

* Yoğun faylı yapının makine çalışmasını zorlaştırınası,

* Özellikle kış aylarında yağış, sis, don gibi hava olaylarının çalışma esnasında makinelerin kepçe periyot sürelerini arttırması.

## 5SONUÇ

Herhangi bir iş sistemının performansının geliştirilebilmesi ıçın iş sisteminin perfom1ansını belirleyen göstergelerin belirlenmesi ve bu parametrelerin sürekli olarak ölçümü ve tespiti gerekir. Bu tespitler iş sistemi için iyileştirme olanaklarını ortaya koyacaktır. Bu çalışmada, SLİ deki kazıcı yükleyici ekipmanların (Halatlı ekskavatör, hidrolik ekskavatör ve yükleyiciler) 2004 yılının ilk 9 ayına ait perforınanslarının

b lırlenme ı amaçlanmı o p perf?rmans için performans değerleri ideal seviyelerinin goster eleri olara verımlılık, verım ve altında gerçekleşmiş olup makineler içinde etkenlık boyutları dıkkate alınmıştır. en yüksek performansı hidrolik

Verimlilik açısından bakıldığında, ekskavatörler _göstermiştir. Tü:11 makinelerin standart kapasitelere göre gerçekleşen aylık bazdakı çalışması degerlendirilecek verimliliklerin halatlı ekskavatörler için % olu:sa. rerfo ansı en )'.'il sek ay Mayıs, 22, hidrolik ekskavatörler icin % 33 verımlılık verım ve etkenlığı en yüksek aylar yükleyiciler için % 42 düşük lduğu tespit ise sırasıyla Mayıs, Eylül ve Mart aylarıdır.

ed lmişt r. 1:üm makin ler 7 i i verimlilik Özetle SLİ deki kazıcı yükleyici degerleri . ıdeal sevıyelerının altında makineler 2004 ün ilk 9 ayında tatmin edici gerçe leş_ınış olup makineler içinde standaıi etkenlikte, orta derece verimlilikte ve düşük ka as!tesıne göre en _yükse.k v rimlilik yerimde çalışmışlardır. Dolayısıyla degerıne halatlı ekskavatorler sahıptır. ışletmede kazı yükleme makinelerinin genel

Verim değeri için kabul edilebilir seviye performans düşüklüğündeki birinci derece olan % 80 değeri dikkate alındığında; etken verim düşüklüğü ikinci derecede etken gerçekleşen verimlerin; halatlı ekskavatörler verimlilik düşüklüğüdür. Bu durum dikkate için % 60, hidrolik ekskavatörler için % 22, alınırsa işletme yönetimi, kazı yükleme yükleyiciler için % 47 düşük olduğu tespit makinelerinin perforınansını arttırabilmek edilmiştir. Yani, yine tüm makineler için için öncelikle verim değerlerini yükseltici verim değerleri ideal seviyelerinin altında sonrasında ise verimlilik değerlerini gerçekleşmiş olup makineler içinde en yükseltici iyileştirme çalışmalarına ağırlık yüksek verim değerine hidrolik vermelidir. Bu noktada yapılması gerekli ekskavatörler sahiptir. kritik iyileştirme çalışmaları önem derecesine göre aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Verim değerlerinin düşüklüğündeki temel etkenler halatlı ekskavatörler için yedek bekleme (% 56), elektrik ve mekanik arıza (%23) ve işletme kayıpları (%14), hidrolik ekskavatörler için işletme kayıpları (% 41), elektrik ve mekanik arıza (% 35), yedek bekleme (% 13), yükleyiciler için ise; mekanik arıza (% 76) ve işletme kayıpları (% 16)'dır.

İdeal seviyesi % 100 kabul edilen etkenlik göstergesine bakıldığında ise, etkenlik değerlerinim ideal seviyeye göre; halatlı ekskavatörler için% 14 daha düşük, hidrolik ekskavatörler için % 40 daha yüksek, yükleyiciler için ise yine % 35 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yani, tüm makineler için etkenlik değerleri tatmin edici olup hidrolik ekskavatör ve yükleyicilerde beklenenin üstünde bir sonuç elde edilmiştir.

Genel perforınans açısından bakıldığında ise, makinelerin standart performanslarına göre gerçekleşen performansları; halatlı ekskavatörler için %80 (156,3 t/h), hidrolik ekskavatörlerin için %30 (438,6 t/h), yükleyicilerin için %70 oranında (259,9 t/h) düşük gerçekleşmiştir. Yani tüm makineler

* İşletmenin mevcut makine kullanım kapasitesi kaybedilen veya bakir pazarlara açılım sağlanarak artırılabilecektir. Böylece yeni yatırım projeleri yapılarak işgücünde aıiış yapmadan sadece mevcut kurulu kapasitenin kullanımı ile verim ve işletme karlılığı aıitırılabilecektir. Ancak bunun için talebe göre arz yaklaşımından uzaklaşılarak müşteri odaklı bir yönetim anlayışına geçilmelidir.

* İşletmede ekonomik ömrü dolmuş eski makineler yenilenmelidir. Bu yenileme işletmede artık seçimli madencilik zorunlu hale geldiği için hidrolik ekskavatör ve yükleyici ağırlıklı olmalıdır.

* Ancak küçük çaptaki arızaların giderilebildiği tamir bakım servisi teknolojik bakımdan geliştirilmelidir. Ayrıca bu servise iş becerisi yüksek kalifiye eleman takviyesi yapılmalıdır.

* Operatörlere daha yoğun eğitim verilmeli prim sistemi daha da geliştirilmelidir. '

* İşçi ve kamyon eksikliğinden kaynaklanan organizasyonel problemler giderilmelidir.

* Işletme, birim ve bölüm bazındaki tüm faaliyetler bir stratejik plan doğrultusunda yürütülmelidir.

* Yüksek verim ve verimlilikte çalışma tüm personele benimsetilmeli ve bu bir kültür haline getirilmelidir.

## KAYNAKLAR

Aka!, Z., 2002, "İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi - Çok Yönlü Performans Göstergeleri", Milli Produktivite Merkezi Yayınlan, Ankara, 453, 368 s.

Akkuş, M.F., 1962, "Kütahya Gediz arasındaki Sahanın Jeolojisi", MTA dergisi, Ankara, 58

Barutçugil, İ., 2002, "Performans Yönetimi", Kariyer Yayınlan, İstanbul

Betler, H.A., 1996, "Seyitömer Kömür Havzasının Jeolojisi ve Rezerv Hesabı", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya

Canıtez, B., 2000, "Perfonnans Değerlendirme", Türk Psikoloji Bülteni, 16

Dokuz Eylül Üniversitesi, (1989), "Seyitömer Bölgesi Kriblaj Tesislerinin Optimizasyonu ve Kapasite Arttırabilme İmkanlarının Etüdü", Ara Rapor, İzmir

Işık, İ., Yanık, G., Aykul, H., 1997, "Seyitömer (Kütahya) Linyit Havzası Killerinin Jeolojisi", 8. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s.49 - 57

Okay, A., 1981, "Kuzeybatı Anadolu'daki Ofiyolitlerin Jeolojisi ve Mavişist Metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya), TJK Bülteni, 24, s.85-95,

# İş makinelerinin verimliliğinde operatör faktörü
# *Operator factor on the productivity of heavy duty machineries*

İ. Çelik
*Makina Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya*

E. Z. Mandal
*Garp Linyitleri İşletmesi, Makine İşletme Servisi, Tavşanlı/Kütahya*

**ÖZET:** Temel görevi kazı, yükleme ve taşıma fonksiyonlarını yerine getiımek olan iş makinelerinin, günümüz teknolojilerine bakıldığında, başlı başına bir tesis, bir fabrika gibi olduğu görülür. Bu makinelerin, gerekli teorik ve pratik eğitimi almış operatörler tarafından kullanılmaları gerekmektedir. Yeterli eğitimi almış operatör iş verimliliğini arttırmakla beraber, iş makinesini tam kapasitede ve en az arıza ile kullanılabilmektedir. Bu çalışmada gerçek uygulama şartlarında operatörlerin çalışmaları izlenmiş, operatörlerin sebep olduğu arızalar tespit edilmiş, bu arıza ve kazaların önlenmesi ve iş makinesi veriminin arttırılması için bir iş makinesi operatörünün alması gereken eğitim seviyesi değerlendirilmiştir. Çalışma yapılırken, Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksekokulu'nun 1998-2004 yılları arasında Tunçbilek'te faaliyet gösteren "İş Makinesi Operatörlüğü" Programının eğitim notları ve tespitlerinden yararlanılmıştır.

**ABSTRACT:** Heavy duty machines basicaly function like pickaxe, shovel and wheelbarrow and they must be considered as a big plant or establishment. These machines are wished to be driven by the operator who are theoreticaly and practicaly well trained. The operator who got enough training not only increases the productivity but also drives his/her machine at very capacity and less downtime. in this study, operator behaviors have been observed on real working conditions and operator originated failures and accidents have been determined.Then, to prevent accidents and increase the productivity ;the training level operators must get, has been evaluated. While studying ,the training notes and experiments of The Dumlupınar University, Tavşanlı Profession College "Heavy Duty Machine Operator Program" have been used.

## 1 İŞ MAKİNESİ OPERATÖRÜ

Maden makinesi operatörü kömür, maden filizi, taş ve diğer her türlü madeni çıkaran makineleri kullanan ve onları kontrol eden personeldir. Madencilik doğal minerallerin çıkarılması için yeryüzünün kazılması işlemidir. Madencilik endüstrisi yüzlerce alanda kullanımına ihtiyaç duyulan kömür, mineral ve taşları kapsamaktadır. Madencilik endüstrisinde temel alan kömürdür. Kömür yaygın kullanıma sahiptir. Şu anda Amerika Birleşik Devletlerinde üretilen elektriğin yarıdan fazlası kömürün yakılmasıyla üretilmektedir (www.iseek.org). Türkiye'de ise üretilen kömürün %75'i termik santrallerde yakılmakta ve ülke çapında üretilen elektriğin% 30'u bu yolda elde edilmektedir (TKİ,2007).

### 1.1 Operatörlerin çalışma ortamları

Yer altı ve yerüstü olmak üzere iki tip maden işletmeciliği vardır. Madenin üretim şekli ve

kullanılacak makineler, madenin yüzeyden ne kadar uzak olduğuna ve yüzey yapısına bağlıdır. Yeraltı madenciliğinde kesme makinesi operatörleri mineral damar altındaki şerit tabakayı keserler. Bunun için 1,8 - 4,5 m. uzunluğunda çok büyük elektrikli, zincirli testere kullanırlar. Delik makinesi operatörleri patlayıcıların yerleştirilmesi için maden cevheri içine delik açarlar. Bu işlemler çok tehlikelidirler.
Daha ileri yöntemlerde madenin delinmesi ve patlatılması yöntemi azalmış veya terkedilmiş durumdadır. Bu sistemlerde maden makinesi operatörü kabin içinde bulunur. Makineye ait kesici veya kazıcı parçalara kumanda eden levyeleri kullanırlar. Benzer tipte makineler, maden cevherini konveyör vb. taşıyıcı araçlara yüklerler. Bu makinelerden bazıları güvenliği arttırmak için uzaktan kumanda sistemine sahiptir.
Maden makinesi operatörü kullandığı makinenin ekipmanlarını sürekli gözlemler, çıkan sesleri dinler ve makinenin bütün sisteminin uygun çalıştığından emin olarak çalışmasını sürdüıür. Anormal bir durum ile karşılaştığında kendi tamir kapasitesinde ise arızaya müdahale eder daha büyük bir arıza belirtisi ise mekanik atölye yetkililerine durumu iletir. Operatör makine üzerinde belirli ayarları yapar. Makinenin yağlama bakımını düzenler, bozuk veya aşınmış parçaları değiştirir (www.iseek.org).

Maden makinesi operatörlerin verımını etkileyen çalışma ortamları ile ilgili olarak aşağıdaki tespitler yapılmıştır;

-Sosyal iletişimleri azdır. Çalışma ortamında diğer çalışanlar ile telsiz vasıtasıyla haberleşirler, makinede çalışırken adeta izole edilmiş durumdadırlar,
-Genelde dışarıda çalışırlar,
-Her zaman baret, eldiven, iş giysisi gibi emniyetli donanım ile çalışmak zorundadırlar,
-Sık sık rahatsız edici seviyede gürültüye maruz kalırlar,
-Sık sık tehlikeli ekipmanların yarattığı risklere maruz kalırlar, İrili ufaklı yara almaları her zaman mümkündür,
-Kömür ve taş tozu ile zararlı gaz oluşumlarına maruzdurlar,
-Patlama, çukura düşme, döküm sahasından yuvarlanma gibi tehlikeli durumlar ile sık sık karşılaşabilir, yaralanabilirler,
-Kullandıkları makinenin titreşimine maruzdurlar,
-Bazen hafif yaralanma sayılabilecek kesik ve yanıklarla karşılaşabilirler,
-Bazen uygun olmayan çalışma pozisyonlarında kalabilirler,
-Aşırı sıcak veya aşırı soğuk hava şartlarına maruz kalabilirler.

### 1.2 Operatörlerin çalışma aktiviteleri

Küçük bir fabrika olarak değerlendirilebilecek maden makinelerini kullanan operatörler çalışma sırasında aşağıda verilen görevleri icra ederler (Mandal & Çelik, 2004):

-Maden yüzeyi veya damarı boyunca kesme ve kazı işlemleri yapan makineleri kullanır,
-Maden yüzeyinde patlayıcıların yerleştirileceği delikler açar,
-Maden cevherini kesen veya kazan riper, kepçe gibi makinelerin ekipmanlarına hareket veren levyelere kumanda eder,
-Maden cevherini taşıyıcı araca yükleyen loder, ekskavatör gibi makinelerin ekipmanlarına hareket sağlayan levyelere kumanda eder,
-Gerekli hallerde makineyi uzaktan kumanda ile çalıştırır,
-Arızaları tespit etmek için makinenin sürekli çalışmasını izler
-Makinede tamir, yağlama bakımı ve ayar işlemleri yapar. Bozuk veya aşınan parçaları kendi müdahale kapsamında ise değiştirir, değilse mekanik atölye ile temasa geçerek değiştirilmesini sağlar.

Bu meslekteki insanlar çoğu diğer mesleklere uygulanabilen aşağıda belirtilen görevleri de yerine getirirler;

-Kullandıkları makineler ve icra ettikleri üretim süreci hakkında bilgi sahibi olmalıdır,
-Araçları ve diğer mekanik ekipmanları kullanır,

-Belirli arıza seviyesine kadar mekanik ekipmanların tamirini ve bakımını yapar,
-Olayları, ekipmanları ve çevreyi izlerler,
-İlgili nesnelerle ilgilenirler, onları taşırlar,
-İşin yapılması için gerekli bilgileri edinirler,
-Üstleri, astları veya emsal görevliler ile iletişim halinde olurlar.

### 1.3 Maden makinesi operatörlerinin sahip olması gereken fiziksel yetenekler

Operatörlük mesleği şoförlük gibi mesleklerle karıştırılmamalıdır. Haftada yaklaşık 45 saatlik çalışma süresi idealdir. Bu süre içerisinde işlerini son derece doğru yapmak zorundadırlar. Yapacakları en ufak bir hata, güvenli çalışma ortamını riske sokar ve ciddi tehlikeler oluşturabilir. 24 saatlik çalışma gerektiren durumlarda vardiya usulü ile gece ya da gündüz dönüşümlü çalışırlar. Operatör, üretim verımını doğrudan etkileyen bir faktördür. Bir iş makinesi operatörünün fiziksel olarak sahip olamsı gereken yetenekleri değerlendirildiğinde aşağıdaki tespitler yapılmaktadır (www.iseek.org);

-Madencilikle ilgili çalışmalarda oluşan devamlı veya ara sıra olan değişikliklerden hemen haberdar olmalıdır, yaptığı işin bütün detaylarını bilmeli, ilgili emniyet tedbirlerinden haberdar olmalıdır,
-Çalışma adımlarını makinenin hızına göre ayarlamalıdır,
-Makineye kumanda ederken gerektiği kadar hızlı olmalıdır ve ayarlamaları hassas yapmalıdır,
-Çalışırken aynı anda birden fazla vücut uzvuna birlikte hareket verebilmeli (Örneğin eş zamanlı olarak iki koluna, iki bacağına veya bir koluna ve bir bacağına),
-Nesneler arasındaki mesafeyi tahmin edebilmelidir,
-Az ışıkta bile nesneleri görebilmelidir,
-Sesleri hassas duyabilmeli, aralarındaki farkları ayırt edebilmelidir,
-Yorulmadan uzun süre fiziksel olarak aktif durumda kalabilmelidir,
-Yorulmadan uzun süre karın veya sırt kaslarını çalıştırabilmelidir,
-Atlama, zıplama veya nesneleri fırlatma gibi faaliyetleri yapabilmelidir,
-Eğilme, uzanma, dönme hareketlerini kolayca yapabilmelidir,
-Parmakları, elleri ve bilekleri hızlı ve tekrarlayan şekilde hareket ettirebilmelidir,
-Kol ve eli sabit pozisyonda tutabilmeli veya kolu hareket ettirirken eli sabit tutabilmelidir,
-Çok küçük nesneleri tutarken veya hareket ettirirken parmaklarını kullanabilmelidir,
-Elleri, parmaklan, ayakları, kollan ve bacakları hızlı refleks kapasitesine sahip olmalıdır,
-Nesneleri taşırken diğer faktörleri göz önüne alarak kumanda hareketlerini verip hız ayarlamalarını yapabilmelidir,
-Vücut hareket halinde iken kollar, bacaklar gibi vücudun aynı anda birkaç parçasının hareketini koordineli yapabilmelidir,
-Kolları ve bacakları hızlı hareket ettirebilmelidir,
-İleri veya geri hareket halinde iken yan taraflardaki nesneleri ve nesnelerin hareketlerini görerek veya duyarak algılayabilmelidir,
-Gerektiğinde bir sese odaklanarak diğerlerini duymazdan gelebilmelidir,
-Dinleyenlerin anlayacağı şekilde net konuşabilme kapasitesine sahip olmalıdır,
-Çalıştığı alanda diğer personelin veya nesnelerin yerleşim durumlarını bilmelidir,
-Belirli bir seviyeye kadar kullandığı makinenin ve ekipmanların dizaynı, yapısı, kullanımı ve tamiri konusunda bilgi sahibi olmalıdır.

### 1.4 İş makinesi operatörünün psikolojik yapısı

Maden makinesi operatörlerinin psikolojik yapıları incelendiğinde aşağıdaki tespitler yapılmıştır (www.iseek.org ).

-Yönetimin desteğini önemli sayar, Adil çalışma ortamı verimini ve motivasyonunu arttırır,
-İşyeri ile ilgili eğitimi aldıklarında iş verimleri, ışı benimsemeleri ve motivasyonları artar,
-İlgi alanları gerçekçidir. Pratik ve çözümü olan çalışma aktivitelerini severler. Bitki,

hayvan ve ağaç, alet ve mekanik tesisler gibi oluşumları içeren çalışmalardan hoşlanırlar.
-Genelde dışarıda çalışmaktan zevk duyarlar,
-Geleneksel ilgileri vardır. Rutin ve standart işlerden daha fazla hoşlanma eğilimi taşırlar.
-Bilgi ve detaya dayanan işlerde çalışmaktan zevk alırlar,
-Çalışma ortamında otoritenin net olduğu yani net ve açık talimatların olduğu, yapacakları işin çerçevesinin açık şekilde belirlendiği şartlarda verimleri artar.

## 2. OPERATÖRÜN KORUYUCU BAKIMDA ÖNEMİ

"ÖNEMLİ OLAN YANGINI ÇIKARTTIRMAMAKTIR, YANGIN ÇIKTIKTAN SONRA BİR ŞEKİLDE NASIL OLSA SÖNER"

Yukarıda ifade edilen cümleyi ve anlamını maden makineleri sektöründe çalışan insanların çoğu duymuştur. Gerçekten yangın çıkmışsa bir şekilde söner ama ne pahasına; Bazen bütün sistemin yanması pahasına (DSİ).
Bir operatörün koıuyucu bakıma yapacağı ilk katkı, çalışma öncesi ve çalışma sonrası yapacağı kontrol işlemleridir. Bu kontroller meydana gelebilecek arıza ve problemlerin daha oluşum aşamasında tespit edilmesini sağlar. Daha sonra tamir-bakım gıupları ortaya çıkan olumsuzluğu gidermek için makinenin tamir-bakım programını oluştuıurlar. Böylece makinenin servisten alınmasına gerek kalmaksızın gelişmekte olan olumsuzluk giderilir. Farklı bir duıum olarak eğer parça değişmesi gerekiyor ise gerekli parça temin edilir, personel tertibi yapılır, araç atölyeye getirilir ve en kısa sürede, en az masrafla makine servise hazır duıuma getirilir.
Operatörün çalışma öncesi ve sonrası kontrolleri sonucu güvenli çalışma ile ilişkili kusurlar da önceden tespit edilir, gecikmeksizin bu kusurlar giderilir ve iş yeri çalışması daha emniyetli hale gelmiş olur.
Bu bakımdan kademedeki yöneticiler operatör raporlarını dikkatli şekilde okumalı, tespit edilen aksaklıklar diğer bakım programları da dikkate alınarak giderilmelidir. Bildirilen her arıza için makinenin atölyeye getirilmesine gerek yoktur. Acil olmayanlar bir sonraki periyodik bakım ile birleştirilerek giderilebilir. Böylece daha verimli bakım programları elde edilir.

Makinecilikte koıuyucu bakım ve arıza tamirciliği olmak üzere iki tamir-bakım sürecinden söz edilebilir. Amerika'da yapılan bir araştırma sonucunda, programlanmış koıuyucu bakım faaliyetlerinin (koıuyucu bakım kontrolleri, operatör raporları ve programlı parça tamirleri) toplam tamir-bakım süresinin % 70 ini kapsadığı tespit edilmiştir.
Maliyet açısından bakıldığında, bir makinenin toplam bakım masrafının; %30 unu programlı koıuyucu bakım, kalan % 70 mı programda olmayan arıza tamir masraflarından oluştuğu tespit edilmiştir. Koıuyucu bakım masraflarının toplam masrafın %35 ine karşılık gelen bir orana çıkartılması duıumunda, arıza tamir masrafları %55 e inmektedir. Bu duıum, bir makinenin toplam bakım maliyetinde %10 luk bir kazanç elde edilmesini sağlamaktadır. Çalışmada hedeflenen durum toplam bakım faaliyetlerini önemli oranda koruyucu faaliyetlerine kaydırarak, arıza tamir faaliyetlerini azaltmaktadır. Çünkü koruyucu bakım maliyetleri, arıza tamir maliyetlerinden daha düşüktür. Arızalar daha başlangıç safhasında tespit edilerek, daha az süre, emek ve maliyet ile ortadan kaldırılabilmektedir.
Koruyucu bakım faaliyetlerini önemli oranda yapan ve yönlendiren makineyi kullanan operatördür.

Motorlu araçlarla ilgili olarak yapılan istatistiksel arıza araştırmasında aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

| Problem{Elektrik sist.) | Sikayet sayısı |
|---|---|
| Batarya | 15 |
| Alternatör | 5 |
| Marş motoıu | _5 |
| Toplam | 25 |

| Problem (Yakıt sistemi) | Sikayet sayısı |
|---|---|
| Yakıtın bitmesi | 15 |
| Yakıt pompası | 5 |
| Toplam | 20 |

| Problem (Lastikler) | Sikayet sayısı |
|---|---|
| Patlama | 20 |
| Yanak kesilmeleri | 5 |
| Toplam | 25 |

| Problem (Soğutma sist.) | Sikayet sayısı |
|---|---|
| Aşırı hararet | 10 |
| Termostat | 5 |
| Fan kayışları | 2 |
| Toplam | 20 |

| Problem (Diğer) | Sikayet sayısı |
|---|---|
| Çamura veya kara saplanmak | 8 |
| Kaza | 1 |
| Toplam | 10 |

**Genel Toplam 100**

Yukarıda tespit edilen arızalar en çok karşılaşılan ve makinelerin serviste kalma oranının azalmasına, bunun sonucunda büyük iş ve maliyet kaybına sebep olan arızlardır.

Bu arızaları yapan makineler, Bölüm 1.2, 1.3 ve 1.4 de belirtilen özelliklere sahip, iyi eğitilmiş operatörler tarafından kullanılsaydı, bu arızların sayıları azalırdı. Çünkü bu arızların oluşması büyük oranda operatörün koruyucu bakım faaliyetlerini tam olarak yapamamasından kaynaklanmaktadır. Şöyle ki (Mandal & Çelik);

Koruyucu bakımı düzenli ve bilinçli yapan bir operatör;

-Düzenli aralıklarla bataryanın (akü) elektrolit seviyesini kontrol ederek, bataryayı temiz tutarak ve kutup başlarını kontrol ederek bataryanın maksimum ömürde olmasını sağlayabilir. Bu durumda batarya arızası sayısı 15 den daha az olurdu.

-Alternatör düzenli aralıklarla incelenip, ses kontrolü yapılır ve rulman arızaları erken teşhis edilirdi. Kayış gevşeklik kontrolü yapılır ve oluşacak diğer arızlar önceden tespit edilebilir ve arızanın daha başlangıcında çok kısa süreli ve az maliyetli tamir-bakım müdahalesi yapılarak makinenin uzun süre servis dışı kalması önlenebilir, 5 adet olan alternatör arızası daha az oluşurdu. Benzer durum marş motoru için de geçerlidir.

-Özellikle ihmalkar operatörlerin sebep olduğu yakıtın tükenmesi, devamında besleme ve yakıt pompasının hasar görmesi ve makinenin servis dışı kalması gibi arızalar, bilinçli bir operatörün yapacağı uygun ve yerinde koruyucu bakım ile önlenebilir,

-Araç lastik tekerlekli ise, periyodik olarak lastik hava basıncını kontrol eder, yolların kesici taş vb. kesici maddelerden arınmasını sağlar ve lastik arızlarını daha düşük seviyeye indirebilir. Lastik, bakımı en kolay olan ancak bakımın ihmali halinde maliyete yakıttan soma en çok etki eden sarf malzemesidir.

-Aşırı hararete sebep olan faktörleri bilir. Tedbir olarak soğutma sıvısı kaçaklarına karşı kontrolleri yapar, tavsiye edilen periyotlarda, günümüzde kullanılmaya başlanan kimyasallarla soğutma sistemini temizlettirmeyi benimser. Bilinçsiz bir operatör ise antifirizin görevini ve kullandığı tekerlekli iş makinesinin lastik hava basıncını bilemeyecek kadar işinde yetersizdir.

-Fan kayışlarının nasıl kontrol edilmesi gerektiğini bilir ve gerekirse müdahalesini yapar.

-Bazı operatörlerin sık sık karşılaştığı çamura veya kara saplanma olayına sebep olmazlar.

-Bazı operatörler diğerlerinden çok daha fazla kaza olayına karışırlar. Bazılarının ise hiçbir kaza olayına sebep olmaksızın yıllarca hizmet verdiği görülür.

Yukarıda belirtilen koruyucu bakım faaliyetleri ile incelen makinede oluşan 100 adet arızanın % 50 oranına kadar inebileceği değerlendirilir. Çünkü atölye gelen arıza sebepleri incelendiğinde, yaklaşık yarısının operatör hatasından yada ihmalinden kaynaklandığı tespit edilmiştir (Mandal & Çelik).

**2.1 iş kazası- Operatör ilişkisi**

Yapılan bir araştırmada kaza olayları ile ilgili olarak operatör açısından şu faktörlerin etken olduğu tespit edilmiştir (Mandal & Çelik).

-Birinci faktör, acemi deneyimsiz operatör kaza riskini arttırmaktadır. İşe tam olarak uyum sağlayıncaya kadar yeni operatöre zaman verilmeli, yeterli olduklarından emin olduktan sonra tam sorumluluk verilmelidir.
-İkinci faktör, operatörlerin çalışma süreleri uzayıp yoruldukları durumda, ani gelişen durumlara karşı yeterli hızda tepki verememeleridir. Bunun sonucu olarak güvenli çalışma ortamından uzaklaşılmakta ve kaza riski artmaktadır.
-Üçüncü faktör, çalışan operatörlerin bilmedikleri yeni bir yere veya makineye transfer edilmeleri halinde kaza yapma risklerinin artmasıdır.

Bazı operatörlerin niçin kaza yapmaya daha fazla eğimli oldukları hakkında birçok teoriler vardır. Bu noktada çalışma atmosferi çok önemlidir. Çalışanların ve idarecilerin yakın işbirliği halinde, yönetim şeklinin adaletli olması çok önemlidir. İdareciler çalışanların şikayetlerini dinlemelidir. İşlerinden memnun olmayan çalışanlar kaza yapmaya daha fazla eğilimlidir. Aşağıda kaza yapmaya eğilimli operatörlerin karakter özellikleri verilmektedir (Dolce).

-Saldırgan yapıdadırlar,
-Olumsuzluklarla mücadele edemezler,
-Otoriteye gücenirler,
-Ben merkezlidirler,
-Konsantre süreleri kısadır,
-Emir ve talimat almakta zorlanırlar,
-İyi konuşmacıdırlar; kötü dinleyicidirler,
-Problemlerle yüzleşmezler,
-Kendi hareketlerinin sorumluluğunu üstlenmezler,
-Kendilerine verilen görevleri ve rolleri kabullenemezler,
-Zihinsellikten ziyade fizikseldirler,
-Eğitilmeleri zordur,
-Eleştirildiklerinde küserler,
-Kendilerine acırlar,
-Kötü huyludurlar,
-Başkalarına fazla aldırış etmezler,
-İş güvenliği kurallarını ihlal ederler,
-Karar vermeyi reddederler,
-Verdikleri kararlar kısa sürelidir,
-Değişime direnirler,
-Yalnızdırlar,
-Sık sık devamsızlık yaparlar,
-Bir görevi baştan sona devam ettiremezler,
-Mizah duygusundan yoksundurlar,
-İyi hayal etme gücüne sahiptirler,
-İş planları zayıftır,
-Acı hatıralardan veya fikirlerden fazla etkilenmezler,
-Aşırı derecede kendilerine güvenirler.

## 3.SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada maden makinelerini kullanan operatörlerin çalışma ortamları, ruhsal ve fiziksel yapıları, sahip olmaları gereken bedensel ve ruhsal özellikleri açıklanmıştır. İşini seven, bilinçli ve eğitimli bir operatörün makinenin kullanma, tamir ve bakım süreçlerinde yapabileceği verim arttırıcı ve yerinde müdahaleler, yapılan bir çalışma model alınarak açıklanmıştır. Maden makinelerinin gerek kullanımında gerekse tamir bakım safhalarında operatörün en etkili faktörler arasında olduğu değerlendirilmiştir. Koruyucu bakım faaliyetlerinde baş aktör operatördür. Operatör koruyucu bakım müdahalelerini zamanında, uygun ve bilinçli şekilde yaparsa makinenin servis dışında kalma oranı azalır. Bu durum arıza tamir faaliyetlerini ve maliyetlerini en aza indirir ve makinenin toplam bakım masrafında önemli oranda azalma görülür.
Operatör dışında verimi etkileyen diğer faktörler de incelenebilir.
Operatör yakıt tasarufundan lastik ömrünün uzatılmasına kadar birçok süreçte etkilidir. Operatörler ruhen yaptıkları iş benimsemeli, ruhsal ve bedensel yapıları uygunsa bu görevi yapmalıdırlar. Teknik olarak gerekli eğitimi almalıdırlar. İyi operatörlerin kullandıkları makinelerin daha az arıza yaptığı, makinelerin daha verimli çalıştıkları tespit edilen bir gerçektir. Bu nedenle operatör olarak çalıştırılacak ve adeta küçük bir fabrika olan maden makinelerinin teslim edileceği operatörler hem bedenen hem de

ıuhen gerekli testlerden geçirildikten sonra teknik eğitimden geçirilmelidir. Makineyi kullanmaya geçmeden önce, yeni operatöre, hem makineye hem de çalışma şartlarına uyum sağlaması için gerekli adaptasyon süresi verilmelidir. Operatörün makineye ve çalışma ortamına tam uyumu tespit edildikten sonra yetki ve sornmluluk alması sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

DSİ Eğitim Notları.

Dolce, J., Fleet management, ISBN 0-07-0174110-5, 1984.

Mandal, E., Z.. & Çelik, İ., "İş Makineleri Teknolojisi I, il, il ve iV" ders notları, DPÜ, Tavşanlı MYO, İş Makinelri Programı, 2004.

TKİ, Görevde Yükselme Eğitim Notları , 2007

www.iseek.org/sv/13000,jsp?id=100381

# Capture of Longwall AFC chain tension

Z. Guan1, H. Gurgenci[2] & D. Wauge[1]
[1] *CRCMining & the University of Queensland, Brisbane, Australia*
[2] *The University of Queensland, Brisbane, Australia*

**ABSTRACT** AF<? chain tens_ion has long been a mysterious parameter to AFC manufacturers and longwall engıneers and ıt has been blamed for various types of chain failure which is am ng the_ top three causes ?f production del ys in Australian longwalls. The capture of AFC chaın tensıon has been carrıed by the followıng two methods: simulation software has been develop d to predict chain tension and chain dynamics and a battery-powered instrument has been buılt to measure the chain tension on an operating machine.

## 1 INTRODUCTION

Longwall mining process is a continuous serial production system for extracting coaİ from underground to surface. This means that failure of one component shuts down the whole mine. An armoured face conveyor (AFC) is used in a longwall mine to transport material from the coal face.

. A rec nt trend in the Australian longwall ındustry ıs that the longwall panel widths and consequently the AFC lengths have been steadily increasing. To accommodate larger loads, the strength of the AFC components and the capacity of the AFC drives have ncreased. In. practice, as drive capacity has ınc:eased, faılures such as chain breakage, whıch were once a relatively scarce occurrence, are now being seen in greater numbers. The above increased failures in AFC could be caused by chain tension.

The dynamic interactions between different components in an AFC drive system have a critical influence on the chain tension and are therefore critical in determining the reliability of the chain and the entire AFC system.

AFC chain tension has long been a mysterious parameter to AFC manufacturers and longwall engineers and it has been blamed for various types of chain failure which is among the top three causes of production delays in Australian longwalls - Guan and Gurgenci (2003). Accurate knowledge of chain tension would enable engineers to understand the cause of the chain failure and form better operation and maintenance practices. It would also help the manufacturers design a better AFC.

CRC Mining student David Wauge (2004) developed an AFC modeling and simulation software package as part of his work towards a MPhil degree. The software was written in Matlab/Simulink. CRCMining researchers have also designed and built an instrument (AFC tension meter) to measure the AFC chain tension during operation; this will soon be tested on an Australian longwall face.

The software is not commercialized yet and will be verifıed and updated after

comparing its predictions against the measurements.

## 2 AFC SIMULATION SOFTWARE

The software was written in MATLAB/SIMULINK to model and simulate the system dynamics. The AFC model included electrical subsystem, motors, fluid coupling, gearbox, sprocket, chain and coal loading as shown in Figure 1.

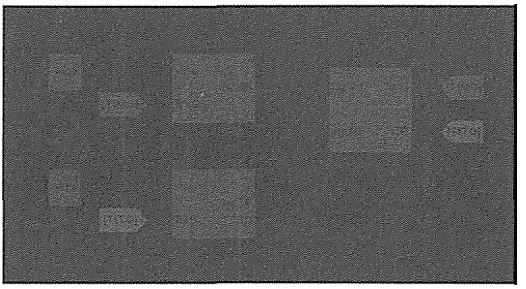


Figure **1.** AFC simulation model - Wauge (2004)

The inputs to the software include the parameters of fluid coupling, gearbox, sprocket, chain, coal load and motor. The motor power of AFC depended on the amount of coal loaded by shearer and the length of the AFC.

The hourly production rate of the shearer can be calculated by equation (1):

$$Q_s \quad \frac{60HBVsr}{1000} \quad \text{(t/h)} \qquad (1)$$

Qs - production rate ofthe shearer (t/h)
H - mining height (m)
B - cutting width (web) ofthe drum (m)
Vs shearer haulage speed (mlmim)
$y$ - density of the unbroken coal (kg/m$^3$) = 1100-1400

Production rate of AFC is expressed by equation (2)

$$Q_A = 3.6AV_A\gamma \qquad \text{(t/h)} \qquad (2)$$

QA - production rate of AFC (t/h)
A - coal section area loaded on AFC (m$^2$)
VA -AFC speed (mis)

The coal section area loaded on AFC can be obtained by equaling equations (1) and (2) hich is shown in equation (3).

$$A = \frac{HBV_s}{60VA} \qquad \text{(m2)} \qquad (3)$$

The moving resistance for the AFC on top and bottom deck are calculated by equations (4) and (5).

$$R_{up} = (qJc + qJ,)gLcosa \pm (qc + q,)gLsina \qquad (4)$$

$$R_{botlom} = q.,Lg(fs\cos a \pm \sin a) \qquad (5)$$

Rup - moving resistance in top deck, N
Rbottom - moving resistance in bottom deck, N
qc mass of loaded coal per unit length, qc = $Ay$, kg/m
qs - mass of chain & flight per unit length, kg/m
L AFC length, m
$f_s$ friction coefficient of the chain & flight, 0.2 0.4
fc - friction coefficient of the loaded coal, 0.4 -0.8
g acceleration constant, 9.8 mis$^2$
a - angle of face slope, rad

The total drive force at the drive sprockets to overcome the static resistance is:

$$F = (R_{up} + R_{bottom}) \qquad \text{(N)} \qquad (6)$$

The power requirement for the motors to drive the sprocket is

$$N = \frac{}{100077} \qquad \text{(kW)} \qquad (7)$$

VA - chain speed (mis)
$\eta$ - transmission efficiency

## 3 HARDWARE OF AFC CHAIN TENSION MEASUREMENT

The hardware development has been jointly funded by Australian Coal Association Research Program (ACARP) and CRCMining. Its primary purpose is to test and demonstrate the operation of an

instrument which measures actual AFC chain tension under various operating conditions. The instrument is also used to calibrate and verify Wauge's simulation software.

The chain tension meter consists of two strain gauges installed on two opposite chain links on an AFC and a box housing the instrument. This instrument assembly is housed in a protective enclosure built to the profile of a flight bar. The strain <lata is sampled at 100 Hz with 16-bit accuracy from each strain gauge and stored in 48 Mbytes of non-volatile solid-state memory. The battery has enough capacity to log for at least 20 hours. If more <lata is required, the logger is removed from the flight bar enclosure and replaced with a fully charged one. The logger with stored <lata is then taken to a safe area where it can be recharged and the <lata downloaded to a PC or laptop.

A diagram of AFC chain tension meter is shown in Figure 2. At the time of writing this paper, negotiations are under way with the site engineers to set a suitable test window for the final trial.

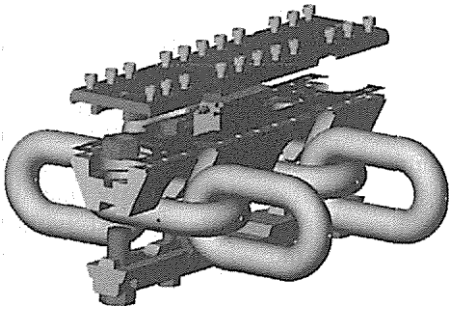


Figure 2. AFC Chain Tension Meter

## 4 SIMULATION RESULTS

The simulation software has been used to predict chain tension and chain dynamics for two Australian longwalls. The following shows an example of the simulated results. These results are obtained with 2% of carry back when the AFC was loaded with coal and the chain has no pretension.

The amount of the coal loaded on the AFC chain by shearer is based on the following assumption:

Cutting web ofthe shearer drum B: 1.0 m
Shearer cutting height H: 3.0 m
Cutting speed of the shearer Vs: 16.5 mimin
Density ofunbroken coal y: 1400 kg/m³
AFC speed VA: 1.76 mis
Shearer loading mass per minute: 69300 kg
AFC travel distance per minute: 105.6 m
Coal loaded on AFC per meter: 655 kg

### 4.1 Prediction of motor power

Figure 3 shows the predicted motor power for both the main and tailgate motors with coal loaded on the top deck of the chain. The figure shows that the fluid coupling starts to fili at 1O s and the steady-state conditions are reached at around 18 s. The steady state power for the main and tailgate motors are about 860 kW each. The total power in this case is about 1720 kW. Frequency analysis on the result of Figure 3 shows the power fluctuate at its mean with a frequency about 5.5 Hz which is the sprocket tooth-chain engagement frequency.

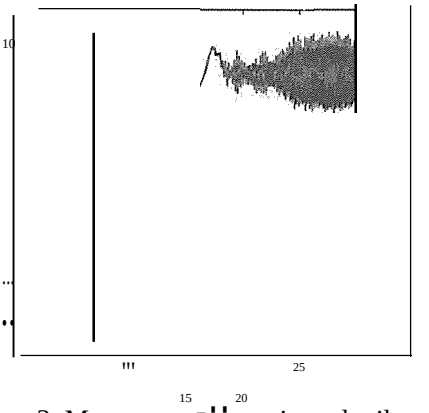



Figure 3. Motor power at main and tailgates (860 kW at steady state)

### 4.2 Prediction of sprocket torque

The simulated maingate sprocket torque is plotted in Figure 4. The torque reaches its steady state value in 18 seconds and fluctuates around the mean value of 137

kN·m. The fluctuation frequency of the sprocket torque is shown in Figure 5.

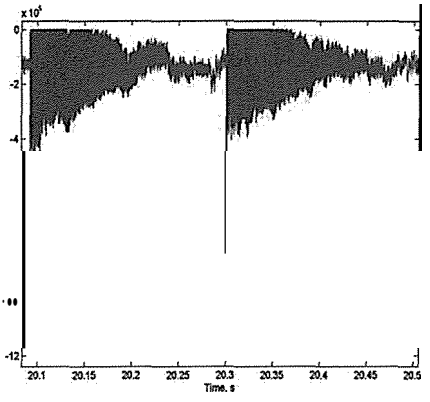



Figure 4. Sprocket torque - mean torque of maingate sprocket 137 kN-m

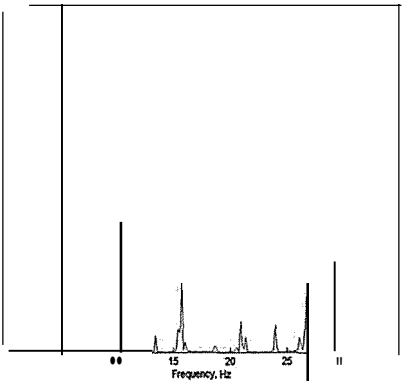



Figure 5. Frequency analysis ofmaingate sprocket torque

### 4.3 AFC Chain tension

Simulated chain tensions along both the top and the bottom deck of AFC are plotted in Figure 6. The tension on the top chain near the maingate is about 640 kN and the tension on the bottom chain near the tailgate is about 400 kN. It can be seenthat there is about 240 kN tension on the bottom chain near the maingate and it is contributed by the tailgate motor due to the power sharing. The tension due to the moving resistance in the bottom chain is about 160 kN.

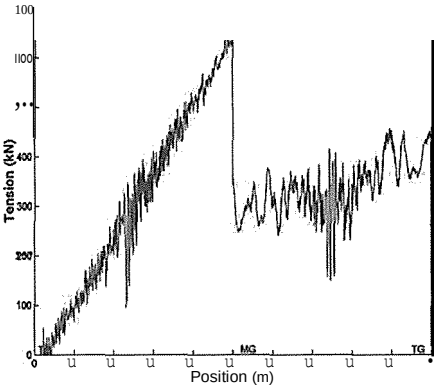



Figure 6. Simulated chain tension

### 4.4 Sprocket torque fluctuation vs chain velocity

The fluctuations of the sprocket torque are shown in Figure 7. The torque repeats its fluctuation pattem with the tooth-engagement frequency. The maximum torque occurs when the engaged sprocket tooth reaches the mean value before the next tooth gets engaged. The chain velocity varies in the same pattem as the sprocket torque. It reaches the maximum speed at the moment contacting with the sprocket teeth and reaches its mean before contacting with the next sprocket tooth. Figure 8 shows the velocity of one chain element as it goes over the sprocket. It can be clearly identified when the element gets engaged with the sprocket teeth and when it gets away from the sprocket.

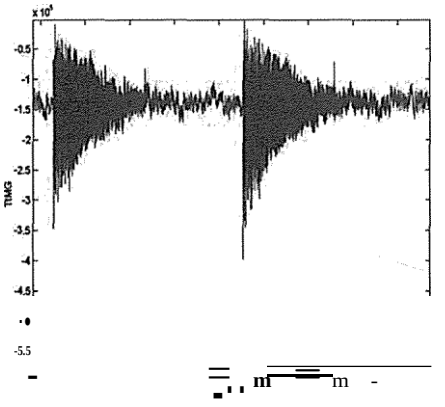


Figure 7. Maingate sprocket torque

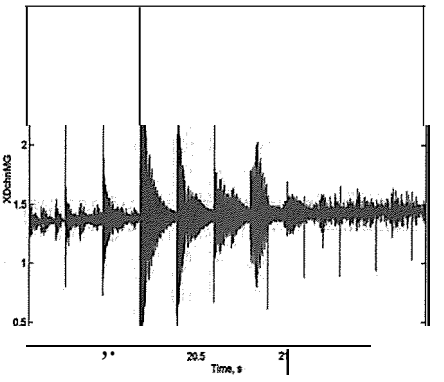



Figure 8. Chain velocity over sprocket teeth

### 4.5 Effect of pretension

Proper chain pretension is needed to prolong chain life and to minimize the risk of chain blockage due to slack. A separate simulation was carried out with 30t pretension on the chain to identify the effect of the chain pretension. Figure 9 shows the power consumption with and without chain pretension. It can be seen that the motor power without pretension fluctuates more than the motor power with 30t pretension. The same effect can be seen from the plot of sprocket torque also.

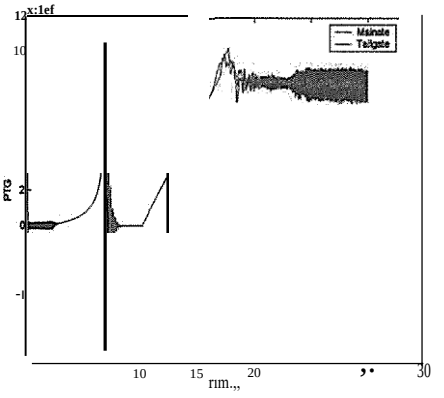



Figure 9a Main and tailgate motor power - no pretension

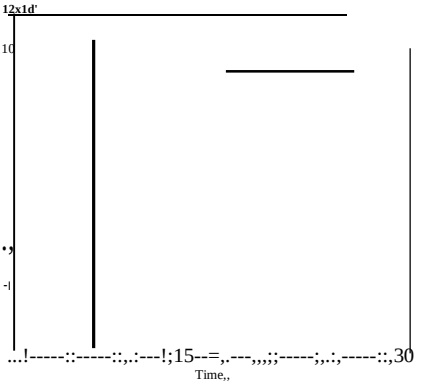



Figure 9b Main and tailgate motor power - pretension of 30 t

Chain pretension affects the chain speed at the maingate sprocket as shown in Figure 10. When there is no chain pretension, the speed of the chain is close to zero after its disengagement from the sprocket as indicated in Figure 10a. This creates significant slack near the maingate sprocket. The pretension of 30t is predicted to remove the slack as shown in Figure 10b.

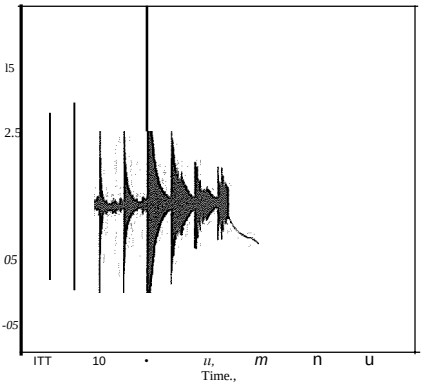



Figure 10a Velocity of the chain cross the sprocket - no pretension

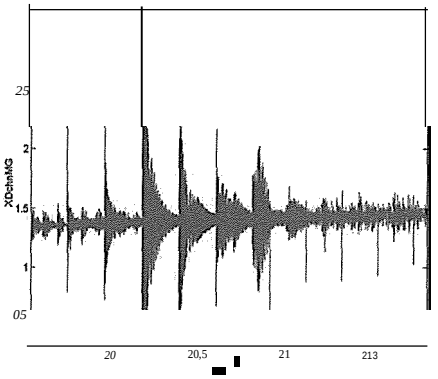



Figure 10b Velocity ofthe chain cross the sprocket - pretension of 30 t

## 5 DISCUSSIONS

When coal is loaded over the full length of the AFC at the design capacity of the shearer, which is the case when the shearer is cutting near the tailgate, the mean power required to drive the 250-m AFC is predicted to be about 1720 kW. The simulated result is about 7% higher than the rated power (2 x 800 kW motors) of the system since the coal loading in the simulation is the worst case.

The calculation of mean chain tension near the maingate sprocket (top) is 640 kN and near the tailgate (bottom) is 400 kN. The calculation with equations (4) and (5) at these two points are close to the simulation results. The advantage of simulation is that it can predict both static and dynamic tensions.

The effect of the chain pretension has been simulated by the software. When there is no chain pretension, the speed of the chain is close to zero after its disengagement from the sprocket. This creates significant slack near the maingate sprocket. The slack chain near the maingate is dangerous since it could İnternet with the BSL chain and cause chain break.

The following conclusions are based on the simulation results. The accuracy of the simulation will be verified with the field data measured by the chain tension meter.

- The simulation results for the mean motor power and chain tension are comparable with the calculations using equation (7).
- The sprocket torque fluctuations are caused by the discontinuous engagement between sprocket teeth and chain links. This causes the chain speed to vary when it goes over the sprocket.
- Proper chain pretension can prolong chain life by reducing force variation and prevent chain slack and avoid chain break.
- Dominated sprocket engage frequency of 5.6 HZ can be identified in the prediction of power, sprocket torque and chain tension.

## REFERENCES

Guan, Z and Gurgenci, H, 2004. Reliability improvement through smart longwalls project, *2004 CRCMining Research and Effective Technology Transfer Coıferenc,* pp.xx-xx.

Wauge, **D,** 2002. Modelling of an Armoured Face Conveyor, *Master thesis of the University of Queensland.*

# *Maden Makine ve Donanım Seçimi*

*(Mining Machinery and Equipment Selection)*

# Açık Ocak Madenciliği Ekipman Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesinin Uygulanması

## *Application of the Analytical Hierarchy Process ın Equipment Selection far Open Pit Mining*

A. Başçetin

*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul,e-mail:atac@istanbul.edu.tr*

**ÖZET:** Ekipman seçimi, açık ocak dizaynı ve üretim planlamasında en önemli etkenlerden biridir. Ekipman seçimi plan lokasyonu ve derinliğinin bir fonksiyonu olarak da açık ocak dizaynındaki ekonomik düşünceleri etkilemektedir. Ayrıca ekipman seçimi kompleks, çok kriterli karar verme problemidir. Grup karar -verme prosesi sistematik ve mantıksal bir yaklaşımla maden işletmesinin farklı fonksiyonel sahalarından birkaçının öncelikli değerlendirilip parasal girdi sağlanarak daha iyi hale getirilebilir. Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP), birkaç karar vericinin birbirleriyle çelişmeleri durumunda ortak karara varabilmeleri için çok faydalı olabilir. Bu makalede, Orhaneli açık ocak kömür madeninde kömür üretimi için bir AHP modeli kullanılarak yükleyici taşıyıcı sistemi seçimi değerlendirilmektedir. Önerilen modelin kullanımı, optimal özellikleri sağlayabilecek bir ekipman seçimininde grubun karar verme sürecini geliştirmek için uygulanabileceğini göstermiştir. Ayrıca, karar prosesi sistematik bir yapıdadır ve önerilen AHP modeli kullanılarak optimal ekipman seçimi için gerekli zamanı azaltılabilir bulunmuştur.

**ABSTRACT:** Equipment selection is one of the most important factors in open pit design and production planning. Equipment selection also affects economic considerations in open-pit design as a function of plan location and depth. Furthermore, the equipment selection is a complex multi-person, multi-criteria decision problem. The group decision-making process can be improved by a systematic and logical approach to assess priorities based on the inputs of several specialists from different functional areas within the mine company. The Analytic Hierarchy Process (AHP) can be very useful in involving several decision-makers with different conflicting objectives to arrive at a consensus decision. In this paper, the selection of a loading-hauling system using an AHP-based model was evaluated for coal production in an open pit coal mine located Orhaneli, in westem Turkey. The use of the proposed model indicates that it can be applied to improve the group decision making in selecting an equipment that satisfıes optimal specifications. Also, it is found that the decision process is systematic and that using the proposed AHP model can reduce the time taken to select an optimal equipment.

## 1 GİRİŞ

Ekipman seçımı kesinlikle, açık ocak madenciliği için bir işletmenin ekonomik hayatını büyük oranda etkileyebilen, bir büyük karardır (Hendricks ve Dahlstrand, 1979). Buna ek olarak, bir sistemin seçimi aynı derecede önemli bir problemdir ve ekipman teknik özellikleri ve işletme koşullarını kapsayan çok sayıda kriter içermektedir. Genel ekipman seçimi prosesi iklim, jeoloji, jeoteknik, çevre, zemin, mevzuat ve bölge özel koşulları gibi

parametreleri içeımektedir. Ayrıca _ekip n seçim prosesi ekipmanın. tıpl rın n, ekipmanın boyutunun ve seçılen uretıın kapasitesini karşılayaca ünite sa ısının belirlenmesini içeımektedır. Uygun ekıpınan karşılaştırması da prosesin ayrılmaz unsurudur. Proses, deneyimli ekipman seçim mühendisi tarafından tayin edilen bir mantık dizisiyle yapılan hesaplamaları içermektedir. Ekipman seçimine uygulanan l-1:z _an sistemleri geliştirmek için çok sayıda gırışıın yapılarak bu proses güçlendirilir. Böylece Problemler geleneksel prograınlana?il r hesaplamalardan daha çok bir büyük_ b lgı-tabanı ve bir zincirleme prosese ıhtıyaç duyarlar. Ekipman yatak geometrisi in bir fonksiyonu olarak seçilir ve bu ekıpınan, kazı geometrisini etkileyebilir. Maliyet tahmini, tüm prosesin bir esas nsuru ur. Gerçekte, esas amaç bir bel rlenınış ın lı):'e! oranını en aza indiren ekıpınan seçımını yapmaktır (Lizotte, 1988 ).

Geçen son 30 yıl zarfında ARP ve bulanık mantık bir biçimsel yöntem olarak endüstriyel kontrol, askeri operasyonlar, ekonomi, mühendislik, tıp, güvenilirlik ve model tanıma ve sınıflama gibi geniş bir problem aralığı içersinde saklı belirsizliklere biçimsel anlamlar getiren bir yöntem ola a½ geliştirilmiştir. Literatürde yeralan çeşıtlı alanlardaki uygulamalara; Karadogan ve ark. (2001), Bandopadhyay ve ark. (1986-1987), Gershon ve ark. (1993), Herzog ve Bandopadhyay (1996), Bascetin,(19_99), Başcetin ve Kesiınal(1999a, 1999b), Kesıınal ve Başcetin (2002), Bascetin (2004) örnek verilebilir.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (ARP) nitelik ve nicelik kriterini kendine özgü ele alına yeteneğinden dolayı bu çalışmada uygulanmıştır. Ayrıca ARP, kolay anlaşılabilinir ve işletme yürütücüsü tarafından bütün maden kararlarına uygulanabilinir (Saaty, 1980, 1986,. 1_994). Ayrıca ARP karar-ve e. prosesını d geliştirmeye yardın:ıcı olabılır. AH ınod lı formüle etmek için kullanılan Hıyerarşık yapı, değerlendirıne grubunun _bütün üyelerine ilgili kriterler ve alt krıterler açısından problemi sistematik olarak hayalerinde canlandırmayı ınüınkün kılar. Ayrıca değerlendirme grubu eğer gerekir e, kriter eklemesiyle hiyerarşik yapıyı revıze etmek için de girdi sağlayabilir. Ayrıca ARP kullanılarak değerlendirme grubu kriter ve alt kriterin önceliklerini sistematik olarak karşılaştırabilir ve belirleyebilir. Bu ilgiye dayanarak değerlendirme grubu farklı ekipman sistemlerini (Yl! leıne-nakliyat)etkili olarak karşılaştırabılır ve optimum sistemi yapabilir.

## 2 AHPMODEL

Bu metod Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1980-1994). ARP karar_ prob eının amaç, kriter, altkriter ve alternatıf sevıyeleri şeklinde yapılandırır. Problem düzeylere ayrılarak, karar-verme kararları daha kü9 k kümelere odaklanabilir. Karar vermek ıçın ARP kulanıını 4 aşama içerir. Burada değerin kriterleri kl-1:llanılar k -a gereksinimleri değerlendırmek ıstendıgını varsayılırsa;

Adım 1. nxn ınatriksin sütunlarında ve satırlarından gereksinimleri karşılanır. 4 aday gereksinimine ihtiyaç duyulacağını varsayılırsa: Reql, Req2, - eq3, eq4_ ve onlara ait ilişkili değerler bılınmek ıstei:ırs , n'nin gereksinimleri, bir n sıralı ınatrıksın satırları ve sütünlarına konulur. (bu durumda 4x4 ınatrikse sahip olunur).

Adım 2. Bütün gereksinimlerin ikili karşılaştırması kriterlere göre gerçekleşir. Bu amaç için landan temel ölçü _Tab o l_' e verilmiştir. ihtiyaç olan her bır çıft ıçın (örneğin; Req 1 ve Req 2 ile başlayarak) Req 1 satırının Req 2 . sü n?1!-a karşılaştırıldığı pozisyonda her bır çıft ıçın belirlenmiş değerin yoğunluğu eklenir. Bu pozisyonda (Req 2, Req 1) karşılıklı değerler girilir, ve çoğu çapra olan tüm pozisyonların içerisine "1" değen yerleştirilir. Req 1-Req 3'ün, Req 1- eq 4'ün, Req 2-Req 3'ün _ve vb. çıftlı karşılaştırmasını gerçekleştırmeye devam edilir. Bir n sıralı matris için, nx(n-1)/2 karşılaştıımalarına ihtiyaç duyulur. B yl ce, bu örnekte, çiftli karşılaştırmalara ıhtıyaç duyulur; karşılaştırmalara aşağıdaki örnek verilebilir:

| | Reql | Req2 | Req3 | Req4 |
|---|---|---|---|---|
| Reql | 1 | 1/3 | 2 | 4 |
| Req2 | 3 | 1 | 5 | 3 |
| Req3 | 1/2 | 1/5 | 1 | 1/3 |
| Req4 | 1/4 | 1/3 | 3 | 1 |

Adım 3. Matriksin (kriterlerin dağılımını temsil eden) özdeğerlerini hesaplamak için normalize edilmiş sütunların üstündeki ortalama kullanılır. Thomas Saaty normalize kolonların üstünde ortalama olan basit bir metod önermiştir. Öncelikle, karşılaştırmalar matriksi içersindeki n sütunların toplamı hesaplanır. Sonra, matriks içersindeki her eleman eleman olduğu sütün toplamına bölünür ve her satırın toplamı hesaplanır:

| | Reql | Req2 | Req3 | Req4 | Sum |
|---|---|---|---|---|---|
| Reql | 0.21 | 0.18 | 0.18 | 0.48 | 1.05 |
| Req2 | 0.63 | 0.54 | 0.45 | 0.36 | 1.98 |
| Req3 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.34 |
| Req4 | 0.05 | 0.18 | 0.27 | 0.27 | 0.62 |

Bir sonraki aşamada satırların top!a ı normalize edilir (her satır toplamı gereksınım sayısına bö!ünür). _ u karşılaştırmaı:ıı!1 sonucu öncelık matrıksı olarak kabul edılır ve matriksin özdeğerinin bir kestirimidir.

$$\begin{bmatrix} 1.05 \\ 1.98 \\ 0.34 \\ 0.62 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.26 \\ 0.50 \\ 0.09 \\ 0.16 \end{bmatrix}$$

Adım 4. Tahminini özdeğerlere dayanarak her gereksinimin nispi değeri tayin ed_il r. Karşılaştırma matrıksinin özdeğerlerının sonuçlanmasından aşağıdakı bilgi çıkarılabilinir:

Req 1 gereksinimlerin toplam değerinin% 26'sını içerir,
Req 2 % 50 içerir
Req 3 % 9 içerir, ve
Req 4 % 16 içerir.

Eğer bütün gereksinimlerin nispi değerleri kesin olarak belirlenebilirse, özdeğerler tam olarak tutarlı hale gelir. Örneğin; Req1 Req2'den çok daha değerli olduğu belirlenirse, Req2 Req3'den biraz daha değerli, ve Req3 Reql'den daha az değerli olur bir tutarsızlık meydana gelir ve sonucun doğ;uluğu azalır. Ikili karşılaştırmaların fazlalığı AHP'yi karar hatalarına karşı daha az duyarlı yapar. Bu aynı zamanda karşılaştırma matriksinin tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı hesaplayarak karar hatalarının ölçülmesine izin vermektedir.

Tutarlılık indeksi (CI) ikili karşılaştırmaların doğruluk sonucunun bir ilk göstergesidir. Tutarlık indeksi CI=(Amax - n)/(n-1) olarak hesaplanır. Amax a şıalaştırn_ıa matriksinin maksimum özdeğerını gösterır. Amax'ın en yakın değeri; gereksinimlerin sayısıdır (n), daha küçük yargısal hatalar'dır ve böylece sonuç daha tutarlıdır. Amax hesaplamak için, öncelikle karşılaştırma matriksi öncelik vektörüyle çarpılır,

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 & 4 \\ 3 & 1 & 5 & 3 \\ 1/2 & 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/4 & 1/3 & 3 & 1 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} 0.26 \\ 0.50 \\ 0.09 \\ 0.16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.22 \\ 2.18 \\ 0.37 \\ 0.64 \end{bmatrix}$$

Sonrasında sonuç vektörünün ilk elemanı ile öncülük vektörünün ilk elemanına bölünür. Sonuç vektörün ikinci elemanı öncelik vektörünün ikinci elemanına bölünür.

$$\begin{bmatrix} 1.22 / 0.26 \\ 2.18 / 0.50 \\ 0.37 / 0.09 \\ 0.64 / 0.16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.66 \\ 4.40 \\ 4.29 \\ 4.13 \end{bmatrix}$$

Sonuç vektöründe ortalamanın üstündeki elemanların Amax hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılır;

$$\lambda_{max} = \frac{4.66+4.40+4.29+4.13}{4} = 4.37$$

Şimdi tutarlılık (sabitlik) indeksi hesaplanabilir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{4.37 - 4}{4-1} = 0.12$$

Tablo 1 Karşılaştırılan çiftler için ölçek

| KUVVET | TANIM | AÇIKLAMA |
|---|---|---|
| | AYNI DEĞER | AYNI DEĞERE GÖRE2 İHTİYAÇ |
| 3 | DAHA ZAYIF DEĞER | BAŞKA İHTİYAÇLARA GÖRE DENEYİMSİZ OLANLARA ÖNCELİK TANINIR |
| 5 | BAŞLICA VEYA GÜÇLÜ DEĞER | BAŞKA İHTİYAÇLARA GÖRE DAHA DENEYİMLİ OLANLARA ÖNCELİK TANINIR |
| 7 | ÇOK GÜÇLÜ DEĞER | PRATİKTE İHTİYACIN GÜCÜNÜN ÜSTÜN OLDUĞUNU KANITLAMAK ÖNCELİK |
| 9 | AŞIRI DEĞER | TANINAN BAŞKA BİR DEĞER TASDİK EDİLEN İHTİMALİ EN YÜKSEKTİR. |
| 2,4,6,8 | ORTADAKİ İKİ KOMŞU DEĞER ARASINDAKİ MUHAKEME | UZLAŞMA İHTİYACI DUYDUĞUNDA |

"İ" İHTİYACINA YUKARDAKİ NUMARALARDAN BİRİNİ ATAYIP VE ONU "J" İHTİYACI İLE KARŞILAŞTIRIRSAK SONRA "J" ,"İ" İLE KARŞILAŞTIRILDIĞINDA KARŞILIKLI DEĞER ALIR.

Bulunan tutarlılık (sabitlik) indeksi (CI=0.12) kabul edilebilir olup olmadığını öğrenmek ıçın tutarlılık oranı (CR) hesaplanmalıdır.

1-9 arası ölçeğe sahip karşılaştınna matrisinden üretilen tutarlılık indeksleri; rastgele indeksler (RI) olarak isimlendirilmektedir. Aynı sıralı matriks için CI nın RI ya oranı tutarlılık oranı (CR) olarak adlandırılır. Bu oran ikili karşılaştırmaların doğruluğunu tanımlar. n sıralı matriksler için RI aşağıda gösterilmektedir. Birinci satır matriks dizisini ve ikincisi ise karşılık gelen RI değerlerini göstermektedir.

Aşağıdaki tablo'ya göre; 4 sıralı matriksler için RI 0,90'dır. Böylece tutarlılık oranı bu örnek için ;

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,1}{0,90} = \frac{2}{9} = 0,14 \text{ olacaktır.}$$

Genellikle, O,1O yada daha az değerlerdeki tutarlılık oranları kabul edilebilinir. Bu, sonuçun idealden daha az olduğu anlamına gelir. Fakat uygulamada tutarlılık oranları genellikle 0,l0'u aşmaktadır.

## 3 AHP MODELİNİN EKİPMAN SEÇİMİ PROBLEMiNE UYGULAMASI

Bu çalışmada, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Orhaneli Linyitleri İşletmesi'nde yeralan bir açık ocak kömür madeninde kömür üretimi için bir yükleme-nakliyat sistemi seçimi değerlendirilmiştir. Kömür madeni Bursa'nın yaklaşık 65km kuzeyinde yer almaktadır ve 1979'dan bu yana faaliyetlerine devam etmektedir.Bugün ocak, Orhaneli enerji santraline (lx210 MW) ve kısmen yakıt amaçlı kullanımlara hizmet vermektedir.

Açık ocağın mevcut boyutu 1200 m uzunluk ve 400 m gelişliğindedir. İşletmede 15 m yüksekliğinde 3 basamak ile alınan örtü toprağının toplam kalınlığı 75 m'dir. Kömür ise tek basamakta alınmaktadır. Yeryüzünden itibaren son 25 m örtü tabakası ise dragline kulanılarak alınmaktadır Tüm ocakta eğim açısı ise 45° ve basamak açısı 75°dir.

Yapılan ön değerlendirmeler sonucunda yükleme-taşıma sistemi için 4 potansiyel altemative öngörülmüştür: shovel-kamyon ($A_1$), shovel-kamyon-ocak içi kıncı-bantlı konveyör (A2), shovel- ocak içi kıncı-bantlı konveyör ($A_3$), loder-kamyon ($A_4$).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

Ocak-bölgesinin karakteristik özellikleri ve ekipmanların teknik özellikleri Tablo2'de belirtilmiştir. Tablodaki bazı parametreler envanter raporlardan alınmış olup, diğerleri ise (yükleme süresi, vb. parametreler) bu inceleme için ölçülmüştür.

Tablo 2 Her bir sistem için hesaplanan teknik parametreler

| **Rezerv** | 23.000.000 ton |
|---|---|
| **Kömür Üretimi** | 1.200.000 ton/yıl(güç santrali için), 100.000 ton/yıl (ev kullanımı için) |
| Aktif Çalışma Günleri | 12h/gün, 300gün/yıl, 3600h/yıl, 1 **vardiya** |
| **Kömür** | **Linyit, ortadercccde:kil** |
| Kömür Yoğunluğu | **1.5** ton/$m^3$ |
| OrtalamaKömür Kalınlığı | 19.3m |
| **Kömür Ebatları** | Max.50crn(tüvenan), l0cm(bant konveyör) |
| **Kömür Analizi** | Neın:%26.6,Kül:%26,Düşük Kalorifik Dcğcr:2097kcal/kg, **Sülfir:%2** |
| KabannaFaktörü(Kömür) | J .2(taşınırkcn) |
| **Patlatma** | Var |
| **Taşıyıcı Mesafesi** | 2.5knı(Aı),2knı bant konveyör-0.5knı kanıyon($A_{2)}$, 2.5km (Aı), 2.5km(A,) |
| **Ortalama eğim direnci** | **%3** |
| **Ortalama yuvarlanma direnci** | **%2** |
| **Max. ters eğim** | **+%4** |
| Boşaltma yüksekliği | Shovel:7.5m,Kamyon(yüklcyici yüksekliği:3.78nı) |
| **Kepçe Kapasitesi** | Hidrolik Ekskavatör:7. 64$m^3$ |
| *Kepçe* Doldunna Faktörü | %90 |
| **Ekipman Ağırlıkları** | Shovel:83800kg, Kamyon:40188kg |
| **Kullanım Ömürleri** | Shovcl:25000h,Loadcr:20000h, Kamyon: J5000h,Konveyör:24000h |
| **Yükleme Zamanı** | **Hidrolik Ekskavatör:26 saniye** |
| **Saykıl süresi** | 17.85dak. 2.5km için(Aı),7.2dak. 0.5km için(kamyon-convcyör) |
| **Bant Konveyör** | 2m/sn, 900mm genişliğinde, 2.5km uzunluğunda (ocak dışı) 0.5km(ocak içi) |
| **Ocak içi kırıcı** | 350 ton/h |
| Ekipman Maliyeti | Kamyon:$400.000, Kırıcı:$700.000, Konvcyör:2.670.000(2.Skm) |
| İşletme Maliyeti | A,:Sl2/ton, A,:$6.80/ton, A,:$6.12/ton, A,:$11.72/ton |

Saat hiyerarşisine gore problemin yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Bu problemin amacı şirket karlılığını arttıran ve optimal üretim gereksinimlerini karşılayabilen yükleme-nakliyat sistemini seçmektir. Bu amaç hiyerarşinin ilk aşamasına yerleştirilmiştir. Maliyet ve işlemsel-teknik gereksinimler olarak adlandırılan hiyerarşinin ikinci aşamasında oluşturulan 2 stratejik faktör, bu amaca ulaşmak için tanımlanmıştır. Maliyet faktörü önemlidir, çünkü bir işletmenin ne kadar düşük maliyeti olursa o kadar yüksek üretilebilirlik ve verimlilik söz konusu olacaktır. Üçüncü hiyerarşi aşaması, ikinci aşamadaki 2 stratejik faktörün (maliyet ve işlemsel-teknik gereksinim) tanımlanması kriterini içermektedir. Sermaye ve işletme masrafları olarak adlandırılan maliyetle ilgili 2 kriter vardır. Diğer tarafdan işlemsel-teknik gereksinimler ile ilişkili kriterler; işletme koşulları ve ekipman teknik parametreleridir. Bu kriterler Şekil 1'de görüldüğü gibi 4. seviyede 19 alt kritere ayrılmıştır.

Örnek olay incelemesi ıçın, Saaty'nın karşılıklı (ters) matriksi Tablo 3'de verilmiştir. Bu matriks uzman ekip tarafından yapılmıştır. Bu yaklaşım kullanılarak, 5 kişiden oluşan bir değerlendirme ekibi oluşturulmuştur. Bu kişiler ekipman seçiminde tecrübeye sahiptirler. Grubun bir üyesi, bu madenin genel yöneticisi, 2 üyesi üretim mühendisi ve diğer 2 üyesi ise proje bölümünden maden planlama mühendisidir. Bu üyelerin her biri açık ocak palanlama konusunda 6 seneden fazla süredir deneyimlidirler. Değerlendirme üyelerinin ekipman seçiminde yeterli deneyime sahip olmaları, önerilen AHP modelinde ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında daha doğru kararlar alınmasını sağlamaktadır.

Tablo 3 Ekipman seçim probleminin çiftli karşılaştınna karar matriksleri (PCJM)

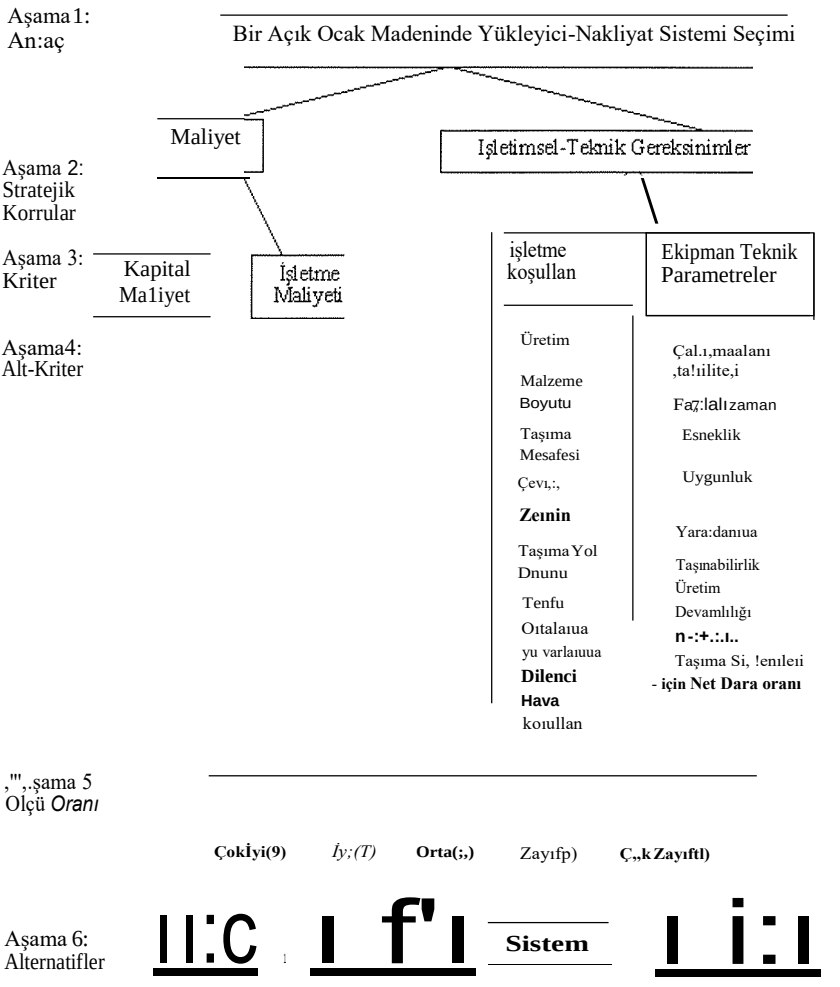
| Amaç | Maliyet | Verimlilik | Öncelik |
|---|---|---|---|
| Maliyet(C) | 1 | 1.3 | 0.565 |
| Verimlilik(R) | 0.8 | 1 | 0.435 |
| | | | *C.R.-0.0* |

| Maliyet | CC | OC | Öncelik |
|---|---|---|---|
| Kapital Maliyet(CC) | 1 | 0.6 | 0.387 |
| İşletme Maliyeti(OC) | 0.8 | 1 | 0.613 |
| | | | *C.R.-0.0* |

| Verimlilik | MSP | ETP | Öncelik |
|---|---|---|---|
| Maden Saha Parametreleri(MSP) | 1 | 1.3 | 0.565 |
| Teknik Ekipman Parametreleri(ETP) | 0.8 | 1 | 0.435 |
| | | | *C.R.-0.0* |

| Maden Saha Parametreleri | P | MS | M | HD | TGC | HRC | E | G | ARR | WC | Öncelik |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| üretim(P) | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 1 | 0.053 |
| Materyal Ebatları(MS) | 1.5 | 1 | 1 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.066 |
| Nem(M) | 1.5 | 1 | 1 | 0.5 | 0.3 | 1 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 1.5 | 0.070 |
| Taşıma Mesafesi(HD) | 2.5 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 0.170 |
| Yüzey Durumu(TGC) | 3 | 3 | 3 | 0.5 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0.203 |
| Taşıma Yol Durumu(HRC) | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 1 | 0.5 | 1 | 0.6 | 1 | 0.076 |
| Çevre(E) | 2 | 2 | 2 | 0.6 | 0.5 | 2 | 1 | 1.5 | 1 | 1.5 | 0.116 |
| Tenör(G) | 1.5 | 1 | 1.5 | 0.5 | 0.3 | 1 | 0.6 | 1 | 0.6 | 1 | 0.074 |
| Ortalama Kayma Direnci(ARR) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 0.6 | 0.5 | 1.5 | 1 | 1.5 | 1 | 1.5 | 0.103 |
| Hava Durumu(WC) | 1 | 1.5 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 1 | 0.6 | 1 | 0.6 | 1 | 0.069 |
| | | | | | | | | | | | *C.R.-0,0* |

| Teknik Ekipman Parametreleri | WS | UL | F | A | U | M | C | S | NTR | Öncelik |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Çalışma Azmi(WS) | 1 | 3 | 1 | 1 | 0.6 | 0.6 | 2.5 | 2.5 | 1 | 0.130 |
| Uzun Ömürlülük(UL) | 0.3 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 1 | 1 | 0.5 | 0.060 |
| Esneklik(F) | 1 | 2 | 1 | 1 | 0.6 | 0.6 | 2.5 | 2.5 | 1 | 0.120 |
| Elde Edilebilirlik(A) | 1 | 2 | 1 | 1 | 0.6 | 0.6 | 2 | 2 | 0.6 | 0.110 |
| İşe Yararlılık(U) | 1.5 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0.168 |
| Taşınabilirlik(M) | 1.5 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1 | 2.5 | 3 | 1 | 0.165 |
| Devamlılık(C) | 0.4 | 1 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 1 | 1 | 0.5 | 0.057 |
| Destek(S) | 0.4 | 1 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 1 | 1 | 0.5 | 0.055 |
| Net Dara Oranı(NTR) | 1 | 2 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0.135 |
| | | | | | | | | | | *C.R.-0.0087* |




Şekil 1 Yükleyici-Taşıyıcı sistemlerinin seçimi için AHP modeli

Tablo 4 Kritik faktörler için öncelik ağırlıklartnın belirlenmesi

| *Stratejik Konular* | *Kriter* | *Alt Kriter* | *Lokal Ağırlıklar* | *Global Ajiırlıklar* |
|---|---|---|---|---|
| Maliyet | Kapital Maliyeti | | 0.387 | 0.060 |
| | işletme Maliyeti | | 0.613 | 0.080 |
| Teknik Gereklilik | İşletme Koşulları | Üretim | 0.053 | 0.023 |
| | | Malzeme Boyutu | 0.066 | 0.024 |
| | | Nem | 0.070 | 0.011 |
| | | Taşıma Mesafesi | 0.170 | 0.052 |
| | | Zemin Koşulları | 0.203 | 0.100 |
| | | Taşıyıcı Yol durumu | 0.076 | 0.030 |
| | | Çevre | 0.116 | 0.040 |
| | | Tenör | 0.074 | 0.030 |
| | | Ortalama Kayma(yuvarlanma) direnci | 0.103 | 0.030 |
| | | Hava Koşulları | 0.069 | 0.027 |
| | Ekipman Teknik Parametreleri | Çalışma alanını Stabilitesi | 0.130 | 0.070 |
| | | Faydalı Süre | 0.060 | 0.030 |
| | | Esneklik | 0.120 | 0.060 |
| | | Uygunluk | 0.110 | 0.050 |
| | | Yararlanma | 0.168 | 0.080 |
| | | Taşınabilirilk | 0.165 | 0.070 |
| | | Devamlılık | 0.057 | 0.033 |
| | | Destek | 0.055 | 0.030 |
| | | Net Dara Oranı | 0.135 | 0.ü70 |
| | | | Toolam: | 1.000 |

Bu ekibin ekipman seçimi kriteri ve seçim gereksinimlerini değerlendirmede oluşturdukları fikirlerin şirketin hedeflerini temsil ettiği kabul edilmektedir. Aşağıda, çeşitli çozum metodlardan (lineer programlama, uzman sistemler) üretilen bazı dilsel sonuçlar verilmiştir. Üretilen bu sonuçlar ile her sistemin sahip olduğu avantajlar belirlenmiştir. Bu durumda problemin çözümünün kolay olmayacağı anlaşılmaktadır. Bu tür çok sayıda ve rakamsal olarak ifade edilemeyen kriterlerin bulunduğu ortamlarda; karar vermede AHP uygulaması çözüm için en uygun yöntemlerden biridir ve bu nedenden dolayı bu çalışmada kullanılmıştır.

• Örtü tabakası kalınlığı ince, bu nedenle Al daha iyi bir seçimdir.
• Kazılabilirlik zor değil, bu nedenle shovel tercih edelebilir.
• Shovel zemin koşullarına göre daha avantajlıdır (zemin özellikleri kışın çok ıslak ve çamurludur).
• Bütün kombinasyonlar boşaltma yüksekliğine göre uygundur, fakat shovel daha güvenli yükleme yapabilir, vs.

Liberatore'ın; (O), çok iyi (G), iyi (A), orta (F) zayıf (P) çok zayıf, 5-noktalı sınıflama ölçeği Tablo 4'de görüldüğü gibi ikili karşılaştırma karar matrisini oluşturmak için kullanılmıştır (Liberatore ve ark.1992). Bu matriks daha sonra özdeğer problemine dönüştürülerek; matris içerisinde yeralan, çok iyi, iyi, orta, zayıf, ve çok zayıf sınıflaması (Expert Choice, 2000) ile çözülmüş ve öncelik ağırlıkları sırasıyla 0.513, 0.261, 0.129, 0.063 ve 0.034 olarak bulunmuştur.

Tablo 5 5 noktalı sınıflama ölçeği için çiftli karşılaştırmalı karar matriksi

| | O | G | A | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| O | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| G | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 |
| A | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 |
| F | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 |
| p | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Global agırlıklar hesaplandıktan sonra, değerler en yüksekten, en düşüğe doğru tekrar sıralanarak Tablo 6' da verilmiştir. Tabloda da görüleceği gibi zemin koşulları ilk sırada yer almakta, bunu sırası ile yararlanma ve

Tablo 6 Kritik faktörlerin sıralanması

| Sıra | Alt Kriter | Globa I Ağırlıklar |
|---|---|---|
| 1 | Zemin Koşulları | 0.100 |
| 2 | Yaralananı | 0.080 |
| 3 | İşletme Maliyeti | 0.080 |
| 4 | Çalışma alanı stabilitesi | 0.070 |
| 5 | Taşınabilirlik | 0.070 |
| 6 | Net Darı oranı | 0.070 |
| 7 | Esneklik | 0.060 |
| 8 | Kapital Maliyetler | 0.060 |
| 9 | Taşıma mesafesi | 0.050 |
| 10 | Uygunluk | 0.050 |
| il | Çevre | 0.040 |
| 12 | Devamlılık | 0.033 |
| 13 | Taşıyıcı yol durumu | 0.030 |
| 14 | Tenör | 0.030 |
| 15 | Ortalama yuvarlanma Direnç | 0.030 |
| 16 | Yararlı Süre | 0.030 |
| 17 | Destek | 0.030 |
| 18 | Hava Koşulları | 0.027 |
| 19 | Malzeme Boyutu | 0.024 |
| 20 | Üretim | 0.023 |
| 21 | Nem | 0.023 |
| | Toplam | 1.000 |

işletme maliyetleri kriterleri izlemektedir. Global ağırlıklar, 21 alt kriter ıçın belirlenmiş ve Tablo 4'ün son sütununda verilmiştir. Bütün kriterler için global ağırlıklar ve yükleme-taşıma sistemleri sıralaması belirlendikten sonra; her bir alternatif sistemin için global öncelik ağırlıkları belirlenebilir. Bu çözüm ise herbir alt kriterin global öncelik ağırlıklarını, yükleme-taşıma alternatif sistem sıralamasındaki öncelik ağırlıkları ile çarpılması sonucu elde edilmektedir. Sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'deki dört yükleme-taşıma alternatif sisteminin global öncelik ağırlığına dayanarak; $A_2$ alternatifinin en yüksek ağırlık değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle maden şirketinin amacını ve hedefini karşılayan optimum sistem olarak seçilmiştir.

## 4SONUÇLAR

Ekipman seçimi, açık ocak dizaynı ve üretim planlaması etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Bu çalışmada öncelikle stratejik faktörler ve tanımlayıcı kriterleri belirlenmiş ve daha optimal ekipman seçimi için AHP modelinde forn1üle edilmiştir. Önerilen AHP modeli madencilik işlemlerinde herhangi bir problemin çözümünde uygulanabilinir. AHP model kullanılarak, ekipman seçimi için kriterler açıkça tanımlanır ve problem sistematik bir biçimde yapılandırılır. Kriterlerin karşılaştırılması ile karar vericiler, alternatif yükleme-taşıma sistemlerinin güçlü ve zayıf yönlerini rahatlıkla görebilmektedirler. Ayrıca AHP modeli kullanımı karar vermede zamanı ve eforu azalttır. Yapılan bu çalışmadan ekipman seçiminde AHP modelinin kullanımı ile karar prosesinin geliştirildiği görülmüştür. Bu çalışmada geliştirilen AHP modeli yükleme-nakliyat ekipman seçimi uygulamaları ıçın bir temel oluşturmaktadır.

Tablo 7 Orhaneli Açık Ocak kömür madeninin ekipman seçiminde AHP modelin uygulanması

| Kritik Faktörlerde S1ratejik Kriterlerin Belirleıımesi | Global Ağll'hl< | S istemAı Değer | Sayı | xGW | SistemA, Değer | Sayı | xGW | Sistem A.ı Değer | Sayı | xGW | SistemA, Değer | Sayı | xGW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Maliyet** | | | | | | | | | | | | | |
| Kapital Maliyet | 0.DS0 | O | 0.513 | 0.0303 | G | 0.261 | 0.0157 | G | 0.261 | 0.0157 | O | 0.513 | 0.0308 |
| İşleinıe Maliyeti | 0.080 | G | 0.261 | 0.0200 | G | 0261 | 0.0209 | O | 0.513 | 0.0410 | G | 0261 | 0.0200 |
| **Telmik Parameire1er** | | | | | | | | | | | | | |
| **Maden Sahası Parametre1eri** | | | | | | | | | | | | | |
| Üıetim | 0.023 | G | 0.261 | 0.0060 | O | 0.513 | 00012 | G | 0261 | O.ODSO | A | 0.129 | 0.0030 |
| Mate:ıyal Ebatı | 0.024 | O | 0.513 | 00123 | G | 0.261 | O.ODS3 | G | 0.261 | 0.0063 | O | 0.513 | 0.0123 |
| Nem | 0.023 | O | 0.513 | O.Oll8 | G | 0.261 | 00060 | G | 0261 | 0.0DSO | O | 0.513 | O.Ol 18 |
| Taşıma Mesafesi | 0052 | A | O.129 | O.ODS7 | O | 0.513 | 0.0267 | O | 0.513 | 0.0267 | A | 0.129 | 0.0077 |
| Yer Durumu | 0.100 | G | 0.261 | 0.0261 | O | 0.513 | 0.0513 | F | 0063 | 0.0DS3 | A | 0.129 | 00129 |
| Taşıma Yol Duıu.mıı | O.ü30 | G | 0.261 | 0.0078 | O | 0.513 | 00154 | O | 0.513 | 0.0154 | G | 0.261 | 0.0078 |
| Çevre | 0040 | A | 0.129 | 0.0052 | G | 0261 | 0.0104 | G | 0.261 | 0.0104 | F | 0063 | 0.0025 |
| Teııör | 0030 | G | 0.261 | 0.0078 | O | 0.513 | 0.0154 | O | 0.513 | 0.0154 | G | 0261 | 0.0078 |
| Oıtalanıa Kayıra Diıenci | 0.030 | G | 0.261 | 0.0078 | O | 0.513 | 00154 | O | 0.513 | 0.0154 | G | 0.261 | 0.0078 |
| Hava Du»ımıı | 0.027 | G | 0.261 | 0.0070 | G | 0.261 | 00070 | O | 0.513 | O.O138 | A | O.129 | O.0035 |
| **TelmikEJıipırum.** | | | | | | | | | | | | | |
| Çalışma Azmi | 0.070 | G | 0.261 | 0.0183 | O | 0.513 | 0.0360 | F | 0.063 | 0.0044 | A | 0.129 | 0.0090 |
| Kullanım Öm ı:i.i | O.ü30 | G | 0.261 | 0.0078 | G | 0261 | 00080 | O | 0.513 | 0.0154 | F | 0.063 | 0.0019 |
| Esıieklik | O.CISa | O | 0.513 | 0.0303 | O | 0.513 | 0.0308 | A | 0.129 | 0.0077 | O | 0.513 | 0.0303 |
| Elde Edilebilirlik | 0.050 | A | 0.129 | 0.0064 | G | 0261 | 0.0130 | G | 0.261 | 0.0130 | A | 0.129 | 0.0064 |
| Ve:ıimlilik | 0.030 | A | 0.129 | 0.0103 | G | 0261 | 0.0209 | G | 0.261 | 0.0203 | A | 0.129 | 0.0103 |
| Taşıınbilirlik | 0.070 | O | 0.513 | 0.0360 | O | 0.513 | 0.0360 | A | 0.129 | 0.0090 | O | 0.513 | 0.0360 |
| De•ıa:ırıl:ılık | 0.033 | G | 0.261 | 0.0086 | O | 0.513 | 0.0170 | O | 0.513 | O.Ol70 | G | 0.261 | 0.0086 |
| Destek | 0.030 | G | 0.261 | 0.0078 | G | 0.261 | 00078 | G | 0261 | 0.0(60 | G | 0.261 | O 0078 |
| Net Dai:a Oranı | 0.070 | G | 0.261 | 0.0183 | O | 0.513 | 0.0360 | O | 0.513 | 0.0360 | G | 0.261 | 0.0183 |
| Toplam | | | | 0.2945 | | | 0.3972 | | | 0.3008 | | | 0.2569 |
| Renonnalized Scoıes | | | | 0.2340 | | | 0.3156 | | | 0.2462 | | | 0.2041 |

## KAYNAKLAR


Bandopadhyay, S., ve Chattopadhyay, A., 1986, "Selection of Post-Mining Uses ofLand Via Fuzzy Algorithm", Proc. Of the 19th Intemational Symposium on the Application of Computers in Mine Planning (APCOM), R. V. Ramani, (ed.), SME/AIME, 321-332

Bandopadhyay, S., 1987, "Fuzzy Algorithm for Decision Making in Mining Engineering", Int. Joumal ofMining & Geological Engineering

Bandopadhyay, S., 1987, "Partial Ranking of Primary Stripping Equipment in Surface Mine Planning", Int. Joumal of Surface Mining, 1 (1987), 55-59.

Başçetin, A., "Açık Ocak Madenlerinde Optimum Ekipman Seçimi", PhD Tezi, İ.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü 1999, İstanbul, Türkiye

Başçetin A., Kesimal, A., 1999a, "Güç Santrali Ocaktan Optimum Kömür Transfer Sisteminin Seçimi İçin Bulanık Teori Çalışması", Islah ve Çevre Maden Topografyası, 13 (1999) 97-101

Başçetin A., Kesimal, A., 1999b, "Madencilikte Bulanık Mantık Uygulaması", İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Yerbilimi Dergisi, Vol.12, No.l.

Başçetin A., Kesimal, A., 2002, "Application of Fuzzy Multiple Attribute Decision Making in Mining Operations", Mineral Resources Engineering, Vol.11, No: 1 (2002) 59-72.

Başçetin, A., "An Applıcatıon of the Analytic Hierarchy Process in Equıpment Selectıon at Orhanelı Open Pıt Coal Mıne" Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy- (AusIMM), Section A- Mining Technology. Vol.113, Number 3, September, 2004

Expert Choice. McLean, VA: Karar Destek Yazılımı, 2000

Gershon, M.A., Bandopadhyay, S., ve Pancanadam, V., 1993, "Mining Method Selection: A Decision Support System".

Libarotore, M.J., Nydick, R.L., ve Sanchez, P.M., 1992, "The Evaluation of Research Papers (or how to get an academic committee to agree on something) ", Interfaces, 22(2):92-100

Gershon, M. A., Bandopadhyay, S., Panchanadam, V., 1993, "Mining Method Selection: A Decision Support System Integrating Multi-attribute Utili Theory and Expert Systems", Proc. of the 24 Intemational Symposium on the Application of Computers in Mine Planning (APCOM), J. Elbrond (ed.), Canadian Institute of Mining & Metallurgy, 3 (1993) 11-18.

Hendricks, D., Dahlstrand, A., 1979, "Selected Aspects of Production Planning - Berkeley Pit, in Open Pit Mine Planning and Design", AIME, New York, 208-216.

Herzog, D., Bandopadhyay, S., 1996, "Ranking of Optimum Benefication Methods via the Analytical Hierarcy Process", Proc. of the 26th Intemational Symposium on the Application of Computers in Mine Planning (APCOM), R.V. Ramani (ed.), SME/AIME, 323- 329.

Karadoğan, A., Başçetin A., Kahriman , A., ve Gorgun, S., 2001, "A New Approach in Selection of Underground Mining Method", Intemational Conference - Modem Management of Mine Producing Geology and Environment Protection.

Lizotte, Y., 1988, "and Technical Relations Between Open-Pit Design and Equipment Selection", Mine Planning and Equipment Selection, Singhaj (Ed), Balkema, Rotterdam, ISBN.9061918197

Saaty, T.L., 1980, "The Analytic Hierarchy Process", NewYork, McGraw-Hill.

Saaty, T.L., 1986, "Axiomatic Foundation ofthe Analytic Hierarchy Process", Management Science, 32(7): 841-855

Saaty, T.L., 1994, Vargas LG. "Decision Making in Economic, Political, Social and Technological Environments with the Analytic Hierarchy Process", Pittsburg: RWS Publications.

# Kalın Kömür Damarlarında Taban Ayak (Çekme) Yönteminin Seçilmesi Durumunda Yürüyen Tahkimat Tiplerinin İncelenmesi

# *Analysis of Roof Support Types far Longwall Top Coal Caving Method In Thick Coal Seams*

M.K. Özfırat, F. Şimşir & A. Gönen
*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir*

**ÖZET** Kalın kömür damarlarında gelişen teknoloji ile birlikte kalın damarların 6 m'ye kadar bir seferde kazanıldığı madenler bulunmaktadır. Türkiye'de 4.2 m kalınlığındaki Çayırhan bölgesinin dışında kalın damarlarda taban ayak (çekme) yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde damarın tabanında kurulan ayak ile damarın belli bir kısmı üretilir ve geri kalan kısım kullanılan tahkimat tiplerine göre göçertilerek ayak içinden veya ayak arkasından üretilir. Bu sistemin en avantajlı yönü fazla işçilik gerektirmeyen kolay bir yöntem olmasıdır. Bunun dışında olumsuz tarafı ise ayak üstünde kalan kısmın üretimi sırasında kayıpların meydana gelmesidir. Bu nedenle seçilen tahkimat tiplerinin ve üretim kayıplarının irdelenmesi bu yöntemde önemli hale gelmektedir. Dünyada özellikle Çin'de kalın damarlarda ayak üzerindeki kömür ayak arkasına kurulan ikinci bir zincirli konveyör ile kazanılmaktadır. Bu çalışmada yöntemin uygulanması ve kayıpların oluşması açısından ülkemizdeki pencereli tip yürüyen tahkimatlar ile ayak arkasında zincirli konveyör bulunduran tahkimatlar taban ayak yöntemi için irdelenecektir.

**ABSTRACT** As technology evolves, there exist thick coal seams up to 6m thickness which can be produced at single pass longwall. In Turkey, most ofthe thick coal seams are produced by longwall top coal caving (LTCC) method except for Cayirhan region which is a 4.2m thick coal seam. In LTCC method, face is set up on the lower part of the thick seam. A portion of the seam is produced by this way. The rest is either caved into the face or produced in the rear of face according to the roof support type used. The most advantageous side of this method is that it is an easy method which saves labor. On the other hand, the disadvantage of the method is that losses occur during caving. Therefore, it is important to analyze roof support types and the corresponding coal loss values. In other mines, especially in China, coal on top of the face is produced by a second chain conveyor built in the rear of face. In this study, roof supports with window and rear face chain conveyors are compared in terms of coal loss.

## 1KALIN KÖMÜR DAMARLARININ ÜRETİMİ

### 1.1 Giriş

Kalın kömür damarlarının üretiminde çoğunlukla uzunayak yöntemi kullanılır. Uzunayak, dar, uzun, az yükseklikte (günümüzde gelişen ekipmanlar ile birlikte yükseklik artmaktadır), pano hazırlık yollarının birleştirilip ilerletimli veya geri dönümlü, göçertmeli veya dolgulu çalışılan üretim bölgesidir. Uzunayak çalışmasında çalışma boyutları (ayak boyu, ayak genişliği, üretim derinliği ve pano boyu) genellikle aşağıdaki gibidir:

| | |
|---|---|
| Pano boyu | : 900-2700 m |
| Ayak boyu (pano genişliği) | : 150-300m |
| Ayak genişliği | : 2.4- 3.6 m |
| Ayak yüksekliği | : 0.9 - 5.5 m |
| Kesme derinliği | : 7.6 - 90 cm |

Kalın damarların uzunayak yöntemi ile üretimi çoğunlukla dört şekilde olur. Kalın damarın tümü bir seferde üretilir, kalın damar üretimi yapılabilecek yükseklikte dilimlere ayrılır ve üretilir, taban ayak yöntemi ile göçertilerek üretilir ya da hidrolik madencilik ile üretilir.

Tüm damarın bir seferde üretildiği yöntemin uygulaması kesici-yükleyicilerin, yürüyen tahkimatların boyutlarının 5 m ve üzerine ulaşması ile artmıştır (Hamilton, 1999). Ülkemizde Ankara bölgesinde bulunan bir maden işletmesinde 4.2 m kalınlığa sahip kömür damarı tek seferde üretilmektedir.

Eğer kömür damarı bir seferde üretilemeyecek kadar kalın bir damar ise bu durumda iki seçenek kalır. Kalın damarı dilimlere ayırarak üretmek ve göçertmeli yöntem (taban ayak yöntemi) ile üretmektir.

Dilimlere ayırma yönteminde kalın damar iki veya daha fazla dilime ayrılarak dilimler arasında tel hasır kullanılması şeklinde üretim gerçekleştirilir. Dilimlere ayırarak uygulanan üretim yönteminde kömür üretimi sırasında kömür kaybı oluşmamaktadır. Buna karşılık bu yöntemde tel hasır çok fazla işçilik gerektirmektedir.

Tel hasır ve yürüyen tahkimatın tavan sarmasının, tel hasırda çekme gerilmelerinin oluşmaması için aynı düzlemde tutulması gerekir. Ayrıca ayaklarda çalışan kesici-yükleyicilerin hasır teli kesmemesine dikkat edilmelidir.

Kalın damarlarda üretim, damarın tabanında kurulan bir ayak ve kullanılan özel tahkimatlar ile göçertmeli olarak da sağlanabilir. Bu yöntem bildirinin konusunu içerdiğinden çalışmada bu yöntem üzerinde durulacaktır.

## 2 TABAN AYAK YONTEMI

,Taban ayak yöntemi diğer yöntemlere göre daha düşük yatırım ve işçilik maliyetine sahip olması nedeniyle işletmeler tarafından daha çok tercih edilmektedir.

Bu yöntemde kalın kömür damarının tabanında tavan ve taban yolları sürülüp birleştirilerek bir ayak oluşturulur. Ayak içerisinde üretimi gerçekleştiren kesici-yükleyiciler ile birlikte yürüyen tahkimatlar kullanılmaktadır. Yürüyen tahkimatlar pencereli tip ve ayak arkası konveyörlü tip tahkimatlardır.

Bu yöntemde en önemli olumsuzluk tabandan kömürü kazandıktan sonra geriye kalan kömürü göçertme sırasında kömürün tamamının kazanılamamasıdır. Bu işlem sırasında kömür kayıplarının meydana gelmesi bu yöntemin en olumsuz tarafıdır.

Ülkemizde bu yöntemle çalışan bölgede yapılan kayıp çalışmalarında kayıbın yaklaşık %15-20 olduğu belirlenmiştir (Özfırat ve Şimşir, 2005). Çin ve Avustralya madenlerinde bu sistemi kullanan işletmelerde kayıp %20-25 arasında verilmektedir (Hebblewhite vd., 2002).

Pencereli tip tahkimatlarda kesici-yükleyici kalın damarın tabanından üretimi gerçekleştirdikten sonra yürüyen tahkimatlar ötelenmekte ve geride askıda kalan kömür göçerek tahkimat penceresinin açılması ile ayak içersine alınarak üretilir.

Benzer şekilde fakat yapısal olarak farklı şekilde arka konveyöre sahip tahkimatlarda tahkimat ötelendikten sonra kuyruk sarmasının hareket edip kapağın açılması ile ayak arkasındaki zincirli konveyörün üzerine tavan kömürü göçertilerek üretim gerçekleştirilir.

## 3MEKANİZE AYAKTA KULLANILAN YÜRÜYEN TAHKİMAT TÜRLERİ

Yeraltı kömür işletmeciliğinde üretim ve randıman artışı ayak ilerleme hızlarının artırılması ile mümkündür. Kazı makinaları, mekanizasyonu ve mekaniğindeki gelişmeler ayak tahkimatının da gelişmesini zorunlu

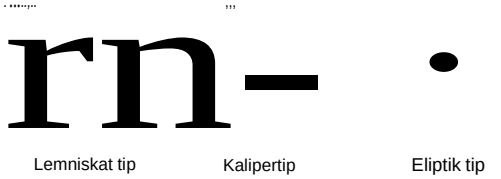
kılmıştır. Uzunayaklarda yürüyen tahkimatların kullanımının artmasını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- Mekanize kazı sistemindeki hızlı gelişmeler,
- Klasik tahkimat sistemlerine göre daha az iş gücüne gereksinim duyması,
- Tahkimat kurma hızının kazı hızına ulaşması nedeni ile hızlı çalışmaya olanak sağlaması,
- Ayak içerisinde tavanı destekleyerek tüm ayak içi ve ayna önünü güvenli tutması,
- Ayaktaki nakliye ünitelerinin ötelenmesini sağlaması,
- Kalın damarlarda özel tiplerinin kullanılmasıyla üretime yardımcı bir ekipman olmasıdır.

Yürüyen tahkimatların 1950'lerde ilk kullanımından bu yana gelişimi hızlı olmuştur. İlk kullanılan tip domuzdamı tipi yürüyen tahkimattır. Daha sonra çerçeve tipi yürüyen tahkimat kullanılmış ve günümüzde artık kalkan türü tahkimatlar kullanılmaktadır.

Kalkan tipi tahkimatları çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Göçük sarması ve taban arasındaki bağlantı şekillerine göre lemniskat tip, kaliper tip ve eliptik olmak üzere üç tiptir (Şekil 1).

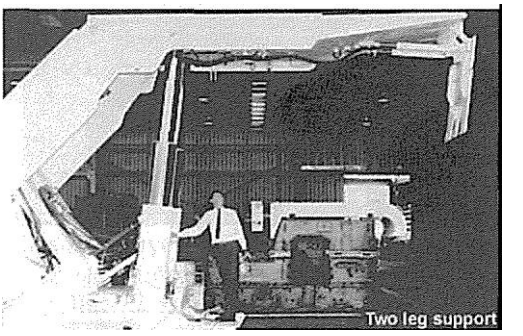
Lemniskat tip bağlantının tavan sarmasına düşey yönde hareket kabiliyeti sağlamasından dolayı arın ile sarma arasında tahkimatsız bölgenin az ve sabit kalması açısından en çok tercih edilen tiptir.




Şekil 1. Tavan sarmasının ön ucundaki hareket izleri

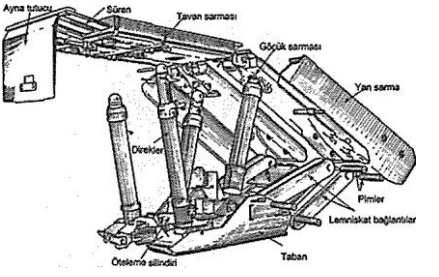
Yürüyen tahkimatlar aynı zamanda hidrolik direklerin bağlantı noktalarına ve şekillerine göre sınıflandırılabilir. Tavan sarması bağlantılı olan tip en yaygın kullanılan tiptir. Bu tipte tavan sarmasını destekleyen iki adet hidrolik direk bulunmaktadır. Bunun dışında göçük kalkanı bağlantılı tip, U şekilli tip, V şekilli tip ve X şekilli tipleri bulunmaktadır.

Direk sayıları da yürüyen tahkimatların sınıflandırılmasında kullanılır. İki ve dört direkli tahkimatlar bulunmaktadır. Bunun dışında tavan sarmasının geometrik şekillerine, yardımcı parçaların dizaynlarına ve özel dizaynlara göre yapılmış yürüyen tahkimatlar bulunmaktadır.




Şekil 2. İki direkli kalkan tip tahkimat

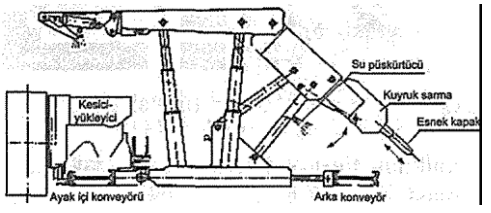
Kalkan türü yürüyen tahkimat, tavan sarması, hidrolik direkler, taban kısmı, göçük sarması, ayna tutucu ve yan sarma kısımlarından oluşur (Şekil 3). Göçük sarması, taban kısmı, hidrolik direk, göçük sarması, lemniskat bağlantılar ve eklem pimleri yükleri taşıyan parçalardır.




Şekil 3. Kalkan türü (Shield) yuruyen tahkimatların yapısı, (Peng, 1984)

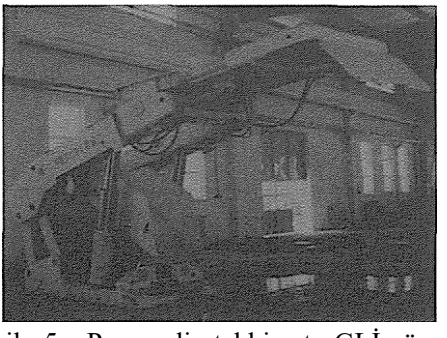
## 4 OZEL TAHKiMATLAR

Kalın kömür damarının üretiminde taban ayak yönteminin seçilmesi durumunda özel tahkimatlar kullanılır. Bu tahkimatlar pencereli tip tahkimatlar ve ayak arkası konveyörlü tahkimatlardır. Pencereli tip tahkimatlar kalın damarlarda ayak ekipmanının üretemediği kısımdaki kömürün göçertilerek penceren üretilmesini sağlar. Ayak arkası konveyörlü sistemlerde ise ayak içindeki ekipmanın üretemediği kısımdaki kömürün göçertilerek ayak arkasındaki konveyör yardımı ile üretilmesi sağlanır.




Şekil 4. Pencereli kalkan tip ve çerçeve tip ve ayak arkası konveyörlü tahkimatlar

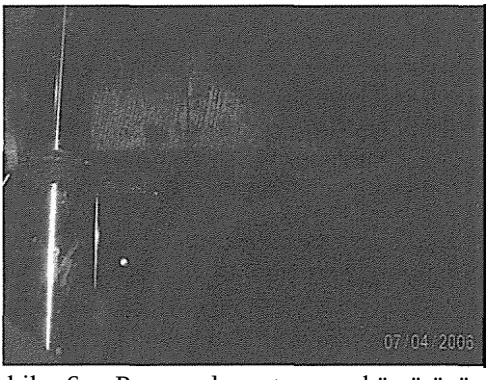
Bu tahkimatların uygulamaları ülkemizde ve dünyanın çeşitli bölgelerinde görülmektedir. Avustralya ve Çin'de kalın kömür damarlarında ayak arkası konveyörlü sistemler kullanılmaktadır.



Şekil 5. Pencereli tahkimat GLİ örneği (Destanoğlu, 2000)

, Türkiye GLİ Ömerler mekanize ayakta kullanılan ayak içi tahkimatının özellikleri aşağıdaki gibidir:

| | |
|---|---|
| Tip | : **ZYD** 4000/18/32 |
| Tahkimat yüksekliği | : 1800-3200 mm |
| Tahkimat genişliği | : 1500 mm |
| Çalışma dayanımı | : 3300 kN |
| Sıkılama yükü | : 2804 kN |
| Tahkimat yoğunluğu | : 865 kN/m$^2$ |
| Pencere boyutları | : 1750 x 800 mm |
| Ağırlık | : 16200 kg |




Şekil 6. Pencereden tavan kömürünün alınması

Bu sistemde kesici-yükleyici 2 kesimi(l.2 m) bitirdikten sonra zincirli konveyör ötelenmektedir. Tahkimat ileri alındıktan sonra göçmüş duıumda bulunan tavan kömürü pencereden ayak içerisine alınarak üretim gerçekleştirilir (Şekil 6).

Şekil 7. Ayak arkası konveyörlü tahkimat Yanzhou örneği

Çin'de göçertmeli uzunayak ile çalışan bir kömür madeninde ZFP5600-1.7/3.2 modeli

çerçeve tipi kalkan tahkimatın özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Tahkimat yüksekliği : 1700-3200 mm
- Tahkimat genişliği : 1482-1598 mm
- Sıkılama yükü : 4986 kN
- Çalışma dayanımı : 5600 kN
- Tahkimat dayanımı : 0.8 $MPa_2$
- Tahkim edilen alan : 8.45 m
- Ön sarma dönme açısı: +15° ile -3° arası
- Kuyruk sarma dönme açısı: +0° ile -58° arası

Arkadan göçertmeli uzunayak yönteminde çalışma adımları standart uzunayak madenciliği çalışmasındaki çalışma adımlarından biraz farklıdır:

- Aynadan kesici yükleyicinin kesim yapması
- Ayak içi konveyörünün ötelenmesi
- Tahkimatın ileri alınması
- Kuyruk sarmasının açılıp arka konveyör üzerine göçmüş kömürün dökülmesi
- Arka konveyörün çekilmesi (Xu, 2001).

Ayak ilerlemesi bu sistemde 100-260 m/ay arasında değişmektedir. Genelde bir vardiyada kömürün göçme işlemi ve arka konveyörünün çekilmesi işleri yapılmak üzere 2-4 kesim gerçekleştirilir.

Göçertmeli sistemde tahkimat operatörünün tecrübeli ve kalifiye olması nedeniyle üst kömür kazanma oranı yıldan yıla artmaktadır ve Çin ile Avustralya'da kömür endüstrisinde verilen değerlere göre artık kömür kazanma oranı %75'in üzerine çıkmaya başlamıştır.

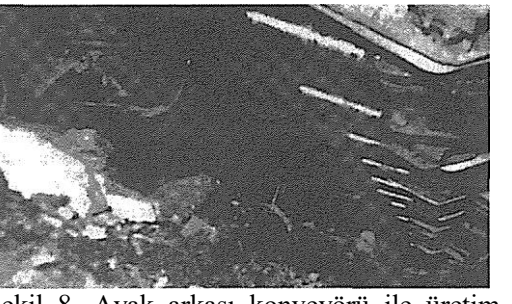
Göçertme işleminde, 2 veya 3 tahkimat operatörü tarafından yanyana beş tahkimatın, kuyruk sarmalarının kontrolü, göçmüş üst kömürün arka konveyör üzerine yüklenmesi ve göçme işlemi olurken kapağın kapanması işlemleri takip edilir. Buna rağmen, hem kesme işlemi hem de göçertme işlemleri sonucu üretilen kömürün ayak içi ve arka konveyörün üzerine yüklenmesi, toplayıcı konveyörün kapasitesi hesap edilerek yapılır.

Göçertme metodu işlemleri arını kesici yükleyici ile ayak boyunca kesme işlemi ile başlar, ayak içi konveyörü ötelenir, tahkimatlar ötelenir, arka kapaklar kapatıldıktan sonra üst taraftaki göçmüş kömür göçertilip arka konveyörü ile nakledilir ve arka konveyörü çekilerek işlemler tamamlanır.

Avustralya kalın damarları ise 4.5 m'nin üzerinde 6 milyar ton rezervli ve bunlardan bazılarının kalınlığı 6 ile 24 m arasındadır. Avustralya kalın damar madenleri Çin kömür sektöründe yeralan arka konveyörlü tahkimat sistemlerini dikkatle inceleyip kendi kömür sahalarında kullanmaktadırlar.

Kelly ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmaya göre, arka konveyörlü sistemle çalışan yürüyen tahkimatların kullanıldığı 300 m uzunluğundaki bir yarı-mekanize ayak ile yıllık 7 milyon tona kadar üretim gerçekleştirilmektedir (Kelly, 2000).

Bu yöntem ile kömür damarının tabanında 3 m yüksekliğinde kurulan ayak çalışırken geriye kalan 3-9 m arası kalınlığa kadar göçmüş kömür arka konveyöre yüklenebilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Ayak arkası konveyörü ile üretim (Hebblewhite, 2005)

- 9 m'ye kadar olan göçertme kalınlıklarında kömür kazanma oranı %85'e kadar arttırılmıştır,

- 9m'den daha düşük ayak yüksekliklerinde ayak kontrolü geliştirilmiştir,
- Kömür damarının kazanılması sırasında daha büyük boyutlu ekipmanlara ihtiyaç duymaması sebebiyle daha düşük maliyetlidir,
- Çalışma maliyetleri üretim ton/ilerleme miktarı arttırılarak düşürülmektedir,
- Hazırlık yolları daha az yükseklikte açılabilmektedir,
- Ayak arkasında kalan kayıp kömürün azaltılması endojen yangın olasılığını düşürmektedir,
- Bu sistemde yapılacak daha fazla yatırım kömür kazanım oranını arttıracaktır (Kelly, 2000).

## 5 SONUÇ

Ülkemizde ve dünyada bulunan kalın kömür damarlarının üretimi oldukça önemlidir. Göçertmeli sistemlerin uygulanması diğer yöntemlere göre çalışma kolaylığı açısından tercih edilmektedir. Göçertmeli sistemlerde en önemli olumsuzluk taban ayak üzerindeki kömürün göçertilerek kazanılması sırasında kömür kayıplarının oluşmasıdır. Yöntemin kolay olması bu olumsuzluğa rağmen tercih edilmesini arttırmaktadır. Bu nedenle Çin'de ve Avustralya'da ayak akası konveyör sistemi ile çalışan yürüyen tahkimatlar ile 9-12 m kalınlığa kadar olan damarlarda yıllık 7 milyon ton üretim yapılmaktadır. Ülkemizde bu tür tahkimat sistemlerinin kullanılması, kullanılabilirliğinin incelenmesi yeraltı madenciliği açısından önemli olacaktır.

## KAYNAKLAR


Destanoğlu, N. ve diğerleri, 2000. *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu GLİ Tunçbilek-Ömerler Yeraltı Mekanizasyon Uygulaması,Ankara,* 211 s.

Hamilton, N., (1999). Single Pass Thick Seam Longwall Experience at West Wallsend Colliery, *Proceedings of Second International Underground Coal Corıference,* UNSW, Sydney, Australia, 15-18 June, pp 55-61, ISBN 1 876315 17 2.

Hebblewhite, B.K., Simonis, A., Cai, Y., 2002. Technology and feasibility of potential underground thick seam mining methods. *UNSWICMTE ACARP Project C8009 final report,* ISBN O 7334 1945 3.

Hebblewhite, B.K., 2005. Status and prospects of underground thick coal seam mining methods, *Proceedings of International 19th mining congress andfair,* June 9-12, İzmir, s.169-178.

Kelly, M., 2000. 3D Aspects of Longwall Geomechanics, *The Australian Coal Review.*

Özfirat, M.K., Şimşir, F. 2005. Roof Coal Recovery in a Thick Coal Seam Operating by Longwall Method, Mining Rocks Symposium, *Poster Representations,* 24-28th April, Toronto, Ontario, Canada.

Peng, S. S., Chiang, H.S., (1984). *Longwall Mining,* John Wiley&Sons, Inc., pp. 143-209.

Xu, B., 2001. The longwall top coal caving method for maximizing recovery at Dongtan mine. *3rd international underground coal conference,* UNSW, Sydney, Australia, 12-15 June, ISBN O 7334 1812 O.

# Garp Linyitleri İşletmesi açık ocaklarının çalışma sistemi ve makine - ekipman seçimini etkileyen parametreler

## *Parameters effective on the selection of working system and mining equipment at the open pits of Western Lignite Corporation*

M. Taksuk
*Garp Linyitleri İşletmesi, Açzkocak servisi, Tavşanlı/Kütahya*

C. Şensöğüt, Ö. Ören & Ş. Yuvka
*Maden Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya*

**ÖZET:** Bu çalışmada GLİ açıkocaklarındaki mevcut FC ve 48-C panolarında çalışmakta olan değişik tip, marka ve kapasitedeki elektrikli ekskavatörlerde ve değişik kapasitelerdeki kamyonlarda performans ve verimlilikler incelenerek bu parametrelerin seçimini etkileyen değişkenler işlenmiştir.

Bu çalışmada doğrudan gözlem yoluyla bir yıllık süreç içerisinde her hafta makinelerin performansları takip edilmiş ve bu amaca yönelik her makine için en az 2000 ile 3000 arasında ölçüm yapılmıştır. Bu sayede gerek yükleme gerekse taşıma performansına etki eden tüm parametreler detaylı olarak oluşturulan standart formlar yardımı ile takip edilmiştir.

Ölçümler ve performans takipleri sonucu ekskavatör-kamyon yönteminde küçük kapasiteli ekskavatör - kamyon yerine büyük kapasiteli ve uyumlu olanların kullanılmasının, hem verimlilik hem de maliyet açısından daha uygun olduğu görülmüştür.

**ABSTRACT:** in this work, performance and efficiency parameters of electrical excavators and trucks with varying capacities working at the panels of FC and 48-C for the open pits of Westem Lignite Corporation were analyzed together with the variables effecting their selection.

in order to carry out the objective of the present work, the performances of the mining machinery were observed weekly for a period ofa year realizing 2000 to 3000 measurements for all machinery. Therefore, all the parameters influential on either loading or hauling performances were monitored by the assistance of the standardized forms constituted in detail.

As a result of performance observations, it may be said that the employment of higher capacity machinery would be more suitable from the point of cost and efficiency.

## 1 GİRİŞ

Açık işletme yöntemleri kullanılarak kömür üretimine yönelik örtü-kazı çalışmaları, GLİ'ye ait mevcut makine parkı ve müteahhit marifetiyle uzun yıllardan beri süre gelmektedir. Açıkocak olarak işletilmesi ekonomik olan sahalar projelendirilip ekskavatör + kamyon sistemiyle örtü kazısı yapılarak dragline çalışmasına hazırlanmakta, dragline çalışmasına uygun olmayan sahalar ise tekrar aynı yöntemle kömür üzerine kadar açılmaktadır.

## 2ÖRTÜKAZI

### 2.1 Ekskavatör+ Kamyon Örtü Kazısı

Bölgenin mevcut makine parkında bulunan değişik kapasitelerdeki ekskavatörlerle örtü kazısı yapılacak saha; pano çalışma sınırları, kademe şev açıları, döküm harmanları gibi konular hesaplanarak projelendirilmekte,

kayacın yapısına bağlı olarak patlatılıp gevşetilmekte ve kayaç kamyonlara yüklenerek döküm harmanlarına boşaltılmaktadır.

Ekskavatörlerle yapılan örtü-kazı çalışmaları iklim şartlarının zorluğu nedeniyle yaz aylarında yoğunlaşmakta, kış aylarında ise havanın uygun olduğu durumlarda çalışma yapılabilmektedir.

### 2.2 Dragline Örtü Kazısı

Dragline yöntemi ile çalışacak panolar, pano sınırına bağlı olarak dragline'ın kapasitesi, döküm mesafesi, kazı derinliğine göre birbirine eşit dilimler oluşturularak projelendirilmektedir.

Bölgede kepçe kapasiteleri 20 ve 40 $yd^3$ olmak üzere elektrikli iki adet dragline mevcut olup, Yörgüç ve Güney Panoları olarak adlandırılan sahalarda halen çalışmalarına devam etmektedir.

40 $yd^{3'}$ lü k dragline için 25-35 m, 20 $yd^{3'}$l ük dragline için ise 18-20 metreye yakın örtü kalınlığı bırakılmaktadır. Dragline örtü kazısı, makine çalışma özelliklerinden dolayı yılın 12 ayı devam etmekte ve iklim koşullarından etkilenmemektedir. Genellikle dilim uzunlukları 800-1000 m arasında olup bir yılda 2 dilim çalışabilmektedir (Taksuk ve Erarslan, 2000).

## 3 KÖMÜR ÜRETİMİ

Bölge makine parkı ile (ekskavatör + kamyon veya dragline) ve müteahhit marifeti ile üzeri açılan ortalama 8 m kalınlığındaki kömür damarı, çalışma şartlarına göre elektrikli ekskavatörler, hidrolik ekskavatörler veya lastik tekerlekli yükleyiciler vasıtası ile 85 ston'luk kamyonlara yüklenerek kömür hazırlama tesislerine ve elektrik santraline ulaştırılmaktadır.

Makine parkının yetersiz olduğu veya çalışma şartlarının olumsuzluğu nedeniyle ihale yoluyla da kömür kazı-yükleme ve nakliyesi yapılmaktadır.

Son yıllarda çevre hassasiyeti nedeniyle kömür rezervleri, sondaj karotlarından başlamak üzere üretimin her aşamasında laboratuarlarda analiz edilerek kalori, kükürt ve uçucu gibi değerler göz önünde bulundurularak pano bazında gereksinim yerine göre üretim yapılmaktadır.

## 4 MEVCUT TAŞIMA VE YÜKLEME KAPASİTESİNİN TESPİTİ

### 4.1 Yükleme Kapasitesinin Tespiti

Ölçümde kullanılan değerler ve tespit edilme şekilleri aşağıda gösterilmiştir (Parlak, 1998):

$$C_{\mp} \quad \frac{3600.fi.fi.J;.kepcehacmi}{t.k} \quad \text{..... (l)}$$

$Cv$ : Yükleme kapasitesi ($m^3$/h)
// : İşyeri organizasyon faktörü: Geçen bir yılın ortalamasına göre (%),
$.h$ : Kepçe dolma faktörü: Geçen bir yılın ortalamasına göre (%),
$.h$ : Operatör randımanı: Geçen bir yılın ortalamasına göre (%),
$t$ : Periyot: Bir makinenin hareketini tamamlaması için geçen zaman (sn),
$k$ : Kabarma Katsayısı: Geçen bir yılın ortalamasına göre.

### 4.2 Periyotların Tespiti (t)

Elektrikli ekskavatörlerde periyot; ekskavatör kepçesinin yere değdiği andan başlayıp, kepçenin dolması, boşaltma zamanı ve boş dönerek kepçenin tekrar başladığı noktaya gelmesi için geçen toplam zamandır. Başka bir ifadeyle ekskavatörün, kaldır-dön-boşalt hareketini yapması için geçen zamandır.

Periyot değerleri, daha çok makinenin kepçe kapasitesine, operatör maharetine, formasyon özelliklerine, patlatma verimine ve yükleme şekline bağlı olarak değişmektedir. 48-C panoda patlatma yapılmadığı için daha çok operatör maharetine, FC panoda ise patlatma verimine bağlı olarak değişmektedir (Çizelge 1).

### 4.3 Kabarma Katsayısı (k)

Kabarma katsayısı; malzemenin formasyon özelliklerine, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve patlatma verimine bağlı olarak değişmektedir. Kabaıma katsayısının uygulamada, birim seferde taşınan malzeme

Çizelge 1. GLİ açık ocaklarında çalışan ekskavatörlerde yapılan periyot ölçüm değerleri.

| **MakineNo** | **40** | **29** | **30** | **31** | **32** | **33** | **34** | **35** | **36** | **37** | **38** | **39** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kepçe Hacmi ($yd^3$)** | 17 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 |
| **Ölçümün yapıldığı pano** | FC | FC | 48-C | 48-C | FC | 48-C | FC | 48-C | 48-C | 48-C | FC | FC |
| **Formasyon tanımı** | Orta sert marn, yer yer silisli bantlar meveut | | Tamamen ayrışmış eski döküm malzemesi | | Orta sert marn,yer yer silisli bantlar mevcut | Kalkerli marn | Orta sert marn, yer yer silisli bantlar mevcut | Tamamen ayrışmış eski döküm malzemesi | | | Orta sert marn, yer yer silisli bantlar mevcut | |
| **Patlatma verimi** | Normal | Bloklu | Patlatma yapılmıyor | Patlatma yapılmıyor | Bloklu | Bloklu | Bloklu | Patlatma yapılmıyor | Patlatma yapılmıyor | Patlatma yapılmıyor | Normal | Bloklu |
| **Yükleme Şekli** | **Çift Yönlü** | | | | | | | | | | | |
| **Ölçüm adedi** | 1050 | 700 | 1200 | 975 | 735 | 1270 | 1200 | 350 | 770 | 1085 | 1530 | 375 |
| **Ölçülen toplam zaman(sn)** | 30030 | 21840 | 31560 | 26325 | 21830 | 35941 | 39703 | 10397 | 21332 | 31575 | 49862 | 11628 |
| **Ortalama Periyot (sn)** | 28,6 | 31,2 | 26,3 | 27,0 | 29,7 | 28,3 | 33,1 | 29,7 | 27,7 | 29,1 | 32,6 | 31,0 |

miktarı, kepçe dolma faktörü ve üretim miktarı ile takip edilmesine ve buna bağlı olarak da en uygun patlayıcı madde miktarının bulunmasına gereksinim vardır. Kabarma katsayısı, yıllık planların hazırlanmasında ve döküm harmanlarının tespitinde kullanılan en önemli parametredir.

1998 yılında kullanımına başlanan 170 ston'luk kamyonlarda yük değerleri, araçların hafızasına kaydedilmekte, istendiği an yoğunluklar ve kabarma katsayıları tespit edilebilmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Değişik makinelerde tespit edilen kabarına katsayısı değerleri.

| Makıne no | Kasa Hacmi ($m^3$) | Kabarma katsayısı (k) |
|---|---|---|
| 40 | 38.23 | 1.35 |
| 29 | 38.23 | 1.37 |
| 30 | 38.23 | 1.25 |
| 31 | 38.23 | 1.24 |
| 32 | 38.23 | 1.36 |
| 33 | 38.23 | 1.38 |
| 34 | 76.46 | 1.24 |
| 35 | 38.23 | 1.29 |
| 36 | 38.23 | 1.30 |
| 37 | 38.23 | 1.26 |
| 38 | 76.46 | 1.15 |
| 39 | 38.23 | 1.40 |
| Ortalama | | 1.30 |

### 4.4 Kepçe Dolma Faktörü (fı)

Bu faktör; kepçenin nominal kapasitesi ile fiili taşıdığı miktar arasındaki orandır. Makinenin kapasitesini etkileyen bu faktör, malzeme parça boyutuna, operatör maharetine, patlatma verimine, makinenin sıkıştırma oranına ve formasyon özelliklerine bağlıdır.Aynı formasyonda çalışan elektrikli ekskavatörlerde kepçe hacmi büyüdükçe, kepçe dolma faktörü de büyümektedir. (Taksuk ve Erarslan, 2000). Kepçe kapasitesi aynı olan makinelerde malzeme parça boyutu 10 cm'den 50-60 cm'ye çıktığı zaman kepçe dolma faktörü de % I00'den % 61'e düşmektedir, bu da makine kapasitesini % 35-40'a kadar düşürmektedir (Çizelge 3).

### 4.5 İş Yeri Organizasyon Faktörü (fı)

Bu faktör; çalışan ekskavatörlerde herhangi bir arıza kaydı olmadığı halde makinelerin ocak şartları ve yönetimden kaynaklanan bekleme sürelerini ifade etmektedir. (Eskikaya,1986)

Bu bekleme zamanları kamyon olmaması, makine çalışma zemininin temiz olmaması, çalışan personelin anlık ihtiyaçları, iş başı yaparken zamanında kalkılmaması, çalışma sonunda işi erken bırakma ve makine yer değiştirmelerinden kaynaklanmaktadır.

GLİ açık ocaklarında dekapaj çalışmaları, iki panoda devam etmektedir. Bu panolar FC ve 48-C'dir. Bu panolarda tespit edilen makine çalışma saatleri, faal olduğu zamanlar ve iş yeri organizasyon faktörü Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir.

FC panoda iş koşulları iyi olarak kabul edilmiştir. Bu panoda iş yeri organizasyon faktörü % 88 olarak gerçekleşmiştir.

### 4.6 Dönme Süresi ve Açısı

Dönme süresi ve açısı; daha çok makinenin çalışma şekline, aynadaki çalışma pozisyonuna ve operatörün maharetine bağlıdır (Eskikaya, 1986). Aynı zamanda makine altının temizliği, dozer ve greyder gibi yardımcı iş makinelerinin ne zaman gireceği, operatör tarafından tespit edilmelidir. Organizasyonu iyi yapan makinelerde bu oran ideal değerlere ulaşmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 3. GLİ açık ocaklarında çalışan ekskavatörlerde tespit edilen kepçe dolma faktörü değerleri (Taksuk ve Erarslan, 2000)

| Makine 110 | Kepçe Hacmi ($yd^3$) | Parça Boyntu (cm) | Kepçe Dolma Faktörü(%) |
|---|---|---|---|
| 40 | 10 | 40-50 | 92,2 |
| 29 | 10 | 40-50 | 95,3 |
| 30 | 10 | 0-10 | 110,3 |
| 31 | 10 | 0-10 | 110,5 |
| 32 | 10 | 40-50 | 92,3 |
| 33 | 10 | 30-40 | 105,2 |
| 34 | 20 | 40-50 | 100,5 |
| 35 | 20 | 0-10 | 106,9 |
| 36 | 20 | 0-10 | 106,1 |
| 37 | 20 | 0-10 | 109,4 |
| 38 | 20 | 40-50 | 92,9 |
| 39 | 10 | 50-60 | 83,2 |

Çizelge 4. GLI FC panoda tespit edilen iş yeri organizasyon faktörü.

| İş Koşulları | Organizasyon | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Çok iyi | iyi | Orta | Çok iyi | Çok iyi | Çok iyi | Çok iyi |
| Makine no | 30 | 31 | 33 | 35 | 36 | 37 | Genel |
| Makine çalışma saati | 1826 | 1895 | 1785 | 2269 | 1928 | 2134 | 10052 |
| Makine Faal olma zamanı | 2257 | 2229 | 2052 | 2388 | 2073 | 2319 | 13318 |
| Çok iyi | 81 | 85 | 87 | 95 | 93 | 92 | 89 |

Çizelge 5. GLİ 48-C panoda tespit edilen çalışma koşulları ve iş yeri organizasyon faktörü.

| İş Koşulları | Organizasyon | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Çok iyi | iyi | Orta | Çok iyi | Çok iyi | Çok iyi | Çok iyi |
| Makineno | 30 | 31 | 33 | 35 | 36 | 37 | Genel |
| Makine çalışma saati | 1826 | 1895 | 1785 | 2269 | 1928 | 2134 | 10052 |
| Makine Faal olma zamam | 2257 | 2229 | 2052 | 2388 | 2073 | 2319 | 13318 |
| Çok iyi | 81 | 85 | 87 | 95 | 93 | 92 | 89 |

Çizelge 6. Dönme süresi ve dönme açısı ile ilgili yapılan ölçüm sonuçları.

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | PH1900AL | 5,5 | 90 | 105 | 6,25 | 93,5 | 6,50 | 91,2 | 12,75 | 92,35 | Çift Yönlü | 86,2 |
| 30 | PH1900AL | 5,5 | 90 | 35 | 6,25 | 102,27 | 5,50 | 90,00 | 11,8 | 96,1 | Çift Yönlü | 93,6 |
| 31 | PH1900AL | 5,5 | 90 | 70 | 7,40 | 121,09 | 6,28 | 102,76 | 13,7 | 111,9 | Çift Yönlü | 80,4 |
| 33 | PH1900AL | 5,5 | 90 | 105 | 6,80 | 111,27 | 5,90 | 96,55 | 12,7 | 103,9 | Çift Yönlü | 86,6 |
| 34 | PH2300xp | 6,5 | 90 | 105 | 7,26 | 100,52 | 6,94 | 96,09 | 14,2 | 98,3 | Çift Yönlü | 91,5 |
| 36 | PH2300xp | 6,5 | 90 | 140 | 7,50 | 103,78 | 7,03 | 97,27 | 14,5 | 100,5 | Çift Yönlü | 89,5 |
| 38 | PH2300xn | 6,5 | 90 | 105 | 7,27 | 100,66 | 6,67 | 92,35 | 13,9 | 96,5 | Çift Yönlü | 93,3 |

Çizelgelerdeki tüm değerler dikkate alınarak Çizelge 7' de verilen mevcut yükleme kapasiteleri bulunmuştur.

Cizelge, 7.· Mevc tyükleme kaoasitesi.

| Makineno | Kepçe Kapasitesi (vd 3) | fi | fi | jj | t | k | Cy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 10 | 0,8 | 0,922 | 0,961 | 28,6 | 1,35 | 859,1 |
| 29 | 10 | 0,9 | 0,953 | 0,862 | 31,2 | 1,37 | 476,1 |
| 30 | 10 | 0,81 | 1,103 | 0,936 | 26,3 | 1,25 | 700,2 |
| 31 | 10 | 0,85 | 1,105 | 0,804 | 27 | 1,24 | 620,9 |
| 32 | 10 | 0,86 | 0,923 | 0,882 | 29,7 | 1,36 | 477,1 |
| 33 | 10 | 0,87 | 1,052 | 0,866 | 28,3 | 1,38 | 558,6 |
| 34 | 20 | 0,97 | 1,005 | 0,915 | 33,1 | 1,24 | 1196,4 |
| 35 | 20 | 0,95 | 1,069 | 0,882 | 29,7 | 1,29 | 1287,0 |
| 36 | 20 | 0,93 | 1,061 | 0,892 | 27,7 | 1,3 | 1345,6 |
| 37 | 20 | 0,92 | 1,094 | 0,882 | 29,1 | 1,26 | 1332,8 |
| 38 | 20 | 0,96 | 0,929 | 0,933 | 32,6 | 1,15 | 1221,9 |
| 39 | 10 | 0,82 | 0,932 | 0,882 | 31,8 | 1,4 | 416,8 |
| | | | | | Toolam Yükleme Kapasitesi= 10493 | | |

### 4.7 Taşıma Kapasitesinin Tespiti

Ölçümde kullanılan değerler:

$$C_1 \frac{3600.n.V.d.fi}{T} .0.7646 \text{ (m3/h)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$C_1$ : Taşıma kapasitesi ($m^3$ / h)
V: Kepçe hacmi ($yd^3$ )
$T_1$ : Makineye yanaşma zamanı (sn)
$T_2$ : Yükleme zamanı (sn)
$T_3$ : Dolu harmana gidiş zamanı ( sn )
$T_4$ : Harmanda manevra zamanı (sn)
$T_5$ : Boşaltma zamanı (sn)
$T_6$ : Harmandan boş geliş zamanı ( sn)
T: Toplam tur zamanı (sn)
$T: T_1 + T_2 + T_s + T_4 + T_s + T_6$

$n$ : Kepçe sayısı (adet)
$d$ : Boşluk oranı (%)
$fi$ : İş yeri organizasyon faktörü (%)

#### *4.7.1 Kamyon Tur Zamaılaraıaı Tespiti (T)*

*4.7.1.lYükleme Zamanı (T2)*

Yükleme süreleri basit olarak aşağıdaki gibi formülleştirilmiştir. Ekskavatörün kamyona yükleme yapabilmesi için gerekli süre:

$$T_2 \quad t.\ n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$T2$ = Yükleme süresi
$T$ = Ortalama periyot

Değişik makinelerin yükleme zamanları Çizelge 8' de verilmiştir.

Cizelge 8. Yükleme zamanlan.

| Makine no | Kepçe Hacmi (ydı) | Kamyon Kasa Hacmi ($yd^3$) | Ortalama Periyot (sn) | Kepçe sayısı (n) | Yükleme Zamanı (Tı) |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 10 | 50 | 28,6 | 5 | 143 |
| 29 | 10 | 50 | 31,2 | 5 | 156 |
| 30 | 10 | 50 | 26,3 | 5 | 131,5 |
| 31 | 10 | 50 | 27 | 5 | 135 |
| 32 | 10 | 50 | 29,7 | 5 | 148,5 |
| 33 | 10 | 50 | 28,3 | 5 | 141,5 |
| 34 | 20 | 100 | 33,1 | 5 | 165,5 |
| 35 | 20 | 50 | 29,7 | 2 | 59,4 |
| 36 | 20 | 50 | 27,7 | 2 | 55,4 |
| 37 | 20 | 50 | 29,1 | 2 | 58,2 |
| 38 | 20 | 100 | 32,6 | 5 | 163 |
| 39 | 10 | 50 | 31 | 5 | 155 |

*4.7.1.2 Harmana dolu gidiş ve harmandan boş geliş zamanlarının tespiti ($T_3$, T6)*

Çizelge 9 ve lü'da Komatsu kamyonların 38 no'lu makine yanından harmana dolu ve boş giderken geçen süreleri gösterilmiştir.

Çizelge 9. 170 ston'luk 630 ES Komatsu kamyonların 38 no'lu makine yanından harmana dolu giderken geçen toplam süreleri (Konak, 2000).

| Yol Etapları | Mesafe (metre) | Yol Meyli(%) | Yuvarlanma Direnci(%) | Toplam Direnç(%) | Maksimum Hız (km/h) | Hız (m/dak) | Hız Faktörü | Ortalama Hız(ın/dak) | Süre (dak) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 260 | 2.4 | 3 | 5,4 | 40 | 664 | 0,65 | 432 | 0,6 |
| B | 168 | 5.1 | 2 | 7.1 | 20 | 332 | 0,75 | 249 | 0,7 |
| C | 264 | 4.4 | 2 | 6.4 | 28 | 465 | 0,80 | 372 | 0,7 |
| D | 58 | 2.8 | 5 | 7.8 | 36 | 598 | 0,55 | 329 | 0,2 |
| Yolda geçen toplam süre | | | | | | | | | 2,2 |

Çizelge 10. 170 ston'luk 630 ES Komatsu kamyonların harmandan 38 no'lu makine yanına boş gelirken geçen toplam süreleri (Konak, 2000).

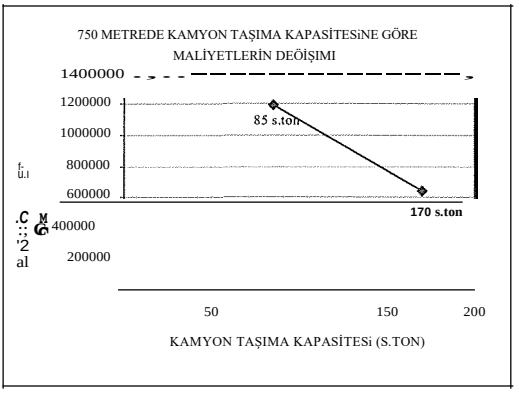
| Yol Etapları | Mesafe (metre) | Yol Meyli(%) | Yuvarlanma Direnci(%) | Toplam Direnç(%) | Maksimum Hız (km/h) | Hız (m/dak) | Hız Faktörü | Ortalama Hız(m/dak) | Süre (dak) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 260 | -2.4 | 3 | 0,6 | 35 | 560 | 0,65 | 364 | 0,7 |
| B | 168 | -5.1 | 2 | -3,1 | 30 | 498 | 0,75 | 374 | 0,5 |
| C | 264 | -4.4 | 2 | -2,4 | 35 | 581 | 0,80 | 465 | 0,6 |
| D | 58 | -2.8 | 5 | 2,2 | 40 | 664 | 0,55 | 365 | 0,2 |
| Yolda geçen toplam süre | | | | | | | | | 2,0 |

Çizelge 11. Mevcut taşıma kapasitesi.

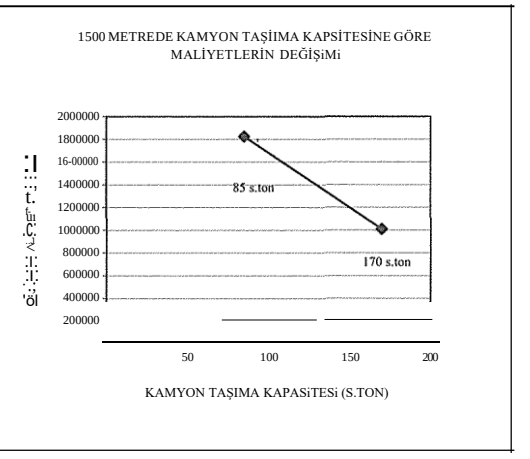
| | | | | *V* | *d* | *n* | *T* | *fi* | *C,* | *I:C,* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | Wabco 85-D | 5 | 750 | 10 | 65 | 5 | 464,7 | 0,80 | 153,3 | 765,4 |
| 29 | Wabco 85-D | 5 | 1200 | 10 | 64 | 5 | 589,9 | 0,90 | 131,2 | 656 |
| 30 | Wabco 85-D | 5 | 1300 | 10 | 75 | 5 | 750,5 | 0,81 | 108,8 | 544 |
| 31 | Wabco 85-D | 5 | 1600 | 10 | 75 | 5 | 812,5 | 0,85 | 105,4 | 527 |
| 32 | Wabco 85-D | 5 | 1100 | 10 | 63 | 5 | 568,4 | 0,86 | 128,1 | 640 |
| 33 | Wabco 85-D | 5 | 1500 | 10 | 65 | 5 | 696,4 | 0,87 | 109,1 | 546 |
| 34 | Komatsu 630 ES | 5 | 1500 | 20 | 85 | 5 | 889,3 | 0,97 | 249,1 | 1246 |
| 35 | Wabco 85-D | 7 | 1300 | 20 | 61 | 2 | 574,3 | 0,95 | 108,5 | 759 |
| 36 | Wabco 85-D | 7 | 1400 | 20 | 61 | 2 | 595,3 | 0,93 | 102,4 | 717 |
| 37 | Wabco 85-D | 7 | 1500 | 20 | 63 | 2 | 632,3 | 0,92 | 98,5 | 690 |
| 38 | Komatsu 630 ES | 5 | 750 | 20 | 75 | 5 | 507,8 | 0,96 | 381,0 | 1905 |
| Toplam Taşıma Kapasitesi | | | | | | | 8230 | | | |

Çizelge 11'den görüldüğü gibi harman mesafesi en fazla 1500-1600 m'dir. Bu durum Eylül ayındaki fiili durumu ifade etmektedir. Ancak yıl içerisinde harman mesafeleri değişkenlik arz etmekte ve 2000-2500 ın'yi bulan çalışına şartları oluşmaktadır.

Şekil 1 ve 2'de 750 ve 1500 ın ıçın elde edilen kamyon taşıma maliyetleri verilmiştir




Şekil 1. 750 ın'de kamyon taşıma kapasitesine göre maliyetlerin değişimi.




Şekil 2. 1500 ın'de kamyon taşıma kapasitesine göre maliyetlerin değişimi.

## 5 KAPASİTE UYUMU

Çizelge 12. Ekskavatör kamyon kapasite uyumu.

| Ekskavatör Tipi | Adet | Kepçe Hacmi (yd,) | Yüklenen Kepçe adedi | Kamyon hacmi (yd3) | S amyon ayısıa e (d t) | Uyum Durumu |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PH2300XP | 3 | 20 | 2 | 50 | 21 | Uyumsuz |
| PH2300XP | 2 | 20 | 5 | 100 | 10 | Uygun |
| PH1900AL | 7 | 10 | 5 | 50 | 25 | Uygun |
| TOPLAM: | 16 | 217 | | 3650 | 63 | |

* PH 1900AL ekskavatörün bir adedi, PH 1900 ekskavatörün 4 adedi yedek olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 7 ve 11'de görüldüğü gibi 10493 ın³/saat yükleme kapasitesine karşılık 8230 ın³/saat taşıma kapasitesi mevcuttur. Kamyon yetersizliği nedeniyle ancak yükleme kapasitenin% 78'i kullanılmaktadır.

Çizelge 12'ten görüldüğü gibi 3 adet PH 2300 XP ekskavatörde uyumsuzluk mevcuttur. Bu uyumsuzluktan kaynaklanan iş kaybı aşağıda hesaplandığı gibidir.

$C_1$ =3600sn /saat x 2 x 20 yd³ x 0,63/610

$C_1$= 3600 x 2 x 20 x 0,764 x 0,63/610

$C_1$=l13,7 ın³/saat x 3200 saat/yıl

$C_1$= 364.000 ın³/yıl-kamyon

85 ston'luk kamyonların kasa hacimleri 50 yd³ olduğu için her seferde 1O yd³ eksik malzeme götürmektedir.

Ceksik = 3600 x 10 x 0,764 x 0,63 x 3200/610

Ceksik = 90.880 ın³/yıl-kaınyon eksik kapasite ile çalışmaktadır.

Uyumsuzluğa sebep olan 3 adet PH 2300 XP ekskavatörde toplam 21 adet kamyon çalışmaktadır. Bu da 90.880 *21= 1.908.480 m³/yıl iş kaybına neden olmaktadır.

Not: Yukarıdaki hesaplamalarda 37 numaralı ekskavatörde çalışan kamyonların parametreleri baz alınmıştır. Hesaplamalara ocak şartları dahil edilmemiştir.

### 5.1 Ekskavatöre Uygun Kamyon Kapasitesi Tespit Edilirken Dikkat Edilecek Hususlar

Ekskavatör kepçe hacmi D, Kamyon kasa hacmi V olarak kabul edilirse kepçe ve kamyon kapasiteleri arasında V/D oranı mevcuttur. Bu oran V/D 4-5 şeklinde ise boşaltma süresi büyük ölçüde kayacın özelliklerine bağlıdır (Parlak, 1998). Bu orandan çok büyük olması halinde, yükleme sürelerinin artması nedeniyle taşıma kapasiteleri düşmektedir. Kamyon, ekskavatörün doldurması sırasında gereğinden fazla bekleyecek olursa şoförün psikolojik olarak çalışma verimi düşecektir.

Eğer V/D<3-4 ise makine yüklemede zorluk çekeceği için verim düşebilir, bunun yanında kepçenin kamyon üzerine hedeflenmesi yani hizalanmasından dolayı boşaltma süresi uzayabilir. GLİ'de çalışan PH 2300 XP tipi 35, 36, 37 kapı numaralı makinelerde bu oran 2,5 iken 34 ve 38 numaralı makinelerde 5 olmaktadır (Çizelge 13).

Çizelge 13. GLİ açık ocaklarında yapılan boşaltma süresi ile ilgili ölçüm sonuçları.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 10 | 50 | FC | 70 | 273 | 3,5 | 5 |
| 29 | 10 | 50 | | 35 | 126 | 3.6 | 5 |
| 32 | !O | 50 | | 70 | 263 | 3,8 | 5 |
| 34 | 20 | 100 | | 945 | 3426 | 3,6 | 5 |
| 38 | 20 | !00 | 48-C | 350 | 1290 | 3,7 | 5 |
| 30 | !O | 50 | | 35 | 113 | 3,2 | 5 |
| 31 | 10 | 50 | | 70 | 248 | 3,5 | 5 |
| 33 | 10 | 50 | | 105 | 504 | 4,8 | 5 |
| 35 | 20 | 50 | | 175 | 735 | 4,2 | 2,5 |
| 36 | 20 | 50 | | 140 | 560 | 4,0 | 2,5 |
| 37 | 20 | 50 | | 105 | 430 | 4,1 | 2,5 |

Hizalama işinin düzgün yapılamaması, zaman ve iş kaybının yanında dökülen yar çaplarında malzemenin dokulmesi1:_e, 1 st:k sarfiyatının artmasına ne en ol u gıbı g e d r, dozer ve yardımcı iş makinesi gereksinimim artırmaktadır (Yayla, 1999 ).

Kamyon kapasitesi ekskavatörden küçük olursa, örneğin 20 yd³'lük makineye 85 ston'luk kamyon verildiği zaman, ekskavatöre yanaşan araba sayısı artacağı için hem şoförler daha çok çalışmış olacak hem de her kamyonun çıkışında kepçeden ve kamyondan dökülen pasa nedeniyle dozerle tesviye gereksinimi doğacak ve zorunlu olarak makinenin durdurulması gerekecektir. Ayrıca kamyonlardaki lastik sarfiyatı da artacaktır. Taşınan malzeme boyutu aynı olan iki kamyondan büyük hacimli olan kamyonlarda, boşluk hacmi daha az olacağı için taşıma verimi artacaktır.

### 5.2 Eksik kapasitenin değerlendirilmesi

10493 m³/saat yükleme kapasitesine karşılık 8230 m³/saat taşıma kapasitesi mevcuttur. Geriye kalan 2263 m³/saat'lik kapasite değerlendirilebilir kapasitedir.

Mevcut kamyon sayısında herhangi bir değişiklik yapılmadan taşıma kapasitesinin artırılması için;

- Yol meyillerinin düşük tutulması,
- Harman mesafelerinin kısa tutulması,
- Kabarma katsayıları ve boşluk oranlarının düşük tutulması,
- Yol dirençlerinin düşük tutulması,
- Kapasite kullanım oranlarının artırılması,
- Fiili çalışma zamanlarının artırılması gibi önlemlerin alınmasıyla eksik kapasitenin belirli bir kısmı değerlendirilebilir. Ancak bu artırım% 25-30 'u geçmez. Bu durum aynı zamanda maliyetleri de yükseltmektedir.

Uyumsuzluk olan kamyonlarda kasa hacimleri ilave yapılarak artırılabilir veya kasa içine tek taraflı yapılması, kamyonların dö üş pasalar, kamyonların iyi yanaşamamasına sebep olduğu gibi temizlik için makinenin durmasına da yol açmaktadır. Yüklemenin

kasa ömürleri dolunca yeni kasa yapılırken kova hacmine uygun kasalar imal edilebilir.

Eğer yukarıda sıralanan parametrelerde istenilen değişiklik yapılamıyorsa kamyon sayısında ya da mevcut kamyonların kapasitelerinde artırım yapılması gerekebilir. Bunun için 1500 m harman mesafesinde çalışıldığı kabul edilirse 85 ston'luk 25-26 adet kamyona veya 170 ston'luk 11-12 adet kamyona· gereksinim vardır. En az 750 m harman mesafesinde çalıştığı kabul edilirse, 85 ston'luk 18 veya 170 ston'luk 7 adet kamyon gereklidir.

## 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

FC panoda iş koşulları iyi olarak kabul edilmiştir. Bu panoda iş yeri organizasyon faktörünün % 82 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Burada 32 no'lu makinede bu değer beklenin altında olup nedeni ise çalışılan forınasyonda silisli kalkere rastlanması, patlatmanın iyi olmaması ve bloklu malzeme çıkması sonucunda sık sık durmaların meydana gelmiş olmasıdır.

Fiili dönme açısı'nın değerinde 15 derecelik aıiış veya azalış ile makine kapasitesinde % 15-18'lik bir artış söz konusu olmaktadır. Bu açının küçük tutulması için ekskavatörün çift yönlü yükleme yapması gerekmektedir. Ekskavatöıün kazı aynasına dik çalışması, kamyonların makineye iyi yanaşması, operatörün tecrübesi ve yüklenen malzemenin ıyı lağımlanmış olması ekskavatör dönüş mesafesini düşürebilir. Ancak iyi lağımlanmamış bir malzemede hem kazı hem de dönme hareketi yapılacak olursa makinede aşırı akımdan dolayı arızalar meydana gelebilir.

Boşaltma sırasında hizalama işinin düzgün yapılmaması zaman ve iş kaybı ile birlikte dökülen pasalar nedeniyle kamyonların ekskavatörlere iyi yanaşamamasına ve temizlik için makinenin durdurulmasına sebep olmaktadır. Yüklemenin kasa içine tek taraflı yapılması, kamyonlardan yol boyunca bulunan dever ve dönüşlerde malzemelerin dökülmesine, lastik sarfiyatının artmasına neden olduğu gibi greyder, dozer ve yardımcı iş makinesi gereksinimini de arttıracaktır.

Malzeme parça boyutunun çok büyük olması, yükleme sırasında blokların sıkışması nedeniyle boşaltmayı güçleştirmektedir. Parça boyutunun çok küçük, nemli ve killi malzemeler içermesi de boşaltma zamanını arttıracaktır.

Periyot değerleri daha çok makinenin kepçe kapasitesine, operatör maharetine, forınasyon özelliklerine patlatma verimine ve yükleme şekline bağlı olarak değişmektedir. 48-C panoda bir kısmında patlatma yapılmadığı ıçın daha çok operatör maharetine, FC panoda ise patlatma verimine bağlı olarak değişmektedir.

Parça boyutu büyüdükçe kepçe dolma faktöıü düşmekte, kazı ve boşaltma için geçen zaman artmakta ve kazı enerjisi yüksek çıkmaktadır. Parça boyutunun çok küçük olması ise patlatma maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle yüklenen malzemenin optimum büyüklükte olması gereği vardır. Aynı formasyonda çalışan elektrikli ekskavatörlerde, kepçe hacmi büyüdükçe kepçe dolma faktörü de büyümektedir. Kepçe kapasitesi aynı olan makinelerde ise malzeme parça boyutu 1O cm'den 50-60 cm'ye çıktığı zaman kepçe dolma faktörü de % lOO'den % 61'e düşmektedir. Bu da makine kapasitesini % 35-40 oranında düşürmektedir.

Kabarına katsayısı, malzemenin formasyon özelliklerine, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve patlatma verimine bağlıdır.

10 $yd^3$' lük ekskavatörlerde parça boyutu 10 cm'den 45 cm'e çıktığı zaman kazı süresi 9 saniyeden 12 saniyeye çıkmaktadır, bu da kapasitenin % 13-15'e düşmesine neden olmaktadır.

FC panoda çalışan 40, 29, 34, 38 ve 39 numaralı ekskavatörlerde kepçe dolma faktörleri ve saatlik kapasiteler düşük çıkmaktadır. Bu durum çalışılan formasyonun orta sert marn olması ve patlayıcı madde ile gevşetilme yapılmasından kaynaklanınaktadır. Ayrıca formasyon içerisinde yer yer bantlar halinde silisli kalker olması kazı performansını çok fazla etkilemektedir. Bu panodaki kazı performans değerleri zor-orta zor arasında

çıkmaktadır. 48-C panoda 30, 31, 33, 35, 36 ve 37 numaralı ekskavatörler ise daha fazla çatlaklı, süreksizlikleri çok, bitkisel malzeme oranını yüksek olan formasyonda ve yılın büyük bir bölümünde eski döküm harmanlarında çalışmaktadır. Ayrıca bu panoda gevşetme yapmak için patlatmaya gereksinim duyulmamasından kazı performansları orta ve kolay arasında çıkmaktadır.

Taşıma yolları boyunca ekskavatör elektrik besleme kablosu ile enerji hatları, ocak içindeki atlama yapılan kısımlarında yolu daraltmaktadır. Bu durum da ise 2 kamyon karşı karşıya geldiğinde boş kamyonlar dolu kamyonları beklemek zorunda kalmaktadır. Yolun daraldığı bu kısımlarda özellikle gece çalışmalarında kaza riskleri olabilmektedir. Taşıma yolu boyunca yol daraltmaların çok olduğu durumlarda kamyon tur zamanları azalacağı için kamyonların taşıma kapasiteleri düşecektir.

Kamyonlar seyir halinde iken, hızlarını kesmeden devam edebilmeleri ve araçların emniyeti için yeterli görüş mesafesine sahip olması gerekir. Aksi takdirde, kamyonlar standart hızının altında gideceği için taşıma kapasitesi düşecektir.

Ocakta farklı özelliklerde çalışan kamyonlar var ise aynı ham1an yolunda çalıştırılmamalıdır. Çünkü kamyon hızları farklı olacağı için şoförler ağır giden araçları sollayabilirler, böyle bir durumda görüş mesafesinin çok daha fazla olması gereği vardır. Özellikle ocak içi yolların en fazla 2-4 km olduğu ve taşımanın genelde düşük kottan yüksek kota doğru yapıldığı düşünülürse, görüş mesafesinin çok fazla olmadığı söylenebilir. Genellikle yollar meyilli olduğu için araçlar arasındaki hız farkları çok olamayacak ve bu nedenle araçları sollama mesafeleri çok fazla artacaktır.

## KAYNAKLAR

Eskikaya; Ş., 1986; "İş makinelerinin verimlilik analizi" Teknoloji Uygulama Geliştirme Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Proje No:Ybyk-TKİ86.

Konak, G., 2000; "Açık İşletmelerde nakliyat", Seminer Notları, ss.21-22.

Parlak, T., 1998; "Kömür açık işletmeciliğinde uygulamalı örtü kazı yöntemleri", Bursa, ss.27.

PH 2300 XP Katologları, 1985.

Taksuk, M.ve Eraslan, K., 2000; "Factors Affecting Loading Performance of the Excavators İn Garp Lignite Enterprise, Athene, 2000.

Yayla N., 1999; Açık Ocak Yollarının İnşası Ve Trafik Güvenliği Seminer Notu, Yuıi Madenciliğini Geliştirme Vakfı 8-9 Haziran, syf.37, ss.30-32.

# Endüstride Kullanılan Mikronize Oğütme Makineleri
## *Fine Grinding Milis Used in lndustry*

U. Demir, O. Şahbaz, M. Çınar, C. Karagüzel, A. Uçar & B. Öteyaka
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

ÖZET Teknolojideki gelişmelere paralel olarak iri boyutlu malzemelerin ıı1_ce tane boyutuna indirilmesine duyulan ihtiyaç her geçen gün katlanarak artmaktadır. Ozellikle seramik, plastik, ilaç, kozmetik, ileri teknoloji ürünleri ve cevher hazırlama sektöründe çok ince öğütülmüş malzemeler oldukça fazla kullanılmaktadır. Bu ihtiyaçı karşılamak amacıyla pek çok araştırmacı ve şirket farklı dizaynlarda ve özelliklerde değirmenler üretmi ler ve piyasaya sürmüşlerdir. Bilindiği üzere mikronize öğütme gerek yatırım gerekse ışletme maliyetleri açısından oldukça masraflı proseslerdir. Bu çalışma kapsamında gelişen teknolojilere bağlı olarak olumsuz faktörler göz önünde bulundurularak gelıştirilen mikronize öğütme makineleri tane boyutu küçültme mekanizmasına (darbe, aşındırma, baskı ve kesme) ve çalışma prensiblerine (aktarılan ortam, akışkan enerjili, mekanik darbeli ve yüksek basınçlı) göre sınıflandırılıp ve bu makineler hakkında bilgiler verilmiştir.

ABSTRACT The grinding of coarse -grain material to produce fıne powder is of concem in many areas of ındustries such as ceramic, plastic, medicine, cosmetic, advanced technological products and mineral processing due to the technological development. Many kind of companies and researchers produced different type of mills with different characteristics for providing the requirement. As known that -fine grinding is an expensive process in point of the energy consumption and capital equipment costs. in the present study fine grinding mills were classifıed according to partide size reduction mechanism (impact, attrition, compression and cutting) and the operation principles (tumbling milling, fluid energy, impact milling and compression milling). The informations about the fıne grinding mills were given in this manuscript.

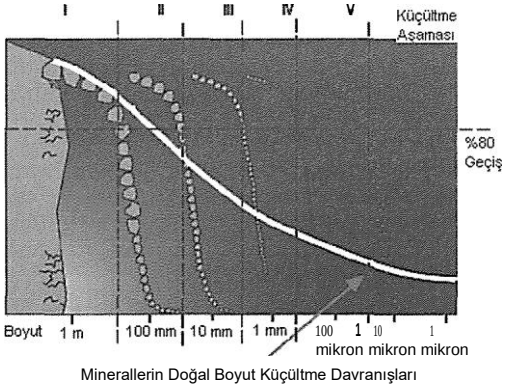
## 1. GİRİŞ:

Cevher zenginleştirıne tesislerinde öğütme devrelerinin amacı, kırıcı devresinden elde edilen urunun, mineral tanelerinin serbestleşmesini sağlamak üzere optimum serbestleşme derecesinin gerektirdiği inceliğe ufalanmasıdır. Zenginleştirme dışı uygulamalarda ise amaç cevherin veya bir cevher konsantresini belli bir tane boyutu veya özgül yüzey alanı özelliğine kavuşturulmasıdır (Hoşten, 2002).

Mineral endüstrisinde yatırım ve işletme maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturan öğütme, her zaman yoğun araştırmaların konusu olmuştur. Bilyalı değirmenler, her çeşit cevherde ve her kapasitede kullanıldığı için, otojen, yan otojen, yüksek basınçlı değirmenler, dik değirmenler ve karıştırmalı değirmelerdeki gelişmelere karşın önemini hala sürdürmektedir(Erdem, 2005).

Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber plastik, seramik, boya, gıda, ilaç, pigment ve kozmetik gibi farklı endüstri kollarında ince (-100 mikron), çok ince (-10 mikron) veya süper ince (-1 mikron) olarak adlandırılan boyutlardaki malzemeye olan ihtiyaç giderek aıimaktadır. Madencilik sektöründe ise yüksek tenörlü cevher yataklarının tükenmesi sonucu serbestleşme tane boyutu çok ince olan düşük tenörlü cevher yatakları ve hatta tesis atıkları ekonomik değer kazanmaya başlamıştır. Her iki durumda da malzemenin çok ince boyutlara kadar öğütülmesi

ihtiyacını doğurmaktadır(Weller 2005, Parry ve diğ. 2006). Buna karşın öğütme enerjinin en yoğun ve verimsiz olarak tüketildiği birim işlemdir. Cevher hazırlama tesislerindeki öğütme işlemi çalışma maliyetlerinin o/o70'ine tekabul etmektedir(Gao 2006). Ozellikle tane boyutu inceldikçe tanelerin kırılmaya karşı olan dirençlerinin artması öğütme için harcanması gereken enerji miktarını oldukça arttırmaktadır. Bu durum tesis çalışanlarını ve araştırmacıları malzemeleri istenilen boyutlara öğütme kapasitesine sahip ve düşük enerji tüketimine sahip alternatif boyut küçültme ekipmanları ve kimyasal maddeler üzerinde düşünmeye zorlamaktadır(Salatic ve diğ. 1990,Köse ve diğ. 1990). Kullanılan kimyasal maddeler ile öğütme verimi arttırılırken enerji tüketimi de önemli ölçüde azaltmaktadır (Greenwood 2002, Somasundaran 1978). Tesislerde kullanılan mevcut ekipmanlarla (bilyalı değiimen, çubuklu değirmen, otojen değiren vs.) malzemeleri ekonomik olarak çok ince boyutlara öğütmenin fiziksel olarak mümkün olmaması nedeniyle bazı tesisler ara ürün öğütme devrelerinde karıştırmalı veya titreşimli bilyalı değirmelerden yararlanırken, karıştırmalı bilyalı, jet veya yörüngesel (planetary) tip değiımenler boya, plastik, seramik vb. tesislerde belirli boyutlarda malzeme üretmek ıçın kullanılmaktadır (Dikmen 2004, Mingzhao 2006, Choi 2001,2004,Cho 2006, Orumwerse 1990,Bordes 2002).

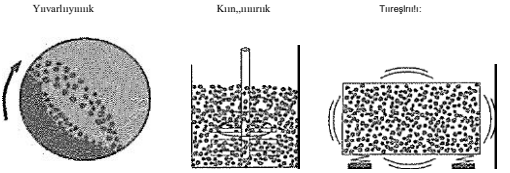



Şekil 1. Minerallerin doğal boyut küçültme davranışları (Metso minerals).

Kristal haldeki minerallerin, üzerlerine enerji uygulandığında, sonsuz sayıda boyut ve şekilde parçalanma eğilimleri vardır. Boyut küçültme işinin en zor tarafı istenenden büyük veya istenenden küçük parça sayısını sınırlandırmaktır. Eğer bu kpntrol edilmezse, mineral doğal kristal davranışını gösterecek ve aşırı ufalanacaktır. Şekil 1'de minerallerin doğal boyut küçültme davranışları görülmektedir. Şekilden da anlaşılacağı üzere kontrollü bir boyut küçültme için eğrilerin mümkün olduğu kadar dik olması gerekir (Metso minerals).

## 2. DEĞİRMEN TİPLERİ VE ÖZELLİKLERİ

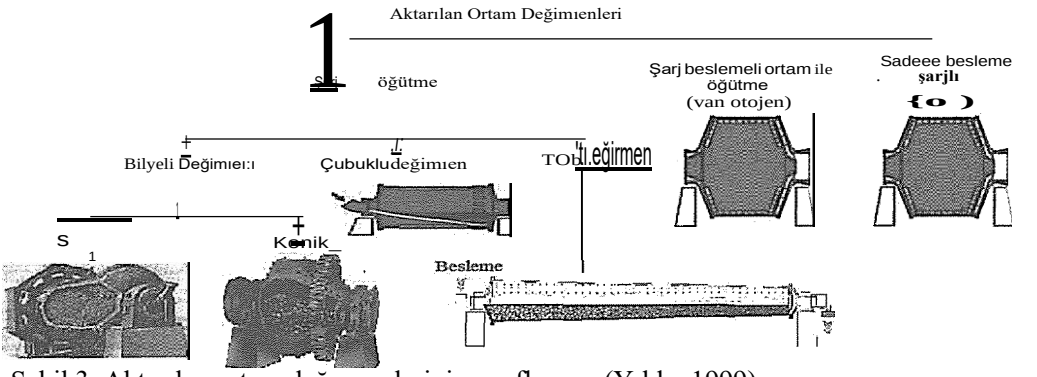
Endüstride çeşitli amaçlar için geliştirilen ve kullanılan değirmenleri aktarılan ortam değirmenleri, karıştırılan ortam değirmenleri, akışkan enerjili değirınenler, titreşimli değirmenler, mekanik darbeli değirmenler olarak sınıflandırılabilir. Şekil 2'de değirmen içerisinde oluşan öğütme ortamlarının şematik gösterimleri bulunmaktadır.




Şekil 2. Değirmen içerisinde oluşan farklı öğütme ortamları.

**2.1 Aktarılan Ortanı Değirmenleri:** Aktarılan ortam değirınenlerinde öğütme işlemi döner bir silindirik öğütme odası içerisindeki öğütücü ortamın (çelik çubuk, bilya, çakıl veya cevherin kendisi) kinetik enerjisi kullanılarak sulu veya kuru olarak gerçekleştirilir. Cevher hazırlama ve zenginleştiıme tesislerinde çok yaygın olarak çubuklu ve bilyalı değirmenler kullanılmaktadır. Cevher yapısı çarpma ile ufalamaya uygun ise otojen değirmenlerde kullanılabilir. Bu değirmen çeşitleri şekil 3'de verilmiştir. Aktarılan ortam değirmenleri hemen hemen her kapasitelerde ve her sertlikteki minerallerde ufalama yapılabildiği için her sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır fakat en büyük dezavantajları aşınma ve yüksek enerji sarfiyatlarıdır.

*Bilyalz değirmenler;* ırı, ince (ikinci kademe) ve çok ince öğütme devrelerinde kullanılırlar. Değirınenlere beslenen malzeme tane iriliği 30-1.2 mm, öğütülen cevherin tane irilıği de 600-1O mikron arasında değişmektedir. Değirmenler hacimlerinin %40-45 oranında öğütücü ile




Şekil 3. Aktarılan ortam değırmenlerinin sınıflaması (Yıldız 1999).

doldurulurlar Bilyalı değinnenlerde boy/çap oranı 1/1'den daha küçük olabileceği gibi 2/1'den büyük olan değirmenlerde bulunmaktadır. Genel olarak ince öğütme değirmenleri daha uzundur, düzenli bir tane boyut dağılımı vermedikleri için genellikle kuru veya sulu çalışan bir sınıflandırıcı ile kapalı devre olarak çalışırlar (Yıldız 1999).

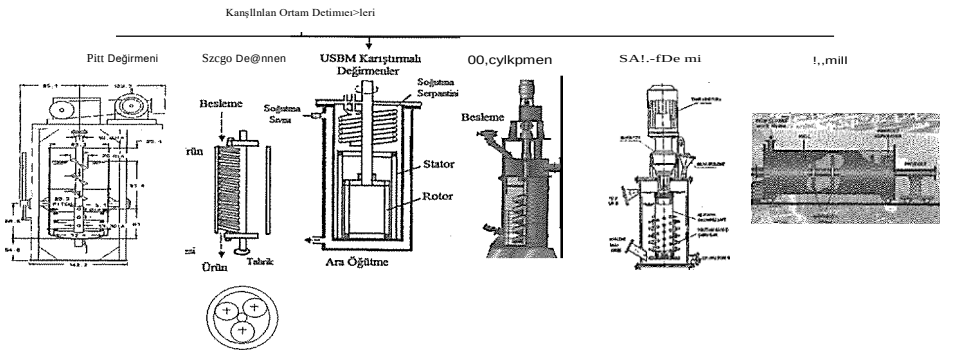
*Çubuklu deftirmenler;* 50 mm üstü tane boyutu olan bır malzemeyi besleme olarak alabilmekteyse q ideal besleme tane iriliği 19 mm altıdır. Oğütülmüş üıün üst boyutu ise 2 mm civarındadır. Bu nedenle iri öğütmede kullanılırlar. Değirmen hacminin %35-40 oranında öğütücü çubuklar ile doldurulur. Boy/çap oranı 1,4-1,6 arasında değişmektedir. Daha düzenli tane boyut dağılımı verirler. .Bu nedenle sınıflandırıcıya gerek duyulmaz (Ipekoğlu, 1997).

*Çakıl değirmenlerde,* cevherin daha ince öğütülebilmesi için öğütücü olarak, otojen değirmenden alınmış kritik boyuttaki cevherin yanı sıra, çakmak taşı veya seramik çakıl da kullanılmaktadır. Çakıllı değirmenlerde, 25-12 cm arası öğütücü malzeme ile -1 cm boyutunda yumuşak, - 0.6 cm boyutunda sert malzeme, 10-3.8 cm boyutunda öğütücü malzeme ile 1-2 mm'lik cevher ve öğütücü olarak 7.5-2.5 cm arasında çakıl kullanılarak 300-425 mikronluk öğütme yapılabilmektedir. Metal kirlenmesinin istenmediği minerallein ufalanmasında kullanılırlar. Ayrıca değirmen astarıda kauçuk, seramik veya sileks ile kaplı olabilmektedir.

*Otojen öğütme;* cevherin kendi kendisini öğütınesidir. Kuru veya yaş olarak yapılmaktadır. Otojen öğütıne birinci kademe boyut küçültıne prosesi olup çoğu zaman kırma ve öğütmeyi bir arada yaparak cevher hazırlama tesislerindeki en büyük sorun olan aşınmayı büyük ölçüde azaltarak öğütme maliyetini düşürmektedir.

### 2.2 Karıştırılan Ortam Değirmenleri:

Son 20 yılda endüstriyel alanda ilgi odağı haline elen karıştırılan ortam değirmenlerının tasarımı aslında 1920'lı yıllara kadar uzanmaktadır. O günden buyana farklı tiplerde karıştırmalı değirınenler tasarlanmış olsada temel yapıları değiştirilmemiştir. Yüksek enerji verimleri ve fazla miktarda ürün vermeleri sebebiyle karıştırılan ortam değirmenleri en çok kullanılandır. Ekipman temel olarak çok basittir. Karıştırılan oıiam değirmenleri hareketsiz değirmen tamburları ve yüksek hızlı bir mil üzerine yerleştirilmiş spiral, pim (çubuk) veya d!sk karıştırıcıdan oluşm aktadır (Murphy ve dığ. 2004,Gao 2006). Öğütme tamburu yüksek değirmen doluluğunda küçük öğütücü ortam (cam, çelik veya ş ramik öğütücüler) ile doldurulmaktadır. Öğütülecek malzemenin öğütme ortamı ve kendi taneleri arasındaki süıüınme ve aşınma iJe parçalanması prensibine dayanmaktadır. Oğütme yaş veya kuru olduğu gibi açık veya kapalı devre olarak ta gerçekleştirilebilir (He 2006). Karıştırılan ortam değirmenleri yatay Y.eya dikey konumda bulunabilmektedir. Uretilen ilk cihaz düşük hızlarda (<6 ın/sn) çalışmakta ve aşındırıcı (attritor) olarak adlandırılmakta ve çoğunlukla flotasyon öncesinde mineral yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla kullanılmaktaydı. Daha sonraları yüksek hızlarda (20 ın/sn) farklı karıştırıcı dizaynları ile yatay ve dikey olarak imal edilmiştir.




Şekil 4: Karıştırılan ortam değirmenlerinin sınıflanması.

Öğütücü ortam ve malzeme değirmen l) acminin %85 kadar şa!j edilebilmektedir. Oğütücü oiiam olarak çelik veya seramik bilya, kum, çakıl taşı, izabe curufu veya cevherin kendisi kullanılmaktadır. Karıştırılan ortam değirınen çeşitleri şekil 4'de görülmektedir.

*Kule değirmen;* İnce öğütme amaçlı kullanılan bilyalı değirmenlerin dikey yerleştirilmiş bir uygulamasıdır. Bu değirmenler aynı kapasiteli bilyalı değirınenler ile aynı yatırım maliyetine sahiptir. Fakat, montaj kolaylığı, az yer kaplaması, sessiz çalışması ve bilyalı değirmene oöre %60 enerji tasamıfu sağlaması nedeniyle ince öğütmede alternatif olmuştur (Yıldız, 1999). Kule değirmenlerin 6,3 mm oranında beslenen malzemeyi, 74 mikron'dan 2 mikron veya daha ince boyutlara kadar öğütürler. Vertimill açık veya kapalı devre içinde de sürekli veya yığın (toplu) uy ulamalar şeklinde kullanılabilir. Kule değırmen ile öğütülebilen başlıca malzemeler; Alüminyum Oksit, Aragonit, Barit, Yüksek fırın cürufu, Kalsine boksit, Kalsit, Kalsiyum karbonat, Kalay, Kömür-yağ, Kömür-su, Kömür katranı cürufu, Kok-yağ, Bakır molibdenit, Bakır konsantre Bakır cevheri, Bakır cürufu, Bakır-çinko cevheri, Demirli kum, Kurşun konsantresi, Kurşunlu çinko cevheri, Çinko konsantresi, Çinkolu kurşun cevheri, Ferro manganez, Altın cevheri (Yıldız 1999, Gao 2006).

Diğer bir endüstride kullanılan düşey karıştırılan oiiam değirmeni Metso Minerals tarafından üretilen Detritor değirınendir, düşey haldeki bir değirmen ve içerisine yerleştirilmiş bir mil ve bu mil üzerinde bulunan pinlerden oluşmaktadır. Detritor değirmenlerde çap/boy oranı 1/1'dir. Halen Avustralya'da Zinifex Century çinko madeninde kullanılmaktadır (Gao 2006). Yüksek hızlarda döndürülen mil ve pinler arasında kalan öğütücü ve malzeme karıştırma etkisi ile öğütme ortamı ve ke di taneleri arasındaki sürtünme ve aşınma ıle parçalanma gerçekleşmektedir. Çeşitli üretici fımalar tarafından dizayn edilen değirmenler bulunmaktadır. Hosokawa fıması tarafından üretilen şaft üzerine yerleştirilmiş pimlerden oluşan karıştırmalı bilyalı yaş (ANR) ve kuru (ATR) değirmenleri, Denver-Sala firması tarafından geliştirilen SAM (Sala Agitated Mill) değirmeni, düşey gövde içerisinde kalın şafta bağlı pimlerden oluşmaktadır. Draij karıştırmalı değirmen, hareketsiz ve yatay konumda bulunan değirmen gövdesi ıçerisinde dönen şafta bağlı diskler bulunmaktadır. Pitt değirmende ise düşey olarak bulunan değirmen gövdesi içerisinde dönen şafta bağlı olarak belirli bir kısma kadar pimler, belirli bir kısma kadar helisel kanatlar bulunmaktadır. Karıştırılan ortam değirmenlerinin en büyük dezavantajı aşınmadır. Bu nedenle yumuşak ve orta sertlikteki malzemelerde kullanılırlar.

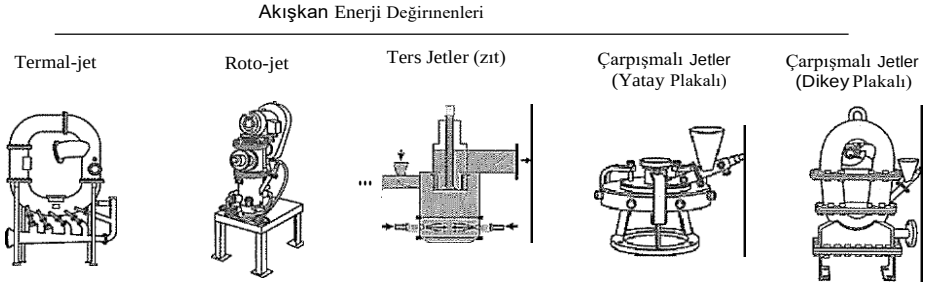
*Isamill;* Mount Isa Mines ve Netzsch Feinmahltec GmbH tarafından geliştirilen Isamill yatay karıştırılan ortam değiımenlerinden birisidir, bilyalı değirmenler ile karşılaştırıldığında 14,5 kWh/t enerji tüketimi ile %80'i 26 mikron olan malzemeyi 0,5 dakikada %80'i 9,8 mikrona indirebilmektedir. Aynı malzeme bilyalı değirmen ile 63,3 kWh/t enerji tüketimi ile 150 dakikada elde edilebilmiştir (Gao 2006).

### 2.3 Akışkan Enerjili Değirmenler:

Bu değirmenler, -325 mikron boyutundaki malzemeyi 1-4 mikron boyutuna kadar öğütebilir. Genellikle yumuşak ve az aşındırıcılı malzemeler için kullanılan bu değirmenler silis, feldispat, cam, zirkon, mika, talk, bentonit, kuvars, grafit ve boya pigmentlerinin, silisyum karbidin, abresif malzemelerin cok ince kuru olarak öğütülmesinde kullanılırlar (Yıldız 1999).
Bu değirmenler çok yüksek basınçlı havanın öğütülecek malzeme ile birlikte veya öğütülecek malzemenin değirmen gövdesinde basınçlı hava teması ile taneleri birbirine veya değirmen cidarına çarptırına prensibine göre çalışırlar. Darbe ve aşınma tesiri ile ufalanan taneler hava akımı ile bir separatöre ulaşırlar. İnce malzeme değirmeni terk ederken kalın malzeme tekrar değirmene geri beslenir. Değirmende akışkan olarak geneJlikle 100-150 psi basınçlı hava yada 400 C ısıtılmış basınçlı buhar kullanılır. Bu tip değirınenlerde kapasitenin düşük olması ile beraber harcana enerjide oldukça yüksektir. Buna karşın polyüretan veya seramik astarla kaplı olduklarından demir empüritesi istenmeyen çok ince öğütmede (3-10 mikron) tercih edilirler. Şekil 5'de akışkan enerjili değirmenlerin sınıflaması verilmektedir.

*Spiral akımlı jet değirmenler:* Sıkıştırılmış hava haznenin etrafına yerleştirilmiş memelerden silindir şeklindeki dar öğütme haznesine gönderilir. Hava öğütme haznesinde yüksek hızda bir girdap (vortex) yaratan yüksek enerjili bir hale gelir. Materyal Venturi besleme borusu ile öğütme haznesine gönderilir ve basınçlı hava ile hava memeleri tarafından oluşturulmuş girdaba sokulur. Yüksek hız eğimleri hazne etrafındadır ve girdabın içindeki zerrelerin etkili şekilde öğütülmesini sağlar. Girdabın merkez çıkışın içine doğru yönlendirilmesi sayesinde materyalin sınıflandırılması gerçekleştirilmiş olur. Girdabın kesim boyutunun altında kalan ince zerreler harici ürün toplama sisteminde ayrılmak için merkez boşaltıma süiüklenirler . Kesim boyutunun üzerindeki zerreler boyutlarıuygun oluncaya kadar öğütme haznesinde kalırlar.

*Ters (zıt) jet değirmenler:* Besleme materyaller belli periyotlarda hava akımına maruz bırakılır. Birincil olarak işlenmemiş materyaller hava borularından geçirilir. Materyaller makine içindeki roter tarafından girdaba maruz bırakılır. Karşılıklı hava çekimi sayesinde zerreler girdabın içinde sınıflandırılırlar. Kesim noktası rotorun hızının ve hava akımının kontrolü ile belirlenir. Kesim boyutunun altındaki zerreler rotordan g çerler ve borudan dışarıya çıkarılırlar. İri parçacıklar kesim noktasından sonra muhafaza borusunun duvarına doğru ilerler ve koni şekilli yapı içinden dışarıya doğru atılırlar. Ikincil hava akımı bu yapıya ayrı bir boru kaynağından sağlanmaktadır. Depodan ayırıcı bir kanalla ayrı bir kanal yoluyla hava girişlerinin yıkanması ince zerreciklerin dağılımını sağlayarak cihazın Ikincil hava akımın zerreciklerin ayırma alandaki hava ile temas süresini kontrol eder. ve buda maddelerin birbiri_nden iyi bir şekilde ayırmaya yardımcı olur. İri ve küçük parçalar kendilerine özel konteynırlarda toplanır. Bu esnada tüm hava sisteme tek bir kanaldan iletilir.




Şekil 5. Akışkan enerji değirmenlerin sınıflaması (Yıldız, 1999)

*jet-O-Mizer değirmenler:* Fluid Energy processing and equipment co. Tarafından ımal edilen jet-O-Mizer tipi bir jet değirmenlerde besleme malı çok yüksek hızlı (supersonic) hav3: jeti.. ile beraber değirmen gövdesine gönderılır. Oğütülen ince malzeme hava akımı ile değirmenin üst bölümünde bulunan ayarlanabilir kanatçıklar la donatılmış bırınci mal;z:eme kamarasından değirmen dışına çekilir. Istenen tane ebatında büyük malzeme ise tekrar öğütme kamarasına dönüş yal?ar. Jet-o-Mizer 1-50 mikron boyutlarındakı kuru toz boyutuna öğütebilir.

*Sulu Yatak Jet Değirmen CGS (NETZSCH-CONDU):* yüksek basınçlı hava yada nitrojen kullanılır. Jet değirmenler genel olarak sert, çatlaksız yada ısıya duyarlı materyaller için ve yüksek kalitede istenilen nemli parça boyutları için kullanılır.

*Alpine Değirmeni:* Bu değirmende besleme malı hava ile beraber verilmektedir. Malzeme değirmenin üst bölümünden beslenmektedir. Birbirine karşılıklı olarak monte edilmiş hava memelerinin bulunduğu alt bölümde hava ile çarpışan taneler parçalandıktan sonra hava akımı ile değirmene entegre edilmiş turboplex tipi separatör tarafından ince ve kalın mala ayrılmaktadır. Kalın mal hava jetlerinin bulunduğu bölüme düşerek tekrar öğütmeye tabi tutulur.

*Micro - jet değirmenler:* 0,5 - 45 mikron boyutundaki öğütülmüş hassas kuru tozlar, yüksek kalitede yüzey genişliği isteyen müşteriler için, micro - jet dikey yönlü jet değirmeni sayesinde yüksek kalitede gerçekleştirilir. Kullanım alanları Seramik, Polimer, Pigmentler, Boru sanayi, Balmumu.

*Rota jet değirmenler:* Büyük ve / veya küçük tane boyutu isteyen müşteriler için, Roto Jet sulu - yatak değirmen ile malzemeyi 0,5 - 40 mikron kuru toz boyutuna öğütebilir. Bu sistem, değişken hızdaki motoru ile yüksek oranda tane boyutu dağılımında kontrol sağlar. Seramik , Pigmentler, Oksitler, Karbitler, Renkli polimerlerde kullanılır.

*Hosokawa Alpine Karşılıklı Sulu Yatak Jet Değirmen:* Materyalin sulu yatak kısmında tanecikten taneciğe geçiş tamamen emniyetlidir. Bu taneciklerin üretime hazırlanma kısımındaki enerji çıkışının üç veya daha fazla sıkışmış gaz ağızlarına verilmesiyle gerçekleşir. Çağdaş jet değirmenlere göre daha az eneıjı harcanır. Makine kapasitesi hava hacimleri 50 ile 1120 $m^3/s$ arasında değişen 13 standart. makine kadardır. Az aşınma gerçekleşir. Istenirse bilyanın içerisindeki demir üretilen toz içerisine karışmaz ve 85 dB 'den daha az ses ortaya çıkar

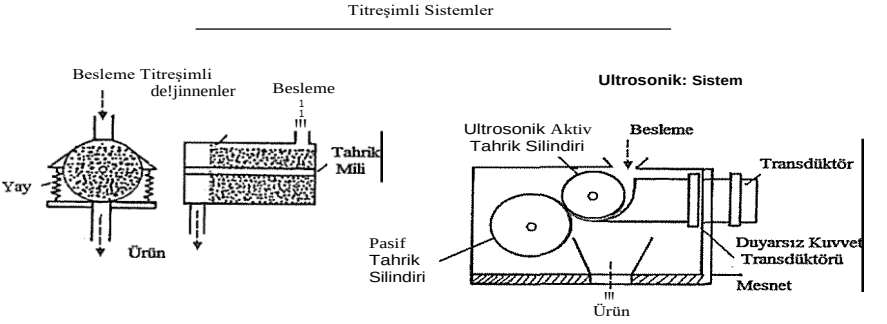
### 2.4 Titreşimli Değirmenler:

Titreşimli değirmenler, lastik takozlar ya da yaylar üzerine oturtulmuş 1500 d/d civarında dönerek titreşim oluşturan (genliği 3-4 mm) dengesiz ağırlıklı, 1-4 öğütı11e odalı kapalı bir sistemden oluşmuştur. Oğütme odaları, hacimce % 60-70 oranında 10-15 mm çaplı öğütücü bilya ve öğütülecek malzeme ile şarj edilir. Şekil 6' da titreşimli değirmen sistemleri görülmektedir.

Bu değirınenlerde, üst boyutu 30 mm olan malzeme 1O mikrona kadar öğütülebilir. Elde edilen ürünün inceliği malzemenin değinnende kalma süresine bağlıdır. Çok sert malzemelerde daha avantajlı olurlar. Titreşimli değirmenler öğütülecek malzeme boyutundaki değişmelere karşı çok hassastır. Değirmen kapasitesi 5 t/s civarında 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 değırmenlerin bakım maliyeti yüksektir. Yaş veya kuru, sürekli veya süreksiz olarak kullanılabilirler. Soğutma ve ısıtma yapabilirler.

### 2.5 Valsli Değirmenler

Ezme ve aşındırma l?rensibiyle ö tme yapan bu değirmenler mıneral endüstrısinde kullanımı oldukça eskiye dayanmaktadır. Antik çağlardan beri kullanılmakta olan valsli değirmenler günümüzde özellikle kömür, fosfat, kireçtaşı, bentonit, çimento gibi aşındırıcı olmayan (sertliği 4'den küçük mineraller) malzemelerin öğütülmesinde kullanılırlar. Bu değirmenlerde öğütücü bilyalar veya rulolar (merdaneler) sabit veya hareketli bir tabla veya öğütme yatağı üzerinde dönmekte, tabla ve rulo arasında kalan malzeme, sıkışma ile öğütülmektedir.




Şekil 6. Titreşimli değirmen sistemleri (Yıldız 1999).

. R lolar üzerine öğü lecek malzemeye, ıstenılen boyuta ve kapasıteye göre belirli bir basınç uygulanır. Genellikle kuru çalıştıkları için öğütülen malzeme, ortamdan fanların oluşturduğu hava akımı ile alınır.

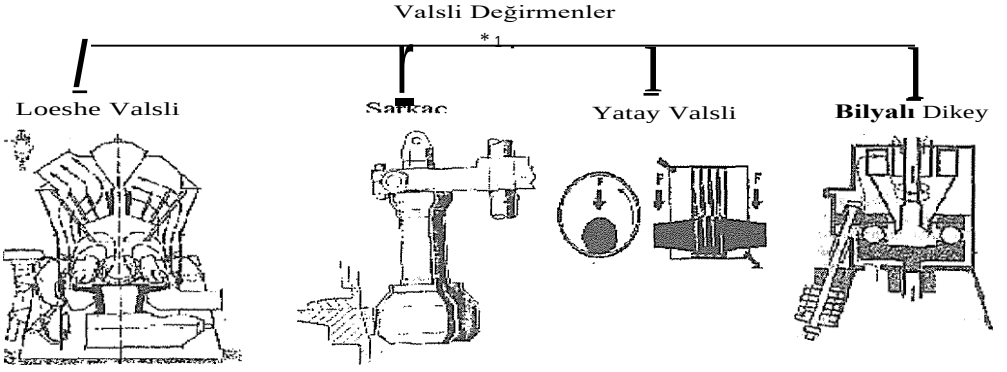
Öğütülen ürünün enerji tüketimi yönünden bu tıp _1eğirmenle en_ ekonomi olanlardır. Bu degırmenler bır bılyalı değırmene göre %75 daha az enerji harcarlar maliyetleri daha düşüktü.r. Bu değirmenler ayrıca öğütme kısmında ıstenıneyen kaçak demir parçalarını öğütmeden dışarı atabilirler. Genel olarak valsli değirmenler üzerlerine monte edilmiş sınıflandırıcılar ile birlikte çalışırlar. Bu sınıflandırıcıların kanat açıları ve hızlarını ayarlayarak öğütülen malzemeyi istenilen ?:}:'Utta ayırmak müm ü dür. Değirmenlerde ogutmenın gerçekleştığı yatay alan olan öğütme tabl sı dairesel olup, öğütme ruloların şeklıne göre düz veya olukludur. Hareketli öğütme elemanları vals (rulo veya merdane) veya küre (bilya) şeklindedir. Valsl_er_. öğütm.e tab asın kendi ağırlıkları, santrıfüı ku"'.ve ı, hıdrolık, pnömatik veya ya ? . sıstemı . ıle astırılırlar. Şekil 7'de deg_ışı _valslı değırmen öğütme ruloları verilmı ştır.

*Loesche Valsli Değirmen:* Loesche taraf nda . yapılmış 236q mm çapında 4 valslı 1egırmen 5 metrelık öğütme tablası ça12 ıle_. dünyanın. en büyük valsli degırmenıdır. Bu değırmen 550 t/s nominal kapasitede çimento hammaddelerinin öğütülmesi için tasarlanmıştır.

*ıçırkaç (Merkezkaç) Değirmen:* Sarkaç ırmenlerde alt disk yoktur yanlarda ogutme yapılır. Askıda birkaç top vardır ve askılar dışarı doğru merkezkaç kuvveti ile açılır. Toplar kendi ekseni etrafında dönebilir. Yine altta mazgallar vardır ve hava üflenir. Toplar biraz yukarıdadır. Ortada kı ılan malzemeyi küreyebilmeleri için orta mılle beraber dönen kürekler vardır. Bunlar malzemeyi ortaya, topa doğru yukarı atar. Malzem_ topla halka arasında kalıp öğütülür. Bu degırmenlerde 20 mm boyutundaki malzeme -35mikron'a kadar öğütülebilir.

*Yqtqy Vals!i_Değirmenler:* Horomill olarak da ı_sımlen ırılen yatay valsli değirmen, kendı eksem etrafında dönen silindir manto v_e İÇ.; tamburda? oluşan bir öğütme sıstemıdır. Bu değırmenin mantosu, aktarma 9.rganlı motorla bir dişliden hareket alır. Oğütme kuvvetleri hidrolik silindir tarafından tambura aktarılır. Değirmen içi, malzeme dolaşımıı;ıı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Oğütülecek malzeme değirm ix yapısı ye merkezkaç kuvvetinin de etkısı ıle değırmen içinde, değirmen çıkışına doğru düzenli olarak hareket ederek manto ile tambur arasından birkaç kez geçer.

Bu geçiş süresinde manto ile tambur ars_ında sıkışa.n malzeme öğütülür. Bu degırmenlerle, bılyalı değirmenlere göre %30-50 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. u tasarrufun yanı sıra, az yer kaplam sı, . ışletme kolaylığı, proses kontrolundekı kolaylık, düşük titreşimli olması uygulamadan alınan önemli olumlu sonuçlardır.




Şekil. 7 Valsli Değirmenlerin Sınıflaması

*Yatay Valsli Değirmenler:* Horomill olarak da isimlendirilen yatay valsli değinnen, kendi ekseni etrafında dönen silindir manto ve iç tamburdan oluşan bir öğütme sistemidir. Bu değirmenin mantosu, aktarma 9.rganlı motorla bir dişliden hareket alır. Oğütme kuvvetleri hidrolik silindir tarafından tambura aktarılır. Değinnen içi, malzeme dolaşımwı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Oğütülecek malzeme değirmen iç yapısı 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. Bu değirmenlerle, bilyalı değirmenlere göre %30-50 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu tasarrufun yanı sıra, az yer kapla ası, işletme kolaylığı, proses kontrolündekı kolaylık, düşük titreşimli olması uygulamadan alınan önemli olumlu sonuçlardır.

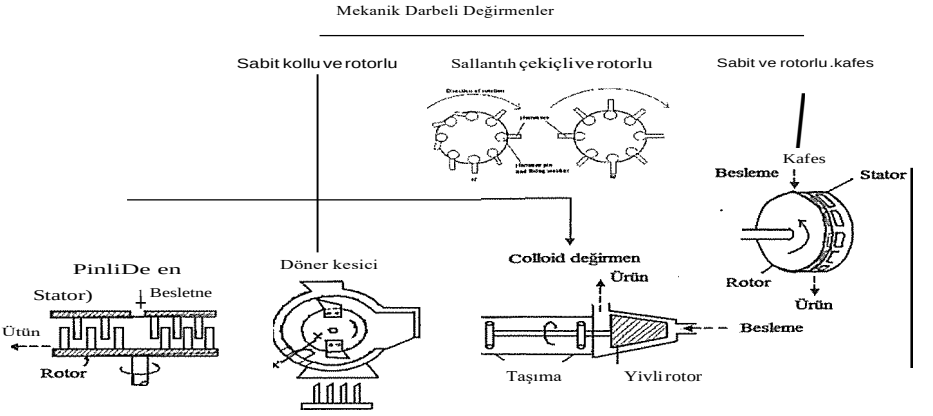
*Bilyalı Dikey (Bilyalı Rulolu) Değirmenler:* ezme prensibi ile çalışan valsli değirmenler olarak da düşünülebilir. Bu değirmenlerde vals yerine, *250-1.000* mm çapındaki öğütücü bilyalar, öğütme kanallı ıkı yatay tabla arasına yerleştirilmiştir. Alt tabla düşük bir hızla dönerken sabit olan üst tablaya hidrolik sistem ile belirli bir basınç uygulanır. Değirmenlerde kapasite artışına gıdıldığinde, öğütülmüş malzemenin ortamdan alınması zorlaşmaktadır. Bu nedenle, bilyalı dikey değirmenler kömür gibi yo unluğu düşük malzemelerin öğütülmesinde kullanılmaktadır.

### 2.6 Mekanik Darbeli Değirmenler

Çok ince malzeme öğütme amacıyla kullanılan bir diğer değirmen türü de mekanik darbeli değinnenlerdir. Bu değirmenlerin genel özelliği çok yüksek devirlerde hızlara sahip olmalarıdır. Bu değirmenler örnek olarak çekiçli değirmeler, pin değirmenler, havalı sınıflandırıcılı ve turbo değinnenleri verebiliriz.

*Çekiçli Değirmenler:* Dakikada 2000-6000 devirde dönebilen yüksek hızlı değirmenlerdir. Urün aşırı derecede ince öğütülmüş elde edilebilir. Bir mil üzerine dikey veya yatay olarak yerleştirilmiş çekiçlerden oluşmaktadır. Genelde bir elek ile beraber çalıştırılır belli bir boyutun altına inmeyen ürün değirmeni terk edemez. Maksimum kapasitesi IOt/s'tir ve güç tüketimi oldukça yüksektir. Yapılan bir çalışmada talk 0,0025 mm indirilebilmiştir. Kalsit, talk, barit, granül ve diğer ısıda maddelerinin öğütülmesinde kullanılmaktadır.

*Pinli Değirmen:* Değirmen iki diskten oluşur, disklerden biri dönerken diğeri yörüngesel hareket eder. Pinler arasına giren malzeme mekanik darbe etkisi ile kırılmaktadır. Değinnenin hızı 20000 devire kadar çıkabilmektedir. Yine aynı çalışma prensibine sahip olan havalı sınıflandırıcılı değirmenler pinli değirmenlere göre küçüktür. Turbo değinnenler ise daha küçük yapıya sahiptirler. Pırı değinnenler eleklere



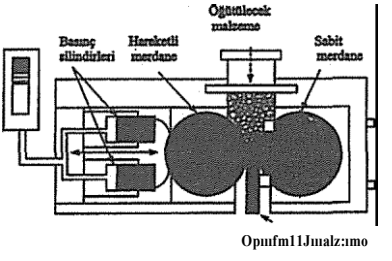

Şekil 8. Mekanik darbeli değirmenlerin sınıflaması (Yıldız 1999).

ihtiyaç duyulmaksızın çok ince ürün elde ederler. Havalı sınıflandırıcılı değinnenler ısıya hassas olan ürünlerin öğütülmesinde kullanılırlar. Bu iki değirmen ilaç ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılırlar.

Döner Kesici Değirmenler: bu değirmenler yumuşak, orta serlikte ve fiber yapılı malzemeler için en uygun öğütücülerden biridir. Değinnen içerisinde malzemenin öğütülmesi yada kesme etkisi 2-4 bıç_klı bir rotor tarafından üretilmektedir. Öğütme işlemi kuru, nemli veya yaş olarak yapılabilmektedir. Değirmen parçalarının aşınmasını kontrol etmek için paslanmaz çelik ve tungsten karbür ve titanyumdan üretilmektedir. Çalışma boyutları genelde iri boyutlardadır.

### 2.7 Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmenler ( Presler )

Yaygın olarak, çimento sektöründe farin ve klinker öğütülmesinde kullanılan yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, kireç taşı, dolomit, kurşun, çinko, altın, demir, elmas, bakır, krom gibi cevherlerin kırma ve öğütme devrelerinde de kullanılmaktadır. Merdane çapları 340-2460 111111 genişliği 400-1000 mm arasında değişmekte, kullanılan merdane yüzeyleri aşınmaya dayanıklı Ni, Cr alaşımlı malzeme ile kuvvetlendirilmiştir(Yüce, 2007). Merdaneli preslerin birinci derecede çimento sektöründe kullanılmalarının başlıca nedenleri çimentoya olan talebin fazlalığından dolayı mevcut kapasiteyi arttırma gereksinimi, çimento üretiminde öğütme için harcanan elektrik enerjisinin toplam elektrik enerjisi tüketimindeki payının %75 kadarı olması nedeni ile de enerji tasarrufu arayışıdır. Bu durum çimento sanayinin dikkatini yatırım, enerji ve işletme maliyeti düşük ve mevcut konvansiyonel bilyalı değirınen ünitelerinde ön öğütücü olarak_ kullanıldığında öğütme kapasitesini önemli_ derecede arttıran merdaneli preslere yönlendirmiştir. Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler ince öğütmede olduğu kadar ço ince öğütmede de kullanılırlar. Merdaneli değirmenler yüksek verimli havalı sınıflandırıcılarla kapalı devre çalıştırıldıklarında 1O mikronun aşağısında da öğütme gerçekleştirebilirler (Aydoğan 2004, Schönert 1990).




Şekil 9. Yüksek Basınçlı Merdaneli Değirmen (Yıldız 1999).

### 3. SONUÇ:

İnce ve çok ince öğütmeyi zorunlu kılan haller;

- Cevherlere uygulanacak cevher zenginleştirme prosesi; düşük tenör ve çok ince boyutlarda serbestleşme dolayısıyla,
- Cevherlere uygulanacak kimyasal zenginleştirme prosesi; kullanılan reaktiflerle cevher arasındaki temas alanını aıiırmak için daha fazla yüzey alanı elde etmek,
- Çimento teknolojisi; yeterli bağlayıcıklık için yüksek yüzey alanı ısteği,
- Seramik, boya, kağıt, cam, kimya vb. sektörler; yüksek kalite için yüksek yüzey alanı,

Bu teknolojik zorunluluklardan dolayı günümüze kadar öğütme boyutu giderek küçülmüş ve halen gelişmekte olan teknolojilere bağlı olarak da küçülmeye devam etmektedir. Bu küçülme değirmenlerde enerji, kapasite, aşınma ve boyut küçüldükçe oluşan topaklaşma problemlerini ortaya çıkarmaktadır.

Karşılaşılan bu problemler, değirmen üreticilerini daha az enerji tüketen ve aşınmaya karşı daha dayanıklı değirmenler üretmeye ve aynı zamanda öğütmeyi kolaylaştırıcı öğütme yardımcıları (organikler, elektrolitler vb.) kullanmaya itmiştir. Buna göre de değirmenler,

- Ortamlı; aktarılan ortam ve karıştırılan ortam değirınenleri
- Sıkıştırmalı (ezmeli); rulolu, merdaneli, mekanik
- Yüksek enerjili, aşındırmalı,

şeklinde dizayn edilmektedir.

Yüksek kapasiteli çalışmalarda alışıla gelmiş değirmenler ..önemlerini halen korumaktadır. Fakat malzeme sertliği azaldıkça ve tane boyutu küçüldükçe diğer değim1enler ön plana çıkmaktadır. Merdaneli değirmenler gibi bazı değirmenler konvansiyonel değirmenler (bilyalı) için ön öğütücü olarak kullanılmaktadır. Fakat ultrasonik ve mikrodalga gibi etkilerle tanecikler üzerinde oluşturulacak kılcal çatlaklarla öğütme işlemlerinin daha da kolaylaştırılması üzerine günümüzde çalışmalara devam edilmektedir

## KAYNAKLAR


Aydoğan, N. A., Ergül, L., 2004 "Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler" Madencilik dergisi, cilt 43 sayı: 3.

Bordes, C., Garcia, F., Snabre, P. Frances, C., 2002 "On-line characterization of particle size durihg an ultrafine wet grinding process" Powder Technology, vol 128.

Cho, H., Lee, H., Lee, Y., 2006 "Some breakge characteristics of ultra-fine wet grinding with a centrifugal mili" İnternational journal of mineral processing, vol 78.

Choi, W.S., Chung, H.Y., Yoon, B.R., Kim, S.S., 2001 "Applications of grinding kinetics analysis to fine grinding characteristics of some inorganic materials using a composite grinding media by planetary hali mili" Powder Technology, vol. 115.

Dikmen,S., Ergün, Ş. L., 2004 " Kanştınnalı bilyalı değirmenler" Madencilik dergisi cilt 43 sayı 4.

Erdem, A.S., Ergün, Ş. L., Benzer, H., 2005 "Modelleme yardımıyla çimento öğütme devresi tasarımında Morrell ve Man yönteminin sınanması" Madencilik dergisi cilt:44 sayı 4.

Gao, M., Holmes, R., Pease, J., 2006 "The latest develpoments in fine and ultrafine grinding Technologies" Proceedings of XXIII international Mineral Processing Congress, vol.lSept. Turkey.

Greenwood, R., Rowson, N., Kingman,S., Brown, G., 2002 "A new method for determining the optimum dispersant concentration in aqueous grinding" Powder technology, vol 123.

He, M., Wang, Y., Forssberg, E., 2006 "Parameter effects on wet ultrafine grinding of limestone through slurry rheology in a stirred media mili" Powder Technology, vol. 161.

Hoşten, C., 2002 "Cevher hazırlama ve zenginleştirme temel tesislerinin tasarımı" ODTÜ basım işliği.

İpekoğlu, Ü., Tannverdi, M., 1997 "Cevher Hazırlama" Dokuzeylül ünv. Müh. Fak. Yayınları. No:238. İzmir,

Köse, M., Koç, M., 1990 "A simplified method of deternlining the bond work index" Proceedings of the III. International mineral processing symposium, Turkey.

Murphy, A., Gao, M., Vargas, A., "Isamill: New tool for improving plant recoveries" www.xstratech.com/doc/im newtool en.pfd

Orumwense, O. A., Frossberg, E., 1990 "Ultrafine grinding in an annular hali mili" Proceedings of the III. International mineral processing symposium, Turkey.

Pany, J., Klean, B., Lin, D., 2006 "Comparision of ultrafine grinding Technologies" Proceedings of

XXIII intemational Mineral Processing Congress, vol.lSept. Turkey.

Salatic, D., Deusic, S., Simeunovic, D., Grujic, M., 1990 "Capacity and power calculation of ball mili in function of ore feed size" Proceedings of the III. International mineral processing symposium, Turkey.

Schönert, K., Lubjuhn, U., 1990 "İnfluence of milling force and speed on grinding of quartz and limestone eith a high compression roller mili" Proceedings of the III. International mineral processing symposium, Turkey.

Somasundaran, P., 1978 "Theories of grinding" Ceramic processing before firing, Edited by George Onoda, Jr. And Larry Hench,

www.metsominerals.com/inetMinerals/MaTobox 7.nsf/DocsByID/234909AF24763AC3C2256C8A00 3A29F6/$File/metsominbroch.pdf

Weller, K. R., Gao, M., "Ultra-Fine grinding"www.xstratatech.com/doc/im_ulrtafinegrin ding_em.pfd.

Yıldız, N., 1999 "Öğütme" Kozan ofset matbaacılık, nisan.

Yüce, A. E., 2007 "Boyut küçültme (kırma-öğütme) ve sınıflandırma teknolojisi, yenilikler ve proses maliyetine etkisi" Kınna taş, cevher ve kömür hazırlama tesisleri ve çimento fabrikalarında enerji tasamıfu, optimizasyon, maliyet düşürme ve agrega madenciliğine genel bir bakış eğitim semineri, Yurt madenciliğini Geliştinne Vakfı, Şubat.

# Seyitömer A-14 Panosu Pilot Dekapaj Uygulamasının Değerlendirilmesi

## *The Evaluation of Pilot Overburden Implementation at Seyitömer A-14 Panel*

Ö. Uysal & H. Akçakoca
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

L. Orman, S. Özerdem & M.A. Çebi
*Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü, Kütahya*

**ÖZET** Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ) Müessesesi sahalarında dekapaj faaliyetleri, Dragline ve Ekskavatör-kamyon yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Kurum kapasitesinin yetersiz kaldığı oranda, dekapajın bir bölümü ihale sureti ile özel sektöre yaptırılmaktadır. Son yıllarda Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) bünyesindeki mevcut makine parkı içerisinde, özellikle kamyon sayısında bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın önümüzde ki süreçte de geometrik bir artışla devam edeceği öngörülmektedir. Bu durum, TKİ kurumundaki yükleme-taşıma kapasiteleri arasında, yükleme kapasitesi lehine bir dengesizliğin oluşmasına neden olmakta ve kurumu yeni açılımlara zorlamaktadır.

Bu kapsamda SLİ bünyesinde bulunan A-14 panosunda pilot bir uygulama başlatılmıştır. Bu uygulamaya göre, yükleme işlemi işletme tarafından temin edilen 10 $yd^3$ kepçe kapasiteli elektrikli ekskavatörler ile taşınıa işlemi ise özel sektör kamyonları tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada, Mart 2006 tarihinde başlayan ve Mart 2007 tarihinde tamamlanan bu pilot uygulamanın ilk sonuçları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme neticesinde, uygulamanın bazı aksaklılarının yanında, TKİ Kurumunun atıl yükleme kapasitesinin değerlendirilmesine katkıda bulunabileceği görülmüştür.

**ABSTRACT** Overburden activities in the fields of Seyitömer Lignite Enterprise (SLE) are carried out by using dragline and excavator-truck methods. When the capacity ofthe SLE falls short, part of the overburden is delegated to private sector. There has been a decrease in the number of especially trucks in the existing machine park of Turkish Coal Enterprise (TKl) in recent years. It is predicted that this decrease will gradually continue in the days to come. This case causes unstability in loading capacity of TKI, and forces TKI to new tendencies.

A piloting project was investigated at A-14 panel which is under the auspices of SLE. According to this project, loading was done by electric excavators with a 10 $yd^3$ ladle capacity that were provided by the SLE, and carrying was done by the trucks of private sector. In this study, the primary findings of this piloting project, which has been being implemented since March 2006, were evaluated. As a result of this evaluation, it was observed that this study can help the evaluation of the inertia in the loading capacity of TKI institution and some of the drawbacks of the piloting.

## 1 GİRİŞ

Açık işletme projesine uygun olarak cevher yatağının üzerindeki veya kontağındaki örtü tabakasının patlatma veya iş makineleri ile gevşetilmesi, kazılması, yüklenmesi, taşınması, döküm alanına dökülmesi, serilmesi, düzeltilmesi gibi faaliyetleri kapsayan ve cevher üretimini hedef alan işlemlerin bütünü dekapaj işlemlerini

oluşturmaktadır. Dekapaj faaliyetleri, daima açık işletme madenciliğinin birincil öncelikli konusu olmuştur. Dekapajın gerek miktarı, gerekse ne şekilde kaldırılacağı, işletmelerin karlılığını ve verimliliğini etkileyen en önemli hususdur (Köse vd., 1996; Eskiya vd., 2005).

Dekapaj işlemi, sahanın durumuna göre değişik yöntemler ile yapılabilmektedir. Bu yöntemler; ekskavatör+kamyon, ekskavatör+bant ve dragline şeklinde sıralanabilir. Bu yöntemlerden hangisinin uygulanacağı, yatağın jeolojik durumuna, rezervin büyüklüğüne, örtü tabakasının kalınlığına vb. koşullara bağlıdır.

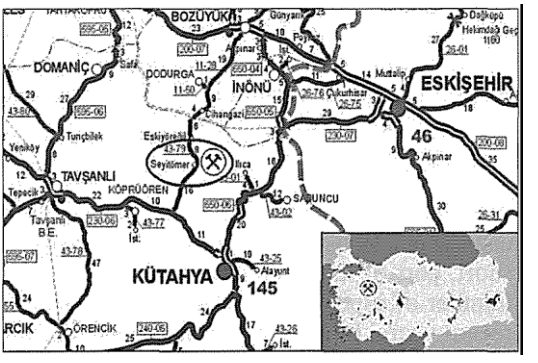
Bir İktisadi Devlet Teşekkülü olan Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), 1957 yılından beri, Devletin genel enerji ve yakıt politikasına uygun olarak linyit, turba, bitümlü şist, asfaltit gibi enerji hammaddelerini değerlendirerek ülke ekonomisine kazandırmak için çalışmalarını sürdürmektedir. TKİ ülkenin çeşitli bölgelerinde açık işletmeler ağırlıkta olmak üzere yeraltı ve açık ocak madencilik faaliyetlerini yürütmektedir. TKİ bünyesindeki değişik işletmelerde yıllık olarak yaklaşık 200-250 milyon $m^3$ dekapaj gerçekleştirilmektedir. Bu dekapajın bir kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Bu oran her geçen yıl artmaktadır, bu oran 2000'li yılların başlarında yarı yarıya iken, son birkaç yılda 2/3 oranına kadar yükselmiştir. 2005 yılında gerçekleştirilen 268.881.342 $m^3$ dekapajın 175.662.077 $m^3$'ü müteahhit firmalar tarafından yapılmıştır (TKİ, 2005). Bu rakamlardan da anlaşılacağı üzere TKİ kurumu açısından dekapaj faaliyetleri ve ne şekilde gerçekleştirildiği son derece önemli bir husus olarak ortaya çıkmaktadır.

## 2 ÇALIŞMA SAHASININ TANITILMASI

Seyitömer Linyitleri İşletmesi, Kütahya ili sınırları içerisinde ve Kütahya il merkezine 30 Km mesafededir (Şekil 1). İşletmede açık ocak madenciliği ile üretim yapılmakta ve üretilen kömürün büyük bir kısmı, termik santrale verilmektedir. Dekapaj faaliyetleri, işletmenin kendi imkanları ve müteahhit aracılığıyla olmak üzere iki farklı şekilde yürütülmektedir.

Bölgede, genel olarak karasal iklim hakimdir. Yılın en sıcak ayları Temmuz, Ağustos, en soğuk ayları ise Aralık, Ocak ve Şubat'tır. Sıcaklık -15° C ile + 32° C arasında değişmektedir. Nem azdır. Yılda ortalama toplu yağış 550 mm, günlük maksimum yağış ise 67 mm'dir. Kar yağışı azdır. Genellikle çıplak ve sakin bir morfolojiye sahip olan Seyitömer havzasının yüksekliği + 1000 m ile + 1300 m arasında değişmektedir.

Çalışmaya konu olan A-14 panosu sahanın Kuzey batısında yer almaktadır. Panoda, kömür damarının üzerinde ortalama 10-15 m kalınlığında ve yaklaşık olarak 4 milyon $m^3$ dekapaj malzemesi mevcuttur. Örtü tabakası; marn, killi marn ve yer yer silisli kalker bantlarından oluşmaktadır. Bitkisel örtü yoktur. Dekapaj malzemesinin yerinde ortalama birim ağırlığı 1,9 ton/$m^3$ ve kabarma faktörü 1,3 tür.




Şekil 1. Yer bulduru haritası.

## 3 MEVCUT DEKAPAJ UYGULAMALARI

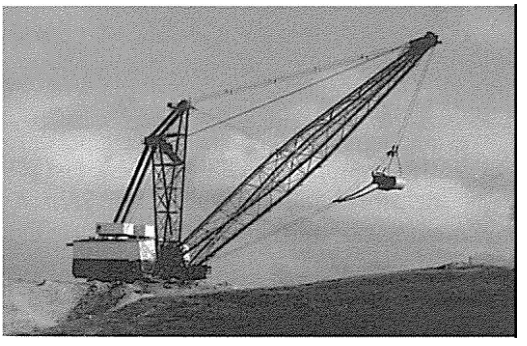
İşletmede Dekapaj faaliyetleri, işletmenin kendi imkanlarının yetersiz kaldığı durumlarda, özel sektöre yaptırılmaktadır. 2006 yılı içerisinde, 6,5 milyon $m^3$ işletmenin kendi imkanlarıyla ve 9,2 milyon $m^3$ özel sektör aracılığıyla olmak üzere toplam 15,7 milyon $m^3$ dekapaj gerçekleştirilmiştir.

SLİ Dekapaj işlemini 3 faklı yöntem ile gerçekleştirmektedir. Bunlar;

- Dragline ile dekapaj,
- Ekskavatör-Kamyon yöntemi ile yapılan Dekapaj,
- Müteahhit aracılığıyla yapılan dekapaj.

### 3.1 Dragline Yöntemi

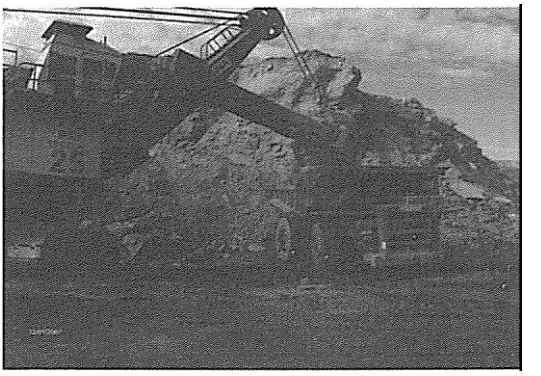
SLİ'de dekapaj faaliyetlerinde dragline'ın kullanılmasına 1988 yılı Haziran ayında ba lanmıştır. Şekil 2'de görülen Dragline 72 yd kepçe kapasitesine sahiptir. Dekapajı dragline ile gerçekleştirilecek saha öncelikle ekskavatör-kamyon yöntemi ile hazırlanmaktadır. Daha sonra hazırlanan kısımda dragline ile dekapaj yapılarak kömüre kadar olan örtü malzemesi, kömürü daha önce alınmış olan dilimlere atılmaktadır. Dragline ile yapılan dekapaj işleminin maliyeti düşük olmasına rağmen, dragline'ın kullanılacağı panoların özel şartlar gerektirmesi kullanımını kısıtlamaktadır. 2005 ve 2006 yılında revizyonda olan Dragline ile 2004 yılında 3.544.000 $m^3$ dekapaj gerçekleşmiştir.



Şekil 2. SLİ'de kullanılan Dragline.

### 3.2 SLİ tarafından Uygulanan Ekskavatör-Kamyon Yöntemi

Bu yöntem, patlatılarak gevşetilen dekapaj malzemesinin elektrikli ekskavatörler ile kamyonlara yüklenmesi ve döküm sahasına nakledilmesinden oluşur (Şekil 3). İşletmede bu amaçla, 1O $yd^3$ kepçe kapasiteli elektrikli ekskavatörler ve 85 st kapasiteli kamyonlar kullanılmaktadır. SLİ'de bu yöntem ile yıllık ortalama 6.500.000 $m^3$ dekapaj yapılmaktadır (Ara dekapaj işleminde hidrolik ekskavatör ve lastik tekerlekli yükleyicilerde kullanılmaktadır).



Şekil 3. Ekskavatör-kamyon yöntemi.

Patlatma için hazırlanan delikler 228,6 mm (9 inch) çapında delinmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır. Kömür üzerindeki 35-60 m kalınlıktaki örtü tabakası bu şekilde gevşetildikten sonra l0'ar metrelik dilimler halinde elektrikli ekskavatörler ile kazılıp, 85 short tonluk kamyonlar ile döküm harınanlarına dökülmekte ve serilmektedir. Son yıllarda, işletınenin bu amaçla kullandığı kamyonların sayısı çeşitli nedenlerle azalmaya başlamıştır. Bu nedenlerin en önemlisi, söz konusu kamyonların ömürlerini tamamlayarak hurdaya ayrılması ve yerine yenilerini alınamamasıdır. Diğer bir neden ise bu ekipmanlara ait lastik temininde çekilen güçlüklerdir. TKİ bünyesinde lastik temin edilemediği için atıl durumda bulunan oldukça ciddi sayıda kamyon bulunmaktadır. Önümüzdeki yıllarda kamyon sayısındaki azalmanın artarak devam edeceği öngörülmektedir.

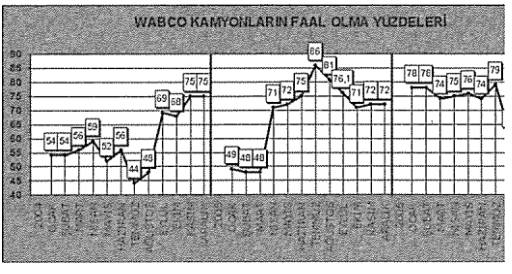
### 3.3 Müteahhitler tarafından Uygulanan Ekskavatör-Kamyon Yöntemi

TKİ bünyesindeki müessese ve işletınelerde olduğu gibi Seyitömer Linyitleri İşletmesinde de dekapaj ve üretim faaliyetlerinde, bir kısım çalışmalar özel sektör marifetiyle gerçekleştirilmektedir. SLİ'de Müteahhit firmalar tarafından

gerçekleştirilen dekapaj miktarı, ortalama yıllık 10.000.000 m³ mertebesine ulaşmıştır. İhale yöntemiyle yapılan bu çalışmalarda, iş makineleri, işçilik ve tüm giderler müteahhit firmalar tarafından sağlanmaktadır. Bu çalışmalarda firmalar genellikle, hidrolik ekskavatörler ve 14-22 $m^3$ kapasiteli nispeten küçük kamyonlar kullanmaktadırlar.

## 4 A-14 PİLOT DEKAPAJ UYGULAMASI

TKİ bünyesinde kullanılmakta olan yükleyici ve kamyonların büyük bir kısmının ekonomik ömürleri dolmuştur. Mevcut ekipmanlar tamir ve bakımlar ile kullanılmaya devam edilmektedir. Mevcut kamyonların çalışma randımanları Şekil 4'de verilmiştir. Ancak bu ekstra çabalara rağmen son yıllarda yedek parça ve lastik sıkıntısı gibi nedenlerle özellikle kamyon sayısında bir azalma meydana gelmektedir.




Şekil 4. SLİ kamyonlarının faal olma süreleri.

Buna karşın Elektrikli Ekskavatörler kullanılmaya devam edilmektedir. Bu durum, yükleyici-taşıyıcı kapasitesi dengesinin taşıyıcılar aleyhinde bozulmasına neden olmakta ve Kurum bünyesinde atıl vaziyette bir yükleme kapasitesi meydana gelmektedir. Buradan hareketle, TKİ kurumu yeni açılımlara yönelmiştir. Bu kapsamda, SLİ'de yeni bir uygulamaya başlanmıştır. Bu çalışmada, kurum bünyesindeki atıl yükleme kapasitesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Buna göre, ihale edilen bir panoda (A-14) yükleme işlemi SLİ'ye ait elektrikli ekskavatörler ile gerçekleştirilmekte, taşıma işlemi ıse müteahhit firmaya ait kamyonlarla geıiçekleştirilmektedir (Şekil 5 ve 6). Müteahhit firmaya, 2 adet 10 yrd³'lük elektrikli ekskavatörler, bir adet delik makinesi tahsis edilmiştir. Ayrıca panodaki her türlü patlatma işlemi de işletme tarafından gerçekleştirilmektedir. Ekskavatörler için elektrik enerjisi ve delik makinesi için gerekli yakıt, makine bakım-onarımı gibi işlemler SLİ tarafından yapılmaktadır. Taşıma gurubu ekipmanlar ve her türlü işçilik (PH 1900 AL ekskavatörü, delik makinesi operatörü) müteahhit fırına tarafından sağlanmaktadır. Taşıma işleminde 14 ve 22 m³ kasa hacmine sahip kamyonlar kullanılmaktadır. Kullanılan elektrikli ekskavatörlerin bazı teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Şekil 5. Pilot dekapaj uygulaması.

Şekil 6. Pilot dekapaj uygulaması.

Çizelge 1. Elektrikli Ekskavatörlerin Bazı Teknik Özellikleri.

| | |
|---|---|
| Halat sayısı (adet) | 7 |
| Kepçe kapasitesi ($m^3$) | 8 |
| Kepçe boş ağırlığı (ton) | 17 |
| Yürüme hızı (m/saat) | 450 |
| Bom uzunluğu (m) | 14 |
| Bom yüksekliği (m) | 13,1 |
| Max. Çalışma meyili (°) | 12 |

TKİ Seyitömer Müessesesi sahalarında ilk kez gerçekleştirilen bu uygulamanın başlı amacı kapasite fazlası olan yükleyıcı ekipmanların kullanılabilmesidir. Çalışma neticesinde bu amaca ulaşılmıştır. Bunun yanında işletme dekapaj maliyetler de önemli bir düşüş sağlanmıştır. Konu ulke geneline yayılarak düşünüldüğünde, özel sektör bünyesindeki atıl vaziyette bulunan taşıma ekipmanlarının ekonomiye kazandırılması söz konusudur.

Uygulamanın sonuçları maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır;

- TKİ bünyesindeki atıl vaziyette ki yükleme ünitelerinin kullanılması sağlanmaktadır.
- Özel sektör elindeki taşıma ekipmanlarının kullanılması sağlanmıştır.
- Taşıma işinin müteahhit tarafından üstlenilmesi, tamamı ihale ile yapılan dekapaja göre maliyeti azaltmaktadır. .
- Özel sektörün üretime katılmasıyla yem istihdam alanları yaratılmaktadır.
- Taşıma işinde uzun yıllardır kullanılan ithal kamyonların yerine alternatif olarak farklı kamyon kullanılabilme olanağı sağlamıştır.
- Dizel yükleme ekipmanı yerine elektrikli yükleme ekipmanı kullanarak daha yüksek oranda yerli kaynak kullanımı sağlanabilmektedir.

### 4.1 A-14 Pilot dekapaj Uygulamasında karşılaşılan Sorunlar

Bu pilot çalışmanın uygulanması esnasında başlıca iki tür sorunla karşılaşılmıştır. Bu sorunlar; Ekskavatör- Kamyon uyumsuzluğu ve çalışılan Formasyon bazlı sorunlardır.. Bu sorunlar aşağıda ayrıntılı şekılde açıklanmıştır.

#### *4.1.1 Ekskavatör-kamyon uyumsuzluğu*

SLİ tarafından gerçekleştirilen dekapaj faaliyetlerinde, 1O $yrd^3$ kepçe kapasiteli ekskavatörler, 35 - 37 $m^3$ kasa hacmine sahip kaya kamyonlarına (Wabco 85 D) yükleme yapmaktadır. Pilot uygulamada ise, müteahhit tarafından sağlanan kamyonlar 14-22 $111^3$ kasa hacmine sahiptir. Dolayısıyla, ekskavatör ile kamyonlar arasında bi dengesizlik söz konusudur. Çizelge 2'de SLI ve müteahhit kamyonları ile ilgili bazı özellikler verilmiştir. Görüldüğü gibi müteahhit tarafından kullanılan kamyonlar, SLİ'nin kamyonlarına göre dar ve alçaktır. Bu nedenden dolayıbu kamyonların ve şaselerinin nispeten zayıf olması sebepleriyle, yükleme işlemi operatörler tarafından daha özenli ve yavaş yapılmaktadır. Bu da kepçe boşaltma süresini uzatmakta ve makine yükleme randımanını düşürmektedir. Yapılan kronometraj çalışmalarında müteahhit fırınanın bi · kamyonu (16 $111^3$ yerinde) d_oldurma süres ortalama 97 saniyedir. Işletme kendı çalışmalarında ise bir kamyonu (25 $111^3$ yerinde ) doldurma süresi ortalama 120 saniyedir. Müteahhit ç lışmaları da metreküp başına yükleme süresı 6,06 sanıye, müessese kendi çalışmalarında ise bu süre 4,80 saniyedir. Dolayısıyla müteahhit firma yükleme süresinde yaklaşık % 26oranında fazlalık vardır.

Çizelge 2. Kullanılan Kamyonların Bazı Teknik Özellikleri.

| Marka | Motor Gücü (HP) | Kasa kapasitesi (m3) | Şase uzunluğu (m) | Yakıt deposu (litre) | Kamyon uzunluğu (m) | Genişlik (m) | Yükseklik (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Müteahhit kamyonları | | | | | | | |
| VOLVO | 420 | 23 | 5 | 300 | 5 | 2,40 | 1,80 |
| IVECO | 380 | 22 | 5 | 300 | 5 | 2,40 | 1,80 |
| SLİ kamyonları | | | | | | | |
| VABCO | 860 | 35 | 8,94 | 1213 | 11,34 | 5 | 4,30 |

Yapılan ölçüm ve gözlemlere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Elektrikli ekskavatör ile yükleme yapılırken müteahhit kamyonu yaklaşık 3,5 kepçe ile ve yaklaşık olarak 5,5 dakikada dolmaktadır.
- Elektrikli ekskavatör ile yükleme yapılırken Wabco 85 D'ler 4 kepçe ile yaklaşık olarak 2 dakikada dolmaktadır.
- Hidrolik ekskavatör ile yükleme yapılırken müteahhit kamyonu yaklaşık 8 kepçe ile ve yaklaşık 2 dakikada dolmaktadır.
- Görüldüğü gibi, elektrikli ekskavatörler ile küçük kamyonlara yükleme yapıldığında, daha küçük hacim daha uzun sürede doldurulabilmektedir.

### *4.1.2 Formasyon kaynaklı sorunlar*

A-14 panosu üst örtü formasyonu, rutubetli kil, sert kalker ve mamdan oluşmaktadır. Kalker tabakası patlatma yapılarak gevşetilmektedir. Formasyondaki tabakaların rutubetli olması nedeniyle malzeme, ekskavatör kepçe içini ve kamyon kasalarına yapışmakta ve kamyonlar sık sık damper temizliği nedeniyle çalışmaya ara verınektedirler. Bu durum kamyonların çalışma verımını etkilemektedir. Kepçe içinin nemli malzeme ile sarılması ise kepçe verimini düşürmektedir. Ayrıca sert kalker büyük bloklar halinde çıkmakta ve kamyonların dar olması sebebiyle yükleme yavaş ve itinalı bir şekilde yapılması zorunludur. Tüm olumsuzlukların birleşmesi sonucu yükleme ve taşıma verimliliği ciddi oranda düşmektedir.

## 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

A-14 pilot dekapaj uygulaması, başlangıçta atıl vaziyette bekleyen yükleyicilerin değerlendirilmesi amacıyla gündeme gelmiştir. Ancak, TKİ Kurumunda ilk defa uygulanan bir sistem olmasından dolayı çalışma esnasında bazı eksikliklerin olduğu gözlenmektedir. Bu eksiklikler ve çözüm yolları kısaca aşağıda özetlenmiştir;

- Çalışma esnasında en büyük sorun, yükleyici-kamyon uyumsuzluğu olarak ortaya çıkmıştır. Söz konusu pano ihale edilirken, müteahhit firmalar tarafından sağlanacak kamyonlar ile ilgili herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Bu durum yukarıda belirtilen uyumsuzluk sorununa zemin hazırlamıştır. Sonraki ihale çalışmalarında, bu konu çözülür ve çalışacak kamyonların yükleyiciler ile uyumluluğu göz önüne alınırsa bu sorun çözülecektir.
- Şu anki mevcut kamyonlar ile çalışılması durumunda, emniyetli bir çalışma için, kamyonların modifiye edilmesi gerekmektedir. Kamyonların üzerine monte edilen siperlikler, yükleme anında kamyon kabininin emniyetini sağlamaktadır.
- Karşılaşılan diğer bir sorun, formasyon kaynaklı olan kil malzemenin kasa içerısına yapışmasıdır. Bu durumda, sonraki çalışmalarda, müteahhit firmaların

özel kaya tıpı kamyon çalıştırma zorunluluğu ile ortadan kalkacaktır.

Yukarıda sayılan sorunların yanı sıra, bu pilot uygulama ile edilecek olan kazanımlar ise şu şekilde sıralanabilir;

- Ekonomik ömrü dolmamış olan, fakat kamyon yetersizliğinden dolayı atıl kalma ihtimali olan elektrikli ekskavatörler tekrar kullanıma kazandırılabilecektir.
- Mevcut koşullarda dekapaj işlerinde kullanılan büyük kapasiteli kamyonlar ithal ürünlerdir. Amaçlandığı şekilde oluşabilecek bir sektör sayesinde, bu tür kamyonların yuii içinde üretilmesi ile hem döviz kaybı önlenecek hem de ilave istihdam sağlanabilecektir.
- Bu şekilde gerçekleşecek dekapaj faaliyetleri ile özel sektör yükleyici almak yerine taşıma kapasitesini artırabilir.
- Bu uygulama, uygun şartlarda gerçekleştirildiğinde, TKİ dekapaj maliyetinde bir miktar düşüş olacaktır.
- Yukarıda sayılanların yanında, sistemin yaygınlaşması ve rekabete açılması için, TKİ kurumunun da, yapabileceği bazı düzenlemeler söz konusudur. Örneğin, bu tür uygulamalarda özel kamyonlar kullanılacağı için, işin miktarı ve süresi önem kazanmaktadır. Bu tür uygulama ile çalışılacak bölümlerde iş miktarı ve süresi uzun olursa, özel sektör kamyonlarının iş bitiminde atıl vaziyete geçmesi önlenebilir.

- TKİ, kendi içerisinde yapacağı düzenlemeler ile elinde kalan büyük kapasiteli kamyonları belli bölgelerde toplayarak, özel sektöre daha büyük hacimli dekapaj işleri sağlayabilir.

- Dizel ve benzinli ekskavatörler yerine elde mevcut olan Elektrikli Ekskavatörlerin kullanılmasıyla dışa bağımlı akaryakıt yerine, dışa bağımlılığı daha az olan elektrik kullanılacak ve ülke menfaatlerine katkıda bulunulacaktır.

- Çalışma sırasında elektrikli ekskavatörlerin tamir ve bakım işlemlerinin SLİ tarafında üstlenilmesi, yetişmiş eleman ve yedek parça sıkıntısının olmaması özel sektör için de olumlu bir unsur olacaktır.

Tüm bu saptamalar ışığında, TKİ-SLİ açık ocaklarında uygulanan bu pilot çalışma, bazı düzenlemeler ile TKİ ve ülke menfaatleri gereği uygulanabilir görünmektedir.

**Teşekkür**

Yazarlar, bu çalışmaya olanak sağlayan ve çalışma esnasında her türlü katkıyı sağlayan SLİ kurumu ve çalışanlarına teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., (ed.), 2006. *Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı,* TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 744 s.

Kişisel Görüşmeler,TKİ, SLİ, 2007

Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Kızıl, S., 1996. *Açık İşletme Tekniği,* Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 467 s..

TKİ Faaliyet Raporu, 2005.

# *SMT Scharf - Transport Systems for Mining and Tunnelling*

S.Meyer
*SMT Schaif GmbH*
*Hamm, Germany*

**ABSTRACT:** SMT Scharf Group is the leading supplier of rail-bound transport systems. Extensive knowledge, worldwide presence, high-performance products and a long standing competence in solving difficult transport tasks are the foundation of our worldwide reputation in the mining, tunnelling and other industries. SMT Scharf GmbH (www.smtscharf.com) and its subsidiary companies SMT Scharf Saar located in Heinitz/Germany, SMT Scharf Africa (PTY) Ltd. in Johannesburg/South Africa, SMT Scharf POLSKA Sp.z.o.o in Tychy/Poland and Scharf Mining Technology in Beijing/P.R. China and our partner companies in all major mining areas ofthe world provide a perfect network to serve our customer's requirements.

For more than 50 years SMT Scharf has been a leading manufacturer of rail guided transport systems for hard coal, high grade ore mines and underground tunnels. About 200 qualified employees guarantee outstanding quality according to ISO 9001(EN 29001) and ISO 9002 (EN 29001) for manufacturing as well as repair and overhaul of systems for transport, inspection and safety either self-propelled or rope driven.

Our design department has a workforce of more than 20 engineers and designers for comprehensive engineering tasks, product development and design work. Testing facilities are also available on site in our Hanım works.

## 1THESMTSCHARFGROUP

SMT Scharf Group designs, supplies, installs and maintains systems for the transport of personnel, equipment and material. Primarily for use in volatile and dangerous areas, confined situations and on steep declines and inclines:

- Monorail transport systems
- Duorail transport systems
- Chairlift systems for mining personnel transport
- cable handling systems
- conveyors

At our site in Hanım more than 150 qualified employees, comprehensive know-how and state of the art machinery guarantee punctual delivery of the highest quality products. High flexibility, controlled processes, short delivery time and a reliable customer service distinguish our company.

Before shipment all our products have to pass meticulous quality checks. SMT Scharf GmbH in Hanım has a worldwide unique adjustable testing ramp with gradients varying up to 40 degrees. On the ramp and the test circuit all monorails can be tested under realistic conditions.

SMT Scharf provides engineering, service, components and tailor-made systems for the

transport of men, material and equipment under most difficult conditions. Our products are designed by long-term global experience and close relation with our partners from mining and tunnelling industry.

SMT Scharf Saar GmbH was formed out of former DBT Maschinenfabrik Scharf GmbH Werk Heinitz/Saar and UT Maschinenfabrik Dudweiler GmbH.

SMT Scharf Saar designs, manufactures, and supplies products for man, material and bulk goods handling as well as hydraulic systems.

Our transport and hydraulic systems are used in industrial and mining applications worldwide.

Our extensive know-how enables us to fulfil the individual requirements of our customers. Customer satisfaction is our top priority and is achieved by the quality of our products and services. These include on-site assembly, maintenance and repair of our products.

SMT Scharf Polska Zp.z.o.o. was founded in 1992. The company provides sales support, spare parts and repair services for our customers in Poland.

SMT Scharf Africa Pty. Ltd. was founded in 2005. Since mid 2006 it serves our customers in South Africa and neighbouring countries. The company provides sales support, spare parts and repair services.

## 2 SCHARF MONORAIL SYSTEMS

With more than 30 years experience in installations diesel-powered locomotives and more than 500 installations of our machines we have made an essential contribution to the rationalization of transport in mining.

Scharf self-propelled drives for underground mines enable a cost-effective transport of men and material in branched roadway systems and on long single tracks.

### 2.1 Diesel Powered Monorails

Monorails with diesel-powered locomotives are particularly designed for the transport of men and material in branched rail networks with varying gradients. By means of the diesel-powered monorail locomotive even difficult transport problems can be solved.

These diesel-powered monorail locomotives are type-tested and approved by EXAM, for use in explosive atmosphere with a methane content ofup tol.5%.

Typical product features of our self-propelled monorail products are:

- 125kW diesel engine with dry-type exhaust gas cooling system
- drives with parallel contact pressure system
- efficient generator for the supply of the intrinsically safe power supply
- electrical starter system
- modular design
- consistent captive guidance of all travelling gears by amply dimensioned lateral guide rollers

In the year 2001 SMT Scharf introduced the world's most powerful diesel monorail locomotive. Its direct injection engine with exhaust gas turbo charger and charge cooler provide the power to realize a tractive force of up to 120 kN. The completely new designed machine sets new standards of performance, pulling force, reliability and exhaust gas cleaning for underground transport systems.

### 2.2 Battery Powered Monorails

The battery-powered locomotive type BZ 43-2-31 is the result of the consistent further development of existing product lines. It is an electro mechanical traction engine for the operation of monorails underground. Tractive force is 45kN + 20 % while speed is 2.0 m/s and rated motor power is 4xl0 kW with a climbing ability of 20 degrees.

### 2.3 Electrical Powered Monorails

The EMTS (Electric Monorail Transport System) has particularly been designed for the underground transpoıi of men and material in 11011-explosive atmospheres. With

a load carrying capacity of 30 tons and the ability to drive systems gradients of more than 30 degrees, the EMTS can make transport in inclined gateroads considerably more efficient. The electrical power for the train 's operation is provided by conductor bars which are mounted to the I-beam-rails.

EMTS Features

- Self-propelled monorail with integrated electrical hoisting devices
- High torque electrical devices
- Frequency converter technology including energy recovery
- 4 drive units with total pulling force 80kN
- Load monitoring and control system
- Driver cabin with on board diagnostic and multifunction joystick
- Trap-guided trolleys with fail-safe brake system

EMTS Advantages

- Flexible transpoıt of equipment, material and men
- Zero-emission transport technology continuous to go from 0-30 degrees incline
- Smooth and efficient speed control for safe and comfortable operation
- High speed (up to 3.5 mis) and powerful transport of heavy loads (up to 30 tons)
- Short instruction time, simple operation and high availability
- Safe operation, certified according to intemational standards

**2.4 Monorail Lifting Devices**

SMT Scharf provides a vast variety of lifting devices to extend our monorail locomotives to entire transport solutions for all kind of transport duties. Besides our standard lifting beams GHB50 and GHB60 we also offer the standardized modular lifting beam programme VARIO. The well thought-out load system meets your daily changing transport requirements with a flexibly extendable system: starting with a basic model, the VARIO lifting beam can be extended and tailored to almost any need. Even the most difficult transport problems can be solved in no time. The modular design of the VARIO lifting beams allow a quick and easy adoption to changed requirements and demands.

**2.5 Shunting and Handling**

SMT Scharf's product range of monorail equipment is completed by solutions for material handling, rail installation and shunting as well as the layout and supply of complete rail systems including rails, rail switches and suspensions.

Our new ATEX-certified RK 20/1 and RK 20/2 shunting trolleys combine the advantages of our standard diesel monorail drive units with the flexibility and compact size of a shunting trolley. The RK 20/1 and RK 20/2 are supplied with the standard drive unit from our diesel monorail programme. This allows our customers to minimize spare parts to be held on stock. The RK 20/1 and RK 20/2 provide a maximum pulling force of 20 kN and one, resp. two fail safe spring loaded brakes. The shunting trolley can be either pneumatically or electrically powered and allows travelling along inclined roadways of up to 1O deg. and more. The RK 20/1 or RK 20/2 may be used to propel a lifting beam or a rail installation platfoım.

SMT Scharf offers a vast number of different rail installation platforms, loading stations and material handling systems like lifting station for the loading and unloading of material of mine cars, trucks or monorails. All these systems are tailor made and fit perfectly to our customer' s requirement and transport purposes and will be individually designed and manufactured to meet with your local circumstances and surroundings.

**2.6 Rail Networks**

SMT Scharf provides the complete range of engineering and design related to monorail rail networks. We are our customer's partner in developing of complete transport concepts

and offer the layout and supply of complete rail networks as well as developing methods of installation and suspension of the rails regarding the local surroundings and conditions. Our aim is to find the most effective, safe and cost efficient way of transportation of men, material and equipment for every customer. Different kind of rail profiles, connecting pieces, curved rails (horizontal, vertical and space curves), suspensions and rail switches are designed and manufactured by SMT Scharf to supply our clients with the best available system for their underground operations.

## 3 SCHARF DUORAIL SYSTEMS

In addition to overhead monorail transport systems the product line of SMT Scharf also includes floor-mounted rail systems of 500 and 800mm gauge width.

These systems offer advantages for extreme gradients up to 35 degrees and for heavy loads ofup to 30 t.

The train system is made up of brake cars and transport cars. It is guided on the easily mounted racks without the risk of derailing. Scharf floor-mounted rail systems have been used successfully for decades for the transport of men and material. They offer the following advantages:

- rails are easily laid on the floor
- no load applied to the support or to roofbolts
- rails are easily installed and removed
- high payload
- captive guidance
- reliable safety brake systems
- extreme low-profile design
- adaptable to the requirements and conditions of the mining industry
- high travelling speed up to 4 mis
- one-rope or two-rope operation feasible

The Scharf monorail is especially suitable to carry high payloads (e.g. shield support) in small sized cross sections and tight curves.

### 3.1 Self-Propelled Duorail System

1he new DUO2000 duorail is a diesel-powered and self-propelled duorail system. It combines the advantages of a rope-driven duorail with the flexibility and versatility of a self-propelled monorail. The absence of a pulling rope allows the adaption of the rail system to a mine layout including switch points, passing bays and shunting areas.

The DUO2000 is providing a rack-and-pinion drive system. This allows moving high payloads on steep gradients with comparatively high speeds. This specialised design enables the DU2000 to transport high payloads on roadways with a gradient of up to 30 degrees. The flexible and modular design of the DUO2000 allows e.g. the transport of shield support directly from one face to the other. This will increase the time for moving a complete longwall system dramatically. Hence the Scharf self-propelled duorail system shortens the non-productive time of a longwall equipment and helps the customer to save money.

The maximum pulling force is 170 kN and the maximum payload per trailer can be up to 35,0 tonnes. The typical travelling speed is approx. 2,0 mis, the maximum speed is up to 4,0 mis. The minimum horizontal curve radius is 4,8 m, the vertical radius can be min. 22,0m.

The DUO2000 is powered by a diesel power pack as it is used for the diesel monorail DZ2000 or DZ 1500. Hence all advantages known from the Scharf Monorail Power Packs are available for the duorail system as well. This allows the customer to minimize the number and the quantity of spare parts on stock. Even the personal trained for service and maintenance on the diesel monorail equipment can easily work on the DUO2000.

The duorail is of modular design as well. The number and the type of transportation trailers can be adapted to the transport problem that has to be solved. There is a range of different trailers, cabins, ete available to fit to all kind and type of material that needs to be moved.

A number of different accessories are available for the Scharf DUO2000. SMT Scharf offers e.g.:

- rack-and-pinion rail switches
- loading stations

e ramps

- shield support moving device
- rack-and-pinion shunting car
- hydraulical operated crane for the rail installation
- man riding cabins
- intermediate stations

### 3.2 Rope-Driven Duorail System

Scharf rope-driven duorail systems have been used successfully for decades for the transport of men and material.

The rope-driven duorail systems are moved and stopped by one or two, depending on the total train weight and gradient, steel wires. These wires are attached to both ends of the train and guided along the rail track by guidance rollers. A hydraulic power pack supplies the hydraulically power to operate a rope drive unit. Both components are located at the upper end of the system.

All accessories available for the self-propelled duorail are also obtainable for the rope driven duorail transport system.

## 4 FURTHER PRODUCTS

SMT Scharf develops designs and manufactures further tailor-made and customized transport solutions for underground operations. Such as:

Chairlift systems are the safe solution when it comes to transporting persons fast over long distances including horizontal and vertical curves. Up to 900 people can be transported every hour in each direction at a max. speed of up to 5 m/sec. Depending on the individual operating conditions the several systems are available.

Cable and hose handling systems are suspended from a sliding rail and permit fast longwall advancing and retreating. The system can be adapted to different cable and hose diameters as well as lengths to suit the individual application requirements. Shifting units, winches, and shunting trolleys are available for moving the system. in addition, control cabinets, pumps and other devices required for the supply of the face can be taken along by the train system.

SMT belt conveyors are versatile and cost-effective. They can be integrated into any type of transport, loading and feeding installation and offer a high degree of economic efficiency, e.g. in building ıubble separating plants, asphalt mixing plants, in the chemical, food and fodder industries, in the pit and quarry industry, in the cement industry and anywhere else where bulk goods have to be transported efficiently.

Discharge Chain conveyors are offered to discharge bulk material from storage (e.g. bunker) into or onto a downstream transport device (e.g. belt conveyor, mine car or skip transport). Comparisons with other discharge means available on the market show that the SMT discharge conveyor offers quite a large number of advantage in the fıeld of bulk material transport for a wide variety of minerals.

it presents the optimum solution with respect to functional reliability and ensures an outstanding economic efficiency.

## 5 SOLUTIONS FOR MINING TRANSPORT

SMT Scharf means competence and quality from Germany. Development, production, sales, customer service and quality assurance: All elements to provide solutions for mining transport recognised worldwide!

A new approach is required by the underground mınıng industry where complete transport solutions are requested. SMT Scharf fulfils these requests and is looking forward to working together with customers all over the world. Performance, reliability and the knowledge of customer needs are the driving forces of our daily work.

SMT Scharf GmbH - Your partner when it comes transport in underground operations.

# From Equipment Supplier to Mining Partner

C. Pinnow
*DBT Mining Engineers GmbH*
*SaarbrYcken, Germany*

**ABSTRACT:** DBT is a supplier of complete system solutions for underground coal mining worldwide and world market leader in the area of longwall equipment. DBT offers and supplies state-of-the-art technology in longwall and room & pillar mining. The wide range of different product lines manufactured by DBT demonstrates that DBT provides a "One Stop Shopping" to the intemational underground coal mining industry including service packages.

Today customers and potential customers from emerging market are requesting a complete package of services for longwall and R&P projects which includes equipment systems, services but also joint responsibility by the equipment supplier. With his "One Stop Shopping" strategy DBT can provide a complete "Project Life Cycle Management" to the customer. The daughter company DBT Mining Engineers bundles the activities of the DBT Group which includes engineering, supply of the hardware and services like operational assistance, contract maintenance and "Risk and Gain" project management on a guaranteed cost per ton basis. Consequently DBT is prepared to be a reliable mining partner to the intemational underground coal mining industry.

## 1 THE DBT GROUP

DBT is a supplier of complete system solutions for underground coal mining worldwide and world market leader in the area of longwall equipment. The history of DBT goes back to 1826. During this tıme, the company has grown through mergers with German based companies with extensive experiences in coal mining. One main step was at the time when the German coal industry was reorganized and the global German manufacturer for underground mining equipment Westfalia Becorit, Hemscheidt and Halbach & Braun were merged together to Deutsche Bergbau Technologie GmbH in 1994. In 2001, DBT took on its present form through the acquisition of Long-Airdox. Founded in 1890, Long-Airdox also hada long and rich tradition in underground mining and had likewise expanded through takeovers, mainly of U.K. and U.S. based mining machinery suppliers. With this meq er DBT has expanded its range of offerıngs to include Room & Pillar equipment. In 2003 the company Eimco also entered into the DBT Group.

Today the DBT Group exists of an intematıonal network of comfanies with subsidiaries in all major coa producing countries. The subsidiaries are located in Germany including the headquarter of DBT, America, UK, Australia, South Africa, China, Poland and Russia. Some 3,000 employees contribute to first class engineering worldwide and DBT achieved a tumover e.g. in 2005 of app. 750 million Euro to get an impression of the dimension of the Group.

## 2 FIELDS OF THE DBT GROUP FOR THE UNDERGROUND MINING INDUSTRY

In longwall mining technology, DBT offers and supplies state-of-the-art engineering in the fields of mining machines, hydraulic shield support, conveyors, electrohydraulic shield controllers and handling systems.

In addition to longwall products DBT also offers product line for room & pillar mining like continuous miner, roof bolters, haulage systems, feeder breakers and transport vehicles.

In general all products have an undergone extensive redesign and reengineering to ensure reliability for the customers.

## 2.1 Longwall/Shortwall Mining System

### *2.1.1 Mining Machines*

The DBT Mining Machines are covering low and thick seam mining operation.

The Electra shearer line is designed for high performance longwall operations. The common main features of the Electra range of shearers are as follow:

- Unique mainframe construction with maximum protection of the machine units and electrical boxes
- Advanced shearer control system featuring well proven hardware linked trough a bus system for build-in reliability and flexibility.
- Advanced shearer automation systems to enhance face management and operator performance.
- Fully modular construction for cost effective equipment management.

The ELI000 Shearer was the forerunner of the Electra range of shearers initially introduced into the world market in the late 1980s. This type can operate in the range of 1.8m - 5.0m with a cutting power of 2 x 600kW.

The EL2000 Shearer is the latest edition of DBT. Features of this machine are high powered ranging arın with 500kW each, body thickness of 480mm to guarantee maximum coal clearance under the machine frame and an AC haulage system with 100kW per haulage. The shearer is applicable in the range of 1.5m 3.5m.

The EL3000 Shearer operates in medium and thick seams in the range of 2.2m 6.0m. This is the most powerful shearer of the Electra series with a cutting power of 2 x 850kW and a 125kW haulage power each. Operation of this type presented average production rates of 2600t/h.

The unique mining machine "Plow System" developed by DBT are operating in medium and low seam heights. The system is fully automated and can be operated under fayorable geological conditions completely reinotely without operators on the face. The automated system such as selectable cutting depth and defined motion of the AFC linked with the shield support can be positioned exactly where they are needed on the face in case of snake and fault situation. Face areas with varying coal hardness can be mined using different cutting depths. in general the automated DBT plow systems allow access to extended reserves in lower coal seams down to 0.6m with a production rate up to 1500t/h.

There are two types of plow system are available. Both system are using the same method to pull a plow body along the coal face by an endless chain over a plow guide welded to the AFC. lntelligent overloading system (up to 2 x 800kW) protecting the plow chain and high traveling speeds up to 3m/s with cutting depths up to 250mm are achievable. The movements of the plow is controlled by a Horizon Control to allow to follow the undulations of the seam.

The type "Reisshaken" plow system was developed for extremely low seams of 0.6m - 1.Sın height. Here the plow chain is running at the gob side connected by a base plate undemeath the line pans with the plow body. Chain seizes up to 42mm diameter can be used allowing up to 2 x 400kW installed power.

The 1:)']?e "Gleithobel" plow system is operating ın thin up to medium seams. Here the plow chain is guided directly at the face side. The "Gleithobel" plow system 9-38 ve is the standard plow of choice today and can be used in seam heights :from app. 0.9m up to over 2m regardless of the indine and hardness of the coal. Plow chains up to 38mm can be used with an installed power of up to 2 x 400kW. The filow system GH 42 was developed especia ly for hard coal conditions. A plow chain of 42mm diameter is used which allows an installed power of 2 x 800kW. The GH 42 can operate in the range of lm - 2.2m. Also face length of up to 400m is possible which was realized on the German mine Prosper.

### *2.1.2 Roof Support Systems*

in the early 1970's the demanding mining conditions in German coal mines set the stage for extensive R&D in shield technology. Thin, thick, steeply inclined coal seams, weak roofs, soft floors, massive

sandstone roofs and geological faults demanded for a high degree of shield design, technology and construction. This expertise has been expanded by DBT to all mining areas of the world. Today DBT provides state-of-the-art roof support systems which guarantee the maximum control of the roof and floor.

Not only does this eliminates downtime from the control of the strata sunoundin the coal seam but facilitates automation of the support even in very difficult geological conditions. A full range of shield supJ?0rts are available suitable for mining heıghts from 0.6m to 6m with support capacities in excess of 1000t.

The design of the support is canied out with Pro-E/Pro-M engineering software to enable simultaneous stress analysis and cost effectiveness of the design. Finite Element Analysis (FEA) is used to meet fatigue life requirements of the shield components. This is also ensured by use of butt and full penetration weld seams to improve the resistance to fatigue. The long service life of the shield type is tested by cycle tests in DBT's Test center or in independent extemal institutes. Here up to 80,000 cycles can be simulated at the prototype to guarantee reliability of the support system over the whole lifetime.

Manual hydraulic controls as well as electronic control systems for most advanced face automation and equipment monitoring are available. The DBT PM4 electro hydraulic face control system facilitates full automation, monitoring and remote diagnostic capabilities for all face equipment. All informatıon can be transfened in "real time" to the surface to provide information to operators and management to optimize the longwall system performance.

Further on special shield support designs for specific mining conditions like thıck seam nıining, steep seam mining and for extreme geological conditions are available. E.g. sublevel caving support can draw coal from the roof by means of articulated canopies, special chutes integrated into the gob shield or into a second AFC located behind the shields.

### *2.1.3 Clıain Conveyor*

From AFC tail drive to entry belt conveyor retum end the AFC systems are designed for a variety of performance requirements in low, medium and thick seams, in short and long faces. The designs meet the demand of today's high-capacity mıning machines. Several systems have successfully operated in 350 to 450m long faces producing up to 5,000t/h and 6 million tons a year. Rolled or cast line pans are available. Especially for production with an increased rock content or high-horsepower shearer heavy-duty rolled !ine pans were developed. The deckplate is made of "wear hardening" material which offers maximum resistance which results to an extended pan lifetime. The line pans have a quadruple profile design The maximum contact area between flight bar and profile minimizes the contact pressure during operation with the result of minimum friction and lower fiower requirements. The profiles are norma ly manufactured out of rolled material. DBT's experience show that rolled steel has a smoother surface than cast steel. Less friction, longer lifetime for profiles and pan !ine are benefit for the operator. The pan lines are connected via dog-bone connectors with a breaking force of up to 4,500kN. The deflecting capability between the line pans is ± 6° vertically and 0.8° - 1.2° horizontally which allowing relatively short snakes and to cope with undulation of the floor.

Main-gate drive frames operated today are typical of the cross frame design. Different capacity ratings are available depending on the total horsepower requirements. The biggest one is the series 65 system which is capable of up to l ,200kW per drive. For special application side discharge and T-discharge types are also available. Tail drives are normally tensionable types especially with long faces and *lor* ifhigh horsepower is installed. The tensionable tail drive comes with a stroke of 0.5111 or lm which allows lm or 2111 of slack chain to be controlled.

DBT offers various solution for the drive system. The most intelligent system is the CST drive system. The clutch system allows smooth start-up phase of the motors with minimum voltage droJ?, sofi start of the conveyor and synchronızation of the motors which causes maximum torque available especially for start-up of overfilled conveyor. Further on other features of the system are load sharing between the individual drives and overload protection to protect the chain in the event of jamming.

Beam stage loader are normally of the same type of pans as used on the face. While the retum roller is integrated into the cross frame design, the head drive frame of the staseloader is tensionable using hydraulic cylınders. The crusher, mostly the impact

roller type, is integ ated into the stag loader design. The followıng goose-neck l fts.the stageloader discharge over the belt taıl pı ce whıch is either crawler-mounted or skıd-mounted. In general the stageloader ha a higher capacity to match the productıon coming from the face.

### *2.1.4 Longwall Face-Transfer Equipmeut*

According to intemationa practice t e coal mines are re-located theır face equıpment directly from the panel when it has reached his lifetime to the new face prepared. The prior approach is than to minimize the productıon downtime as sh rt as possible during the face transfer. To ımplement such working procedure the market emands. for special equipment and tools ":'hıch consı er the heavy weight of the hıgh-productıve equipment especially shield supports. DBT has taken into account such need and can offer different kind of vehicles tailor-made to the customer's requirement. . .

The Shield Hauler FBL 40 ıs a dıesel vehicle which has been designed to carry 40 tons on standard forks. A heavy-lift kit is also available to handle up to 55 tons, the highest lift capacity in its class in the world. The design focuses on haulage of longwall shields and heavier ancillary components of the longwall. Versatili_ty is achieved · thro gh the use of special desıgned attac ents lıke 8.5m³ ejector coal bucket, cookıe plate, shearer trailer and slew jib.

The Vers-A-Trac 636-2 and Vers-A-Trac VT 650 are battery powered vehicles. Two dual fıeld DC motors allow the Vers-A-Trac to move from point "A to point B" quicker than any other battery powere shield hauler on the market. They can carryıng 36 tons up to 50 tons by forks. Also several "quick attachments" such as 2.1 m³ up to 5m³ quick attach bucket are available to keep the Ver-A-Trac productive even when the longwall ıs producing. . . .

A special tool ıs the Shıeld Traıler CHT 50. The trailer has been designed to carry shields up to 50 tons. The loading system has an infloor cylinder with a pull of 40 ons for loading and 12_ ton push for unloadı_ng. For loading the traıler ıs lowered and raısed for transport by hydraulic cylinders. The BT tractors FBL 10 and FBL 15 are compatıble and designed to tow the CHT 50 Trailer.

### *2.1.5 Single Entry Gate Roadway Development*

Based on the experiences with their Continuous Miner products. DBT as developed a special roadway cuttıng machıne for single entry gate roadway development. The DBT Continuous Miner Bolter 30MB3 is similar to the CM design with bolters on board. Further on the cutting head was. re-designed by means of a big er wıdth adjusted to the roadway wıdth.. T e extendable cutting head allows gate wıdt ın the range of 4.8m up to 5.4m. The Mıner Bolter has been specia ly designed for the mid to hıp her seam cuttıng range of 1.7m up to 4. lm. The optimum cutting height s in the range of3.5m up to 3.7m. The m chıne uses identical rugged gearboxes, electrıcal motors and electrical enclosures as the DBT 30M2, 30M3 and 30M4 CM series. At the cutting head two cutting motors are in talled with a capacity of 186kW each. Thıs ensures a cutting capacity of 15 up to 35 _tons per minutes. Operations of the machıne have shown performance rate of up to 230m per week.

On board 4 bolters are installed for roof bolting. Feed speed c n b reach d up to 15m/min. If rıp boltıng ıs requıred the 30MB3 can be equipped with two rip bolters, one unit per side.

The 30MB3 can be supplied with two different kinds of loading facilities. The traditional type is the so called "Circular Loading Arın" (CLA). in pla e of thi type the Miner Bolter can be equıpped wıth an "East-West" gathering conveyor. The mai_n advantage of the "East-West" arrangement ıs to reduce the distance from the face to the roofbolting operations to ?ater for weak roof conditions. The distance ıs reduced to 2.4m which can be reduced further to 1.9m by anglin the holes forward atup to 10° regardıng to minimum cutting heıght.

Further on a dust scrubber system and a methane monitoring system are installed on board ofthe Miner Bolter.

## 2.2 Room & Pillar Mining System

### *2.2.1 Contiuuous Miner*

DBT has a seamless family of Continm:ms Miners for both soft- and hard-cattıng applications for different seam hickness. The Continuous Mıner product lıne offers

mining solution for seams as low as 810mm and up to 5.2m in R&P operation.

The latest additions to the family are the four machines of the 25M series. Formerly known as Dash Oto Dash 3, they range from the 25M-0 with a minimum cutting height of 711mm for operations in seams as tlıin as 810mm to the 25M-3 which operates in seams of 1.5m up to 3.9m.

The 30M series ranges from the mid-seam 30M2 to the 30M4-NP, which is a high-reaching machine capable of operating in narrow roadways. The 30M3 series is designed for medium to high seam operation with a maximum cutting height of 4.6m.

The 40M series consists of two machines designed for hard-cutting applications such as potaslı, trona, salt, gypsum and hard-cutting coal. The 40Ml has a trim chain-style cutting head, while the 40M2 has a chainless cutting drum. The maximum cutting height which can be reached is 5.2m.

Ali machines can be equipped with dust collectors and radio remote control with self-diagnostic devices.

### *2.2.2 Roojbolters*

With the "place change" continuous miner operation individual roofbolter equipment is required. DBT with its agent JH Fletcher is able to offer a line of efficient roofbolters to make the R&P operation safe and productive. The units are either wheel or crawler mounted. Up to four booms have been installed but two is typical and can keep pace with the continuous miner. The unıts are either wet or dry rotary drilling (with integrated vacuum extraction system for the drill chippings). The units have a temporary support system and each operator a safety canopy. The units are manufactured to suıt the mining height from less than lm to 5m. The system drılls the hole and tightens the bolt to a predetermined torgue and ensuring a high standard of installatıon necessary for good roof control.

For example the following types can be used for an optimal seam height:

- RB2-52A O.Sın - 2.4m
- RB2-88A 1.2m - 3.6m
- LRB-15AR 0.8 -2.lm

### *2.2.3 Coal Haulage Systems*

Depending on the R&P operation DBT provides different kind of haulage equipment.

For continuous haulage a special system consistin of mobile bridge conveyors and fixed chaın conveyors are directly connected to the continuous miner and the belt conveyor system. Typically the system is specially designed to suit individual mine layouts. The system consist of "piggy back" conveyors typıcally 12m long supported by "mobile bridge conveyors" which are track mounted and move backwards and forward as the continuous miner moves. There is 1.5m movement by the piggy back conveyor built into each mobile bridge conveyor before the unit has to move. Typically the system consists of 5 piggy back conveyors, 3 mobile bridge conveyors and gathering hopper. With such a system a unit operating in China has demonstrated to produce 1.8 million tons per year with a single continuous miner.

For the discontinuous haulage there are battery powered or diesel powered RamCars available with greater flexibility and higher performance than the Shuttle Cars. The RamCars are aiiiculated in the centre and hence have a far tighter turning cycle than the Shuttle Car. The units have no moving chain to load and discharge the coal. Instead of that the trailer unit has a ram plate for discharging a 20 tons load in 22 seconds. RamCars have no cables and the units can operate in the same roadways and permit a closer "change out point" i.e. the dıstance a car has to wait away from the CM whilst one car is being fılled.

As battery vehicles DBT offers its product line Un-A-Hauler with the types 810B, 816L, 816B and 818. The 810B has a capacity of 1O tons and the biggest one 818 has a capacity of 20 tons. The diesel powered vehicles are equipped with engine powers of 70kW up to l 15kW. There are available the types 4110, 4113, 4116 and 4120 with different load capacities from 12 tons up to 18 tons.

The Feeder Breaker manufactured by DBT is used as a buffer between the rapid discharge of the RamCars and the loading of the conveyor belt. The coal is discharged ınto the receiving hopper and passed through a roller crusher to typically size the coal to - l 50mm for loading on to the conveyor. The units are track mounted and self mobile. The types 4MFB, 6MFB and 7MFB are available wıth different sizes of length, width and height adjusted to the customer's requirement.

### 2.3 Transport System

To handle any kind of material DBT has developed utility vehicles diesel or battery powered which ensure flexibility and which can be used as multi purpose units.

The FBL series are diesel powered and differs in different load capacities like the FBL 1O with 1O tons capacity or the FBL 15 with 15 tons capacity, the workhorses of DBT. The units are fitted with a rapid attachment system (RAS) to enable different attachments to be used by the same tractor unit. Typical attachments are fork lift, bucket, lubrication module, belt or cable reeler, crane and work basket.

As described in Section 2.1.4 the types Vers-A-Trac 636-2 and Vers-A-Trac 650 are battery powered vehicles. They are also designed with a "Quick Attach System" to use different kind of attachments.

## 3 FROM EQUIPMENT SUPPLIER TO MINING PARTNER

The presentation of the wide range of different product lines manufactured by DBT demonstrates that DBT provides a "üne Stop Shopping" to the intemational underground coal mining industry. This includes also service packages with the benefit especially for customers and potential customers from emerging market which are requesting a complete package of services for both fully mechanized longwall and R&P projects.

### 3.1 The Emerging Market

The demand of the emerging underground mining market is characterized by the following issues:

- Large coal producers currently are operating surface mines but the mines are reaching the economic limit of stripping ratio and hence the "push" towards economic underground mining operation in many cases directly from the surface mining highwall becomes essential. Such producers have limited or 110 fully mechanized underground culture or expertise and they have to consider a higher risk for underground mining operation than surface mining.
- Reliable contractors for underground operation are difficult to find. For surface mining the working procedures are broken down into many separate elements for contracting like equipment hire/lease, stripping, coal production, haulage, port loading ete. Underground contract are much more difficult to sub divided and there are only a few contractors prepared to take on the emerging market e.g. in the USA or Australia.
- Non technical minin institutions such as financial institutions, steel manufacturer, power generators are entering the coal industry where the mining operation may become a cost centre in the raw material supply chain. These funding agencies want to ensure that their investment has a high rate of return with minimal risk which means guaranteed mining performance at a guaranteed cost.
- Lack of technology transfer into the emerging market in the past has caused lack of skilled human resources and shortage in experience to operate high productive longwall system or R&P system in the state-of-the-art.
- Countries with large indigenous coal reserves are planning to enlarge their coal power generations to meet the exploding energy demand. With limited surface mining opportunities the trend obviously is towards high perfom1ance, economic underground mining using high quality mining systems.
- Due to a complete lack of Customer Service Support, inismanagement for operation and lack of experiences to manage special situations in underground mining inside the emerging market there is huge demand to develop and to operate the local mining industry supported from outside.

### 3.2 The CustomerG Profile

In general the customers can be divided into three profiles. The profiles have different and/or similar requirements for underground mining projects which has taken into account when given advise and recoinmendations for selection of suitable equipment and services. The profiles are as follow:

- The Financial Investor enters the coal mining business when the coal price is moving on a high level. High financial availability is given also to Greenfield Projects under consideration of feasible underground mining operation. Due to his limited technical competence there is need ofa complete package of equipment and services. The equipment must guarantee high performance to drive down the operating costs.
- The Existing Mine Owner wants to optimize his underground mining performance or to change from surface minin to underground mmıng operatıon. Here mining knowledge is existin but not always underground or ın the latest technology. With regard to his limited financial availability he needs a partial package by means of selected equipment with partial services like training. To save the investments the equipment has to guarantee high performance to drive down his operating costs.
- The Contractor has often started with his business in surface mining before clıanged to underground mining operation. At this stage only limited underground mining knowledge is existing. With regard to his contractual status he is looking for low cost operation. He needs package of reliable equipment with spare paıis availability and training of his crews.

All the three customer profiles a_pply for a sustainable mine site operation whıch can be guaranteed by a proper design of the underground mining equipment and customer service in order to maximize reliability, maintainability and availability of the underground mining equipment. Taken this into account customer and also the equipment supplier has to take over responsibility in a mining project. Tlıe goal is an adequate and balanced risk portion of the paıiicipants.

### 3.3 The Mining Partner

A new approach is required by the underground mining industry where complete packages are requested. These includes equipment systems, services but also joint responsibility by tlıe equipment sup_plier. DBT wants to fulfill such obligations in every respect and will act as co-paıiner to their customers. To acliieve the goal of good customer relation a complete "Project Life Cycle Management" can be provided by DBT to the customer which ıncludes

- Feasibility planning
- Equipment supply tailor-made and quality assurance
- Spare parts availability and on site scuppo . . d . . .
- ommıssioning an trainmg on site
- Performance guarantee through maintenance support on a guaranteed cost basis
- Provision of skilled operators, engineers and project management
- Equipment overhauling

Through his "üne Stop Shopping" DBT can guarantee calculable underground mining operation which is the approach today. Wıth the daugliter company DBT Mining Engineers all aspects in a underground mining project are brought together. Here the customer gets the full package from one-stop, DBT Mining Engineers bundles tlıe activities of the DBT Group. This includes engineering, supply of the hardware and services like operational assistance, contract maintenance and "Risk and Gain" project management.

The model "Risk and Gain" contracts provides to the customer feasible ımplementation at every stage of the underground mining project. There are 4 main stages

- Stage 1 investigates the economic and technical viability by pre-mining assistance
- Under consideration of positive results of Stage 1, Stage 2 follows-up with the specification and delivery of the equıpment
- Stage 3 is tlıe period of mobilization and commissıoning of the project managed by site assistance
- Finalizing Stage 4 is coming into force with training, operation and maintenance on a guaranteed cost per ton basis.

Such model considers responsibility of the customer and from the supplier on a risk and gain slıaring basis. Operational performance can be guaranteed through latest proven mining technology. Lack of skilled human resources is not longer a problem because the

mining project is accompanied y project management, skilled operatıng and maintenance work force from the first day which will also train the local staff for further independent underground mining operation. Original equipment manufacturer spare parts, controlled maintenance and overhauling for further operation guarantee reliability of the underground mining operation on a calculable cost per ton basis.

Mining to success is the key goal of the underground mining operator. This is also the philosophy of DBT and consequently DBT is prepared to be a reliable mining partner to the intemational underground coal mining industry.

# Yeni Bir Bant Taşıma Teknolojisi - Boru Bant, Performans Analizi ve Uygulamaları

## *A New Conveyor Technology- Pipe Conveyor, Applications and Performance Analysis*

H. Ergin & İ. Düzyol
*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

ÖZET: Bulk malzemelerin nakliyatı; maden, çimento ve tennik santral gibi işletmelerde ekonomiklik ve çevresel parametreler açısından önem arzetmektedir. Özellikle nakliyat yapılacak yerin, zor topografik özelliklere sahip olması, malzemelerin çevresel etkilere hassas olması ve çevresel kısıtlamalar bulunması yeni bir bant taşıma teknolojisinin geliştirilmesine neden olmuştur. Boru bant teknolojisi ile, aynı anda bant siteminin alt ve üst kollarında karşılıklı yönde değişik malzemelerin taşıma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, yeni bir teknoloji olan boru bant tasarım teknolojisi, bileşenleri, çalışma prensipleri, kapasite, yatırım ve işletim maliyetleri analiz edilmektedir. Ayrıca Nuh Çimento fabrikasındaki bir uygulamasına yer verilmekte, teknik ve ekonomik açıdan detaylı analizi yapılmaktadır. Bu taşıyıcı sistem için açılmış olan tünel kazı verileri, boru bant taşıma sisteminin performans ve maliyet analizi ve kamyon taşımacılığı ile kıyaslamasına detaylı olarak yer verilmiştir. Ayrıca bu teknolojinin; çimento endüstrisinde ve termik santrallarda uygulamalarına da ana hatları ile yer verilmektedir.

ABSTRACT: Bulk materials transportation has an importance for mınıng, cement and thennal power stations owing to their economical and environmental parameters. Hard transportation conditions, sensitivity of materials to weather conditions and environmental restrictions have caused developing a new pipe conveyor transportaion system. In this study, pipe conveyor design technology which is a new technology, pipe conveyor components, working principles, capacities, investment and operational costs were analyzed. An application of pipe conveyors in Nuh Cement Plant was described and its technical and economical analysis were illustrated in details. The tunnel excavation <lata, which was excavated for this system, performance and cost analysis of pipe conveyor system and its comporison with truck transportation were was given in details. In addition, some examples for the applications of this technology were given with main features erected in cement industry and power plants.

## 1 GİRİŞ

Bulk formundaki malzemelerin taşınması çimento endüstrisinin yanında, dünyada birçok endüstrinin esas uğraşı alanlarındandır. Malzeme yığınlarının taşınması çok maliyetli olup, toplam üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Bu durumda, bütün olarak bulk malzeme taşımacılığının ve stoklama tesislerinin maksimum ekonomikliği sağlamak amacıyla, verimlilik ve güvenilirliği esas alarak tasarlanması ve kullanılması son derece

önemlidir. Bu amaca ulaşmak için, stok tesisleri ve bunlarla bağlantılı olan nakliyat sistemlerinin hem tasarım detaylarına, hem de kullanım gerekliliklerine çok dikkat edilmesi gerekmektedir (Fujimato, 1993; Quijano, 1992; Gunnarson,1997; Rokitta and Maier, 1997).

Günümüzün rekabetçi çimento pazarında, çimento üreticileri büyük satış hacimlerine ulaşmak ve büyük ebattaki üretim makinalarıyla daha düşük maliyetli ürünler geliştirebilmek için pazarlarını genişletmek zorundadırlar. Dağıtım maliyetleri müşteriye ulaşan nihai ürünün maliyetinin her geçen gün artan bir parçası olduğundan, çimento üreticileri farklı nakliye üniteleri ve transfer terminallerinin verimli kullanımıyla yakından ilgilenmek zorundadırlar.

Dağıtılan çimentonun çimento fabrikasından, nihai müşteriye ulaşmasında, beher ton başına toplam maliyetin hesaplanmasında iki türlü maliyet düşünülebilir. Bunlar;

• Tesis, transfer noktaları ve nihai müşteri arasındaki taşıma maliyeti ve

• Terminaller arasındaki taşıma maliyetleridir.

Çimento endüstrisinde uzun mesafeli taşıma işlemlerinde maliyetler kamyonun, demiryolunun veya deniz ulaşımının kullanılmasıyla bağlantılıdır. Dağıtım kararları ancak ve ancak diğer dağıtım alternatiflerinin parçalarının maliyetlerinin bilinmesiyle ve karşılaştırılmasıyla verilebilir. Genel olarak çimento nakliyatında terminaller, taşımada demiryolu ve gemi kullanılacak olursa gereklidir. Çünkü çimentoyu müşteriye ulaştıran kamyonların ürünü bu terminallerden alması gereklidir. Eğer deniz taşımacılığı kullanılıyorsa, bu durumda iki terminale gerek olacaktır. Daha önceki çalışmalar, müşteriler ile tesis arası mesafe 122 km ise kamyon taşımacılığının en ekonomik taşımacılık olduğunu, eğer müşteriler ile tesis arası mesafe 122 ile 366 km arasındaysa demiryolu taşımacılığının, eğer müşteriyle tt!sis arası mesafe 366 km'den fazla ise gemi taşımacılığının en ekonomik taşımacılık olduğunu gösterınektedir (Zemin Int.Ltd., 1997).

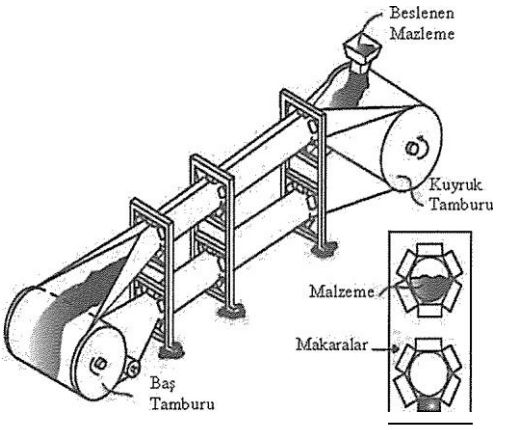
Bu çalışmada, yeni bir taşıma teknolojisi olan boru bant taşıma sistemi tanıtılmış olup, bir çimento fabrikasında uygulaması teknik ve ekonomik olarak analiz edilmiştir.

## 2 BORU BANT SİSTEMİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

### 1.1 Boru Bandın Tanıtımı ve Parçaları

Malzeme besleme yerlerinde taşıyıcı bant açık konumda olup, taşınacak malzeme geleneksel bant taşıyıcılarda olduğu gibi sisteme beslenmektedir. Bundan sonra özel cihazlar vasıtasıyla bant katlanarak boru şeklini alır. Oluşan borunun çapı taşınan malzemeye göre değişkenlik gösterip, genellikle 150-850 mm arası ebatlarda ve 9200 $m^3$/h'e varan hacimlerde çalışma sağlanır. Bant çalışma sırasında birleşerek sağlam bir boru formunda gözükür ve içerisindeki malzemenin dış etkilere maruz kalmadan taşınmasını sağlamaktadır. Ayrıca; esnek yapısı, manevra olanaklarını arttırdığı gibi, transfer noktalarına ihtiyaç duymaması, verimliliğini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Bant, boşaltma noktasına geldiğinde kendiliğinden açılıp geleneksel bant görünümünü alır ve malzemeyi boşaltır. Malzeme boşaltıldıktan sonra, bant tekrar kapanarak malzeme dökülmesi engellenmiş olur. Şekil 1'de görüldüğü gibi, her iki bant kolundan karşı yönlerde malzeme nakliyatı yapma imkanı verınektedir.

Tamamıyla kapalı bir taşıma sistemi olarak, boru bant taşıyıcı mevcut çevreye zarar vermeden, tozsuz bir nakliyat sağlamaktadır. Boru bantlar 30°'lik eğimlerin üstesinden gelebilirler ve bu özellikleriyle zor saha geometrilerine uygunluk gösterirler ve ideal çozumu sunarlar. Şekil 1'de görüldüğü gibi, boru bantlar, dikey ve yatay yönde tüm kavisleri kolaylıkla aşabilir (Koch TransporttechnikGmbH, 2006).




Şekil 1 Bant taşıyıcının şematik görünüşü

Aşağıdaki parçalar bant taşıyıcıya ek fonksiyonlar sunmasını sağlamaktadır:

**Bant baskülü:** Bandın kapalı bölümü içerisindeki taşınan malzemenin ağırlığı ölçmek için boru bant taşıyıcılarda kullanılan yeni bir fonksiyondur.

**Dökülme taşıyıcısı:** Çok ince malzemelerin taşınması sırasında, bantta malzeme boşaltma noktasında, az bir miktar dökülme meydana gelebilir Dökülme taşıyıcısı, bu dökülmüş malzemeyi toplayarak, boşalma noktasında maksimum temizliği sağlar. Özel tasarlanmış bant dönüş sistemi ile, boşaltma ucundan dönüş tarafından da malzeme taşınmasına olanak sağlar. Böylece, bir sistem içerisinde iki malzeme, aynı anda farklı yönlere doğru taşınabilmektedir.

**Çok ince malzeme için besleme oluğu:** Çimento gibi çok ince malzemeleri yavaşça banda besleyen besleme oluğu, besleme noktasındaki toz oluşumunu en aza indirir.

**Elektrik üretimi için jeneratör:** Boru bant taşıyıcı kendi bandındaki yükseklik farkından oluşan düşmeyi kullanarak bir jenerator ile elektrik üretebilmektedir. Bu elektriği ya elektrik şebekesine destek olmak için ya da kendi enerji tüketiminin bir kısmının maliyetini karşılamak için kullanılabilmektedir (Dinçer, 1999).

## 1.2 Bant Taşıyıcının Yararları

**Sağlam, tüm topoğrafyalara uygun, dik eğimlerde çalışabilme özelliği,**

- 30°'ye kadar eğimde çalışabilir.
- 45 metreye kadar çaptaki tüm yatay ve dikey kaviste çalışabilir.
- Geleneksel yöntemlere göre 60 % yer tasanufu sağlar.
- Araya transfer noktası gerektirmeden 5 km'den fazla mesafelerde çalışma imkanı sağlar.

**Esnek, çok yönlü çalışma olanağı sağlaması,**

- Farklı yönlerde, farklı malzemelerin aynı anda taşınmasına olanak sağlar.
- Çoklu besleme noktası olanağı sağlar.
- Elektrik üretimi sağlar.

**Temiz, güvenli ve sessiz çalışma özelliği,**

- Malzemenin güvenli taşınmasını sağlar, örneğin atmosferik etkilere (yağmur v.b.) karşı koruma sağlar.
- Verimli bir şekilde çevreyi tozdan, kirlilikten ve uçucu malzemelerden korur.
- Yavaşlatıcı system, bandın sessiz çalışmasını sağlar.

**Maliyet ve bakım avantajı**

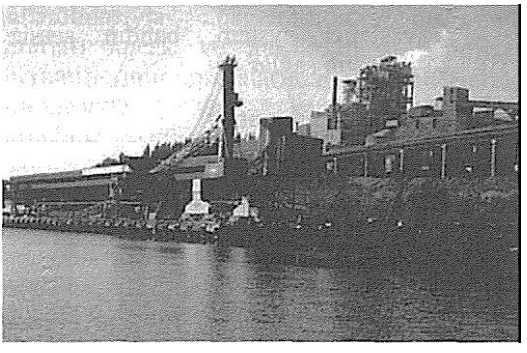
- Yüksek miktarda taşıma olanağı sağlar.
- Satın alma maliyeti düşüktür.
- İşletme maliyeti azdır (Koch TransporttechnikGmbH, 2006).

## 2 BORU BANT TAŞIYICININ UYGULAMALARI

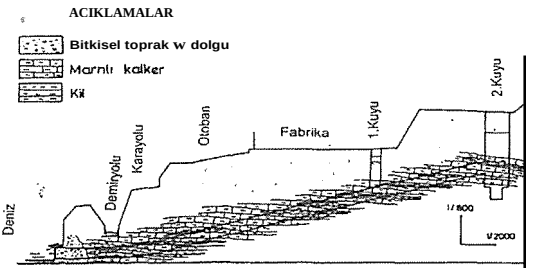
### 2.1 Nuh Çimento Tesisi Boru Bant Taşıma Sistemi

#### *2.1.1 Tünelin Açılması*

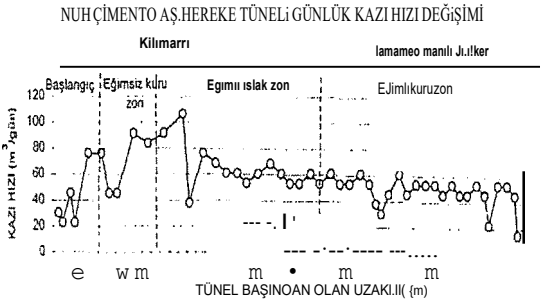
Nuh Çimento firması kendi özel limanını inşa ederek, firmanın gemi ile ithalat ve ihracat yapabilmesini sağlamıştır. Liman, Şekil 2' de görüldüğü gibi, Ege ve Karadeniz'i bölen Marmara Denizi'ndeki İzmit Körfezi'nin kuzey tarafında bulunmaktadır. Liman, hem gmbun firmalarına, hem de üçüncü şahıslara malzeme temin etmektedir. Liman ile tesis arasında D-100 karayolu, TEM, İstanbul-İzmit-Adapazarı demiryolu hattı bulunduğundan, kamyon taşımacılığı büyük sakıncalar ve zorluklar içermektedir. Tesis ve limanı birbirine bağlamak için bu ulaşım hatlarının altından bir tünel açılmıştır. Şekil 3'de görüldüğü gibi açılan bu tünelin ilk kısmı yatay olarak marn-kil zonunda ilerlerken, ikinci bölümde 12° kil ve marn formasyonları içinde bir miktar su geliriyle birlikte ilerlemiş olup, son kısımda yine 12° derecelik açıda kum marnlı kalker zonunda ilerlemiştir. Kullanılan roadheader'in performansı Şekil 4'te, net kazı hızı olarak sunulmuştur. Su gelirinin ve tünel açısının roadheaderın performansını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir (Dinçer, 1999).



Şekil 2 Nuh Çimento Tesisi ve Limanından bir görünüm




Şekil 3 Tünel güzergahı ve jeolojisi



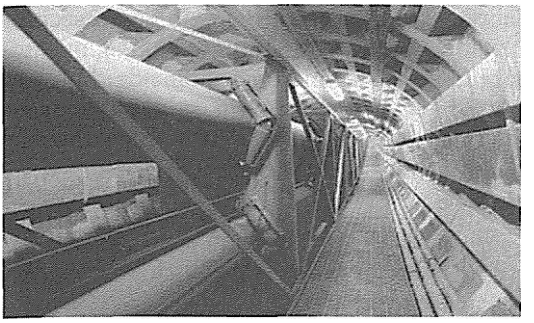

Şekil 4 Tünel kazı verileri

#### *2.1.2 N11;.h Çimento Boru Bant Sisteminin Teknik Ozellikleri*

Nuh Çimento Fabrikası'nda bom bant taşıyıcı çimento, klinker ve kömürün taşınması için kullanılmaktadır.(Şekil 5). Çimento ve klinker, bandın üst kolunda, değişik zamanlarda alternatif olarak limana taşınmaktadır. Aynı zamanda kömür ise bandın alt kolundan ters yönde limandan fabrikaya doğm taşınmaktadır. Bom bant sistemi, bir yanında yürüme imkanının olduğu çelik tahkimatlardan oluşan bir iskelete sahiptir.

Taşıyıcı 12°lik eğime sahip olup, taşıma uzunluğu 355 m, dikey yüksekliği 23 m'dir. 200 kW gücünde tahrik ünitesi bulunmakta, pnömatik disk frenler ile, tüm besleme noktalarında yumuşak hareket ve dumş sağlanmaktadır. Bom bant taşıyıcının, teknik özelikleri Çizelge 1 'de sunulmaktadır. Boru bant sistemi limanda otomatik gemi yükleme

ünitesine bağlanır. Sistem, doldurma sırasında oluşabilecek



Şekil 5 Nuh çimento tesisinde devreye sokulmuş olan boru bant sistemi

tozu önlemek için yüksek kapasiteli jet filtreler ile donatılmıştır. Sistemin yükleme kapasitesi saatte 600 ton olup, ray üzerinde hareket ederek geminin pozisyonuna göre yükleme noktasını ayarlayabilmektedir. Aynı taşıyıcı sistem limandaki vince bağlı olup, burada, dışarıdan alınan kömür gemiden tesise taşınmaktadır (Şekil 6).

Şekil 6 Nuh Limanı'nda Gemi yükleme ünitesi

### *2.1.3 Kamyon Taşımacılığı ile Boru Bant Taşımacılığı 'nın Karşılaştırılması*

Eğer tünel açma maliyeti dikkate alınmazsa, ilk yatırım maliyetleri her iki sistemde de aynı seviyelerdedir. Bununla beraber, boru bandın çalışma maliyetleri, kamyon taşımacılığına oranla beş kat daha düşüktür. Boru bant sistemi uygulamasının en önemli getirilerinden biri de, tesise kazanç sağlamasının yanı sıra ekosisteme verilen zararı en aza indirerek, daha iyi bir çevre korumsının sağlanmasıdır. Kamyon trafiğinin çevreye verdiği zararlar, boru bant taşıma sistemi ile ortadan kaldırılmaktadır. Kamyonları seyir halindeyken yolda oluşturduğu toz bulutunu çöktürmek için yola su dökülmesine ihtiyaç kalmayacağından boru bant sistemi ilave bir avantaj sunmaktadır. Ayrıca, yağışlı havalarda taşınan malzemelerin etkilenmesi, boru bant sistemi ile ortadan kalkmaktadır.

Çizelge 1 Nuh Çimento Boru Bant Taşıyıcının teknik özellikleri

| | |
|---|---|
| Taşınan malzemelerin parça boyutu (mm) | Çimento: 0,2<br>Klinker: 8<br>Kömür: 50 |
| Bulk yoihınluğu (kg/m$^3$) | 900-1400 |
| Dizayn Kapasitesi (m$^3$/h) | 1000 |
| Bant hızı (mis) | 2,2 |
| Yükleme oranı(%) | 64 |
| Boru çam (mm) | 500 |
| Taşıyıcı uzunluğu (m) | vaklaşık 355 |
| Bant genişliği (mm) | 1900 |
| Bant ağırlığı (kg/m) | 42 |
| Tınnanma yüksekliği(m) | 23 |
| Çalışma açısı (°) | 12 |
| Bant tipi | NF 1000/6P 11O°C sıcaklığa kadar davanıklı |
| Kaplama kalınlığı (mm) | 6.5+3 |
| Tahrik ünitesi: güç (kW) | 200 |
| Hız (d/d) | 1485 |
| Voltaj | 380 |
| Akım & Frekans(Hz) | 380 & 50 |
| Nominal tork (Nm) | 1286,1 |
| Verim(%) | 95.5 |
| Tam dolum güç faktörü | 0.84 |

## 2.2 Diğer Uygulamalar

### *2.2.1 Çimento Endüstrisi*

*Lafarge Çimento Retznei / Avusturya*

Bu uygulamada 26 metre uzunluğundaki zincirli taşıyıcı çimento ocağından aldığı

malzemeleri besleme noktasına getirerek boru banda beslemektedir.Yaklaşık 330 m uzunluğundaki boru bant taşıyıcı üst kolu ile hammaddeleri fabrikaya naklederken alt kol ile de çıkan çeşitli kullnılmış yakıtı ve atıkları hiçbir transfer noktası kullanmaksızın ocaktaki depolama alanına taşımaktadır. Sistem tasarımı saatte 20 ton ya da 100 $m^3$ kapasiteye cevap verecek şeklide yapılmıştır.

### *2.2.2 Enerji Endüstrisi*

*Kömür Enerii Santrali/ Almanva*

Yaklaşık 2.2 km'ye yakın boyuyla, Avrupa'nın en uzun boru band taşıyıcısıdır. Yılda 1.1 milyon ton jips, filtre keki, kuru ve yaş kül taşımaktadır.

*Enerii Santrali Elektrarna Melnik / Çek Cumhuriyeti*

Eneıji santralinden çıkan yaş külü atık sahasına taşımaktadır. 2 km uzunluğundaki boru tipi konveyör görevini 3 yatay ve 4 dikey kavis ile oldukça zorlu coğrafi koşulları aşarak tamamlamaktadır. Daha sonraki yıllarda çıkan külün tekrar enerji santraline taşınabilmesi için system uygun bir şekilde dizayn edilmiştir.

*SES Megalopolis / Yunanistan*

850 MW enerji santralinde kül boşaltma sisteminde nakliyat ünitesi olarak kullanılmaktadır. Diğer taşıma üniteleri ile birlikde, 12 Boru Bant taşıyıcı sistem kapalı bir boşaltma devresi oluşturarak, 3,700 metre taşıma menziline ulaşırlar.. Dört ayrı enerji santralinden çıkan saatte 400 ile 800 ton uçucu ve yaş kül değişik taşıma hatlarıyla, linyit ocağındaki atık boşaltma alanına taşınmaktadır (Koch TransporttechnikGınbH, 2006).

## 3 SONUÇLAR

Tamamıyla kapalı bir taşıma sistemi olan boru bant taşıma sistemi, çevreye zarar verıneden, tozsuz bir nakliyat avantajı sağlamasının yanı sıra, sağlam, tüm topoğrafyalara uygun oluşu, dik eğimlerde çalışabilme özelliği, esnek, çok yönlü çalışma olanağı sağlaması, temiz, güvenli ve sessiz çalışına özelliği ile maliyeti ve bakım avantajı gibi özelliklere sahiptir. Ekoınoınik ve teknik sebepler açısından, bir çimento fabrikası için taşıma sisteminin doğru seçimi hayati önem taşımaktadır. Nuh Çimento fabrikasında açılmış olan tünelde kurulan boru bant taşıyıcı sistemi mevcut kamyon taşımacılığına göre bazı avantajları beraberinde getirmiştir:

- Eneıji tasarrufu
- Ekosisteme minimum zarar
- Daha güvenli ve daha hızlı taşımacılık
- Kamyonların seyir halinde oluşturduğu toz bulutunu çöktürmek ıçın kullanılan suyun maliyetinin ortadan kalkması
- Atmosferik koşullardan malzemenin etkilenmemesidir.

## KAYNAKLAR

Dinçer, T., 1999, "Çeşitli Özellikteki Kayaların Roadheaderlar ve Hidrolik Kırıcıların Performansları Üzerindeki Etkilerin Araştırılması", Doktora Tezi

Documantation of Pipe Conveyor, 2006, Koch TransporttechnikGmbH, Gerınany. http://www.pipe-conveyor.de/.

Fujitmoto, S., 1993, "Modern Technology Impact on Power Usage in Cement Plant", 35th IEEE Cement Industry Technical Conference, 339-362. Toronto, Ontario, Canada

Gunnarson, A.B., 1997, "State-of-the-art Marine Cement Tenninals", 39 th IEEE Cement Industry Technical Conference, 143-155. Dallas, Texas, USA

Quijano, R., 1992, "Material Transport from Quarry to Plant by a Long Belt Conveyor System", IEEE Cement Industry Technical Conference, 61-69. Dallas, Texas, USA

Zemin Int.Ltd., 1993, "A Cost Analysis of Bulk Cement Distribution", 35th IEEE Cement Industry Technical Conference, 23-53. Toronto, Ontario, Canada

Rokitta, M., and Maier, A., 1995, "Handling System for Difficult Bulk Materials", World Cement Bulk Materials Handling Review, 43-44.

# *Kazı Mekaniği*
***(Excavation Mechanics)***

# Kadıköy-Kartal Metro Hattı Şaftlarının Kazı Analizi
# *Excavation Analysis of Kadıköy-Kartal Metro Line Shafts*

İ. Ocak

*İBB, İETT Genel Müdürlüğü, Raylı Taşım Daire Başkanlığı, Karaköy- İSTANBUL*

*İ.Ü. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Misafir Öğr. Üyesi, 34320 Avcılar-İSTANBUL*

ÖZET Günümüzde şehir içi trafik probleminin çözümü için raylı sistemlerin tek çözüm yolu olması, madencilik sektöründe kullanılan iş makinelerinin metro tünellerinin yapımı için şehirlerde de kullanılmasını beraberinde getirmiştir. Şu anda İstanbul'da devam etmekte olan yaklaşık 90 km uzunluğundaki 11 adet ve proje aşamasındaki yaklaşık 200 km lik raylı sistem projeleri de bunu göstermektedir.

Bilindiği üzere metro tünelleri yer yüzeyinin 20-40 metre altından gitmektedirler. Dolayısıyla bu tünellerin kazılabilmesi için öncelikle tünel eksenine ulaşılması gerekmektedir. Tünel eksenine ulaşma çoğunlukla yer yüzeyinden tünel kotuna kazılan düşey şaftlarla (kuyu) gerçekleştirilmektedir.

Madencilik sektöründen farklı olarak metro kazıları meskun mahalde ve şehrin en kalabalık yerlerinde gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla kazı faaliyetlerinden dolayı çevreye verilebilecek hafriyat malzemesinin nakli ve depolanması, trafik sıkışıklığı, gürültü ve titreşim, toz ve çamur oluşumu ve hizmet kesintileri gibi problemler madencilik sektöründen çok daha büyük olmaktadır.

Metro kazılarında özellikle şaftların kazısı sırasında çevreye verilen rahatsızlıklar maksimum düzeydedir. Tünellerde yapılan çalışmalar ise yer yüzeyinden görülemediği ve etkisi yer yüzeyinden hissedilemediği için daha az çevresel öneme sahiptir. Hem çevreye verilen zararların minimum düzeyde tutulabilmesi, hem de verimlilik açısından şaftların imalatında harcanan vaktin ve kaybedilen zamanın nerelerde harcandığının bilinmesi önem arz etmektedir.

Kadıköy-Kartal Metrosu şaftları bu amaçla incelenmiştir. İnceleme sonucunda ortalama olarak en fazla zaman harcanan iş kolları sırasıyla kazı (% 53,3) ve hafriyat (% 25,8) olmuştur. En çok zaman kaybedilen arızalar ise sırasıyla ekskavatör arızası (% 25,0) ve kırıcı arızası(% 8,1) olmuştur.

ABSTRACT Rail transit systems, being the only solution to the traffic problem, today brought with itself the use of mining machinery to the urban areas for construction of metro tunnels. At the moment in Istanbul, 11 ongoing projects having 90 km length and 200 km under design stage also indicate this.

As known, metro tunnels run 20-40 m below surface. Therefore, to be able to excavate these tunnels at first it is needed to reach their centrelines. Reaching tunnel centrelines are usually achieved by means of vertical shafts excavated between ground surfaces to tunnel level.

Different from mining industry, metro tunnels are being excavated in urban areas and in heavily populated places. Therefore environmental disturbances like; hauling and disposing of

excavated material, traffic congestion, noise and vibration, dirt and mud, blockage of utilities are much more encountered than mining sector.

At metro constructions, the environmental disturbances are at their maximum level especially during the excavation of shafts. Construction activities in tunnels have less environmental importance since they can not be seen and can no! be felt fro the ground surface. Being aware of the time consumed and the time lost durıng constructıon of shafts exposes great importance for minimizing the environmental disturbances and also for productivity.

Kadiköy-Kartal Metro shafts were investigated for this purpose. As the results of investigation, on average, most time consuming activities were found as; excavation (53,3 %) and muck hauling (25,8 %), and most time lost resulted from; excavator break-down (25,0 ¾), and hammer break-down (8,1 %).

## 1 GİRİŞ

Metro kazılarında özellikle şaft kazılarında etkin ve verimli bir çalışma yapılabilmesi, çevresel açıdan son derece önemlidir. Çünkü metro kazıları şehir içi kazılardır. Bu kazılar aynı zamanda şehrin en yoğun yerleşim yerlerinde yapılmaktadır. Çünkü metrolar bu yoğun yerleşim yerlerinde yaşanan trafik problemine çözüm getirmek üzere projelendirilmektedirler.

Bu nedenle, genelde tüm metro tüneli kazılarında, özelde ise özellikle şaft kazılarında verimli bir çalışma ve en az arıza ile çalışmaların bitirilebilmesi önemlidir. Çünkü özelilikle şaft kazılarında çalışma şartlarını çalışmayı yapan taraflar değil çevrede yaşayan insanlar belirlemektedir. Bu çalışmalarda insanların rahatsız edilmemesi için 24 saat çalışma yapılamamakta, insanların yaşam standartları dikkate alınmaktadır. Ayrıca bu tür kazılarda, Çevre Koruma Müdürlüğü, Emniyet Müdürlüğü ve Belediyelerden de izin alınması gerekmektedir. Bu kurumlar da özellikle Pazar günleri ve geceleyin insanların yoğun olarak yaşadıkları yerlerde yapılan çalışmalara şartlı olarak izin vermektedirler.

Dolayısıyla, bu tür çalışmalar için verimli bir çalışma yapılabilmesi kısıtlı zamanın en verimli bir şekilde kullanılabilmesi açısından ayrıca önem kazanmaktadır. Yine bu tür kazılar sırasında ortalama kazı hızımızın ne olacağının bilinmesi, kaybedeceğimiz ortalama zamanın ve arızaların bilinmesi önceden tedbir alabilmemiz ve doğru bir iş programı yapabilmemiz açısından önemlidir.

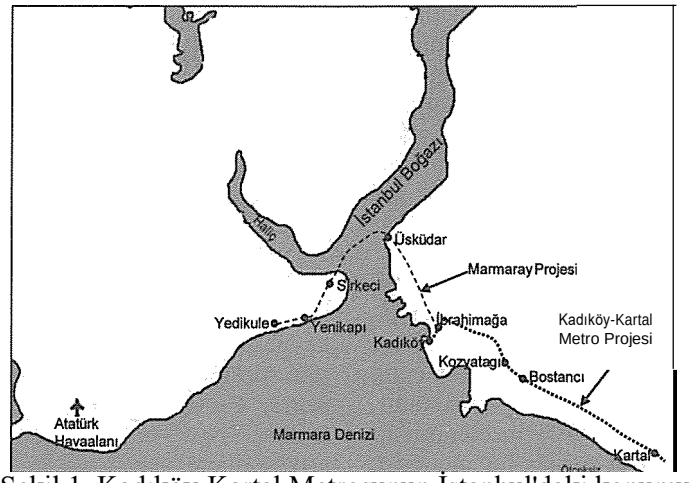
Bu amaca yönelik olarak bu çalışmada yapım çalışmaları halen devam etmekte olan Kadıköy-Kartal Metrosu incelenmiş ve ortalama kazı hızı, ortalama çalışma, bekleme ve arıza zamanları tespit edilmiştir.

## 2 SİSTEM VE GÜZERGAH BİLGİLERİ

Kadıköy-Kartal aylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi Istanbul'un Anadolu yakasında doğu-batı eksenindeki yoğun yolculuk talebini karşılamak üzere planlanmıştır. Proje ile halen D100 devlet yolu üzerinde yaşanmakta olan aşırı trafik tıkanıklığının rahatlatılması planlanmaktadır. Proje başlangıçta Harem-Kartal olarak düşünülmüştür. Fakat daha sonra inşaatı başlayan Marmaray projesi kapsamında Boğaz Demiryolu Tüp Geçişi ile entegre edilmesinin daha uygun olacağı düşünülerek sistemin başlangıç noktası Harem'den Kadıköy'e kaydırılmıştır(Şekil 1).

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Kadıköy'de Beşiktaş iskelesinin önünden başlayıp Ayrılıkçeşme'de Marmaray Projesine ait istasyonla entegre olmakta ve buradan Koşuyolu köprüsünde D100 karayoluna ulaşmaktadır. Koşuyolu köprüsünden itibaren sistem tamamen D100 karayolunu takip ederek Kartal istasyonunda son bulmakta ve toplam 16 adet istasyonu içermektedir. Proje başlangıçta, Acıbadem-Kadıköy arası 3290 metresi delme tünel, Acıbadem'den Kartal E5 köprüsüne kadar olan kısmın ise 2490 metresi aç-kapa, kalanı ise hemzemin olarak projelendirilmiştir. Sistem bu haliyle 139,6 milyon USD'na

ihale edilip 28 Ocak 2005 tarihinde sözleşme şehir içi ulaşım arteri ve hem de şehirlerarası, imzalanmış ve 11 Şubat 2005'te işyeri hatta milletler arası ulaşım yolu olması teslimi yapılmıştır. Ancak, E5/D100 nedeniyle proje İETT Genel Müdürlüğü yolunun hem Anadolu yakasının en önemli tarafından tekrar gözden geçirilmiştir. Bu




Şekil 1. Kadıköy-Kartal Metrosunun İstanbul'daki konumu.

gözden geçirme sonucunda;

- İnşaat sırasında ortaya çıkacak problemler,
- E5/Dl00 karayoluna verilebilecek zararlar,
- Artması muhtemel maliyetler,
- Yöreye yaşatılacak toplumsal sıkıntılar

gibi nedenlerden dolayı LRT olarak ihale edilmiş olan sistem, İETT İdare Encümeninin 14.06.2005 tarih ve 41039 nolu kararıyla tamamen yer altına alınmış ve sistemin metro standartlarında yapılması kararlaştırılmıştır. Bu haliyle sisteme ait bazı temel veriler şöyledir:

- Hat uzunluğu : 21 490 m
- İstasyon sayısı 16
- Pik saatte kapasite 60 000 yolcu/saat/yön (6 kişi/m$^2$)
- Dizideki araç sayısı : 6 (2025 yılında 8)
- Azami hız : 80 km/saat
- Ticari hız : 43 km/saat

## 3 BÖLGENİN GENEL JEOLOJİSİ

Kadıköy-Kartal Metro güzergahı, büyük çoğunluğu itibariyle Kadıköy'den itibaren, Trakya formasyonu, Kartal formasyonu, Kurtköy formasyonu ve Dolayoba formasyonlarından oluşmaktadır. Yeşilimsi gri renkli, ayrışmış zonlarında kahverengi, yerel merceksel çakıltaşı ve kumtaşı ara tabakalı Trakya formasyonu genelde ince tabakalı ve paralel laminalı şeyllerden oluşmaktadır (Kaya, 1978). Kartal Formasyonu sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, mercan ve fosilli, seyrek silttaşı ile kumtaşı aratabakalı şeyllerden ve kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur (Önalan, 1982). Kurtköy formasyonu mor renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. Dolayoba formasyonu kuvars, arenit mercekli şeylleri ile girik, koyu mavi-mavimsi koyu gri renklerde ve çeşitli karbonatlardan oluşur (İETT, 2005).

Bölgede kayaç özelliklerinin tespiti için 139 adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlar üzerinde yapılan laboratuar deneyleri sonucu elde edilmiş güzergahı oluşturan kayaçlara ait ortalama jeoteknik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Bölgenin genel jeoloji haritası ise Şekil 2'de görülmektedir (İETT 2005).

## 4 ŞAFTLARIN KAZI ANALİZİ

Şaftlar, ana hat tünellerine veya yaklaşım galerilerine ulaşmak için açılmış düşey kuyulardır. Kad_ıköy-Kartal Metro hattında toplam 16 adet ıstasyon bulunmaktadır. Her

bir istasyon için ise 1 yada 2 adet şaft açılmaktadır. Ayrıca makas bölgeleri, geceleme hatları ve EPBM (earth pressure balance machine) ve TBM (tunnel boring machine) destek şaftları ile birlikte düşünülür ise toplam 32 adet şaft açılması planlanmaktadır. Hattın ana hat tünelleri 2 adet EPBM ve 2 adet TBM kullanılarak açılacaktır. Ancak istasyon platform tünelleri, makas tünelleri, geceleme hatları ve kuyruk tünelleri her halükarda Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile açılmaktadır. Bu da tüm kazının yaklaşık % 40' ı kadardır.

Şaftlarda çalışmalar şu sıraya göre yapılmaktadır; Kazı, hafriyat nakli, tarama, 1. kat hasır çelik montajı, shotcrete öncesi kontrol, 1. kat shotcrete atımı, 2. kat çelik hasır ve 2. kat shotcrete şeklinde olmaktadır. Bu bildiride üç adet şaft incelenmiştir. İncelenen her üç şaftın çapı 13,6 metredir. S9-A ve S9-B şaftı şeyl içerisinde, S12 şaftı ise kumtaşı-kiltaşı içerisinde açılmıştır.

Kazı analizi yapılan şaftların geometrik özellikleri ve şaftların yapıldığı yerdeki kayaçların jeoteknik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. S9-A ve S9-B şaftları aynı yerde biri hat-1 diğeri hat-2 üzerinde bulunmakta olduğu için bu ikisi için kayaç özellikleri aynıdır. Bu iki şaft Kozyatağı Carrefour alışveriş merkezi otoparkı içinde bulunmaktadır. S12 şaftı ise Küçükyalı E5'in güney lupunda bulunmaktadır.

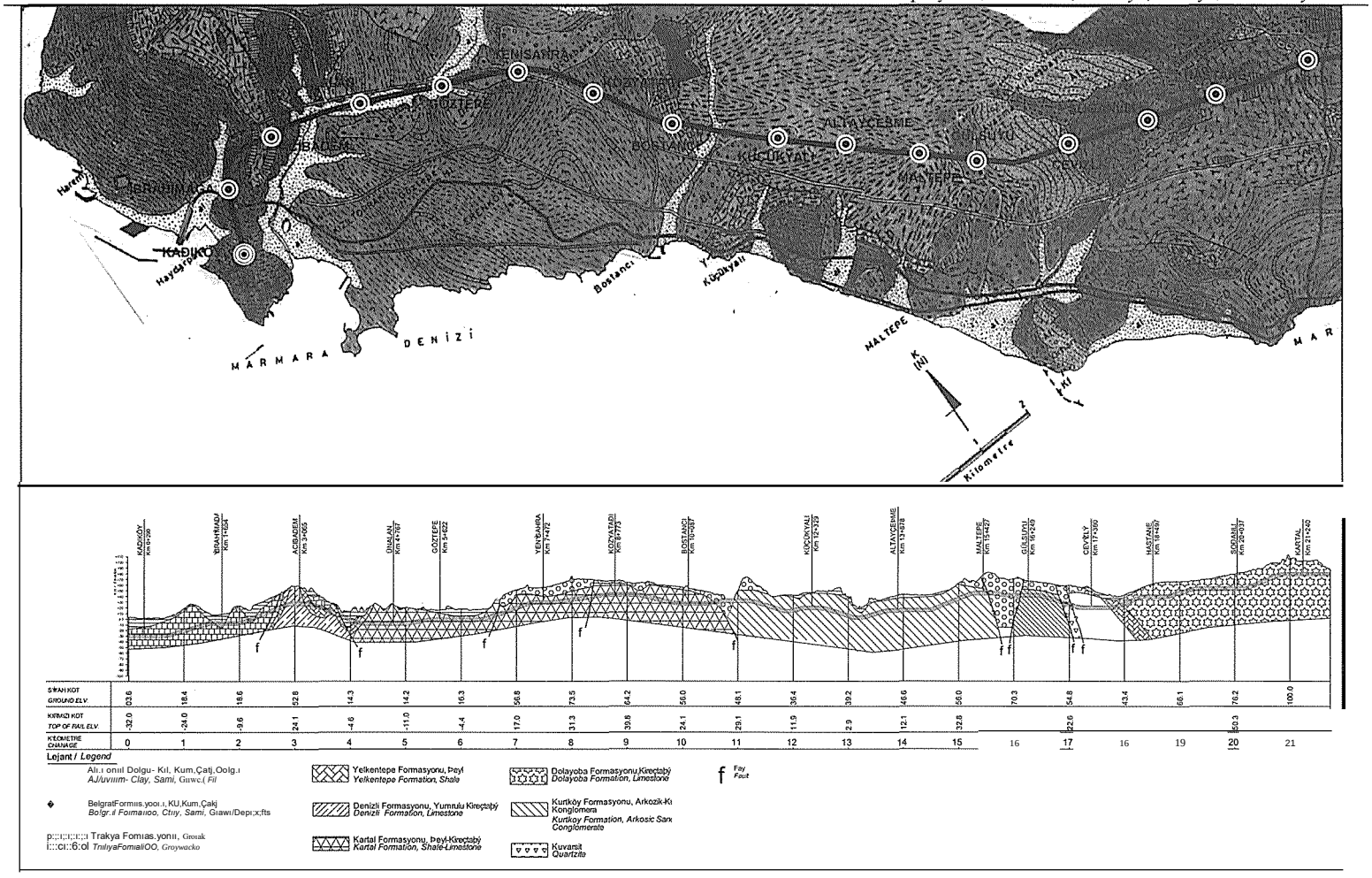
Şaftların analizi, kazı, hafriyat nakli, taramalar, 1. kat hasır çelik montajı, shotcrete öncesi kontrol, 2. kat hasır çelik ve 1. ve 2. kat shotcrete atım zamanlarının toplamı shotcrete olarak değerlendirilmiştir. Kaybedilen zamanlar da, belli bir arızadan kaynaklanmayan tatil, çimento bekleme vs. gibi süreler kayıp zaman olarak tarif edilmek üzere, kıncı arızası, hortum arızası, vinç arızası, ekskavatör arızası ve kompresör arızası olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 1. Çalışma Bölgesinin Genel Kayaç Özellikleri (İETT, 2005).

| Formasyon | Litoloji | Birim hacim ağırlığı {kN/m³) | İçsel sürtünme a2ısı {° | Kohezyon (MPa) | Basınç dayanımı {MPa) | Elastisite modülü (GPa} |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Trakya | Kumt.-silttaşı-kiltaşı | 26,5 | 37,9 | 13,9 | 50,9 | 10,9 |
| Tuzla | Şeyi | 26,8 | 43,1 | 6,4 | 25,3 | 8,4 |
| Kartal | Şeyl+çört | 26,2 | 43,1 | 18,6 | 32,6 | 7,9 |
| Kurtköy | Kumtaşı+konglemera | 26,9 | 43,1 | 19,5 | 34,0 | 11,5 |
| Aydos | Kuvarsit-andezit | 26,1 | 54,2 | | 74,5 | 9,9 |
| Dolayoba | Kire2taşı | 27,0 | 49,4 | 10,6 | 43,6 | 18,9 |

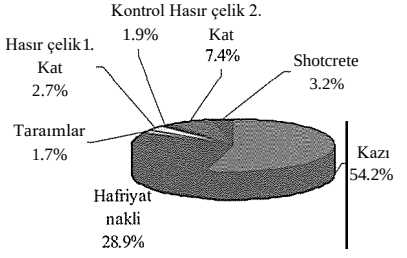
Çizelge 2. Çalışma Bölgesinin Genel Kayaç Özellikleri (İETT, 2006a; 2006b; 2006c).

| Özellik | S9-A | S9-B | Sl2 |
|---|---|---|---|
| Litoloji | Şey! | Şeyi | Kumtaşı-silttaşı |
| Derinlik (m) | 36,6 | 36,2 | 24,3 |
| Şaft çapı (m) | 13,6 | 13,6 | 13,6 |
| Kazı miktarı ($m^3$) | 5,278 | 5,228 | 3,523 |
| Kazı zamanı (gün) | 34,5 | 39,9 | 32,5 |
| Günlük kazı miktarı ($m^3$/gün) | 153,0 | 131,0 | 108,4 |
| Birim hacim ağırlığı (KN/$m^3$) | 27,2 | 27,2 | 27,7 |
| Tek eksenli basınç dayanımı (MPa) | 57,2 | 57,2 | 85,8 |
| Statik elastisite modülü (GPa) | 6,3 | 6,3 | 9,2 |
| St, poisson oranı | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| Çekme dayanımı (MPa) | 7,3 | 7,3 | 10,3 |
| Kohezyon (MPa) | 19,5 | 19,5 | 9,4 |
| İçsel sürtünme açısı (° | 33 | 33 | 42 |

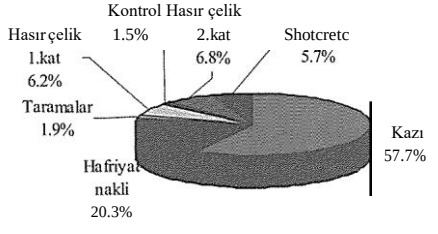



Şekil 2. Kadıköy-Kartal raylı sistemi güzergahı genel jeolojisi (İETT 2005).

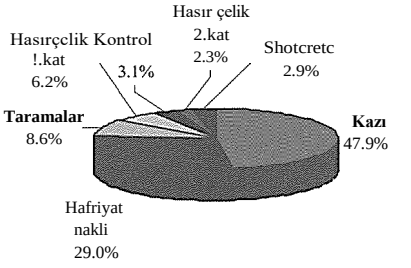
Yapılan çalışma sonucunda şaft kazılarında en fazla zamanın her üç şaftta da kazıya harcandığı, ikinci sırada hafriyatın geldiği görülmektedir (Şek. 3, 4 ve 5). Arıza olarak ise en fazla zaman kaybının şaftlara göre değişmekle birlikte kayıp zaman ve ekskavatör arızası olduğu görülmektedir (Şek. 6, 7 ve 8). Kaybedilen toplam zaman % 13,1 ile % 26,2 arasında değmiştir (Şek. 9, 1O ve 11). Her üç şaftın birlikte değerlendirilmesi sonucu en fazla çalışma kazı (% 53,3) ve hafriyat nakline (% 25,8) harcanmıştır (Şek. 12). Yine her üç şaftın birlikte değerlendirilmesi sonucu, belirli bir nedene dayalı olmadan kaybedilen zamanlar (% 49,3) hariç tutulursa, arızalardan dolayı yaşanan en fazla zaman kaybı ekskavatör arızası (% 25,0) ve kırıcı arızası (% 8,1) için olmuştur (Şek. 13). Ortalama olarak toplam çalışılması gereken zamanın % 78,7 sinde çalışılabilmiş, geri kalan % 21,3 ü ise arıza ve kayıp zamanlardan dolayı çalışılamamıştır (Şek. 14).



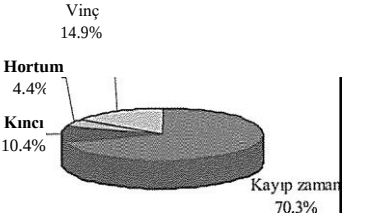

Şekil 3. S9-A şaftı kazı zamanı dağılımı.



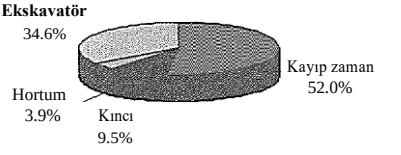

Şekil 4. S9-B şaftı kazı zamanı dağılımı.



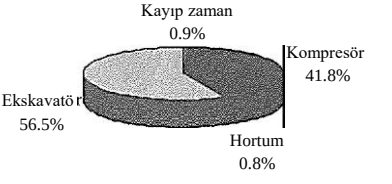

Şekil 5. S12 şaftı kazı zamanı dağılımı.



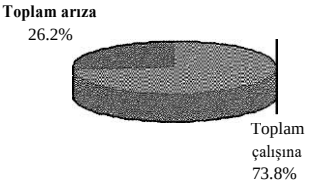

Şekil 6. S9-A şaftı arıza ve kayıp zamanlar.



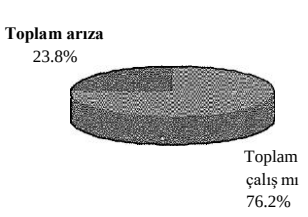

Şekil 7. S9-B şaftı arıza ve kayıp zamanlar.



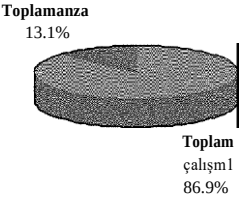

Şekil 8. S12 şaftı arıza ve kayıp zamanlar.



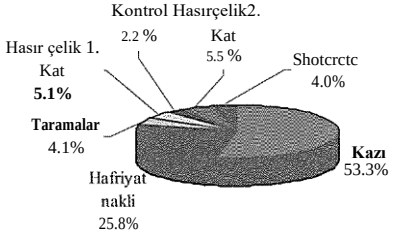

Şekil 9. S9-A şaftı çalışma ve arıza dağılımı.



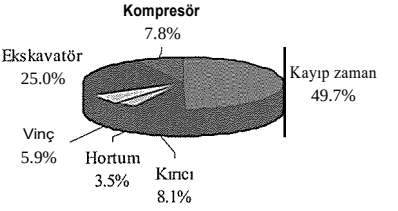

Şekil 10. S9-B şaftı çalışma ve arıza dağılımı



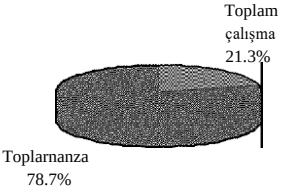

Şekil 11. S12 şaftı çalışma ve arıza dağılımı.




Şekil 12. Ortalama çalışma süreleri dağılımı.




Şekil 13. Ortalama bekleme zamanı dağılımı.




Şekil 14. Ortalama çalışma ve arıza dağılımı.

## 5 SONUÇLAR

Her üç şaftta yerinde yapılan saha çalışmaları sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Metro kazılarının şehir içi çalışmalar olması sebebiyle, özellikle çimento bekleme ve dar olan çalışma sahasında biriken hafriyatın istenildiği zaman şehir içi trafiği kullanarak uzaklaştırılamaması nedeniyle arızalara bağlı olmayan kayıp zaman oranı oldukça yüksek olmuştur (49,2).
- S12 şaftının kayaç yapısı diğer iki şafta göre daha sert olduğu için burada ekskavatör arızasından dolayı yaşanan kayıp tüm kayıpların % 56,5'i olmuştur. Bu da böylesine sert çalışma şartlarında ekskavatörle kazının son derece zor olduğunu göstermektedir.
- Ortalama olarak en fazla zaman alan çalışmalar sırasıyla kazı (% 53,3), hafriyat nakli (% 25,8) ve hasır çelik montajı (% 10,6) olmuştur.

- Ortalama olarak çalışılamayan zamanlar sırasıyla kayıp zaman (% 49,5), ekskavatör arızası (% 25,0) ve kırıcı arızası (% 8,1) olmuştur. Özellikle imalatlar sırasında yüksek miktarlarda beton gereksinimi olduğundan özellikle inşaat işlerinin yoğun olduğu dönemlerde beton firmalarından zamanında beton alınamaması bunun en önemli nedenidir.
- Kazı hızı S9-A şaftında 153 ($m^3$/gün), S9-B şaftında 131 ($m^3$/gün) ve S9-A şaftında 108,4 ($m^3$/gün) olmuştur. S9-A şaftının mekanik özellikleri daha sert olduğundan kazı hızı diğer iki şafta göre düşük olmuştur.
- Ortalama olarak çalışılması gereken sürenin % 78,7 sinde çalışılabilmiştir. Bu da şehir içi şantiyeciliğinin yapıldığı bu koşullarda ideal bir rakamdır.

## KAYNAKLAR

İETT Genel Müdürlüğü, 2005, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Mühendislik Jeolojisi Raporu.

İETT Genel Müdürlüğü, 2006a, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, S9-A Kazı ve Destekleme Raporu.

İETT Genel Müdürlüğü, 2006b, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, S9-B Kazı ve Destekleme Raporu.

İETT Genel Müdürlüğü, 2006c, İstanbul Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi Projesi, Sl2 Kazı ve Destekleme Raporu.

Kaya, O., 1978, İstanbul Ordovisiyeni ve Silüriyeni, *H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Yayını,* Cilt:4, s.1-2, Ankara.

Önalan, M., 1982, Pendik Bölgesi ile Adaların Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, Yayınlanmamış, İ.Ü. Müh. Fak. Doçentlik Tezi, İstanbul.

# Kayaç Kazılabilirliği İçin Elektriksel Anizotropinin Jeofizik Özdirenç Arazi Ölçümleri İle Araştırılması

# *Investigation of Electrical Anisotropy For Cuttability of Rocks Using Geophysical Resistivity Measurements*

İ. Çağlar, Ü. Avşar
*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469,İstanbul.Email:caglari@itu.edu.tr*

**ÖZET** Kayaç sağlamlığı, dayanım, kırıklık ve anizotropi özelliği parametreleri kayaçlarda kazılabilirliği etkileyen unsurlardır. Kullanılacak kazı ınakinalarının seçiminde bu parametrelerin gözönünde tutulması yararlı olabilmektedir. Kayaçdaki çatlaklık, basınç, ınetamofızma özeJ.liklerinin ortaya koyduğu anizotropiyi arazi ölçümleriyle belirlemek amacıyla Elektrik Ozdirenç Tekniği (DES) kullanılır. Farklı anizotropi değerleri ve diziliınler için bilgisayar kuramsal modellemeleri bu çalışmada yapılmıştır. Modelleınelerde Dipol Aziinutal (DA) sondajın elektrik anizotrçıpiyi daha belirleyici olduğu görüldü. Kayacın kolay kazılabilirlik yönünü araştırmak için Istanbul Kozyatağı taşocakları civarıqdaki karstik kireçtaşları üzerinde DA dizilim kullanılarak elektrik özdirenç sondajı yapıldı. Ölçüinler 10°, 55°, 100°, 140° azimutları ve ı=lü-90 metre alınarak yapılmıştır. Her bir sondajda AB aralığı için 6-60 metre ve MN aralığı için 1-6 metre aralıkları kullanıldı. Farklı açıklıklarda ölçülen 88-950 ohın-m aralığındaki görünür özdirenç değerleri kullanılarak çizilen azimutal diagramlar kireçtaşı içerisinde çeşitli derinlik seviyelerında anizotropi göstergesi olan karekteristik uzanımları ortaya koymuştur.

**ABSTRACT** The rock hardness, strength, fracturing and anisotropy property paraıneters are the main factors controlling cuttability of the rocks. Considering these parameters ınay be useful to choose most suitable ınechanical ıniners. The electrical resıstivity technique (DES) is used to determine anisotropy resulted by the rock's fractıiring, pressure and ınetaınorphisın properties by fıeld measureıments. In this study, coınputer modelling was ınade for various anisotropy values and electrode aırnys. It is seen that Aziinuthal Dipole (DA) was ınost determined electrical anisotrophy. We made resistivity sounding using DA array on karstifıed liınestones around Kozyatağı quarry in Istanbul to estimate suitable directıon for easily cuttability ofthe rock. Measureıments were ınade on 10°, 55°, 100°, 140° aziinuths and ı=lü-90 ıneters. At each sounding, AB distances are taken froın 6 up to 60 meters and MN distances are taken froın 1 up to 6 meters. The azimuthal diagraıns graphed using measured a];)parent resistivity values in the ranges of 88-950 ohın-m were indicated characteristic orientatıons as the anisotrophy indicator at various depth levels within liınestone.

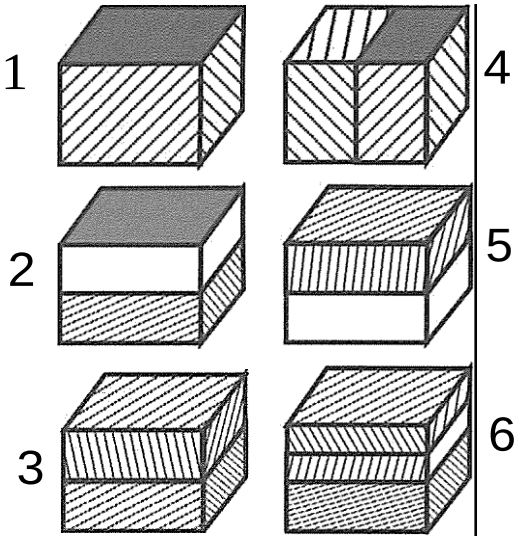
## 1 GİRİŞ

Aziinutal elektrik özdirenç ölçümleri çatlaklı kırıklı kayaçlarının tanımlanması ve karekterizasyonu için artan şekilde kullanılmaktadır. Bu araştırmalar sırasında sabit bir merkezi nokta civarında sistematik şekilde değiştirilip arttırılan aziinut açısı (kuzeyden sapına) ile belirlenen doğrultularda elektrik özdirenç ölçümleri yapılır. Kayacın eğimli yapısı ve formasyondaki diğer yanal süreksizliklerden etkilenen aziinutal özdirenç değişimleri ile şekillenen rotasyonel sondaj verisinin yorumu gerçekte karınaşıktır. Farklı anizotropi, eğimli katman ve yanal etkilerin açıklanıp yorumlanmasında seçenek olabilecek arazi ölçüm ve veri yorumlama teknikleri geliştirilmiştir (Leonard-Mayer,

1984; Taylor ve Fleming, 1988; Ritzi ve Andolsek, 1992; Skjemaa ve forgensen, 1993; Hagrey, 1994; Kathryn ve diğ., 1999). Bu çalışmalarda geliştirilen azimutal özdirenç ölçüm yöntemi elektriksel anizotropi başlıca yönünün ve hidrolik iletimin belirlenmesi amacına yönelik olarak Ohm ve Darcy yasaları arasında eşdeğerliliği gozonune alır. Tipik olarak azimut (kuzeyden olan sapma açısı) değişimlerine bağlı olarak görünür özdirençde ortaya çıkan farklılıklar anizotropinin (genel olarak kırıklık anizotropisi) göstergesi olarak yorumlanır. Göıünür özdirençteki azimutal değişimler: (1) eğimli dilimlenme varlığı, (2) özdirençde dereceli bir yanal değişim, (3) bunların herhangi bir beraberliği ile üretilebilir.

## 2 KAYAÇ ELEKTRİKSEL ANİZOTROPİSİ VE ÖZDİRENÇ

Kayaçlarda gelişen anizotropi türleri Şekil 1 de gösterilmiştir.




Şekil 1. Kayaçlarda anizotropi türleri: 1- **y** arısonsuz ortam; 4- Düşey arayüzey; 2- Tekdüze katman ily örtülü anizotropik yarısonsuz ortam; 5- Ustte anizotropik ortam bulunan iki katmanlı yapı; 3- Herbır ortamın gelişigüzel anizotrop olduğu iki katmanlı yapı; 6- Kendi içinde farklı anizotropi özelliğini gösteren bir örtü katmanı bulunduran anizotropik yarısonsuzlu iki katman yapı modeli.

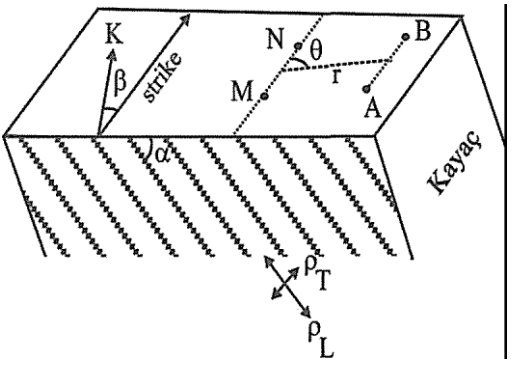
Burada basit olarak verilen anizotropi gelişmesi kayaç içerisinde daha karmaşık şekilde ortaya çıkabilir.

Tabakalanmış yada çatlayıp kırılmış kayaçlar tipik olarak iki boyutlu bir anizotropiyi ortaya koyarlar. Bu durum için elektrik özdirenç tanımı iki değişken parametre ile yapılır. Bunlar: (1) dilimlenme yada kırıklanma düzlemlerine paralel ortam özdirencini karekterize eden $P_I$ Boyuna Direnç; (2) dilimlenme düzlemine dik olarak gelişen ortamın özdirencini temsil eden $PT$ Enine Direnç olarak verilir. $\rho_I$ ve $PT$ dirençlerini kullanarak anizotropık yani yön bağımlı kayaçları tanımlayıcı parametreler aşağıdaki iki bağıntı ile verilir.

$$A = \frac{EL}{PL} \qquad \rho_M = \sqrt{\rho_T \rho_L} \qquad (1)$$

Burada A anizotropi vepM ise rms direnci simgelemektedir.

Homojen izotropik yani yön bağımsız bir kayaç ortamı için A parametresi 1 değerine eşittir. Homojen fakat anizotropik (yön bağımsız) bir kayaç ortamı için $PT$ parametresi $/J_I$ den büyük olduğundan A nın değeri genellikle 1 ile 2 arasında değişir. Şekil 2 ise kayaç içerisinde gelişen anizotropiyi elektrik özdirenç parametresi cinsinden açıklamaktadır.




Şekil 2. Kayaç içerisinde gelişen anizotropiyi işaret eden özdirenç bileşenleri $PT$ ve $PL$. Burada K : Kuzeyi, a anizotropi açısını, $B$ dilimlenme uzanım (strike) açısını gösterir. MN gerilim ve AB ise akım dipolünü simgeler. 0 açısı ise elektrod diziliminin döndürme açısıdır.

Azimutal özdirenç ölçümleri düşey çatlaklı-kırıklı yada dilimlenmeli formasyon içeren bir jeolojik yapı üzerinde yapıldığında, dizilim fonnasyonun uzanım (strike) doğrultusuna paralel şekilde döndürülmüş ise ölçülen özdirenç formasyonun ortalama özdirencine eşit olur ve aşağıdaki (2) bağıntısı ile verilir.

$$Pa = PM = APL \qquad (2)$$

Dizilim formasyonun uzanım (strike) yönüne dik olarak açıldıysa bu kez ölçülen özdirenç yalnızca $Pr$ enine direnç değil $PL$ boyuna dirence eşit olur. Bu durumda (3) bağıntısı geçerlidir.

$$Pa = \frac{PM}{.?l.,} - pL \qquad (3)$$

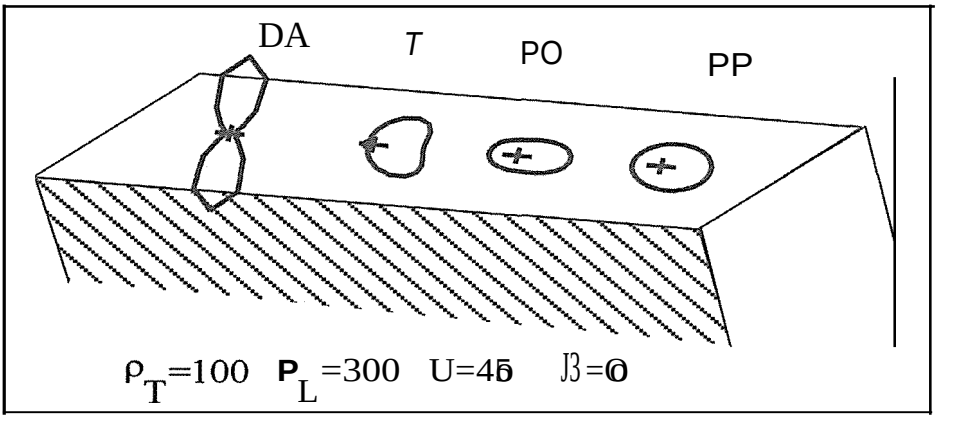
Bundan dolayı enine özdirenç $Par$ görünür boyuna özdirenç $Pal$ den daha azdır. Tersine bir ilişki gerçek dirençler arasında $Pr > PL$ ilişkisi ile ortaya çıkar (Şekil 2). Sonuç olarak düşey bir anizotropi durumunda yeryüzeyin eki eşgerilimler formasyon ıstıflenmesına paralel olarak uzanan elips şekline benzer. Elipsin kısa ve uzun eksen oranlan $A$ değerini verir. Eğimli anizotropi gibi ara durum için eşgerilim çizgileri yine elips şeklinde olup daha az uzanırlar. Bu durumda anizotropi tam olarak karekterize edilmeyecektir (Kunetz, 1966).

Azimutal elektrod dizilimi ve kayaçda gelişen anizotropik özdirenç bileşenleri Şekil 2 de gösterilmiştir. Doğrusal olmayan dipol azimutal diziliminin kullanılması anizotropi için aranan bulguları ortaya koyar. Bu dizilimde 0 döndürme açısı küçük değerlerden başlayarak büyük değerlere doğru artacak şekilde çalışmalar yapılır. Oluşan yeni elektrod dizilimi geometrisinde ölçüler alınır.

## 2.1 Anizotropi Görüntülenmesinde Elektrik Ozdirenç Modellemeleri

### *2.1.l Auizotropide Dizilim/erin Etkisi*

Elektrik Anizotropi görüntülemesi ıçın yapılan modellemelerde anizotropik yansonsuz bir model, iki izotropik yada anizotropik kayaci birbirinden ayiran düşey arayüzey, izotropik bir katman tarafından örtülü anizotropik yansonsuz kayaç ortamları ele alınmıştır. Anizotropik yansonsuz bir kayaç modeli üzerinde Dipol Azimutal (DA), T-dizilimi, pol-dipol (PD) ve dipol-dipol (DD) dizilımleri için polar diagramlar Anis Pack yazılımı ile (Bolshakov ve diğ., 1997) hesaplanmıştır. Burada anizotropi parametrelen olan a, $B$, $Pr$ ve $PL$ büyüklükleri yani kayaç model değerleri herbir dizilim durumu için aynı alınmıştır. Yapılan hesaplamalarda elde edilen diagramlar ile sözü edilen parametre değerleri Şekil 3 de verilmiştir.




Şekil 3. Farklı dizilimler kullanılarak Anizotropik bir kayaç ortamının jeofizik modellenmesinden elde edilen polar diagramlar. *pz*=100 ve *pı=300.*

Bu şekilden de izlendiği gibi Dipol Azimutal dizilimi hesaplanan polar diagram dişer d i-i11;1lere &öre _daha elirgin !iJ?.i_k . ir gorumim verır. Dıpol azımutal dızılımının kullanılması anizotropinin değişimine ilişkin karekteristik farklılıklar verınektedir. Bu dizilimde 0 döndürme açısı küçük değerlerden başlayarak büyük değerlere doğru artacak şekilde çalışmalar yapılır. Oluşan yeni elektrod dizilimi geometrisinde ölçüler alınır.

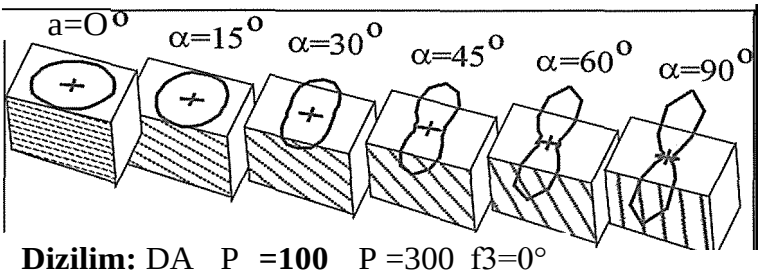
### *2.1.2 Anizotropik Tek Tabakalı Ortam*

En yüksek duyarlılığı gösterdiği için Dipol Azimutal (DA) elektrod dizilimi bundan sonraki modellemelerde kullanılarak bu kez a anizotropi açısının değişimine göre hesaplamalar yapılmıştır. Modellerde a nın farklı değerleri ile simgelenen anizotropi özelliği DA dizilimi için değişim görünümlerdeki polar diagramları veımektedir.

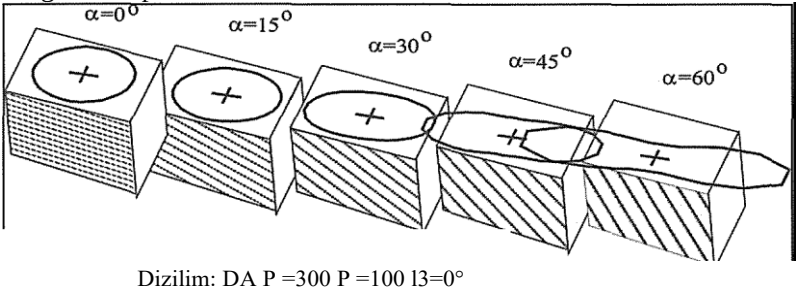
Anizotropi parametresi olan a değerinin artışına bağlı olarak polar diagram çemberden elipse ve daha ileri aşamada ise uzayan bir elips görüntüsünü sergilemektedir(Şekil 4).

Yeni bir hesaplama için bu kez pT=300 ve pL=lO0 olarak alınmış a yine artan şekilde değiştirilmiştir. Modelleme görüntüleri Şekil 5 de verilmiştir. Küçük a değerleri daha Küçük a değerleri daha düşük bir anizotropiyi yansıtır. Bu durumda çembere daha yakın olan görünüm artan a değerleri için elips şekline dönüşmektedir.

Tüm durumlarda polar elipslerin uzun eksenleri akım akışının daha egemen olduğu yönde uzanım göstermiştir. Elipslerin kısa eksenleri düşük akım akış yönü ile ilgilidir. İyi derecedeki iletkenlik bir bakıma kayacın daha etkili şekilde kırıklı ve çatlaklı yani dayanımsızlığı işaret eder.




Şekil 4. Dipol Azimutal (DA) dizilimi kullanılarak anizotropik bir kayaç ortamının jeofizik modellenmesinden elde edilen farklı a değerleri için polar diagramlar. pT=l00 ve PL=300.




Şekil 5. Dipol Azimutal (DA) dizilimi kullanılarak anizotropik bir kayaç ortamının jeofizik modellemnesinden elde edilen farklı a değerleri için polar diagramlar. pT=300 ve PL=lO0.

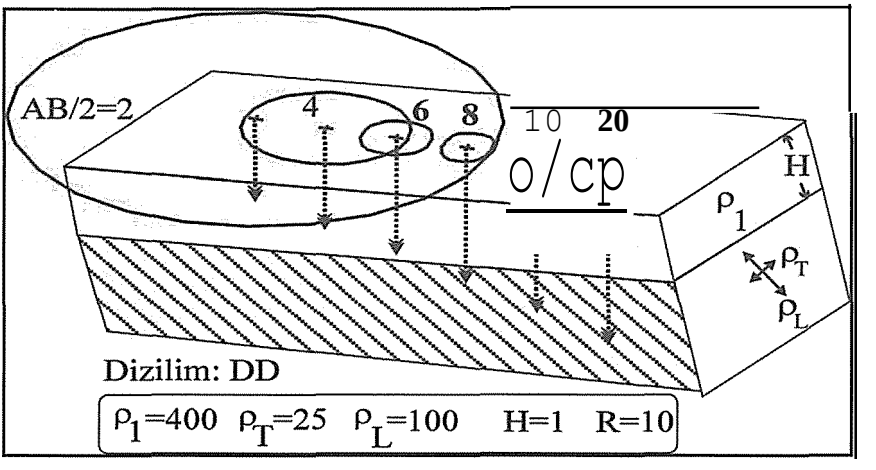
Şekıl 4 ve Şekil 5 de verilen modelleme sonuçları kayacın dayanımsız özellik gösterdiği doğrultunun polar elipslerin eksenleri ile tanımlandığını ortaya koyar. Her iki şekildeki hesaplamalarda 13=0 olarak ele alınmıştır.

### *2.1.3 Alttaki Katmanı Anizotropik İki Tabakalı Model*

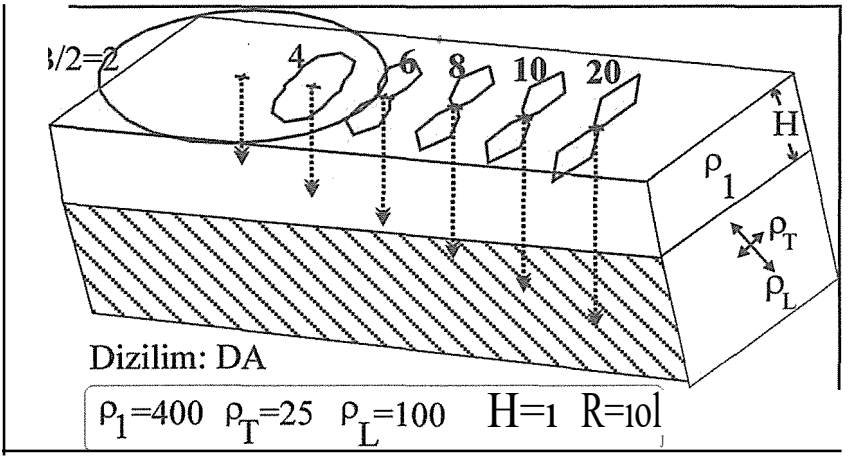
İki tabakalı bir yer modeli ele elınarak dipol dipol (DD) ve azimutal dipol (DA) dizilimler için modellemeler yeniden yapılmıştır. İki tabakalı yer modelinde ilk tabaka (örtü tabakası) homojen ve izotrop olarak varsayılmış P1 özdirenci 100 ohm-m ve kalınlığı H=I şeklinde hesaplarda kullanılmıştır. R=AB/MN=IO değeri sabit Kabul edilerek AB/2 değeri 2-20 m arasında modellemelerde değiştirilmiştir. Dipol dipol (DD) için yapılan hesaplamarda polar diagramlar artan AB/2 aralığı için çok belirgin değişimleri ortaya koymamıştır (Şekil 6). Artan AB/2 aralıkları için araştırma derinliği Şekil 6 da ok işaretleri ile verilmiştir. Buradaki ok ucu AB/2 aralığı için gerilimin ölçüldüğü derinliği göreceli olarak vermektedir.

Düşük AB/2 aralıkları için homojen katmandan bilgi alındığından polar diagram çembersel bir görünüm içermektedir. Artan AB/2 aralığı için giderek anizotropik ortamın etkisi ölçümlerde etkin olacağı bilinmektedir. Büyük AB/2 değerlerinde polarizasyon elipsinin uzun ekseni özdirencin düşük olduğu doğıultuya yönelim göstermektedir.

Elektriksel anizotropiyi tanımlayan PT ve PL özdirenç değerleri şekil içerisinde altta gösterilmiştir. Bu yer modeli ve parametreleri aynı kalacak şekilde yeni modelleme bu kez Dipol Azimutal (DA) dizilimi için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen polar diagramlar Şekil 7 de gösterilmiştir. Şekil 6 da ele alınan AB/2 aralıkları bu modellemede aynen kullanılmıştır. Şekil 7 nin incelenmesine göre küçük araştırma derinliklerinde çembersel bir görünüm veren polar diagramlar elektriksel akımın anizotropik kayaç ortamında akışına bağlı olarak belirgin şekilde elips biçimine dönüşüp iletkenlik yönünü dipol dipol dizilimine göre daha iyi işaret etmektedir.




Şekil 6. l;Z trop ve homoje öı:tü ta? ası al!ında anizo rop kayaç ortamı ile tanımlapmış ıkı tabakalô model uzerındekı Dıpol Dıpol (DD) dızılimi ıçin hesaplanan polar dıagramları. a=45 olarak alınmıştır.



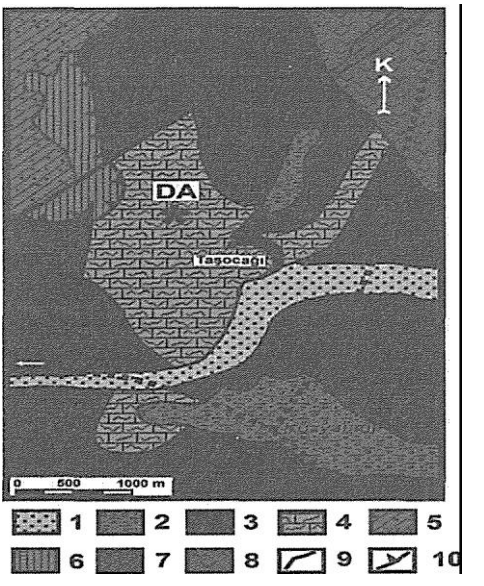

Şekil 7. Homojen ve izotrop örtü tabakası altında anizotrop kayaç ortamı ile tanımlanmış iki tabakalı model üzerindeki Dipol Azimutal (DA) dızilimi için hesaplanan polar diagramları. a.=45° olarak alınmıştır.

Modellemelerde doğrusal elektrod dizilimleri anizotropik bir ortam için görüntülenen elipsin eksen uzunluk oranları "A değerine eşit olurken dipol azimutal (DA) dizilimi için yapılan modellemede elipsin eksen oranları "A5 büyüklü nü ortaya koyarak anizotropiyi daha belırgin olarak görüntülemektedir.

## 3 KOZYATAĞI ARAZİ UYGULAMASI

Azimutal özdirenç ölçüm sonuçlarının polar diagramlar olarak görüntülenmesi yapılarak anizotropinin geliştiği doğrultular incelendiği bilinmektedir (Matias, 2002). Polar diagramlar bir elips göıünümünü ortaya koyarsa düzenli bir anziotropinin varlığından söz edilir.

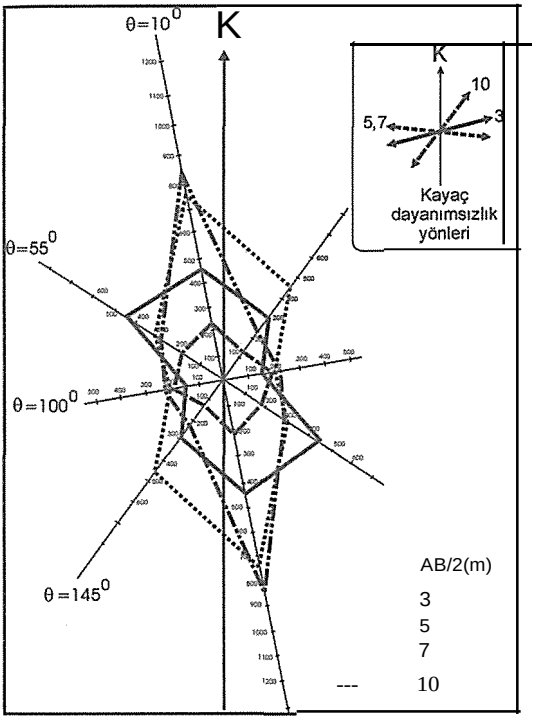
İstanbul Kozyatağı civarındaki bir taş ocağı yakınında dipol azimutal dizilimi kullanılarak el ktrik özdirenç sondajları yapılmıştır. Kireçtaşlarının egemen olduğu ve yüzeylenme yaptığı çalışma sahasında (Şekil 8) karstik ortam içerisinde bulunan ocağa ek olarak yeni bir taş ocağının açılması planlanmıştı. Ocağın açılması ile ilgili olarak en iyi kazma ve hafriyat işlemlerinin hazırlıklarına katkı sağlamak amacıyla kayaç anizotropisinin araştırılmasında jeofizik çalışmalar gerçekleştirildi. Arazi çalışmalarının ilk aşamalarında Kuzeı doğrultusundan başlayarak 10°, 55°, 100 ve 145° azimutal yöndeki profiller öncelikle hazırlanmıştır.



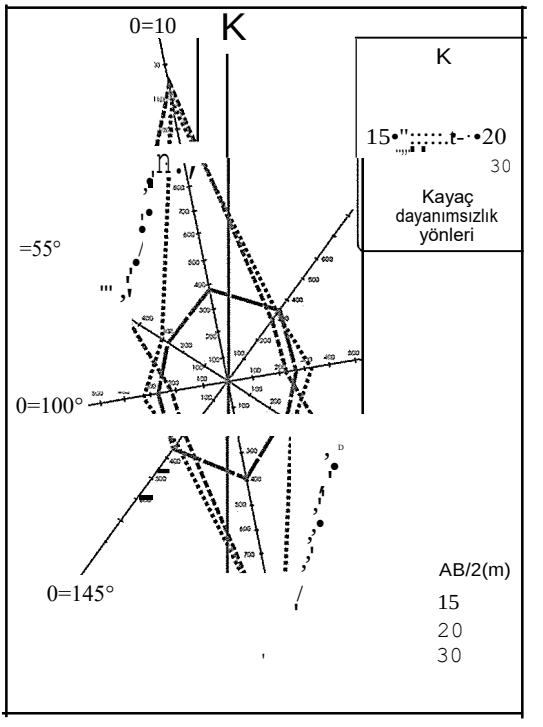

Şekil 8. Kozyatağı çalışma sahası ve jeolojisi. 1=Güncel alüvyon, 2=Çakıl-kum-silt, 3=Şeylli kireçtaşı, 4=Karstik kireçtaşı, 5=Kumtaşı, 6=Kuvarsit, 7=Y. Kireçtaşı, 8=Arkozlu birim, 9=Fay, l0=Bindirme, DA=Dipol Azimutal özdirenç ölçüm merkezi.

Bu dizilimde 8 döndürme açısı küçük değerlerden başlayarak büyük değerlere doğru artacak şekilde çalışmalar yapılır. Oluşan yeni elektrod dizilimi geometrisinde ölçüler alınmıştır. Böylece AB/2=3-30 metre arasında belirlenen sistematik aralıklar ve r-açıklıkları (Şekil 1) kullanılarak bu 4 profilde ayrı ayrı düşey elektrik sondaj (DES) ölçümleri DA dizilimi ile yapılmıştır. Yüksek akım yoğunluğu ile yapılan bu ölçümlerde derinlere doğru devam eden kalın karstik kireçtaşı içerisinde egemen olan karstifikasyon elektrik anizotropi parametı·eleri cinsinden araştırılmıştır.

Yapılan ölçümlerden AB/2=3, 5, 7 ve 10 metre açılımları ıçın çizilmiş polar diagramlar ve yorumlanan kayaç dayanımsızlık uzanımları Şekil 9 da görüntülenmiştir. Şekil 10 ise AB/2= 15, 20 ve 30 metre açıklıkları için elde edilen polar diagramları vermektedir. Her iki şekilden de izlendiği üzere Kozyatağı sahasındaki karstik kireçtaşındaki dayanımsız yani kazmaya ve daha elverişli uzanımlar yaklaşık doğu batı yönünde gelişmektedir.




Şekil 9. Kozyatağı sahasında AB/2= 3, 5, 7 ve 10 metre aralıkları için elde edilen dipol azimutal özdirenç polar diagramları ve karstik kireçtaşı dayanımsız (aşın karstifikasyon) uzanım yönleri.




Şekil 10. Kozyatağı sahasında AB/2= 15, 20 ve 30 metre aralıkları için elde edilen dipol azimutal özdirenç polar diagramları ve karstik kireçtaşı dayanımsız (aşırı karstifikasyon) uzanım yönleri.

## 4 SONUÇ

Kayaçlarda karstifikasyon, alterasyon ve bozuşma gibi oluşumların meydana getirdiği anizotropinin yeryüzünden yapılan jeofizik ölçümler ile araştırılıp ortaya konulması dipol azimutal özdirenç tekniği ile olası görülmektedir. Gerek modelleme çalışmaları ve gerekse arazi çalışmaları ile verilen sonuçlardan sözü edilen anizotropi bulguları belirgin olarak tanımlanabilmiştir. Bu alanda dipol azimutal dizilim gözardı edilemeyen bir üstünlüğe sahiptir.

## KAYNAKLAR

Bolshakov, D.K., Modin, I.N., Pervago, E.V., Shevnin, V.A., 1997. The new approach to the analysis of the azimuthal resistivity data over anisotropic media. *EAGE 59th Conference, Geneva - 1997,* Pl39.

Hagrey, S. A. al, 1994. Electric study of fracture anisotropy at Falkenberg, Geımany: *Geophysics,* **59,** 881-888.

Kathryn A. Watson, Barker, R.D., 1999. Differentiating anisotropy and lateral effects using azimuthal resistivity offset Wenner soundings, *Geophysics* 64, 739-745.

Kunetz, G., 1966. *Principles of direct current resistivity prospecting:* Geopublication Associates.

Leonard-Mayer, **P.,** 1984. A surface resistivity method for measuring hydrologic characteristics of jointed formations,U.S. *Bur. Mines Report of lnvestigations 8901.*

Matias, **S. M.** J., 2002. Square array anisotropy measurements and resistivity sounding interpretation, *Journal of Applied Geophysics* 49, 185- 194.

Ritzi, R.W., Andolsek, R. H., 1992. Relation between anisotropic transmissivity and azimuthal resistivity surveys in shallow fractured, carbonate flow systems: *GroundWater* 30, 774-780.

Taylor,R.W., Fleming,A. H., 1988. Characterising jointed systems by azimuthal resistivity surveys: GroundWater 26, 464-474.

# Plaka Yükleme Model Uygulaması, Plaka Şeklinin Taşıma Kapasitesine Etkisi

## *Model Application of Plate Loading, Effect of Plate Shape on Carrying Capacity*

K.Doğan & M.K.Gökay
(Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya)

ÖZET: Plaka yükleme deneyleri, genellikle büyük çaplı mühendislik yapı temellerinin altında bulunan formasyonların (toprak veya kayaç) taşıyabilecekleri düşey yükün merak edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada da maden makineleri altında bulunabilecek zeminin taşıma kapasite sınırları laboratuar ortamında yapılan deneylerle bulunmak istenmiştir. Bu amaçla kullanılan zayıf malzeme modelinde alçı ve alçı&kum karışımı malzemeler kullanılırken, sağlam kayaç zeminleri modellemek için de beton karışımlar kullanılmıştır. Bu zeminlerin üzerine yük veren plakaların farklı şekillerde olmaları zeminin taşıma kapasitesinde bir farklılığa neden olabilir mi sorusunun cevabı bu araştırmanın özünü oluşturmaktadır. Farklı modellerin farklı şekildeki plakalarla denenmesi sonucu elde edilen düşey gerilme-düşey deformasyon eğrileri farklı olmuştur.

ABSTRACT: Plate loading tests have been in progressed when the load carrying capacity of ground formations were wondered. In this study, load carrying capacity of mine ground under mining machineries was planned to research through the laboratoıy testes. For this purpose, weak ground formations were modeled through the gypsum, gypsum & sand mixture and hard ground formations were modeled by concrete mixture material models. The selected models were tested by means of different shaped plates. Plate shape and size effects on load carrying capacity of models were analyzed according to their slopes obtained from their vertical stress-vertical deformation curves.

**1 GİRİŞ**

Mühendislerin öngördüğü ve alınması gerekli bütün tedbirlerle yapılan mühendislik hizmetlerinin (yol, şev basamağı, maden ocaklarında ve yeraltı uygulayan nesnelerin zemine batmasına neden olacaktır. Mühendislik hizmetinin kendisinde oluşacak fıssür ve çatlakların ilerlemesi sonucu belki de yük taşıyan veya aktaran kayaçlarda nedenle her birinin beklenmedik kırılmalar (yenilme) olacaktır. Mühendislik hizmetlerinin; inşa edilen; tünel, galeri, maden kuyusu, viyadük, köprü, yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde baraj kemeri, liman, kara ve demir yolu, bina, aşık ocak şevi, yol yarması, şehir içi kayaç yarmaları veya gökdelen gibi yapılar bunların kendilerini ve topuğu, tahkimat, galeri v.d.) altında bulunan temeller yüzünden yıkılmaları sonucu ortaya zeminin, üzerindeki yükü taşıyamayacak çıkacak kayıpların miktarı konusunda özelliklerde olması; mühendislik hizmetini tahminler yapılabilir.
etkileyecek ve zaman içinde ilgili yükü Açık maden ocaklarında ve yeraltı zemine batmasına neden olacaktır. formasyonların yük taşıma kapasiteleri, Mühendislik hizmetinin kendisinde oluşacak bunların mukavemet özelliklerine bağlıdır fıssür ve çatlakların ilerlemesi sonucu belki (Hoek & Brown, 1980; Haza v.d., 2000). Bu de yük taşıyan veya aktaran kayaçlarda nedenle her birinin kendi özelliklerinden beklenmedik kırılmalar (yenilme) olacaktır. dolayı farklı yük taşıma karakterine sahip Mühendislik hizmetlerinin; inşa edilen; olması normal bir beklentidir. Kayaçların tünel, galeri, maden kuyusu, viyadük, köprü, yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde

kullanılan test yöntemi plaka yükleme deneyidir. Bu deney arazide çok büyük boylu plakalar üzerinde yapılabileceği gibi (DeMerchant v.d., 2002) model kayaç uygulamalarıyla laboratuarlarda da yapılabilmektedir. Bu deneylerinin model malzemeler üzerinde yapılması, modeli oluşturan malzeme özelliklerinin değişiminin plaka yükleme test sonuçlarını nasıl etkilediğinin daha kolay incelenmesini sağladığı için önemlidir. Bir kayacın yük taşıma kapasitesi, bu kayacın mekanik özelliklerine bağlı olduğu kadar, biraz da yükleme plakasının şekline bağlıdır (Önalp, 1983-1984; Gökay, 1988; Doğan, 2004).

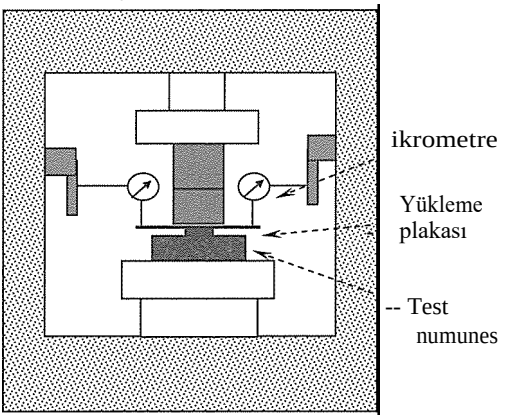
Selçuk Üniversitesi, Kaya Mekaniği Laboratuarında yaptığımız bu çalışmada önceden hazırlanan model kayaçlar üzerinde plaka yükleme deneyleri yapılarak, yükleme plakası şeklinin farklı model kayaçlarda nasıl sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada arazide karşılaşılabilecek farklı kayaçlara örnek oluştumlabilecek, a) homojen-yumuşak model (alçı), b) homojen-yumuşak ve gevrek model (alçı-kum karışımı), c) gevrek (beton) modeller hazırlanmıştır. Bu modeller üzerinde yapılan yükleme deneylerinde kare, dikdörtgen, daire ve üçgen şekilli taban plakaları kullanılarak, şekil farklılığının ortaya çıkardığı değişimler (düşey gerilme-düşey deformasyon eğrileri) incelenmiştir.

## 2 LABORATUAR DENEYLERİ

Model laboratuar çalışmalarında içeriği önceden belirlenmiş numuneler belirli karakterdeki kayaç-zeminleri temsil etmek için hazırlanmıştır. Bu numunelerin homojen yapıda ve çatlaksız olarak hazırlanması için deney numunelerinin her birinin içerikleri özenle kontrol edilmiş ve homojenliği sağlamak amacıyla yeterince karıştırıldıktan sonra model kalıplarına dökülmüştür.

Bu model çalışmasında özellikle üzerinde durulan konu, yumuşak ve dayanıklı kayaçlar arasındaki yük taşıma farklılığını grafiksel olarak yakalamaktır. Yapay kayaç olarak da adlandırılabilecek olan deney modelleri doğal hammaddeler kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan malzemeler; alçı, kum ve çimentodur. Plaka yükleme deneyi için hazırlanan numunelerin standart ELE marka hidrolik preste (Şekil 1) yüklenebilecek boyutta olmasına özen gösterilmiştir.

Numune hazırlama aşamasında öncelikle 20x20xlücm boyutundaki kalıplarda alçı numuneleri (%100 sıva alçısı) ve alçı&kum karışımı numuneler (hacimsel olarak %50 sıva alçısı ve %50 ince sıva kumu) hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılacak beton deney numuneleri ise; $C_{20}$ hazır beton




Şekil 1. Laboratuarda yapılan plaka yükleme deney düzeneği.

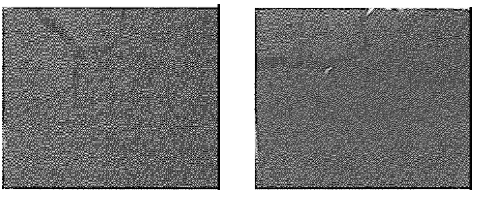
karışım oranları kullanılarak Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı laboratuarında hazırlanmıştır. Beton numunelerin boyutları 15xl5xl5cm ve 20x20xl0 cm boyutlarında olmak üzere iki farklı model olarak hazırlanmıştır. Model deney numuneleri; her örnek gmbunda en az 25'er numune olacak şekilde hazırlanmıştır. Beton numunelerinin frizlenme işlemlerini tam olarak tamamlamaları için her numune 28'er gün bekletilmiştir. Model deneyi yapmaya hazır bu nedenlerle biraz zaman almıştır.

Laboratuarda yapılan plaka yükleme deneylerinde kullanılan çelik plakalarının boyutları (Çizelge 1), model numunelerde test yapmaya uygun olacak boyutta tasarlanmıştır Çelik yükleme plakalarının kalınlıkları uygulanan düşey yükün homojen olarak modeller üzerine dağıtılabilmesi amacıyla 2 cm olarak seçilmiştir. Deneyler ELE marka hidrolik presde, her numune

Çizelge 1. Plaka yükleme deneylerinde ku11anılan plakalarm boyutları.

| Plaka şekli | Plaka bovutu (cm) | Plaka taban alanı ($cm^2$) |
|---|---|---|
| Kare | 7x7 | 49,00 |
| Dikdörtgen | 4x7 | 28,00 |
| Uçgen | 7,00 x 6,06 | 21,21 |
| Daire | (çap) 7,0 | 38,46 |

üzerine yükleme plakası tam ortada yer alacak şekilde yerleştirildikten sonra gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında deney yükleme plakasının iki tarafından okuma yapabilecek şekilde yerleştirilen mikrometreler (dial gauge) yardımıyla düşey deformasyon okunmuştur. Daha sonra ortalaması alınan bu iki mikrometre okumasına karşılık, her okumanın yapıldığı yük değeri de kaydedildiğinden bu iki ölçüm değerinin kullanılması sonucu elde edilen gerilme-deformasyon grafikleri deney sonrası değerlendirmelerde kullanılmıştır. Deneyler sırasında model numuneler kırıldığında, yük plakalarının bazen model numunelerin içine saplandıkları, bazen de numune yüzeyinde sadece iz bırakarak deneyi tamamladıkları gözlenmiştir. Bu durum ve plakaların durumları model numune üzerinde çekilen fotoğraflarla belgelendirilmiştir (Şekil 2 ve 7).

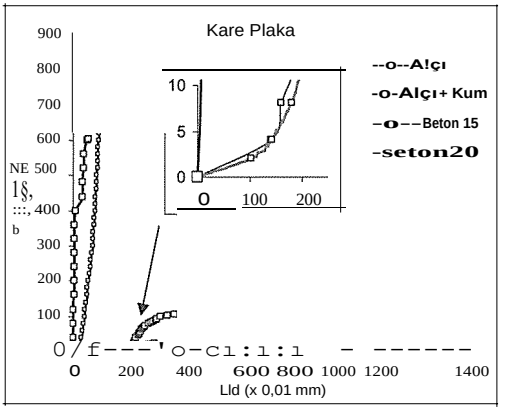


Şekil 2. Beton numuneler üzerinde kare plakayla yapılan deney sonucunda numune üzerinin görüntüsü.

## 3 DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Bu araştırma kapsamı içinde üzerinde deney yapılan numuneler ve temsil ettikleri doğal kayaçlar özetlenirse, bu modellerin zayıf ve sağlam kayaçları temsil etmek için hazırlandıkları görülecektir. Hazırlanan model numune boyutuna uygun olarak seçilen ve bir boyutu en az 7 cm olacak şekilde hazırlanan yükleme plakaları kullanılarak elde edilen düşey gerilme-düşey deformasyon eğrileri (Şekil 3-6) her plaka şekli için ayrı ayrı çizilmiştir.

Aynı taban alanına sahip kare şekilli plakadan elde edilen grafik (Şekil 3) incelendiği zaman, beton model numunelerin çok az düşey deformasyon verdikten sonra kırıldıkları (gevrek davranış) görülmektedir. Aynı durum alçı ve alçı-kum model numunelerinde ise daha fazla düşey deformasyondan sonra numunelerin kırılması şeklinde (elasto-plastik davranış) gerçekleşmiştir. En fazla düşeş deformasyon vererek kırılan model numuneleri alçı numuneler olmuştur.




Şekil 3. Kare plaka ile yapılan yükleme deney sonuçları.

Sadece alçıdan yapılan numuneler alçı-kum karışımından elde edilen numunelere göre daha fazla yüke daha fazla deformasyon vererek dayanmıştır. Alçı-kum karışımı numune ise kazandığı gevrek yapı nedeniyle çok fazla dü]ey gerilmeye dayanamayarak (22,44 kg/cm) 2,84 mm düşey deformasyon vererek kırılmıştır. Alçı numune ise 224,48 $kg/cm^2$ gerilmede 11,90 mm deforınasyon vererek kırılmıştır. Bu değerler beton numunelerden elde edilen değerlere göre çok farklılık göstermektedir.

Bu şekildeki Beton-15 numunesi 15x15x15 cm boyutlu model numune üzerinde yapılan yükleme deneyi sonucunu

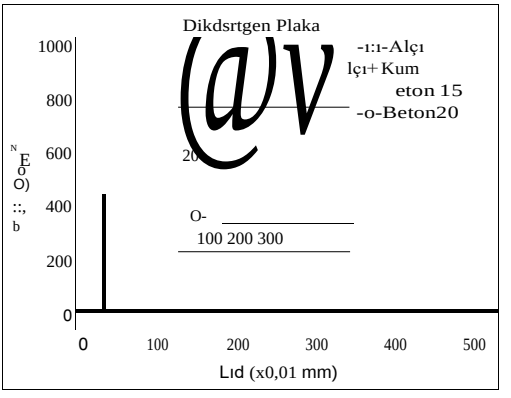
göstermektedir. Bu numunenin kırılma anındaki gerilme değeri 604,80 kg/cm$^2$ olarak belirlenirken, düşey deformasyon değeri 0,52 mm olarak ölçülmüştür. Bu değerler Beton-20 model numunesi için 808,00 kg/cm$^2$ ve 1,24 mm'dir.

Bu değerler gerçek arazilerde beton gibi sağlam kayaçların benzer deformasyon göstermesinin bekleneceği yönündedir. Ağırlığı yaklaşık 12930 kg gelen CAT 950 tekerlekli yükleyici veya ağırlığı yaklaşık 65550 kg gelen CAT 992B tekerlekli yükleyicinin (Cat, 1977) her tekerinin yere temas yüzeyinin kare olduğu varsayılırsa, buradan yola çıkılarak bu maden makinelerinin kepçelerinde yük yokken zemine uyguladıkları düşey gerilme yaklaşık olarak tahmin edilebilecektir. Bu hesaplama için gerekli tekerlek-zemin temas yüzeyinin 40x40 cm'den 70x70 cm'ye kadar değişebileceği varsayılırsa yukarıda ağırlıkları verilen maden makinelerinin kepçeleri boşken maden yollarında ve maden basamaklarında bulunan kayaç-zemine uyguladıkları gerilme yaklaşık olarak 2,00-5,00 kg/cm$^2$ arasında değişebilecektir.

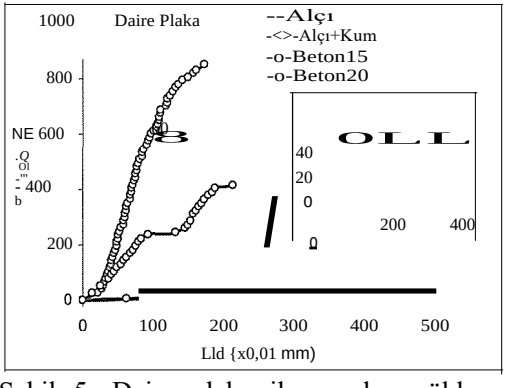
Tekerler altındaki kayaca verilen bu yük değerleriyle Şekil 3'de verilen gerilme değerleri karşılaştırıldığında, en düşük dayanım değerine sahip model olan kum-alçı karışımı numunelerinin laboratuarda 22,44 kg/cm$^2$ düşey yüke dayanması dikkate alınırsa, ilgili model numuneye benzer kayaç zeminlerinin yukarıda verilen makine (tekerlekli kepçe) ağırlıklarına dayanabileceği sonucu çıkmaktadır. Bunun yanında unutulmaması gereken unsur, laboratuarda yapılan deneylerle arazi deneyleri arasında bulunan "ölçek farklılığı" ve çatlaklılık durnmu farklılıklarının değerlendirilmeye alınması gerekliliğidir.

Eğer tek eksenli deney sonuçlarında uygulanan genel laboratuar-arazi değer azaltma oranı olan 1/8-1/1O değerleri bu model çalışması için de uygulanırsa alçı-kum modeline benzer arazi yapılarının yaklaşık 2,24 kg/cm$^2$ düşey plaka yükleme gerilmesine kadar dayanması bekleneceğinden ilgili yükleyiciler altında ezilerek dağılacağı sonucu çıkarılabilecektir. Bu değerler alçı model numunelere benzeyen arazi ortamları için 22,45 kg/cm$^2$ düşey dayanıma erişebileceği için (laboratuar deney sonucu 224,48 kg/cm$^2$ ), ilgili yükleyicilerin zemine uyguladıkları yükü taşıyabilecektir.

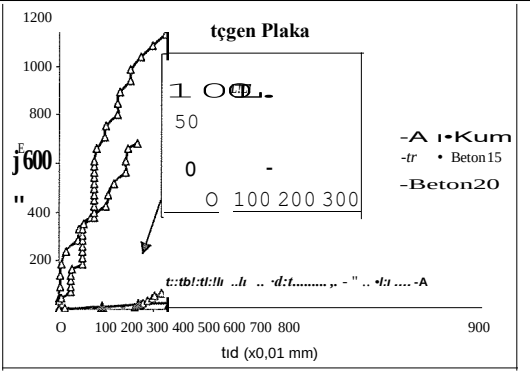
Aynı hesaplamalar madenlerde kullanılan kamyonlar, ekskavatörler, **LHD** makineler, draglayn ve diğer ağır maden makineleri için de hesaplanabilir. Bu araç ağırlıklarına bunların kepçelerinde veya kasalarında taşıdıkları cevher veya pasa yükü de ilave edilerek üzerinde dolaştıkları formasyonlara uyguladıkları düşey gerilme aynca detaylı




Şekil 4. Dikdörtgen plaka ile yapılan yükleme deney sonuçları.




Şekil 5. Daire plaka ile yapılan yükleme deney sonuçları.




Şekil 6. Üçgen plaka ile yapılan yükleme deney sonuçları.

bir şekilde araç elkitaplarından elde edilecek değerlerle bulunabilecektir. Beton model numunelerin zaten ilgili yükleri taşıyabileceği grafiklerden (Şekil 3-6) anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde dikdörtgen, üçgen ve daire kesitli plakalardan elde edilen grafikler analiz edildiğinde birbirlerine benzeyen grafiklerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bütün grafiklerde beton model numunelerden elde edilen eğrilerin dik ve dike yakın eğimde çıkması alçı ve alçı-kum modellerden elde edilen grafiklerin de yataya yakın eğimde olmaları bu modellerin zayıf ve dayanıklı arazi kayaçlarına örnek olabileceklerini göstermektedir.

Sadece daire kesitli yükleme plakası; beton modellerden elde edilen değerler için, diğer plaka deneylerinden elde edilen grafiklerden biraz farklı eğim vermiştir. Bunun nedeni ilgili model numunelerindeki mekanik özellik farklılığı olabileceği gibi, daire şekilli plakada köşe olmaması elde edilen bu sonuçta etkili olabilir. Çünkü taban plakalarında köşelerin olması, kayaç-zemine aktarılan yükün plaka köşe noktalarından kayacı kırınasında etkili olduğu gözlenmiştir (Şekil 2 ve 7). Köşeli taban plakaları deneylerinde hazırlanan model numunelerin çoğunda çatlakların köşelerle irtibatlı olmasının bir nedeni bu olabilir.

İlgili deney grafiklerinde, beton model numunelerden elde edilen eğriler ani sekmeler şeklinde deformasyon atımları vermişlerdir. Kare plaka dışındaki dikdörtgen, daire ve üçgen plaka grafiklerinde beton numuneler belirli gerilme seviyelerinde ani düşey deformasyon vermişler fakat bu deformasyonlar plastik davranış gibi bu gerilme seviyesinden sonra sürekli olmamıştır. Yaklaşık 0,05-3 mm arasında değişen bir düşey deformasyondan sonra beton numunelerin yük almaya devam ettikleri izlenmiştir. Bu ani düşey deformasyonlar, model kayaç içine oluşan küçük çatlak anlarıyla ilgili olmalıdır. Bu defoımasyonlardan sonra model beton numunelerin hemen hemen aynı veya çok az bir eğim farklılığı (eğim dikliğinde azalma) göstererek yük almaya devam etmesi aynı zamanda dikkat çekicidir. Bu durum zayıf kayaçların modellendiği alçılı numunelerde gözlenmemektedir.

Alçılı model numuneler daha deneyin başlangıcında numune üzerindeki yük yok denecek kadar az iken 1 mm'den 3 mm'ye kadar düşey deformasyon verdikten sonra yük almaya başlamışlardır. Bu sonuç ilgili kayaç yüzeylerindeki zayıf yüzey dokusunda meydana gelen ilk deformasyona bağlanmıştır. Bunlar pekiştikten sonra alçı model numunelerde yük alma başlamış.

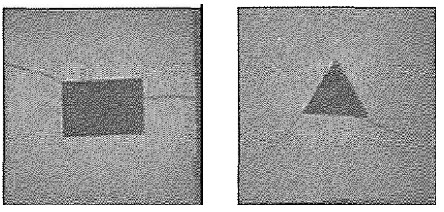
Alçılı numunelerin dayanabildikleri düşey yük taşıma kapasitesiyle beton model numuneler karşılaştırılınca, betona göre alçılı numuneler 5-1O kat daha az bir yük taşıma kapasitesi gösternıişlerdir.

Beton numunelerin (beton-15 ve *beton-20* numunelerinin) kırıldıkları düşey yük gerilmeleri ele alınırsa kare şekilli plaka için *604-808* k /cm$^2$, Dikdörtgen plaka için 705-*807* kg/cm , daire plaka için *850-415* kg/cm$^2$ ve üçgen plaka için *681-1132* kg/cm$^2$ değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kare ve dikdörtgen plakalar için hemen hemen benzer sonuçları gösterirken daire ve üçgen plakalarda beton-20 model numuneleri için biraz farklılık elde edilmiştir. Zayıf formasyonların modellendiği alçılı modellerin (alçı, *alcı-kum)* kırıldıkları gerilmeler ele alındığında; kare plaka için *224-23* kg/cm$^2$, dikdörtgen plaka için *65-47* kg/c;:?°, daire plaka için *63-52* kg/cm$^2$ ve üçgen plaka için 118-28 kg/cm$^2$ oldukları

görülmektedir. Bu değerlere göre kare şekilli plaka için alçı model numunesi en fazla düşey gerilme değeri olan 224 kg/cm$^2$ değerinde yenilmiştir. Dikdörtgen ve daire şekilli plakalar benzer sonuçlar vererek 40-65 kg/cm$^2$ değerlerinde kırılmışlardır.

## 4 SONUÇLAR

Aynı boyuttaki plakalarla yapılan model numuneler üzerinde yapılan plaka yükleme deney sonuçları Şekil 3-6'da verilmektedir. Bu grafiklerin genelinde görüldüğü gibi sadece alçıdan yapılmış model numuneler, denemesi yapılan diğer model numunelere (alçı&kum ve beton modeller) göre daha fazla elasto-plastik özellik göstermektedir. Alçı modeller plaka yükleme deneyi sırasında üzerlerine birim alan başına daha fazla yük alırken, daha fazla deformasyona uğramışlardır. Bu özelliklerinden dolayı alçı model numuneler daha geç yenilmektedir. Deneyler sırasında alçı-kum karışımından yapılan model numuneler benzer grafik eğimlerini gösterirken, numunelerin daha çabuk (alçı numuneye göre daha az deformasyon vererek) yenildikleri göıülmüştür.



Şekil 7. Alçı-kum model numuneler üzerinde yapılan plaka yükleme deneylerinde plakaların numuneye gömülerek numuneyi kırınası.

Alçı&kum model numunelerinde, plakalar üzerine verilen yük, plakanın numune içerisine diğer model numunelere göre daha hızlı gömülmesine ve parçalanmasına sebep olmuştur. Bu sonuç deney sonrası çekilen fotoğraflardan da açıkça görülebilir (Şekil 7). Beton numunelerin grafikleri bu numunelerin gevrek (brittle) davranışta olduğunu göstem1iştir.

Bu davranış şekli; gevrek kayaç-zeminlerde olduğu gibi çok fazla düşey deformasyon vermeden daha fazla yük taşıyabilme özelliğini göstermektedir. Bu yük taşıma davranışı bazen çok sakıncalı olabilmektedir. Bu sakınca ve mühendisleri çekindiren durum; gevrek kayaç-zemininin davranışında önemli bir değişiklik olmadan (grafik eğimi önemli bir değişim göstermeden) kayacın aniden kırılabilmesidir. Üzerine çok ağır maden makineleri yerleştirilen kayaç-zeminlerin aniden kırılarak makinenin zarar görmesine neden olması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle ilgili kayaçların yük taşıma kapasitelerinin deneylerle bulunması işletmeler için yararlı olacaktır. Çok ağır maden makinelerini taşımak zorunda olan kayaçların yük taşıma durumlarının önceden araştırılmasının yararları madenin ileriki yıllarda elde edeceği performansı etkileyecektir.

## KAYNAKLAR


Cat (1977), Caterpillar performance handbook, 1977, *Cate1pillar,USA.*

DeMerchant, M.R., Valsangkar, A.J. and Schrinver, A.B., (2002), Plate load test on geogrid-reinforced expanded shale lightweight aggregate, *Geotextiles and Geomembrances,* V20, ppl 73-190.

Doğan, K.(2004), Plaka Yükleme Deneyi Uygulamaları ve Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya

Gökay, M.K. (1988), Bearing capacity analysis of layered rock for an underground mine, *Master Thesis, Middle East Technical University,* Ankara.

Haza,E., Gotteland, P. and Gourc, J.P. (2000), Design methods for loca! on a geosynthetic reinforced soil structure, *Geotechnical and Geological Engineering,* Vl8, pp243-267.

Hoek, E. Ve Brown, E.T. (1980) *Underground Excavation in Rock,* The Inst.Of Min. And Metal. London, UK.

Köseoğlu, S. (1987), Temeller I, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul,

Önalp,A.,(1983-*1984),İnşaat Mühendislerine geoteknik bilgisi 1-2,* K.T.Ü. Trabzon.

# Uzun Ayak Kömür Kazı Arınında Schmidt Sertliği ve Tavan Basıncının Zamana Bağlı Değişimi

# *Variation of Schmidt hardness and roof pressure in longwall coal excavation face with time*

N, Bilim & İ. Özkan
*Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA.*

ÖZET: Mekanize uzun ayak madenciliğinde tavan gerilmelerini kontrol altına almak için sistematik bir kazı programının uygulanması gerekmektedir. Kazı hızının yavaşlatılması tahkimata gelen basınç değerlerinin artmasına neden olmakta ve sonuçta tahkimat elemanlarının batması, ayak arkası yangın gibi beklenmeyen birçok problem oıiaya çıkmaktadır. Uygulayıcı mühendisler mümkün olduğu kadarı ile kazı hızını yüksek tutma eğilimindedirler. Tamburlu kesici-yükleyici makina açısından ise, arının ikincil arazi gerilmelerine maruz kalması neticesinde bazı durumlarda kazının kolaylaştığı bilinmektedir. Bu durumda kazıcı makina daha iyi bir performans gösterebilmektedir. Ancak tavan basınç değerlerinin aıimasını beklemenin getirdiği olumsuzluklarda göz önüne alınırsa, tahkimat basıncı ve kazı kolaylığı arasındaki kritik noktanın belirlenmesinin önemli olduğu açıktır.

Yukarıda ortaya konan problem, geri dönümlü-göçertmeli uzun ayak madenciliği yapan ve mekanize kazı sistemi kullanan bir yeraltı maden ocağında tespit edilmeye çalışılmıştır. Kazı kolaylığını belirlemek amacıyla kömür arınında Schmidt çekici ile yüzey sertliği ve tahkimat basınçlarındaki değişimler zamana bağlı belirlenmiştir. Analizler neticesinde ölçümlerin yapıldığı maden ocağı için tahkimat ve kazı kolaylığı açısından kazı öncesi en uygun bekleme zamanı belirlenmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT: It needs that systematical excavation program to check the roof pressure in mechanize longwall mining is carried out. If excavation speed decreases, than support pressure will increase. As a result, a lot of unexpected problems can occur, for example sinking of support and fire in gobe. Mining engineers want to provide as possible as high excavation speed. It is known that excavation carried out by druın shearer gets easier due to secondary fıeld stresses on face. However, if the increase of roof pressure values consider as negative effect, determination of critical point between roof pressure and excavation are important.

The problem was studied to determine in a underground mine which has retreating-longwall mining and using mechanical excavation system. To determine the facility of excavation, surface hardness variations formed due to roof pressures were determined with Schmidt hamıner on coal face. In addition, support pressures on shield were read with simultaneously time. As a result, to determine the optimum waiting time before excavation, statistical analyses were carried out and its interpretations were presented in this paper.

## 1 GiRiŞ

Yeraltı maden işletmelerinde tavan basıncının kontrol altında tutulması çok önemlidir. Yeraltında oluşturulan açıklıklara etkiyen bu basıncın kontrol dışına çıkması yeraltı boşluğunda duraylılık problemlerinin oluşmasını sağlar.

Uzun ayak kömür arınında tavan basıncı kömürün kazısı esnasında bazen oluml yönde bazen de olumsuz yönde etkili olabilmektedir. Tavan basıncı, kömürün kırılarak kazının kolay olmasını sağlarken bazen de kömürün sıkışarak daha sert olmasına sebep olmakta ve böylece kazıyı daha zor hale getirebilmektedir (Evenden ve Edwards, 1985). Bu durum, kömürün özelliği ile ilgilidir.

Öğretmen ve Akdaş (2004)'111 bir yeraltı kömür madeninde yapmış oldukları çalışmada, yürüyen tahkimatlardaki basınç değiʔimlerini incelemek amacıyla tahkımatlara basınç sensörleri yerleştirmişlerdir. Bu şekilde yaklaşık bir aylık süre içerisinde tahkimatlardaki basınç değişimlerini izlemişlerdir. Basınç değişimlerinin üretimin olmadığı zamanlarda arttığı ve tahkimatın emniyet basıncı değerine ulaştığında sabit şekilde kaldığı görülmüştür.

Akdaş ve ark. (2000) uzun ayak işletme metodu uygulanan mekanize bir kazı arınında kullanılan yürüyen tahkimatlara gelen tavan basıncının zamana bağlı olarak değişimini izlemişlerdir. Tahkimatlara ön yükleme yapıldıktan sonra tahkimatlara gelen basınç değişimlerinin artan, azalan yada durgun bir seyir izlediğini belirlemişlerdir. Bu tür farklılıklara arın kazısı öncesinde geçen zaman, tavan hareketlenmelerinin ve tavan tabakası durumunun sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Schmidt çekici 1948 yılında betonun sertliğini tahripsiz olarak belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (Schmidt, 1951). Schmidt çekicinin farklı vuruş enerjilerine sahip, L ve N tipi olarak adlandırılan iki farklı tipi bulunmaktadır. Ayday ve Göktan (1992) yapmış oldukları çalışmalar neticesinde, L ve N tipi Schmidt çekicinin sertlik değerleri arasında güçlü ilişkiler olduğunu göstermişlerdir. Uzun yıllardan b ri oldukça geniş bir kullanımı olan Schmidt çekici, ISRM (1978) ve ASTM (2001) tarafından standart test metodu olarak kabul edilmiştir. Schmidt çekici değeri ile tek eksenli basınç dayanımı arasında ve diğer mekanik özellikler arasında bulunan güçlü ilişkilerden dolayı beton ve kaya malzemesinin dayanımı tahmin etmekte geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Sachapazis, 1990; Shorey ve ark., 1984; Haramy ve De Marco, 1985; Xu ve ark., 1990; Cargill ve Shakoor, 1990; Deere ve Miller, 1966). Bunların dışında, kaya kazılabilirliğinde bir sınıflama parametresi (Karpuz, 1990), tavanını kontrolü (Kidybinski, 1968), kollu galeri açma makinası ve tünel açma makinası (TBM) performans değerlendirmesi (Dinçer, 1990; Tarkoy ve Hendron, 1975; Poole ve Fanner, 1978) gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

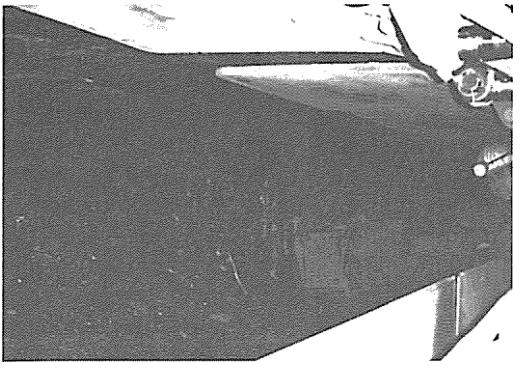
Bu çalışmada, tavan basıncının uzun ayak arınında kazılabilirliği nasıl etkilediği araştırılmıştır. Beton ve kaya tipi malzemelerin setliklerini ölçen Schmidt çekici yardımıyla, tavan basıncının artmasının kömürün sertliğine olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tavan basıncının kazılabilirliğe olan etkisi hakkmda bazı yorumlar yapılmıştır.

## 2 ÖLÇÜM ALANININ HAZIRLANMASI

### 2.1 Çayırhan Yeraltı Kömür Madeni

Bu makalede bahsedilen arazi ölçekli deneysel çalışmalar, Park Teknik Çayırhan yeraltı linyit işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Çayırhan kömür havzasında adreslenen A B F sektörlerinde kömür damarının **rt** bölgesinde 1.3-2 m arasında ara kesme (silttaşı) bulunmaktadır. Ara kesmenin üstünde i kömür damarı taban ayak, altındakı kömür damarı ise taban ayak şeklinde tanımlanarak, 9ift ayak şeklinde üretim yapılmaktadır. işletmede yaklaşık uzunluğu 1000 m, ayak boyu 220 m olarak hazırlanan üretim panolarında geri dönümlü-göçertmeli uzun ayak metodu uygulanmaktadır. Kömür üretimi tam mekanize bir sistemle yapılmaktadır. Ayak içerisindeki kömür L-tipi çift tamburlu

kesici-yükleyici makinalar ile kazılırken, arın içerisinde duraylılık kalkanlı yürüyen tahkimatlar ile sağlanmaktadır (Şekil 1). Ayak içindeki kazılan kömür, çift zincirli konveyör vasıtasıyla taşınarak taban yolundaki bant konveyöre nakil edilmektedir.



Şekil 1. Çayırhan linyit işletmesi ayak içi genel görünüm.

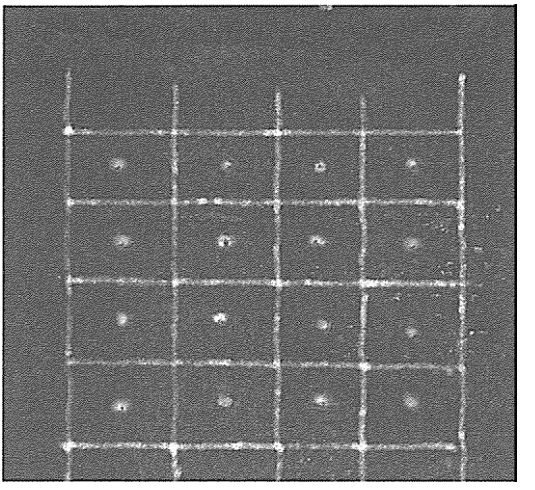
## 2.2 Ölçüm Alanının Oluşturulması

Kömür annında yürütülmesi planlanan çalışmaların B sektörünün çalışmakta olan B08 panosunun taban ayak annında yapılmasına karar verilmiştir.

Deneylerin uygulanması planlanan B08 panosunun taban ayağının uzunluğu 220 m, kömür damarının kalınlığı ise 1.5 m' dir. Ayak içerinde kullanılan yürüyen kalkanlı tahkimatların genişliği 1.5 m olup ayak içerisinde 145 adet bulunmaktadır.

Kömür arınındaki ölçüm alanının genişliği bir yürüyen tahkimatın genişliği (1.5 m) kadar, yüksekliği ise kömür damarının kalınlı ı ( - - m!. dar seçilmiştir. B?yl !ik:e 2.25 m buyuklugunde oluşturulan bır komtir arınında sertlik deneylerinin yapılması planlanmıştır. Seçilen bu alanda Schmidt sertliği deneylerinin düzgün bir şekilde uygulanabilmesi için kömür arınının üzerinde oluşan kavlaklar düşürülmüştür. Ayrıca Schmidt sertlik deneyi için gerekli düzgünlükte olmayan deney noktaları ISRM (1981) ve ASTM (2005)'e göre düzeltilmiştir.

Schmidt sertliği deneyleri için kömür üzerinde düzgün bir şekilde hazırlanmış olan ölçüm alanı, Schmidt çekici ölçümleri için sprey boya kullanılarak 0.14 $m^2$ alana sahip ızgaralara bölünmüştür. Daha sonra her bir ızgaranın ortası ölçüm noktası olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Şekil 2'de görüldüğü gibi ölçüm arını üzerinde toplam 16 adet ölçüm noktası oluşturulmuştur.



Şekil 2. Kömür arını üzerinde Schmidt serliği deneyi için ölçüm noktalarının belirlenmesi.

## 3 VERİLERİN TOPLANMASI VE ANALİZLER

B08 panosunun taban uzun ayak arınında uygulanması planlanan çalışmalar, 16 Şubat 2006 ve 23 Ağustos 2006 tarihlerinde taban ayak arınında hazırlanan ölçüm alanlarında (Şekil 2) gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yeni kazı yapılmış bakir annda yapılırken kazı çalışması yapılmamıştır. Bu çalışmada tavan basıncı okumaları ve Schmidt sertlik ölçümleri zamana bağlı olarak eş zamanlı yapılmıştır.

### 3.1 Kömür Arınınında Zamana Bağlı Schmidt Sertlik Deneyleri

Bu çalışmada, çok fazla ölçümün kısa zamanda alınabilmesi, alınan ölçümlerin ortalamasını, standart sapmasını ekranda gösterebilmesi ve ölçülen verileri hafızasına

kayıt ederek kolaylıkla bir bilgisayara (PC) aktarabilmesi özelliğinden dolayı L tipli dijital DIGI-Schmidt 2000 tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (Şekil 3).

Kömür arını üzerinde oluşturulan l.5xl.5 boyutlarındaki ölçüm alanı üzerinde belirlenen 16 adet ölçüm noktasında (Şekil 2) zamana bağlı Schmidt sertliği deneyi gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 0.14 $m^2$ alana sahip her ölçüm noktasına birer adet vuruş uygulanmıştır. Bu şekilde her ölçüm yaklaşık 5-1O dakika zaman aralığında yapılarak, arın üzerinden yaklaşık 60 dakika boyunca 16 Şubat 2006 tarihinde toplam 112 adet ve 23 Ağustos 2006 tarihinde ise toplam 192 adet arın sertlik değeri elde edilmiştir. Hazırlanan veri tabanı kullanılarak her bir ölçüm zamanında okunan 16 okumanın ortalaması alınmış ve böylece ilgili ölçüm zamanını temsil eden bir Schmidt sertlik değeri elde edilmiştir. Sonuçta kömür arınında 16 Şubat ve 23 Ağustos tarihlerinde gerçekleştirilen deneylere ait zamana bağlı değişimi gösteren sırasıyla 7 ve 12 adet Schmidt sertlik değeri belirlenmiştir.

Şekil 3. Deneylerde kullanılan L tipi dijital Schmidt çekici.

### 3.2 Tahkimat Basınçlarının Ölçülmesi

Yürüyen tahkimatların hidrolik aksamında kullanılan tüm basınç ünitelerinin maksimum test basıncı, 500 bar olduğu belirlenmiştir. Hidrolik ekipmanların yüksek basınca maruz kalmaması, tahkimat ve insan emniyetini sağlayabilmesi amacıyla sistem basıncı, emniyet valfı adı verilen sistemle emniyete alınmıştır. Sistemde 2 farklı türde basınç emniyet valfı bulunmaktadır (yaylı basınç emniyet valfı ve gazlı basınç emniyet valfı).

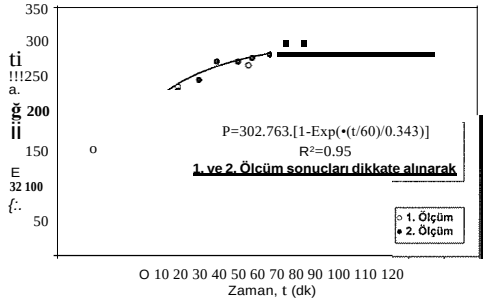
Ön kape silindirinde yaylı emniyet valfı kullanılmaktadır. Bunun dışındaki tüm emniyet valfları gazlıdır. Basınç emniyet valflarının açma basıncı istenilen değere ayarlanabilir. B sektöründe kullanılan tüm emniyet valfları 380 bar basınca ayarlıdır. Eğer sistemdeki basınç, emniyet valfının önceden ayarlanan basınç değerini aşarsa, basınç emniyeti fazla basıncı, sistemden hidrolik boşaltarak düşümıektedir.

Kömür arını üzerinde belirlenen ölçüm alanına gelen tavan basıncını zamana bağlı izlemek amacıyla ölçüm alanının bulunduğu yerdeki çift teleskoplu yürüyen tahkimatın üzerine gelen tavan basıncı arındaki Schmidt seıilik deneyleri ile eş zamanlı olarak 5-10 dakika arayla okunmuştur. Yürüyen tahkimatlar üzerinde iki adet manometre bulunmaktadır (Şekil 4). Bu manometreler üzerinden tahkimata gelen basınç değerleri belirlenebilmektedir. Bu şekilde, ölçüm alanının bulunduğu yerdeki yürüyen tahkimata gelen tavan basıncı sırasıyla 16 Şubat 2006 tarihinde toplam 6 defa ve 23 Ağustos 2006 tarihinde ise toplam 12 defa ölçülerek bir veri tabanına kayıt edilmiştir.

Şekil 4. Kalkanlı yürüyen tahkimatlar üzerine gelen basınç değerlerinin izlenebildiği manometreler.

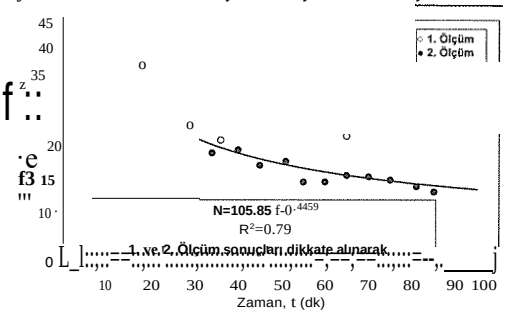
### 3.3 Analiz

Ayak içerisinde ölçüm yapılan arında bulunan yürüyen tahkimata etkiyen basınçların zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemek için, 5-1O dakika ölçüm aralıklarında tahkimata gelen basınç deg-erleri okunmuştur. Bu şekilde iki farklı tarihte oluşturulan kazı arınlarında iki kez ölçüm yapılmıştır. Birincisinde, tamburlu kesici-yükleyici makina kömür arınım kazdıktan 1O dakika sonra ölçümlere başlanmıştır. İkincisinde ise kazıdan 30 dakika sonra ölçümlere başlanabilmiştir. Ölçümler esnasında arın ve tahkimat biriminin ayak içerisindeki konumları hiç değişmemiş ve kazı çalışması olmamıştır. Birinci ve ikinci ölçümde basınç değişimlerinin zamana bağlı olarak nasıl değiştiği Şekil 5'de sunulmuştur. Şekil 5'den da görüleceği üzere, tahkimatlara etkiyen basınçlar zamana bağlı olarak artmakta ve daha sonra ise sabit bir eğilime kavuşmaktadır.



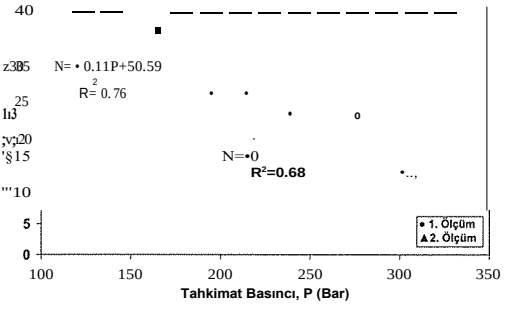

Şekil 5. Zamana bağlı tahkimat basıncı değişimleri.

Tahkimat basınç ölçümleri ile eş zamanlı Schmidt sertlik deneyleri gerçekleştirildi. Her bir ölçüm aralığında belirlenmiş olan Schmidt seıiliği değerinin (Şekil 2) ortalamaları alındı. Elde edilen ortalama Schmidt sertliği değerlerinin zamana bağlı olarak nasıl değiştiği Şekil 6'da sunulmuştur. Kömür arınındaki kömürün zamana bağlı olarak sertlik değerinin azaldığı Şekil 6'da görülmektedir. Arının sertlik değeri düşerken arında yaklaşık 30--45 cm kalınlığında tüm arını kapsayan büyük bir kavlağın yavaş yavaş oluştuğu gözlenmiştir.




Şekil 6. Kömür arını üzerindeki Schmidt sertliğinin zamana bağlı olarak değimi.

Kömür arını üzerinde belirlenen ölçüm bölgesinde eşzamanlarda alınan sertlik değerleri ile izlenen tahkimat biriminden okunan basınç değerlerinin değişimleri arasında bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7). Hazırlanan grafikten görüldüğü üzere tavan basıncı arttıkça kömür arınındaki sertlik değeri doğrusal olarak azalmaktadır. Bunun sebebi, zaman içerisinde artan tavan basıncı ile arındaki kömür damarı üzerine daha fazla yük gelmesidir. Artan basınç, kömür arınında yaklaşık 30--45 cm kalınlığında bir gevşek dilimin oluşmasına neden olmaktadır. Bu dilim ana kütleden ayrıldığı ıçın Schmidt sertlik değeri düşmektedir. Deney süreçlerinin bitiminde 30--45 cm kalınlığındaki kömür bloklarının kavlak şeklinde arındaki ana kömür kütlesinden ayrıldığı gözlenmiştir.




Şekil 7. Schmidt sertliğinin tavan basıncı ile değişimi (1. ve 2. ölçüm).

Schmidt sertliği değerleri bir saatlik bir zaman periyodu içerisinde yaklaşık olarak %30 değerinde bir azalma gösteımektedir

(Şekil 6). Dolayısıyla kömür arınındaki kömürün sertliğinin azalması kazının kolay olmasını sağlamaktadır.

Arındaki kazı çalışmalarında yeni kazı arınının hazırlandığı durumda Schmidt seıilik değerleri yüksek, öne çekilerek sıkılanan yürüyen tahkimatın ilk basınç değeri ise başlangıçta uygulanan sıkılama yükü kadar yanı düşük olacaktır. Eğer hazırlanan yeni kazı arını hemen tekrar kazılırsa, yeni kazı açıklığından dolayı yürüyen tahkimatın basınç değerleri hemen 400 bar seviyesine çıkacak ve böylece tahkimatın hidrolik direkleri büyük şok basınç (yaklaşık 180-200 bar) olayına maruz kalacaktır. Bu tahkimatın performansını, bakım aralığını ve ömrünü etkileyecektir. Aynı zamanda arın sert olduğu içinde kazıcı makinenin performansı olumsuz yönde etkilenecektir.

Kazı kolaylığı açısından tavana gelen gerilmelerin artmasını beklemek olumlu yönde etki yapmaktadır. Aynı zamanda kazı öncesi beklemekle, tahkimat basınç değerleri düzenli artarak yaklaşık 300 bar seviyelerine çıkacak ve yeni kazı sonrasında tahkimat basıncı yeni kazı açıklığı arttığından dolayı (tahkimat öne çekilmeden önce) 300 bar basınçtan 400 bar basıncına çıkacaktır. Bu durumda tahkimata gelen şok yük daha az (yaklaşık 100-120 bar) olacaktır. Buna karşın yeni kazı arınının hemen hazırlanmasından sonra yeniden kazı yapılırsa tahkimata gelen şok basınç yukarıdaki paragrafta ifade edildiği gibi yaklaşık 180-200 bar civarında olacaktır. Bu yüzden, hem kazının kolay yapılabileceği hem de tahkimat problemlerinin oluşmayacağı en uygun zamanın belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Şekil 8'de görülen grafik oluşturulmuştur.

Bu grafiğin hazırlanmasında analizlerin daha kolay yapılabilmesi için geliştirilen matematiksel eşitlikler kullanılmıştır (Şekil 5, 6 ve 7). Şekil 8'de sunulan grafiğin sol üst tarafında zaman-Schmidt sertliği, sağ üst köşesinde tahkimat basıncı-Schmidt sertliği ve sağ alt tarafında tahkimat basıncı-zaman davranışları görülmektedir. Tahkimat basıncı-Schmidt sertliği davranışı doğrusal iken diğer ikisi doğrusal değildir. Zaman-Schtnidt sertliği grafiğinde sertlik değerinin zaman eksenine asimptot (paralel) olmaya başladığı durumda ve eğrinin başlangıçtaki eğrilik yarıçapının değişmeye başladığı yerde sırasıyla A ve B noktaları belirlenmiştir (Şekil 8). Grafiğin sol köşesinden belirlenen A ve B noktalarından zaman eksenine ulaşılarak sırasıyla 68 dakika ve 19,5 dakika değerleri bulunmuştur. Aynı işlem Schmidt sertliği ekseninde yapılarak sertlik değerlerinin A noktası için 19 B noktası için 30 olduğu görülmüştür. Aynı çalışma grafiğin alt sağ alt tarafında olan tahkimat basıncı-zaman grafiğinde de yapılmıştır. Sonuç olarak öncelikle C ve D noktaları belirlenmiştir (Şekil 8). Bu noktalardan zaman eksenine ulaşıldığında 19,5 dakika ve D noktası ıçın 68 dakika değerleri belirlenmiştir. Ulaşılan sonuçların grafiğin sol üst köşesindeki zaman-Schmidt sertliği grafiğinin zaman ekseninden ulaşılan değerlerle aynı olduğu görülmüştür (Şekil 8). Yeni kazı arınında tekrar ikinci kazının 20 dakikadan önce yapılmasının kazıcı makine ve tahkimat açısından iyi olmayacağı görülmektedir. En uygun kazı için (kazıcı makine perforınansı ve tahkimatın şok basınç ile karşılaşmaması için) 68 dakikadan fazla kazı arının bekletilmemesinin gerektiği ortaya çıkmıştır. Eğer bekletilirse arında dökülmeler artacak ve böylece kazı yapılmaksızın arın-göçük mesafesi aıiacak ve tahkimata aşırı yük binerek kazı zorlaşarak ayak ıçı iş organizasyonu bozulacaktır. Belirlenen A, B, C ve D noktalarından grafiğin sağ üst köşesinde sunulan tahkimat basıncı-Schmidt sertliği grafiğine çıkılırsa (Şekil 8), bu taktirde uygun kazı için belirtilen 19,5-68 dk zaman aralığında uygun tahkimat basıncı ve Schmidt değerleri belirlenebilecektir. Çalışmanın gerçekleştirildiği kömür havzasında uygun kazı için Schmidt sertliği aralığının 20-38 iken tahkimat basınç aralığının ise 185-290 bar olduğu görülmektedir.

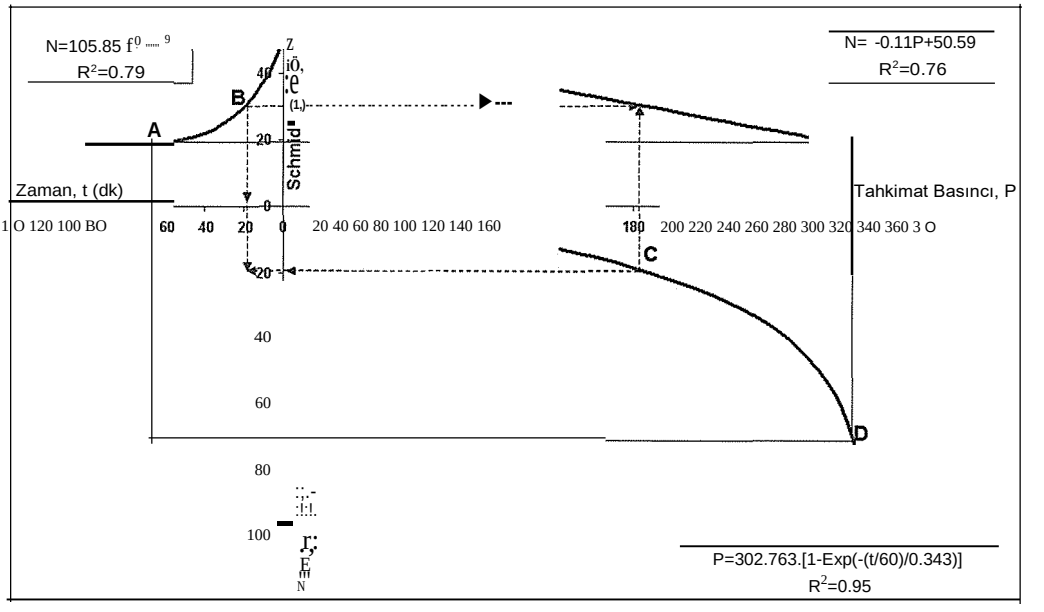
## 4SONUÇLAR

Uzun ayak kömür madeninde kullanılan yürüyen tahkimat ünitelerine etkiyen tavan basıncı zamana bağlı olarak artmakta ve daha sonra sabit bir durum almaktadır.

Kömür arını üzerinde ölçülen Schmidt sertliği değeri zamanla azalmaktadır. Dolayısıyla kömürün dayanımı da düşmektedir. Bu durum kazının kolay yapılmasına imkan vermektedir.

Tahkimata etkiyen basınç miktarı arttıkça başka. bir deyişle tavan basıncı arttıkça, Schmıdt sertliği değeri azalmaktadır. Bunun sebebi artan tavan basıncı ile kömür arınında oluşan kavlaklaşma ve bunun ana kömür kütlesinden zamanla ayrılmasıdır. Çayırhan kömür havzası için arında kazı yapıldıktan sonra, ikinci kazının yaklaşık 70. dakikada yapılması, hem tahkimat için hem de kazı kolaylığı için olumlu olacağı belirlenmiştir.

Uzun ayak kömür madenlerinde arındaki kömür kazısının uygun zaman aralıklarında yapılması sonucunda kazı makinasının performansı artacak ve hidrolik tahkimat elemanlarının bakım-onarım giderleri düşecektir.




Şekil 8. Schmidt sertliği ve tahkimat basıncının optimum noktası.

## TEŞEKKÜR

*:* azarlar, Park Teknik Çayırhan Linyit ışletme yönetimine katkılarından dolayı teşekkür eder. Bu çalışma Arş. Grv. Niyazi Bilim'in halen devam etmekte olduğu Doktora t_ zinin bir parçasıdır. Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Akdaş, H., De _tanoğlu, N., Öğretmen, S., Yavuz, M., 2000. oı:ıerler mekanize ayakta yürüyen tahkımatlardakı basınçların izlenmesi ve incelenmesi. V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, 113-121.

ASTM, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. ASTM Stand. 04.09 (D 5873-00).

ASTM, 2005. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method. ASTM Stand. D 5873-05.

Ayday C., Goktan, RM., 1992. Correlations between L and N-type Schmidt hammer rebound values obtained during field testing. Proceedings of the intemational symposium on rock characterization, EUROCK'92, Chester, UK, 47-50.

Cargill, J.S., Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial strength of rock. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 27, 495-503.

Dere, D.U., Miller, R.P., 1966. Engineering classifications and index propertics of intact rock. Technical report no. AFWL-TR 65-116, University of Illinois, 300s.

Dincer, T., 1990. The effect of some rock properties on the performance of roadheaders and impact hammers. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 108s.

Evenden, M.P., Edwards, J.S., 1985. Cutting theory and coal seam assessment techniques and their application to shearer design. Mining Science and Technology, 2, Elsevier Science Publishers B.Y., Amsterdam.

Karpuz, C.A., 1990. Classification system for excavation of surface coal measures. Mining Science and Technology, 11, 157-163.

Kidybinski, A., 1968. Rebound number and the quality of mine roof strata. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 5, 283-292.

Haramy KY, De Marco MJ.,1985, Use of Schmidt hammer for rock and coal testing. Proceedings of the 26th US symposium on rock mechanics, 26-28 June, Rapid City. Balkema, 549-55.

ISRM, 1978. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Geomech. Abstr. 15, 89- 97.

ISRM, 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods, Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness ofRocks, Part 3, pp. 101-103.

Öğretmen, S., Akdaş, H., 2004. GLİ Ömerler Ocağı M3 panosunda yürüyen tahkimat ünitelerinde basınç ölçümleri, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak.

Poole, R.W., Farmer, I.W., 1978. Geotechnical factors affecting tunnelling machine performance in coal measures rock. Tunnels Tunnelling, 27-30.

Sachapazis, C.I., 1990. Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 42, 75-83.

Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester. Concrete 59 (8), 34-35.

Shorey, P.R., Barat, D., Das, M.N., Mukherjee, K.P., Singh, B., 1984. Schmidt hammer rebound <lata for estimation of large scale in-situ coal strength. Int J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 21, 39-42.

Tarkoy, P.J., Hendron, A.J., 1975. Rock hardness index propcrties and geotechnical parameters for predicting tunnel boring machine performance. National Science Foundation Report no. NSF-RAT- 75-030.

Xu, G., Grasso, P., Mahtab, A., 1990. Use of Schmidt hammer for estimating mechanical properties of weak rock. Proceedings of the 6th Intemational IAEG Congress. Balkema, 511-519.

# *Simulasyon ve Optimizasyon*

*(Simulation and Optimization)*

# Kamyon-Ekskavatör Nakliye Sistemlerinin Performansını Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Simülasyon Çalışması

## *A Study on the Factors Affecting the Production Performances ofTruck-Shovel Haulage Systems Using Simulation*

N. Çetin
*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Kütahya*

N. Bölükbaşı
*ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Bu çalışmada, bir tek cevher türü içeren orta büyüklükte kuramsal bir maden için Stokastik (Olasılıklı) Kamyon Sevk ve Üretim Sistem Simülasyon Modeli geliştirilmiştir. Program, GPSS/H simülasyon dilinde kodlanmıştır. Üç farklı performans ölçütü seçifmiş ve bunlar üzerinde sekiz parametrenin etkileri araştırılmıştır.Tam-faktörlü simülasyon deneyleri yapılmış ve deney sonuçları, Minitab istatistik paket programı ile analiz edilmiştir. Yapılan ANOVA analizleri sonucunda $R^2$ değerlerinin, seçilen üç performans ölçütü için sırasıyla, 56.7 %, 84.1 % ve 79.6% olarak hesaplanmıştır. Performansı etkileyen ana faktörlerin, kamyon sayısı, yükleyici sayısı, döküm sahasına olan mesafe ve ekipmanların kullanma randımanlarının oldukları ve bu ana faktörler arasında oldukça önemli ikili etkileşmelerin oldukları sonucuna ulaşılmıştır

**ABSTRACT** In this paper, a stochastic truck dispatching and production simulation program is developed for a medium-sized hypothetical open pit mine in a single material type to investigate the effects of several factors on the truck/shovel systems productivity. Simulation programs were written in GPSSS/H simulation software to perform the simulation runs. Full-factorial simulation experiments are carried out on the simulation output to investigate the effects of several factors including the truck dispatching rules (DR), all components of truck cycle times (Loading (LT), hauling (HT) and return (RT), the distances between shovels and dumpsite, (SDD), number of shovels, (S), number of trucks, (NT), and availabilities of shovels and trucks, (AV), on three performance measures selected as overall truck utilization, overall shovel utilization and total truck productions. Statistical analysis of simulation experiments are made using Minitab statistical package. Regression analysis gives $R^2$, coefficient of determination, values of 56.7%, 84.1% and 79.6% for the selected performance measures, respectively. Main factors affecting truck-shovel systems performance are determined. It is observed that the effects of dispatching rules are not significant on the performance measures and there are significant interaction effects between main factors.

## INTRODUCTION

Truck haulage represents 50% or more of the operating costs in most surface mines (Kennedy, 1990), and efforts have been made in the past to reduce these high haulage costs. Efficient truck dispatching represents a traditional approach to improve production equipment utilization in open pit operations. Truck-shovel system is a complex mining system with respect to its stochastic features and interaction between system elements. Analysis of open-pit truck-shovel system using computer simulation is a well-established procedure since it involves incorporating the inherent variability and complexity of the system. Many researchers have used simulation technique to model open pit truck-shovel systems using various software. Ataeepour et al (2000) used Arena

and Tu and Hucka (1985) used SLAM software. Kolonja and Vasiljevic (2000) used GPPS/H without considering dispatching.

## 1 SIMULATION MODEL

The simulation program was developed and structured on the process-orientation approach of discrete-event simulation technique to enable the insertion of dispatching rules in a haulage network. The validation of computer simulation models was done by interactive debugging facility of PROOF animation software. Computer simulation experiments were made to investigate the effects of several decision factors likely to affect the performance of these systems. These factor were as follows: the dispatching rules applied, the number of trucks operating, the number of shovels operating, the variability in truck loading, hauling and retum times, the distance between the shovels and the dump site, and the availability of shovel and truck resources. Three performance measures selected were the total truck productions (i.e. truckloads), overall shovel utilization, and overall truck utilization. Full factorial simulation experiments were performed to provide the necessary output data for subsequent statistical analysis. ANOVA analyses and Tukey's mean comparison tests were carried out on the simulation results. Figure 1 shows the layout of a typical truck-shovel mining system. Figure 2 shows the processes that occur in a truck-shovel mining systems. An Example problem for minimizing shovel production requirements rule **(MSPR)** is given in Table 2. An example of shovel Gantt chart is given in Figure 3 and Figure 4 shows relationship between performance measures and the dispatching rules. Table 1 gives a summary .of truck dispatching simulation models. Table 3, 4, and 5 gives results of ANOVA for truck utilization, shovel utilization and total productions, respectively. Finally, Table 6 and 7 gives results of Tukey's me.an comparisons tests. Each level represents a basic heuristic dispatching rule commonly used in most open pit mines. Eight different basic basics dispatching rules are modeled in separate programs as level l through 8.

## 3 CONCLUSIONS

This study was performed to evaluate the effects of several factors on truck-shovel system's performances. PROOF Animation was used to validate the simulation programs. From results of statistical analysis, it was concluded that the main factors affecting all three performance measures are the number of operating trucks, the number of shovels operating, the distance between the shovels and dumping site, and the availability of shovel and truck resources. Also, the effects of truck cycle time components (i.e. loading, hauling and retum) and the truck dispatching rules were not significant either. There are also significant interaction effects between some of the main factors such as number of trucks and number of shovels operating.

## REFERENCES

Ataeepour, M., and Baafı, E., "ARENA Simulation Model for Truck-Shovel Operation in Dispatching and Non-Dispatching Modes", 1999, lnt. Joumal of Surface Mining, Reclamation and Environment, Vol. 13, pp. 125-129.

Banks, L., and Carson, J., Discrete-Event System Simulation, Second Edition, 1996, Prentice Hali ine.

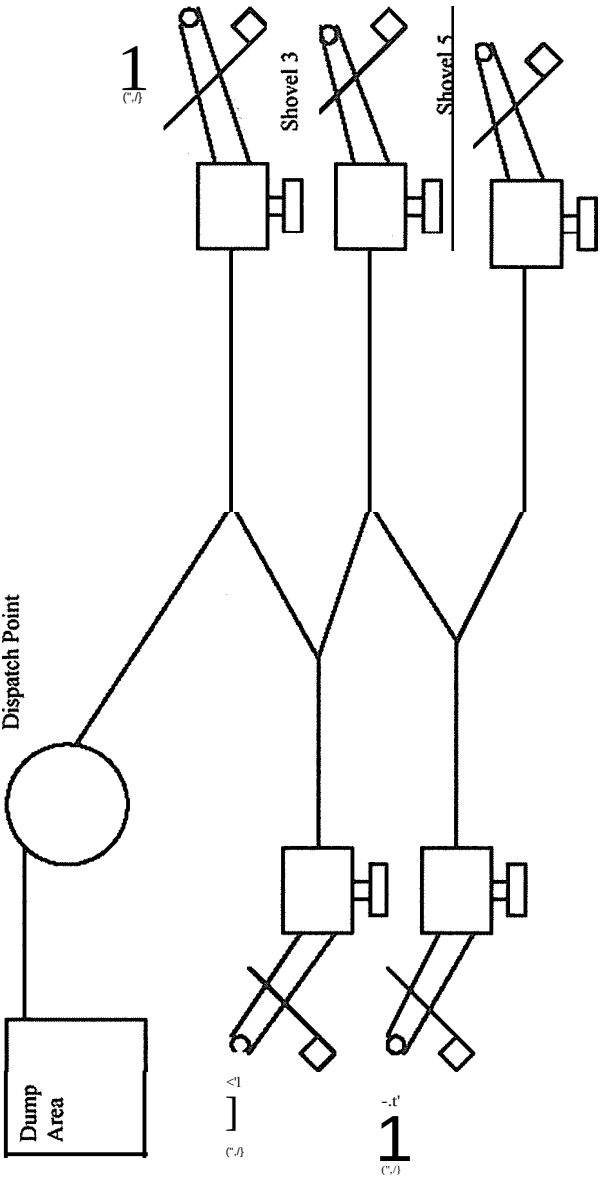
Çetin, N., "Open-Pit Truck/Shovel Haulage System Simulation", 2004, Ph.D. Thesis, METU, Ankara.

Kennedy, B., A., Surface Mining, Second Edition, 1990, SME, Littleton, CO, USA.

Kolonja, B., and Vasiljevic, N., 2000, "Computer Simulation of Open Pit Transportation Systems", Mine Planning and Equipment Selection, Panagiotou and Michakalopoulos (Eds), Belkama, Rotterdam, pp. 613-618.

Law, A., and Kelton, W., Simulation Modeling and Analysis, Third Edition, 2000, Mc Graw Hill Int.

Tu, H., and Hucka, V., J., "Analysis of Open pit Truck Haulage Systems by Use of a Computer Model", 1985, CiM Bulletin, Vol. 78, No. 879, July, pp. 63-69.




Figurel. A Typical Truck-Shovel Mining system

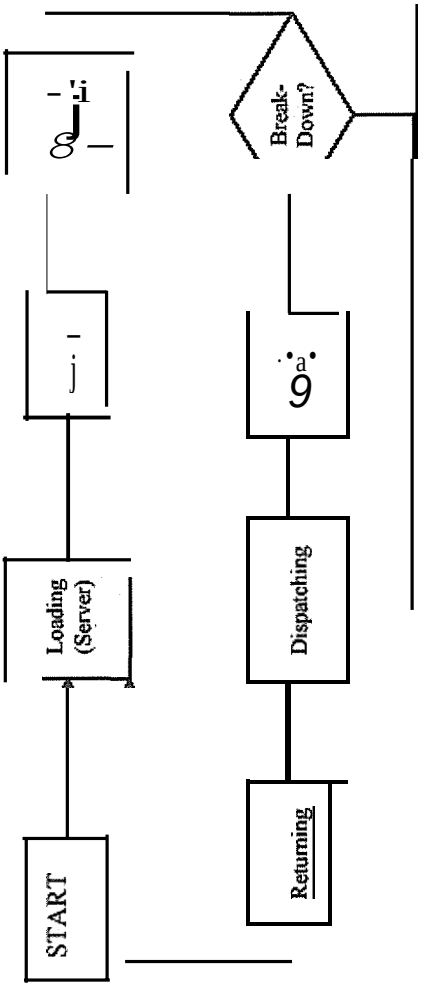
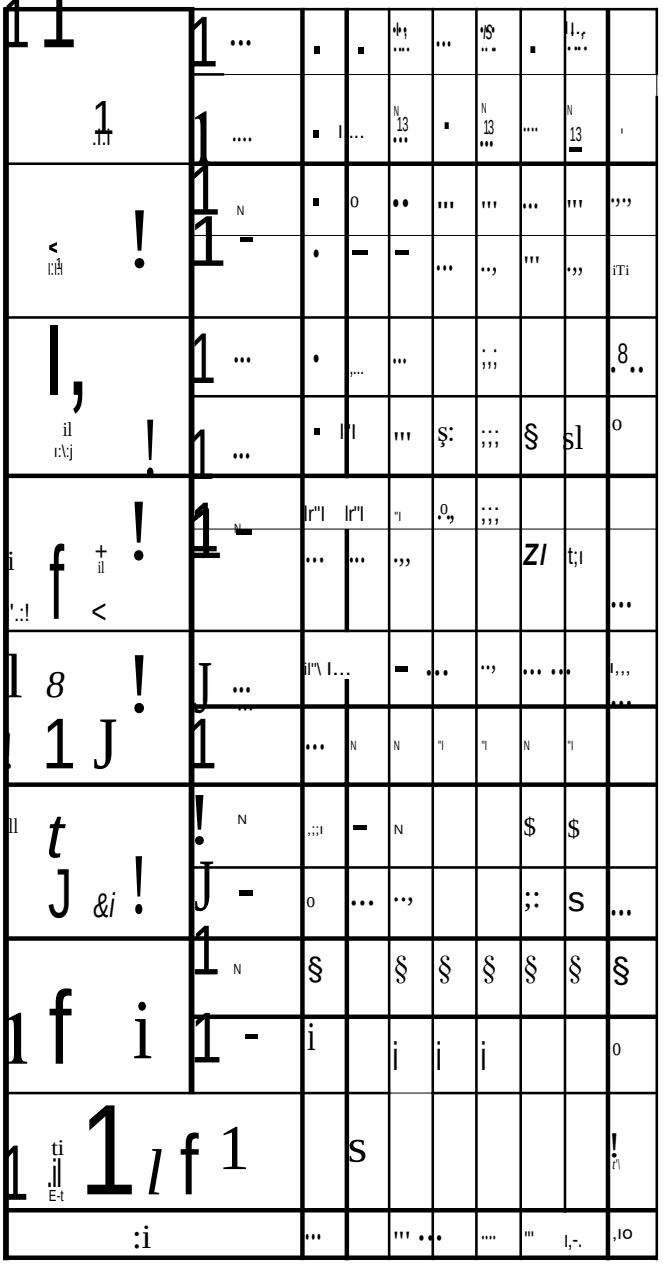



Figure 2. Truck- Shovel System Modeling Concepts

Table 1. Summary of Truck Dispatching Simulation Models

| | Kolonja (1992) | Forsman& Vegenas (1992) | Yol.idi et at (1994) | Tetneog atal. (1997) | &afi& Ataeepour '1999) | Kolonja ırt al. (2000) | OurWork {2004) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Software | SlMAN | Paııcal | R)ItTIIAN | SiMAN | Arena | GPSSIH | GPSSJH |
| Anim.ation | CINBMA | Olıphical Diıınlnv | N | N | Arena | PR.OOF | PR.OOF' |
| Numberof Dispatclı Poirıts | 1 | 1 | l | 1 | l | Nm Ctııııııi | l |
| Numberof Dispatch Rules | il | j | 6 | 1 | l | Nm Ctıııı | 9 |
| Equipment Breakdowns | y | y | y | y | N | N | y |
| 1nteractive | N | y | N | N | y | N | N |
| Effect of Dispatchirıg | Pnıdı.ıcriviıy by *4-5%* | Pıoductivily l.ıı ııedby 2% | Proıwç,tivity Improvul | Proıwç,ti,,•i:„· liıen::asedby l:5% | SmıeııTlneı:: Opeıating Tmcl,;ıı | Nm Ctıııı | Pmductiviıy Impıı;nıı:xl Slimı1lv |
| Mine Size | Meı;liı:ım | | | | Medium | Medium | Medium |
| Stı.ıdied Pohcy | Htmrııtics & Mııth.. | H | Hc:uıistics | M.ııdı. | Hc:uıistics | Nm Ctıııı | Heı.ır |

Table 2. An Example Problem for Minimizing Sh0vel Production Requirements Rule (MSPR)



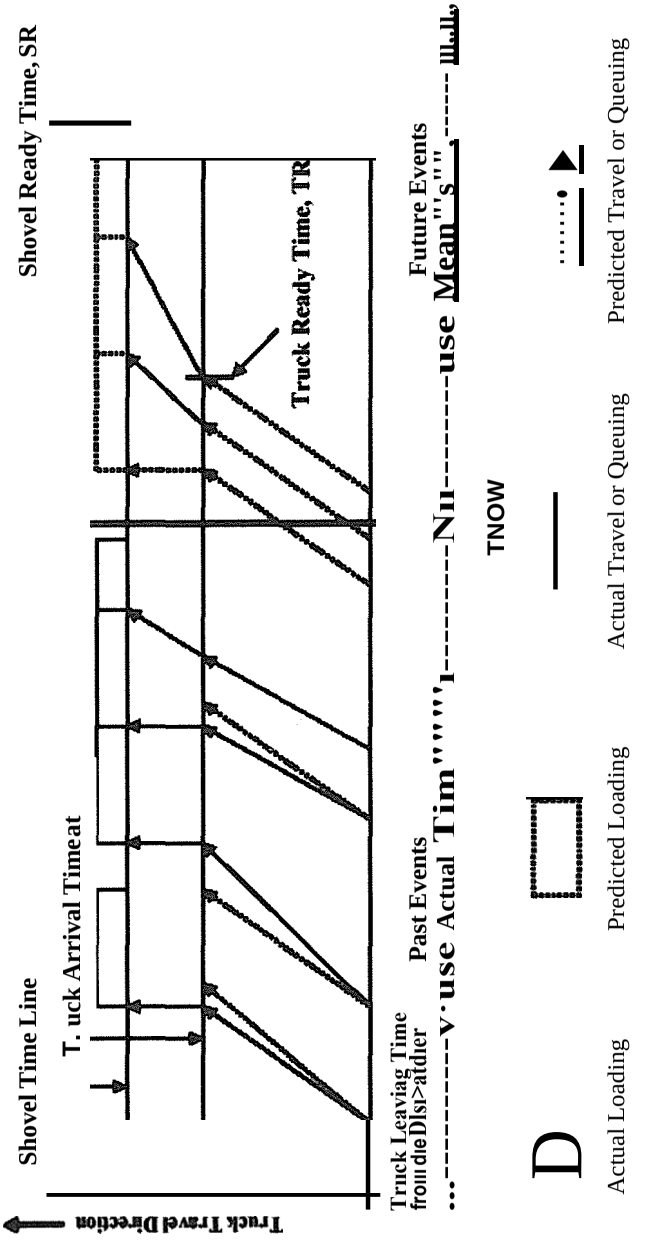



Figure 3. An Example of Shovel Gantt Chart

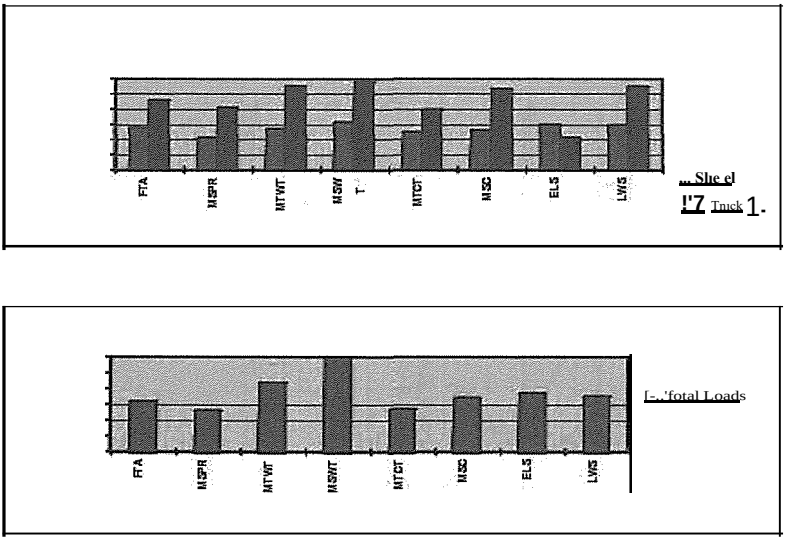



**Figure 4.**
**Relationship between Performance Measures and the Dispatching Rules.**

**Table 3. ANOVA Results for Shovel Utilization,** (%)

| Predictor | Coef | SE Coef | T | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -99.781 | 3.615 | -27.60 | 0.000 |
| DR | -0.06042 | 0.03118 | -1.94 | 0.053 |
| S | 48.841 | 1.654 | 29.52 | 0.000 |
| NT | 4.5459 | 0.1458 | 31.18 | 0.000 |
| SDD | 142.348 | 4.906 | 29.02 | 0.000 |
| LT | 0.0826 | 0.1429 | 0.58 | 0.563 |
| HT | -0.8900 | 0.1429 | -6.23 | 0.000 |
| RT | -0.5752 | 0.1429 | -4.03 | 0.000 |
| S*NT | -1.65068 | 0.03572 | -46.21 | 0.000 |
| S*SDD | -54.899 | 1.993 | -27.54 | 0.000 |
| S*NT*SDD | 1.10942 | 0.05051 | 21.96 | 0.000 |
| AV | -10.245 | 1.361 | -7.53 | 0.000 |
| AV*S | 6.8301 | 0.7971 | 8.57 | 0.000 |
| AV*NT | -1.1384 | 0.1391 | -8.18 | 0.000 |
| AV*SDD | 5.506 | 2.195 | 2.51 | 0.012 |
| AV*NT*SDD | -1.0118 | 0.3360 | -3.01 | 0.003 |
| AV*S*NT*SDD | 0.02312 | 0.05051 | 0.46 | 0.647 |

S = 10.84 R-Sq 57.8% R-Sq (adj) 57.8%

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 16 | 3713200 | 232075 | 1973.86 | 0.000 |
| Residual Error | 23023 | 2706914 | 118 | | |
| Total | 23039 | 6420114 | | | |

**Table 4. ANOVA Results for Truck Utilization, (%)**

| Predictor | Coef | SE Coef | T | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -895.59 | 13.50 | -66.36 | 0.000 |
| DR | -0.3907 | 0.1164 | -3.36 | 0.001 |
| S | 467.012 | 6.176 | 75.61 | 0.000 |
| NT | 15.4924 | 0.5444 | 28.46 | 0.000 |
| SDD | 1074.31 | 18.32 | 58.65 | 0.000 |
| LT | -0.0826 | 0.5334 | -0.15 | 0.877 |
| HT | -2.6240 | 0.5334 | -4.92 | 0.000 |
| RT | -1.1220 | 0.5334 | -2.10 | 0.035 |
| S*NT | -12.1461 | 0.1334 | -91.08 | 0.000 |
| S*SDD | -478.408 | 7.442 | -64.29 | 0.000 |
| S*NT*SDD | 12.6598 | 0.1886 | 67.13 | 0.000 |
| AV | 37.499 | 5.082 | 7.38 | 0.000 |
| AV*S | -24.999 | 2.976 | -8.40 | 0.000 |
| AV*NT | 4.1666 | 0.5193 | 8.02 | 0.000 |
| AV*SDD | 225.203 | 8.195 | 27.48 | 0.000 |
| AV*NT*SDD | -25.765 | 1.255 | -20.54 | 0.000 |
| AV*S*NT*SDD | 1.6829 | 0.1886 | 8.92 | 0.000 |

S = 40.48 R-Sq = 79.6% R-Sq(adj) = 79.6%

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 16 | 147053513 | 9190845 | 5607.70 | 0.000 |
| Residual Error | 23023 | 37734004 | 1639 | | |
| Total | 23039 | 184787517 | | | |

**Table 5. ANOVA Results for Total Truck Productions, (truckloads)**

| Predictor | Coef | SE Coef | T | p |
|---|---|---|---|---|
| Constant | -895.59 | 13.50 | -66.36 | 0.000 |
| DR | -0.3907 | O.1164 | -3.36 | 0.001 |
| S | 467.012 | 6.176 | 75.61 | 0.000 |
| NT | 15.4924 | 0.5444 | 28.46 | 0.000 |
| SDD | 1074.31 | 18.32 | 58.65 | 0.000 |
| LT | -0.0826 | 0.5334 | -0.15 | 0.877 |
| HT | -2.6240 | 0.5334 | -4.92 | 0.000 |
| RT | -1.1220 | 0.5334 | -2.10 | 0.035 |
| S*NT | -12.1461 | O.1334 | -91.08 | 0.000 |
| S*SDD | -478.408 | 7.442 | -64.29 | 0.000 |
| S*NT*SDD | 12.6598 | 0.1886 | 67.13 | 0.000 |
| AV | 37.499 | 5.082 | 7.38 | 0.000 |
| AV*S | -24.999 | 2.976 | -8.40 | 0.000 |
| AV*NT | 4.1666 | 0.5193 | 8.02 | 0.000 |
| AV*SDD | 225.203 | 8.195 | 27.48 | 0.000 |
| AV*NT*SDD | -25.765 | 1.255 | -20.54 | 0.000 |
| AV*S*NT*SDD 1.6829 | 0.1886 | 8.92 | 0.000 | |

S = 40.48 R-Sq 79.6% R-Sq(adj) 79.6%

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 16 | 147053513 | 9190845 | 5607.70 | 0.000 |
| Residual Error | 23023 | 37734004 | 1639 | | |
| Total | 23039 | 184787517 | | | |

**Table 6. Results for Tukey's Mean Comparison Test for Shovel Utilization,** (%)

```
                                  Individual 95% Cis for Mean
                                 Based on Pooled StDev
Level      N          Mean      StDev --------+---------+---------+-------
  1      1440         51,74     16,82   (-----*-----)
  2      1440         49,85     16,82   (----*-----)
  3      1440         51,65     16,18   (----*-----)
  4      1440         51,54     16,56   (-----*----)
  5      1440         51,89     15,95   (-----*-----)
  6      1440         49,63     16,67   (-----*-----)
  7      1440         52,20     15,86   (-----*-----)
  8      1440         49,35     16,27   (-----*-----)
                                       -------+---------+---------+---------
Pooled StDev   16,40                      49,5      51,0      52,5

                Tukey's pairwise comparisons

                    Family error rate   0,0500
                Individual error rate   0,00242

                  Critical value = 4,29
```

**Table 7. Results for Tukey's Mean Comparison Test for Truck Utilization,** (%)

```
                                  Individual 95% Cis for Mean
                                  Based on Pooled StDev
Level     N        Mean        StDev --+---------+-----------------------
 1      1440      81,74        10,78   (----*----)
 2      1440      79,53        12,46   (----*----)
 3      1440      81,57        11,75   (----*----)
 4      1440      82,22         11,40  (----*----)
 5      1440      81,15        11,80   (----*----)
 6      1440      79,89        12,15   (----*----)
 7      1440      79,45        12,32   (----*----)
 8      1440      79,55        12,49   (----*----)
                                    ----+---------+---------+---------+--
Pooled StDev   11,91                   79,2      80,4       81,6      82,8

                Tukey's pairwise comparisons

                 Family error rate = O, 0500
               Individual error rate = O, 00242

                 Critical value = 4,29
```

# A Model for Practical Estimation of Rock Cuttability using Cone Indenter Test

B. Tiryaki
*Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Ankara, Turkey*
N. Bölükbaşı
*Middle East Technical University, Department of Mining Engineering, Ankara, Turkey*

**ABSTRACT** Specific cutting energy (SE) is one of the most significant parameters in mechanical rock excavation. Current models for the indirect determination of SE are based on different combinations of rock index tests and intact rock properties. However, these models require rock mechanics tests in the laboratory when a new ground is met during rock excavation. In this paper, a new estimation model for SE has been proposed, which uses cone indenter hardness that is easily measured in the field. For this purpose, rock cutting and rock property testing data obtained from three different projects were subjected to statistical analyses. New SE model was developed using multiple nonlinear regression, which was then tested against the data released by Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989). Very strong correlations were found between the actual values of SE for new rock samples and those predicted by the model, indicating its usefulness in practice.

## 1 INTRODUCTION

Performance prediction models for mechanical excavators when developed in laboratory conditions depend on relating the results of a set of rock property tests and indices to SE for various rock types. Those models are aimed to prevent excessive pick consumption and vibrations that lead to catastrophic failures with machine components. Although SE values are influenced by operational factors and rock mass properties in the field, those found in standard rock cutting tests in the laboratory reveal the differences in cutting characteristics of rocks tested (McFeat-Smith and Fowell, 1979).

However, the determination of cuttability characteristics of rocks in laboratory conditions requires the use of linear cutting rigs that are usually owned by some specialized institutions and laboratories. Therefore, many studies have been conducted in the past on clarifying the relationships between SE and intact rock properties. SE model that was developed by McFeat-Smith and Fowell (1977) using different rock properties is the most widely known model in this area. However, their model does not let field engineers to estimate the SE quickly in the field for a target rock that has not been identified in the previous mine exploration stage of the project since it includes a combination of intact rock properties that need laboratory facilities to determine.

This paper is concemed with establishing a prediction model for standard cuttability of rocks employing NCB cone indenter test that is easy to use in the field. For this purpose, data obtained from three different rock cutting studies were subjected to a multiple nonlinear regression to clarify the relationships between specific cutting energy, mineralogical-petrographic, physical, and rock index properties. Results of these analyses were employed to develop a predictive model for SE using multiple nonlinear regression. The accuracy of the newly developed model has been tested

using the <lata obtained from two different projects. The development and testing of the new prediction model were given and discussed in detail in this paper.

## 2 DETERMINATION OF ROCK CUTTABILITY

Linear rock cutting tests are carried out to determine specific cutting energy that measures the rock cuttability by cutting the core samples of 76 mm in diameter or block samples of proper dimensions using standard chisel picks on a rig. This test has been developed by Roxborough and Philips (1974) to determine the cuttability characteristics of rocks such as SE and rock abrasivity, simulating the cutting action of picks. Rock cuttability is usually expressed by SE consumed during rock cutting. Specific cutting energy is defined as the energy required cutting the unit volume (or mass) of rock material.

Laboratory SE has been widely used to predict ınachine performance in ınechanical excavation. It has been reported that SE values found in the laboratory conditions were in close correlation wit)1 those ıneasured in the field for a specific rock type (McFeat-Smith and Fowell, 1977). Strong correlations between the cutting rate and laboratory SE have also been reported for both mediuın and heavy-duty roadheaders (McFeat-Sınith and Fowell, 1979; Fowell and Pycroft, 1980; Fowell and Johnson, 1982).

SE is also known closely related to several engineering properties of rocks. Therefore, many studies have been conducted on predicting SE employing intact rock properties to use in the absence of a rock cutting rig. NCB cone indenter hardness was found to be in good correlations with laboratory and in-situ SE, especially for the coal ıneasures strata (McFeat-Smith and Fowell, 1977). Those studies have also indicated the usefulness of NCB cone indenter test in estimating the likely performance of the roadheaders especially in coal measures strata (McFeat-Smith, 1977; McFeat-Smith and Fowell, 1977).

Test apparatus for cone indenter hardness was developed at the National Coal Board of England to determine both the indentation hardness and UCS of rock through measuring its resistance to indentation by a hardened tungsten carbide cone (Figure 1). The basic principle of this apparatus is to measure the penetration depth of the cone into rock for a known applied force (NCB, 1977).

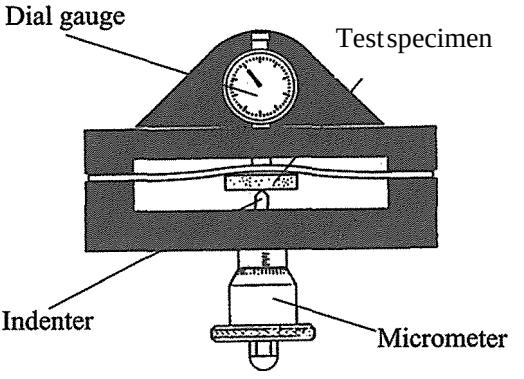



Figure 1 NCB cone indenter test apparatus (NCB, 1977)

## 3 STATISTICAL ANALYSES ON DATA

Statistical analyses on the relationships between SE, engineering, textural, and ınineralogical properties of rocks have been based on the <lata obtained from the rock cutting and rock property determination tests that were released by Tiryaki and Dikmen (2006), Roxborough and Philips (1981), and McFeat-Smith and Fowell (1977). Specific cutting energy (SE), quartz content (Quartz), dry density (Density), effective porosity (Porosity), Brazilian tensile strength (BTS), uniaxial compressive strength (UCS), static ınodulus of elasticity (Elasticity), NCB cone indenter hardness (CI), and Shore hardness (Shore) of the rock samples are the intact rock properties, which have been measured in all above three studies. SE has been taken as the dependent variable (response) of this study. Linear rock cutting tests were performed using a chisel pick of tungsten carbide with 12.7 mm tip width, -5° rake angle, 5° back clearance angle in 5 mm depth

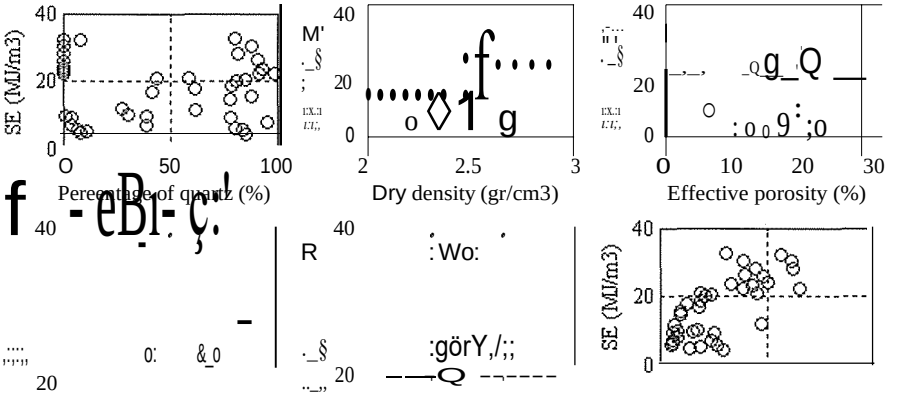
of cut in all three rock cutting programs (Tiryaki and Dikmen, 2006; Roxborough and Philips, 1981; McFeat-Smith and Fowell, 1977).

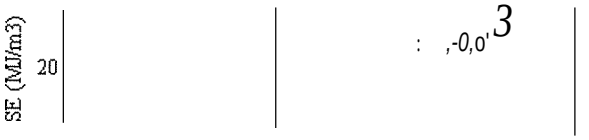
A <lata matrix (original <lata set) has been built using the mean values of the observations belonging to 41 rocks included in those studies for the above-mentioned eight intact rock properties and SE. Model development works in this study were carried out on this <lata matrix by using MATLAB Rl4 software. Results of the basic descriptive statistical analysis performed on the original <lata set are given in Table 1.

Table 1 Basic descriptive statistics for the original <lata set

| | Quartz | Density | Porosity | UCS | BTS | Elasticit | Shore | CI | SE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Min. values** | O | 2.24 | 0 | 7 | 1 | 5.6 | 19 | 1.3 | 4.3 |
| **Max. values** | 99 | 2.77 | 22.9 | 192.9 | 10.3 | 65.7 | 57 | 12 | 32.67 |
| **Average** | 46.47 | 2.61 | 8.77 | 79.64 | 5.98 | 29.31 | 37.95 | 5.21 | 17.54 |
| **Median** | 44.05 | 2.62 | 7.9 | 62.03 | 6.6 | 25.2 | 37 | 4.2 | 18.5 |
| **Std dev.** | 37.75 | 0.1 | 6.55 | 52.91 | 2.73 | 18.28 | 8 | 3.01 | 9.05 |
| **Variance** | 1425.24 | O.Ol | 42.93 | 2799.33 | 7.47 | 334.21 | 63.85 | 9.05 | 81.93 |

Scatterplots of SE against each independent variable have been used to check if a straight line is a good summary ofthe <lata. Scatterplots of SE against the rock properties included in this study are drawn in Figure 2. it has been understood from Figure 2 that UCS, BTS, and SE are linear or nonlinear. it has also been tried to see if Elasticity, and CI can be used as individual predictors for SE.




SE (MJ/m3)
20
3

200 O 5 10 15 O 50 100

!ن

--r0----

Shore scleroscope hardness

### 3.1. Multiple Nonlinear Regression

The twin-logarithmic model has been used in multiple nonlinear regression analysis with orwa d stepwise method for predicting SE ın thıs study. Stepwise regression is a technique for choosing the variables, i.e., terms, to include in a multiple regression model. Forward stepwise regression starts with no model terms. At each step it adds the most statistically significant term (the one wit? the highest *F* statistic or lowest p-value) untıl there are none left. An important assumption behind the method is that some input variables in a multiple regression do not have an important explanatory effect on the response. If this assumption is true then it is a convenient simplification to kee only the statistically significant terms in the model.

Four independent variables that were found to be good predictors for SE according to scatterplots in Figure 2 were employed in multiple regression analysis. Forward stepwise method resulted in a multiple regression model with an $\mathbf{R^2}$ value of0.74, in which only CI participated whereas UCS. B'!'S: and Elasticity have been automaticall;r elımınated from the analysis by MATLAB since adding UCS, BTS, and Elasticity to the model did not have any significan1 explanatory effects on the response. Nonlinear regression model that has been developed is given in Equation 1.

$$SE = 3.9 \times CI^{0.19} \quad \text{(Equation 1)}$$

The F-statistic of 108.85 and its p-value of almost zero indicate that it is highly unlikely that the regression constant and the regression coefficient in the model are zero. As expected, contribution of CI to the explanation of variation in the SE seems reasonable as the model proposes an increase in SE values as CI values increase. Scatterplot of the fitted SE values against the observed SE values is given in Figure 3.

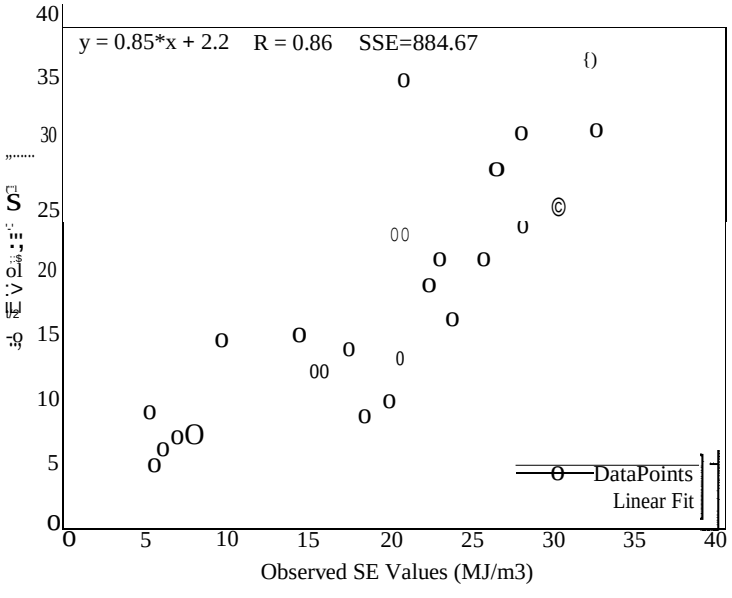



Figure 3 Scatterplot of SE values predicted by model 1 versus those observed

The correlation coefficient between the observed and the predicted SE values for the nonlinear regression model (R-value) is 0.86 that is statistically significant at 95% level. Sum of squares due to error (SSE) value for this model is 884.67. With the scatterplot of

predicted values of the dependent variable from any regression model against those observed, <lata points are expected to be evenly distributed over, above, and below the regression line without any outlying <lata points to reason that the prediction model fits the <lata well. Scatterplot in Figure 3 indicates that SE model developed in this study is a good choice to predict SE values from the observed values of CI.

### 3.2. Testing the Model

SE model that was proposed in this study was tested using the <lata (testing <lata set) released by Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989). Mechanical properties and cuttability characteristics of the rock samples taken from these two studies are given in Table 2.

Table 2 Mechanical properties and cuttability characteristics of the rocks tested by Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989)*

| | ROCK | | UCS | BTS | CI | SE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Depth {m} | Type | (MPa) | (MPa) | | (MJ/m$^3$) |
| 1 | 74-90 | Micritic limestone | 36.28 | 1.94 | 1.5 | 8.16 |
| 2 | 165 | Sandstone-conglomerate | 16.76 | 0.76 | 0.9 | 7.4 |
| 3 | 222 | Basaltic andesite | 48.66 | 3.08 | 2.02 | 29.89 |
| 4 | 252 | Basaltic andesite | 51.98 | 6.08 | 2.39 | 22.4 |
| 5 | 261 | Basaltic andesite | 51.98 | 2.26 | 2.18 | 19.85 |
| 6 | 272 | Marl | 60.8 | 3.61 | 2.66 | 26.3 |
| 7 | 275 | Andesitic tuff | 43.83 | 2.78 | 1.83 | 16.84 |
| 8 | 336 | Andesitic tuff | 34.32 | 2.59 | 0.22 | 19.16 |
| 9 | 339 | Marl | 25.5 | 1.87 | 0.8 | 6.77 |
| 10 | 359 | Andesitic tuff | 37.61 | 2.18 | 1.56 | 16.03 |
| 11 | 367 | Tuff | 27.37 | 2.47 | 1.41 | 16.22 |
| 12 | 367.4 | Tuff | 27.37 | 2.47 | 1.41 | 17.29 |
| 13 | | Clayey limestone | 51.8 | 5.1 | 2.42 | 9.96 |
| 14 | | Calcareous tuff | 28.3 | 2.16 | 1.74 | 7.9 |
| 15 | | Siltstone | 27.4 | 1.32 | 1.5 | 7.46 |
| 16 | | Tuff | 19.2 | 1.37 | 1.16 | 5.29 |
| 17 | | Lignite | 17.34 | 2.75 | 1.1 | 5.13 |

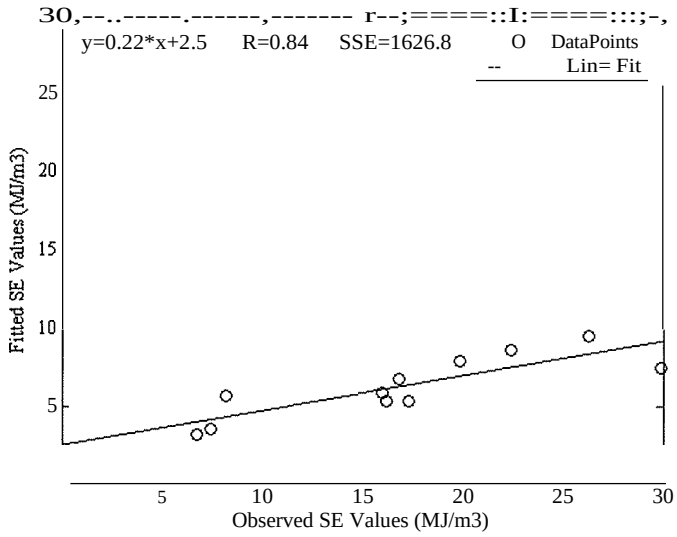
***Data from 1 to 12 were referred to Bilgin and Shahriar (1988), 13 to 17 were referred to Bolukbasi (1989)**

Bilgin and Shahriar (1988) have performed linear rock cutting tests on rock samples taken from Zonguldak coalfield in Turkey. The rock samples employed for rock cutting and rock property testing in that study were taken from the boreholes that were drilled to a depth of nearly 1000 m. Bolukbasi (1989) has determined the cuttability characteristics of the rocks in Cayirhan lignite mine in Turkey by linear cutting tests using an instrumented cutting rig in order to estimate the type of the roadheader best suited to rocks and its expected cutting performances. Experimental setup and procedure that was followed by Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989) was same as those followed by Tiryaki and Dikmen (2006), Roxborough and Philips (1981), and McFeat-Smith and Fowell (1977).

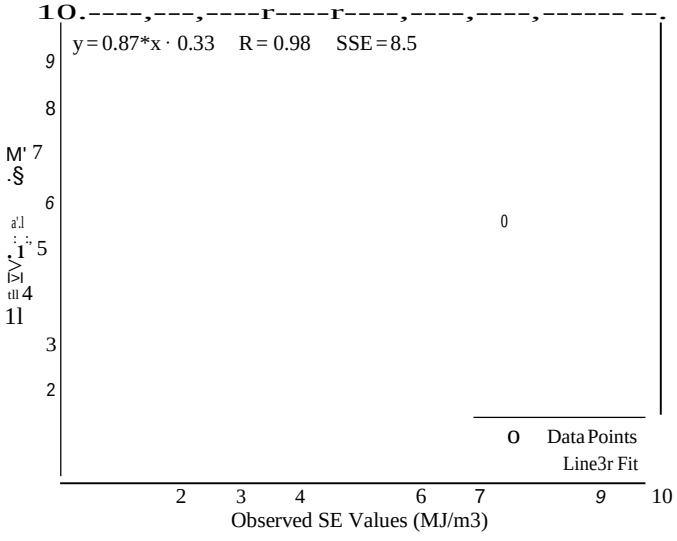
CI values obtained from the rock samples given in Table 2 have been substituted in Equation 1 and SE values were predicted, respectively. Rock sample from depth of 336 m that belongs to Bilgin and Shahriar (1988) has been removed from the <lata set before testing the model since it is behaving like an outlier <lata point with an unusually low value of cone indentation hardness, 0.22.

Scatterplots of fitted SE values calculated from new model against those observed by Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989) are given in Figure 4, respectively.

It can be seen from Figure 4 that the fitted and observed values are quite close to each other with an R-value of 0.84 for the testing <lata from Bilgin and Shahriar (1988)




(a)




(b)

Figure 4 Scatterplot of fitted SE values obtained from new SE model against those observed for the testing <lata from (a) Bilgin and Shahriar (1988) (b) Bolukbasi (1989)

Although there is a quite high correlation between observed and fitted SE values, the differences between observed and fitted SE values (residuals) are quite high, which is reflected by high SSE value of 1626.8. However, there found to be an almost perfect correlation between observed and fitted SE values for the testing <lata from Bolukbasi (1989) with an R-value of 0.98 and a SSE value of 8.5.

## 4. CONCLUSIONS

In this study, it is aimed to establish a new prediction model for specific cutting energy containing intact rock properties that can be easily measured in the field for mechanical excavation of widely jointed or massive rocks by tungsten carbide tipped drag tools. The relationship between the SE and the <lata obtained from the previous studies by McFeat-Smith and Fowell (1977), Roxborough and Philips (1981) and Tiryaki and Dikmen (2006) was evaluated by using multiple nonlinear regression analysis.

Statistical analyses in this study have shown that the new nonlinear regression model is a good choice to estimate SE using cone indenter hardness of rocks included in the original <lata set. New model has also been tested using the <lata obtained from Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989). SE predictions from new model were compared to SE values observed by Bilgin and Shahriar (1988) and Bolukbasi (1989). Strong correlations were found between fitted SE values and observed SE values for the both testing <lata sets, which reveals that the model developed in this study can reliably be used to estimate SE for wide range of rocks using cone indenter hardness.

The indentation hardness measured in NCB cone indenter test provides an accurate and meaningful measure of resistance of rocks to indentation. The cutting action of picks is known to include an indentation action at the beginning of the cutting process. Therefore, it is highly recommended to test the target rock using the cone indenter test for cuttability when it is encountered in tunneling or roadway development works in mining. Substituting the cone indenter hardness value that will be derived from the cone indenter test in Equation 1 to estimate the SE value is believed to help field engineers to find out if the target rock is suitable for mechanical excavation with tungsten carbide tipped drag tools.

## REFERENCES


Bilgin, N. and Shahriar, K., 1988, Development ofa rock cutting rig for rapid excavation systems and its application to Amasra coalfield, *Proceedings of the sixth coal congress of Turkey*, Zonguldak branch of the Chamber of Mining Engineers of Turkey, May 23-27 Zonguldak, pp. 13-28.

Bolukbasi, N., 1989, Assessment of roadheading machine performance by laboratory cutting tests at Cayirhan lignite mine-Turkey, *Proceedings of the second Int. Conf on Mining and Metallurgical Eng.*, Vol. 1, Suez Canal University, Egypt, March 20-22, pp. 310-324.

Fowell, R.J. and Johnson, S.T., 1982, Rock classification and assessment for rapid excavation. *Proc. of the Symposium on Sırata Mechanics*, The University of Newcastle Upon Tyne, April 5-7, 241-244.

Fowell, R.J. and Pycroft, A.S., 1980, Rock machinability studies for the assessment of selective tunnelling machine performance. *Proc. of the 21st National Rock Mech. Symp., USA.* 149-158

McFeat-Smith, I., 1977, Rock property testing for the assessment of tunnelling machine performance. *Tımnels and Tunnelling,* 9 (2), 29-33.

McFeat-Smith, I. and Fowell, R.J., 1979, The selection and application of roadheaders for rock tunnelling. *Proceedings of Rapid Excavation and Tunneling Conference*, Atlanta, Georgia, June 18-21. 1, 261-279.

McFeat-Smith, I., Fowell, R.J., 1977. Correlation of rock properties and the cutting performance of tunnelling machines. *Proc. of a conference on rock engineering*, Newcastle Upon Tyne, England. 581-602.

NCB, 1977, NCB Cone Indenter. *MRDE Handbook No. 5*. Staffordshire: Mining Research and Development Establishment.

Roxborough, F.F. and Philips, H.R., 1974, Experimental studies on the excavation of rocks using picks. *Advances in rock mechanics, Proceedings of the third ISRM congress,* Denver, USA, 1407-1412.

Roxborough, F.F. and Philips, H.R., 1981, Applied rock and coal cutting mechanics. *Workshop*

*course 156/81. Australian Mineral Foundation,* Adelaide, May 11-15.

Tiryaki, B. and Dikmen, A.C., 2006, Effects of rock properties on specific cutting energy in linear cutting of sandstones by picks. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* 39 (2), 89-120.

# Kömür Yıkama Tesis Ekipmanları için Örnek Bir Bakım Modeli
# *A Model Maintenance Designfor Coal Washing Plant Equipments*

A. Gitmez, N. Güralp & M. Uygun
*Garp Linyitleri İşletmesi, Ömerler Lavvarı, Tunçbilek/Kütahya*

**ÖZET:** Bütün cevher hazırlama tesislerinde olduğu gibi kömür yıkama tesislerinde de tamir-bakım işlemleri, tesislerin etkin ve verimli çalışmalarını sağlamak için çok iyi programlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu çalışmada, bir kömür yıkama tesisi için, etkin ve programlanan çalışma sürelerinin tamamının fiili olarak üretimde kullanılabilmesine yönelik olarak, örnek bir bakım modeli oluşturulması hedeflenmiştir. Bu modelle, tesis yıkama randımanının, kapasitesinin ve verimliliğinin arttırılmasına, yıkama maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olacak bir bakım modeli öngörülmüştür.

**ABSTRACT:** it is necessary to plan well and strictly perform the scheduled maintenance operations timely in order to assure effective and efficient operations ofa coal-washing plant like any other mineral processing facility. This study targets to create an exemplary maintenance model fora coal-washing plant, allowing maximum and effective use ofthe scheduled operating hours for productions. It is aimed to provide a maintenance model that will increase the washing-performance, the capacity and the efficiency of the plant as well as reducing the costs related to washing.

## 1 GİRİŞ

Verimlilik artışlarını, dolayısı ile süreç optimizasyonlarını engelleyen en yaygın masraflar, işletmelerdeki plansız duruş zorunluluklarından kaynaklanmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışma, ABD'deki işletmelerde endüstriyel ekipman ve makinelerin kullanılabilirlik oranının %85-%95 arasında değiştiğini göstermektedir. Plansız duruşlardan kaynaklanan gelir kaybı, bazı sektörlerde karın %30-%40'1 oranlarına kadar yükselebilmektedir (Duyar, 2004).

Plansız duruşlardan kaynaklanan yüksek maliyetler, doğal olarak dikkatleri işletmedeki bakım faaliyetlerine çekmiştir. Endüstriyel makine ve ekipmanların bakım süreçleri, plansız işletme duruşlarından nihai ürünün kalitesine kadar her şeyi etkilemektedir.

Kömür yıkama tesisleri de genelde günde 24 saat, haftada 6 gün olmak üzere, özellikle talebin yükseldiği dönemlerde de hiç durmadan aralıksız çalışmak zorunda olan endüstriyel tesislerdendir.

Bu çalışmada, kömür yıkama tesislerinin üretime ihtiyaç duyulduğu sürece, aralıksız, tesis kapasitesinin tam olarak kullanılabildiği ve beklenmeyen arızi durumların ortaya çıkmasının engellenebileceği bir tesis bakım modeli oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu çerçevede öncelikle bir kömür yıkama tesisindeki temel ekipmanlar incelenmiştir. Bu ekipmanlar için bakım yönünden göz önünde bulundurulacak hususlar hem tesis kurulum aşaması hem de işletmecilik açısından değerlendirilmiştir. Tesis bakım programları ile ilgili genel bilgi verildikten sonra örnek tesis üzerinden kestirimci, periyodik, mekanik, elektrik ve yağlama bakım programları oluşturulmuş ve toplam üretken (verimli) bakım çerçevesinde tesis detaylı bakım programları sunulmuştur.

## 2 BİR KÖMÜR YIKAMA TESİSİNDEKİ TEMEL EKİPMANLAR

Kömür yıkama tesislerinde, birçok değişik tip ve kapasitede, mekanik ve elektrik teçhizatı kullanmak gerekmektedir. Ana ekipmanlar, tercih edilen yıkama üniteleridir. Statik ve santrifüj ağır ortam ayırıcıları, jigler, spiral ayırıcılar konvansiyonel kömür yıkama ekipmanları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu ekipmanların yanında, boyut küçültme ekipmanları olarak çeşitli tip kırıcılar, sabit ve hareketli olabilen eleme, sınıflandırma ve susuzlandırma elekleri, çeşitli tip kurutucular, nakliye elemanları olan bantlar, besleyiciler, helezonlar, boru ve oluklar, pompalar mekanik ekipmanların başlıcalarıdır. Çökeltme tankları ve tikinerler, tanklar, silolar ve tumbalar gibi yardımcı ekipmanlar da vardır. Bütün bu ekipmanlar aynı zamanda farklı tahrik sistemleri ile donatılmıştır.

Elektrik motorları, güç ve kumanda hatları ile trafo ve motor kontrol merkezleri yanında otomasyon sistemleri de bulunabilir.

### 2.1 Kömür Yıkama Tesisindeki Ekipmanlar ve Bakım Yönünden Dikkat Edilecek Hususlar

#### *2.1.J Standardizasyon*

Kömür yıkama teçhizatları hiçbir zaman tek bir imalatçı tarafından üretilmemektedir. Örneğin kırıcılar, elekler, yıkama tekneleri, siklonlar, pompalar, yol vericiler, devre kesiciler vb. ekipmanın her birinin imalatçısı, farklı firmalardır. İmalatçıların tercihlerine bağlı olarak, teçhizatın mekanik ve elektrik ile ilgili tahrik mekanizmaları, değişik imalatçılar arasında ve değişen teknik özelliklerden oluşmaktadır. Bu nedenle, dizayn aşamasında teçhizatı standartlaştırmak, işletme aşamasında birçok avantajlar sağlayacaktır. Her şeyden önce, elde tutulacak yedek parça stokları azalacak ve tamir-bakım açısından işgücüne, büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Tahrik motorları, elektrik teçhizatı, otomasyon üniteleri, dişli kutuları, pompalar, elekler, nakliyat üniteleri, standartlaştırma yönünden en uygun teçhizatlardır. Kullanılan tip ne kadar minimize edilirse, avantaj (yedek parça stokunun ve tamir-bakım işgücünün azlığı) o kadar fazla olacaktır.

#### *2.1.2 Yerleşim*

Tüm pompaların zeminde tesis edilmesi, bakım, tamir ve titreşim açısından tercih edilmelidir.

Kırıcı binasında kırıcının astarlarını değiştirmek, motor ve dişli kutusuna bakım ve tamir hizmeti verebilmek için, gezer vinç bulunmalıdır. Ayrıca, yıkama tesisinin her katında, teçhizata ulaşabilecek vinç ve kaldırma teçhizatı yer almalıdır. Özellikle diklemesine inşa edilen kömür yıkama tesisinde, her katına ulaşacak malzeme ve insan asansörleri bulunmalıdır. Arazi şartlarının uygun olması durumunda kömür yıkama tesisi, meyilli arazi üzerine inşa edilerek, malzemenin tabii akışı sağlanmalıdır. Aksi takdirde, dikine inşa edilecek bir yıkama tesisinde, pompalama ve malzeme taşıma masrafları yüksek olacaktır. Yüksekliği 23 metre olan bir kömür yıkama tesisinin, yüksekliği 60 metre olan bir kömür yıkama tesisine göre inşaat, işletme, pompalama v.b. gibi masraflar hesaba alınarak %40 oranında daha ucuz maliyetle kömür yıkayacağı tesr.it edilmiştir (Ünver, 1991).

Özellikle, ana yıkama teçhizatının ayar yapılan düzenekleri, tahriklerinin bulunduğu alanlar, tamir ve bakımın kolaylıkla yapılabilecek genişlikte alana sahip olmalıdır. Çok sıkıştırılmış bir yıkama tesisi, tamir-bakımın rahatlıkla yapılmasını engelleyecektir. Birçok imalatçı tarafından pazarlanan modüler tip kömür yıkama tesisleri, gelecekte yapılacak değişiklikler için oldukça rahat imkanlar sağlamaktadır.

#### *2.1.3 Teçhizatta Yedeklik*

Kömür yıkamada kritik önem taşıyan ekipman, paralel devre olarak dizayn

edilebilir. Ancak maliyet unsurunun buna müsaade etmemesi halinde, kapasite yarıya düşürülerek teçhizat devrede paralel olarak tutulabilir. Elekler, bir yıkama tesisinde en çok arıza gösteren ve parça değiştiren teçhizattır. Bu nedenle yıkama devresinin kritik noktalarında bulunan elekler, yedekli olarak tesis edilebilir.

Malzeme akışını yönlendiren oluklar malzemeyi, birbirine yedeklik yapan teçhizata yönlendirebileceği gibi, gerektiği durumlarda by-pass imkanlarını da yaratabilmelidir. Böylelikle malzeme akışı, arıza ve kısa süreli durmalarda engellenmemelidir. Pompalar, önemli hatlarda yedekli olarak tesis edilmelidir. Böylelikle bir miktar fazla yatırıma neden olunmakla beraber, tesisin pompalama problemi nedeni ile duruşu önlenmiş olur.

### *2.1.4 Aşınmalara Karşı Önlemler*

Genel olarak kömür yıkama tesislerinde malzeme yenilenmesi, işletme giderlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Ayrıca, malzeme yenilenmesi için sarf edilen süre ve tüm tesisteki duruşlar, bu giderlerin daha da büyümesine, tesisten elde edilecek urunun miktarının azalmasına neden olacaktır. Aşınmada en ciddi sorunlar, kırıcılarda, borularda, oluklarda ve değirmen devrelerinde oluşmaktadır. Astarlar, aşınmaya dayanıklı takviyeli malzemeden imal edilmelidir.

Elekler, aşınma açısından en çok problem yaratan ekipmanlar arasında yer almaktadır. Elek gövdeleri, parçalar halinde değiştirilebilir biçimde imal edilmelidir. Muhtelif çelik alaşımları, elek gövdesi olarak aşınmaya dayanıklı şekilde imal edilmekle birlikte, lastik-plastik malzemeden imal edilen elekler, aşınmaya karşı olumlu sonuçlar vermektedir. Özellikle ağır ortam pompalayan pompalar, özel alaşımlı, aşınmaya dayanıklı çelikten imal edilmiş olmalıdır. Pompalarda pervanenin ve gövde astarının aşınmaya dayanıklı, lastik-plastik malzemeden imal edilenleri, diğer tiplere nazaran birkaç kat yatırım maliyetine neden olmasına rağmen, uzun ve arızasız kullanım süreleri, bu tip cihazları cazip kılmaktadır. Ağır ortam siklonları, seramik veya özel aşınmaya dayanıklı malzeme ile kaplanabilir veya bu malzemeler ile imal edilebilir.

Silo çıkış ağızlarında ve oluklarda malzemenin akışını kolaylaştırmak, tıkanma ve aşınmaları önlemek için özel aşınma plakaları kullanılmaktadır. Genellikle poliüretan malzemeden imal edilen plakalar üzerinde malzeme yapışması olmadığı için sürekli akış sağlanmaktadır. Özellikle ince ve küllü kömürlerde bu tip plakaların kullanılması kaçınılmazdır.

### *2.1.5 Otomasyon*

Kömür kalitesindeki değişimin pazar tarafından arzu edilmesi ve kömür yıkama tesislerinden daha yüksek randımanlar ve sabit kalitede ürün elde edilme zarureti, otomasyonu gerekli kılmaktadır. Tesisin kademeli devreye sokulması ve rahat yol verme veya tesisi durdurmak gibi hallerde, pompaların ve motorların sırasına uygun olarak çalıştırılması, devrelerin en basit kontrolü olarak tanımlanabilir.

Otomasyon sistemleri ile işletmeciliği yapılan tesislerdeki verimlilik ve kar artışları, günümüz dünyasında bilinen bir gerçektir. Operatör, sisteme ait tüm arızaları (mekanik veya elektrik), bilgisayardan on-line takip edebilmektedir. Arıza ile ilgili açıklayıcı bilgiler (oluştuğu zaman, yer, operatör, giderildiği zaman, açıklama) operatöre sunulmakta ve yetkili mühendisin sonradan inceleyebilmesi ve yazıcıdan kağıda dökebilmesi için sabit diske kaydedilmektedir ve kapsamlı raporlar alınmaktadır. Tesis kapasitesi, tesis optimum çalıştırma değerleri, çalışma ve tesis verimini etkileyen bütün kritik değişken değerler izlenebilmektedir.

## 2.2 Örnek Tesis Ekipman Listesi

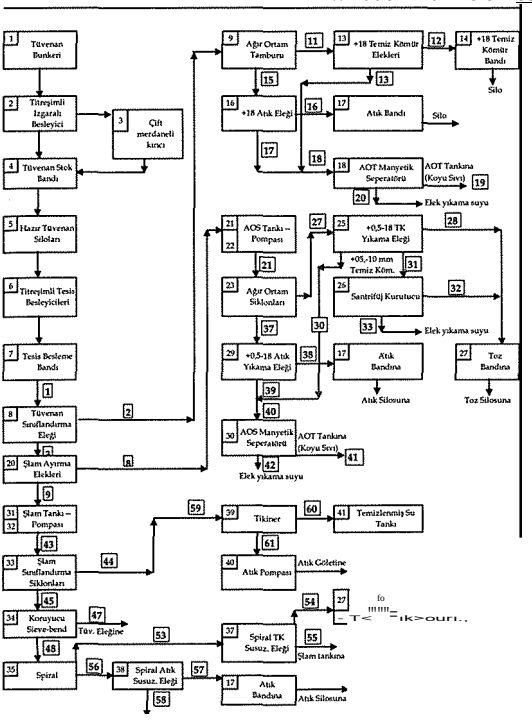
Kömür yıkama tesisinin tesis dizaynı yapıldıktan sonra ekipman seçimi yapılmış, kapasiteleri, motor güçleri ve boyutları tasarlanmıştır.

Ongörülen tesis ekipman listesi, Seyitömer Bölgesi B-3 daman kömürü için 300 t/h kapasiteli kömür yıkama tesisi olarak tasarlanan ekipman listesidir ve Çizelge **1** olarak gösterilmiştir. Ekipman listesi içerisindeki ilk 6 ekipman tüvenan hazırlama sistemi olarak tercih edilmiştir.

Yıkama ekipmanı olarak ağır ortam tamburu, ağır ortam siklonu, spiral dizaynı öngörülmüştür. Aynı zamanda tesis akım şeması blok diyagramı da Şekil 1 'de verilmiştir (Gitmez, 2005).

**Çizelge 1. Seyitömer Bölgesi B-3 Daman Kömürü İçin 300 t/h Kapasiteli Kömür Yıkama Tesisi Ekipman Listesi**

| Ek.No | Ekipman İınd | Adet | Kapasitesi | Boyutlan | Motor gücü |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Tüvenan Bunkeri | 1 | 100ton | 5x3x7,5m | - |
| 2 | Titreşimli Izgaralı Besleyici | 1 | 375t/h | 0,91x2,44m | 20kW |
| 3 | Çift merdaneli kıncı | 1 | 77t/h | 51cmx 46cm | 7,5HP |
| 4 | Tüvenan Stok Bandı | 1 | 375t/h | 36" | 18kW |
| 5 | HazırTüvenan Silolan | 3 | 100ton | 5x3x7,5m | |
| 6 | Titreşimli Tesis Besleyicileri | 3 | 350t/h | 0,9lx1,83m | 7,5HP |
| 7 | Tesis Besleme Bandı | 1 | 375t/h | 36" | 18kW |
| 8 | Tüvenan Sınıflandırma Eleği | 1 | 350t/h | 2,44 x 4,88 | 30HP |
| 9 | A u-Ortam Tamburu | 1 | 140-250t/h | 3,6x3,6 | |
| 10 | A ır Ortam Tamburu Tanh | 1 | 24m' | (çl4,25x3,7,h)m | - |
| 11 | Ağır Ortam Tamburu Pompası | 1 | 403m'/h | 200/150 F | 45kW |
| 12 | +18 Temiz Kömür Susuzlandıncı Sabit Yatay Elek | 1 | 206m'/h | 0,5xl,25 | - |
| 13 | +18mmTemizl<ömür Yıkama Eleği, İkikatlı | 1 | 170t/h | 1,82 x 4,88 | 20HP |
| 14 | +18mm Temiz Kömür Bandı | 1 | 170t/h | 30' | 12kW |
| 15 | +18 AtıkSusuzlandıncı Sabit Yatay Elek | 1 | 53m'/h | 0,2x1,25 | - |
| 16 | +18 Atık Yıkama Eleği | 1 | 401/h | 1,82x 4,88 | 15HP |
| 17 | Tesis Atık.Bandı | 1 | 86-476t/h | 30" | 17kW |
| 18 | AOT Manvetik Seperatörü | 1 | 225m'Jh | (ç1610x177l)mm | 1,5kW |
| 19 | Şlam Avımıa Eleği Sieve Bendi | 2 | 180m'Jh | 1,55 x1,o6 (Rl550) | - |
| 20 | Şlam Avımıa Eleği | 2 | 180!/h | 1,82x 4,88 | 15HP |
| 21 | Ağır Ortam Siklon Tan | 1 | 24m, | (ç\4,25 x 3,7,h)m | - |
| 22 | Ağır OrtamSiklon Pompası | 1 | 188m'/h | 150/lOOE | 20kW |
| 23 | AğırOrtamSiklonlan | 2 | 165m'/h | (,/>510)mm | - |
| 24 | +0,5-18 Temiz Kömur Eleği SieveBendi | 1 | 115m'/h | 1,55 x1,Q6 (R1550) | - |
| 25 | +o,5-18TemizKömur yıkama. Eleği, İkikatlı | 1 | 45!/h | 1,82 x 4,88 | 20HP |
| 26 | Santrifüj Kurutucu | 1 | 80-200!/h | (EnxYük.XBoy)m. 1,50 x 1,83x 2,43 | Drive - Eccentric 30HP-5HP |
| 27 | Toz Bandı | 1 | 134t/h | 24" | 5,6kW |
| 28 | +0,5-18 Atık Eleği Sieve Bendi | 1 | 115m'Jh | 1,55 x1,o6 (R1550) | - |
| 29 | +o,5-18 Atık Yıkama Eleği | 1 | 45t/h | 1,82 x 4,88 | 15HP |
| 30 | AOS Manvetik Set'}pmtörü | 1 | 225m'Jh | (ç1610x177l)mm | 1,5kW |
| 31 | ŞlamSiklon Tankı | 1 | 24m' | (ç\4,25 x 3,7,h)m | - |
| 32 | Şlam Siklon Pompası | 1 | 378m'Jh | 200/150F | 45kW |
| 33 | Şlam Siklonlan | 3 | 139m'Jh | (çl356)mm | - |
| 34 | Spiral Koruyucu Sieve Bend | 1 | t/h | 1,25 x1,0 (Rl550) | - |
| 35 | Spiral | 16 | 50m'/h | 3,25tum 0.96--meter0 helix 160-mm 0 center column | - |
| 36 | +0,1-0,5mmKömUr Susuzlandıncı Sieve Bend | 1 | 65m'/h | 1,55 x 1,o6 (R1550) | - |
| 37 | +0,1-0,5 mm KömürSusuztandınna Eleği | 1 | 15t/h | 1,82x3,66 | l0HP |
| 38 | +0,1-0,5 mm Atık Susuzlandınrıa Eleği | 1 | 10!/h | 1,82 x3,66 | l0HP |
| 39 | Tikiner | 1 | 359t/h | (Çap x Yükseklik) m. 12 x 3,5 | - |
| 40 | Atık Pompası | 1 | 110m'Jh | 150/lOOE | 160kW |
| 41 | Temizlenmiş Su Tankı | 1 | 44m' | (EnxYUk.XBoy)m. 3x3,7x4 | - |
| 42 | Temizlenmiş Su Pompası | 1 | 350m'Jh | 150/lOOE | 132kW |
| 43 | Taze Su SaRlama Pompası | 1 | 110m'/h | 75/50C | 55kW |
| 44 | Taze Su Tankı | 1 | 22m' | (En x Yük. X Boy) m. 3x2,5x3 | - |




Şekil **1.** Tesis akım şeması blok diyagramı

## 3 TESİS BAKIM PROGRAMI

Tesisin bakım programı hazırlanırken, öncelikle ekipmanların arızalarının öngörülmesi için kestirimci bir bakım programı hazırlanmıştır. İkinci olarak periyodik takibi yapılacak elektriksel ve mekanik kontroller belirlenmiştir. Daha sonra yağlama programı tespit edilmiştir. Bakım programlarının gerçekleştirilmesine yönelik olarak malzeme takip ve stok kontrolü ve iş emirlerinin hazırlanması konulan işlenmiştir. Bakım programları, toplam üretken (verimli) bakım programı içerisinde bir bütün olarak ele alınmıştır. Kalite yönetim standardizasyonu ile ilgili konular bu çalışma dışında tutulmuştur.

### 3.1 Bakım Programları

Geleneksel olarak, işletmelerdeki bakım çalışmaları iki farklı yöntem izlenerek yapıla gelmiştir. Birinci yöntemde, mevcut makine ve ekipmanda arıza çıkıncaya kadar bir bakım yapılmayıp ancak arıza çıktıktan sonra bakım ve onarım çalışmaları yapılmaktadır. Bu da üretim kayıplarını ve büyük bakım bütçeleri ayırmak zorunluluğunu beraberinde getirmektedir.

İkinci yöntemde ise bakım çalışmaları planlı olarak belirli aralıklarda yapılarak makine ve ekipmanın ömrünü uzatmak hedeflenmektedir. Önleyici bakım olarak adlandırılan bu yöntemde belirli aralıklarla işletme duruşlarına gidilerek makine ve ekipman bakıma alınmaktadır. Bu aşamada genellikle yağlama, boyama, temizleme, ayarlama, bazı parçaların değiştirilmesi gibi işlemler yapılmaktadır. Örneğin, bir rulmana belirli bir çalışma ömrü biçilmekte, biçilen ömrün sonuna yaklaşıldığında rulman değiştirilmektedir. Bu yöntem arıza çıktıktan sonra bakım yapmaktan daha iyidir, ancak bakım masrafları hala yüksektir, anormal çalışma şartlarından doğabilecek arızalar hala plansız işletme duruşlarına yol açabilecektir. Aynı zamanda hatalı, dikkatsiz bakım çalışmaları kısa sürede yeni plansız duruş olması riskini arttırmaktadır.

Mevcut makine ve ekipman ile artan üretim taleplerini karşılama ihtiyacı, kestirimci ve proaktif bakım kavramlarının gelişmesine neden olmuştur. Kestirimci bakım kavramı, mevcut makine ve ekipmanın durumunu takip edip yavaş yavaş gelişen arızaları başlangıç aşamasında bularak plansız duruşları asgariye indirmeyi hedeflemektedir. Bu yöntem belirli aralıklarla bakım çalışması yapmaya göre daha etkili ve daha az maliyetlidir.

#### *3.1.1 Arızi Bakım*

Arızi bakım, donanımlarda aniden meydana gelen ve önlenmesi mümkün olmayan arızaların bakım işlemidir. Makine, oluşan beklenmedik bir arıza nedeniyle durduğunda yapılan bakım ve onarımları içermektedir. Bu bakım yönteminin en önemli dezavantajı, hasarın ne zaman meydana geleceği bilinmediğinden, gerçek bir üretim planı yapmanın mümkün olmayışıdır.

### *3.1.2 Periyodik Bakım*

Periyodik (planlı) bakım isletmedeki araç, makine ve diğer ekipmanlara ait belirli periyotlarda yapılması gereken bakımdır. Bu periyotlar zaman, üretim adedi, km gibi ürün bazında veya başka bir değişken bazında da olabilir. Makinelerin periyodik olarak kontrol edilerek olası bir hatanın önceden fark edilmesi, bakım alanında avantaj sağlamaktadır.

### *3.1.3 Kestirimci Bakım*

Bu bakım yönteminde ana prensip, üretim sırasında yapılan ölçümlerle makinelerin performansını izleyerek ne zaman bakıma gerek olacağına karar vererek kısa bir süre üretime ara verilip daha önceden belirlenen muhtemel arızayı ortaya çıkmadan onarmaktır. Makinenin karakteri ve çalışma koşulları göz önünde bulundurularak yapılan program çerçevesinde, üretimi durdurmadan bazı parametrelerin kontrolü ve ölçümü yapılır. Hata teşhis edildikten sonra, gerekli yedek parça temin edilerek üretim durdurulur ve mümkün olan en kısa zaman süresinde bakım yapılıp tekrar üretime devam edilir.

Kestirimci Bakım, donanımlarda ölçüm noktalarının ve bu ölçüm noktalarına ait alt ve üst limitlerin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Bu ölçüm noktalarında, belirli aralıklarla yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler, alt ve üst limitlerin dışına çıkıyorsa bakımın gerçekleştirilmesine karar verilir. Örnek olarak donanımın herhangi bir noktasındaki sıcaklık değeri ya da yağ seviyesi gösterilebilir. Bu değerler için belirlenecek limitlerin belirli aralıklarla ölçümleri yapılarak sıcaklık ve hararetin istenen aralıkta tutulması sağlanır.

### *3.1.4 Toplam Üretken (Verimli) Bakım*

Bakım sistemlerinde son 15-20 yılın yeni sayılabilecek yaklaşımı, tüm bakım faaliyetlerinin "Toplam Üretken (Verimli) Bakım" adı altında bir bütün olarak ele alınmasıdır. Teknolojideki son yıllardaki hızlı değişim, aynı şekilde Yönetim Sistemleri'ndeki hızlı değişim, bakım konusunun (varlıkların yönetimi) bir bütün halinde ele alınmasını zorunlu kılmıştır. Bütün çalışmaların amacı, maliyetlerin kontrol edilmesi ve daha verimli bir çalışma ortamı yaratılmasıdır. Toplam üretken (verimli) bakım içerisinde bilinen planlı ve arızi bakım faaliyetleri yer aldığı gibi, bakım azaltma (LCC-Life Cycle Cost - Yaşam boyu maliyet), bakım kolaylaştırma ve makine-proses operatörlerinin sorumluluk ve motivasyonlarını arttırma çalışmaları da vardır. Toplam üretken (verimli) bakım uygulaması mühendislik, üretim, bakım, satın alma, stok kontrol gibi birden fazla birim tarafından yapılırken tüm personelin ilgisini ve katkısını ve yöneticilerin desteğini gerektirir.

Toplam üretken (verimli) bakım sisteminde üretken bakım, zaman içinde donanımlarda meydana gelen arıza nedenlerinin ve sıklıklarının analizleri sonucunda uygulanır. Üretken bakımda esas olan, sistem duruşlarının belirlenmesi ve bir daha ortaya çıkmayacak şekilde ortadan kaldırılmasıdır.

## 3.2 Örnek Tesis Bakım Sistemi

Bu bakım programının oluşturulmasındaki temel amaç, ekipman verimliliğini maksimuma çıkarmak ve duruşları ortadan kaldırmaktır. Örnek tesis bakım sistemi olarak yukarıda bahsedilen bütün bakım programlarını içine alacak şekilde, toplam üretken (verimli) bakım sistemi oluşturulmuştur.

Bakım yönetim sisteminde yer alan kalite yönetim sistemi, bu bakım programının çok önemli bir kısmını oluşturmakla birlikte, bu konu detaylı ve kapsamlı olduğu ıçın çalışma dışı tutulmuştur. Ancak kalite yönetim sisteminin bu bakım programı ile beraber uygulanmasının gereği bilinmelidir. Burada sadece bakım yönetim sisteminin temellerini oluşturan bakım sistemleri değerlendirilmiştir.

### *3.2.1 Veri Tabanı*

Kestirimci bakım ve periyodik bakım programları uygulanarak sistem ve ekipmanları hakkında bir veri tabanı oluşturulacaktır. Bu veri tabanında oluşturulan arıza, bakım ve çalışma ile ilgili bilgiler değerlendirilecektir. Sistem ve ekipmanların çalışmaları ile ilgili bu bilgiler sayesinde, arızasız beklenmedik duruşların olmadığı, çalışanları ile tamir-bakım ve işletmecilik maliyetlerinin en aza indirilebildiği, bir tesis toplam üretken bakım sistemi oluşturulacaktır.

### *3.2.2 Tesis Çalışan Kadrosu*

Bakım faaliyetinin· ana görevi yüksek işletme güvenilirliği, yüksek bakım güvenilirliği ve yüksek devamlılık sağlamaktır. Ekipman etkinliğini artırmanın temel prensipleri; detaylı ve doğru ölçümlerin yapılması, kesin önceliklerin belirlenmesi, açık hedeflerin tayinidir. Bakım süreci, bir ekipmanın/prosesin genel çalışma koşullarını en iyi düzeye getirebilmek için süreç öncesinde, sırasında ve sonrasında oluşabilecek kayıpları sıfır düzeyine getirmeye çalışır. Bunu başarabilmek ıçın üretim ve bakım bölümleri birlikte bakım planlamasını yaparlar. Bu planlamaya organizasyonun, üretim, geliştirme, satışlar, yönetim gibi tüm fonksiyonlarının katılımı sağlanmalıdır. Dolayısı ile bakım programındaki görevleri yerine getirecek olanlar, yöneticiler dahil bütün tesis çalışanlarıdır.

Bu çerçevede tesisin üretime çalışmasından sorumlu olan işletme operatörlerinin de bu bakım programının hayata geçirilmesinde sorumlulukları vardır. Bu sorumluluk, işletme operatörlerinin tesis rutin bakım işlerini üstlenmesidir. Tesis işletmecisi operatörlerin sorumlulukları şunlardır; günlük kontrol, basit yağlama işleri, küçük bakımları yapmak, önemli arızaların habercisi olan anormal durumları (ses, ısınma, titreşim vb.) anlayıp bakım grubunu zamanında çağırmak.

Bu örnek tesis bakım programlarının uygulanmasının amacı, bakımın geliştirilmesidir. Bu süreç; üretim planlama, ürün geliştirme, kalite, üretim, satış ve pazarlama süreçlerinin yakın işbirliği ile birlikte gelişecek ve sonuçta kapasitede olumlu artışlar, kalitede gelişmeler sağlanacaktır.

## 3.3 Örnek Tesis Bakım Programları

### *3.3.1 Kestirimci Bakım Programı*

Örnek uygulamada, üretimin sürekliliğini sağlayan makineler sırayla tespit edilmiştir. Kestirimci bakım programı çerçevesinde periyodik rulman-keçe bakım programı, aşağıdaki Çizelge 2.de verilmiştir.

Bu çizelgeden görüleceği üzere, ekipmanlar belirlendikten sonra ekipman bileşenleri için uygulanacak olan program tipleri seçilmiştir. Bu program tipleri, ekipman bileşenlerinde yapılacak ölçüm ve analizler ile ekipmanların durumları hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Bu programlar, vibrasyon ölçümü, sıcaklık ölçümü ve yağ örneğinin alınarak analizinin yapılmasıdır. Ölçüm periyotları 12 haftada bir olarak belirlenmiştir.

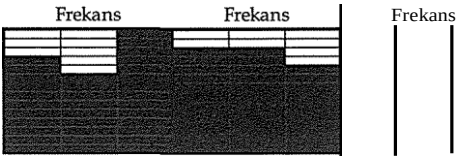
Çizelge 3.te ise, yine kestirimci bakım programı çerçevesinde vibrasyon ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlere örnek bir değerlendirme sunulmuştur. Birinci örnekte O,1-18 temiz kömür bandının redüktörü üzerinde yapılan vibrasyon ölçümünün değerlendirmesi sonucunda redüktörün rulmanları ile ilgili kısa zaman içerisinde bir arızanın beklenmesi gerektiği öngörülebilmektedir. Bu bandın motorunda yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi halinde de hem motor rulmanında arıza beklentisi hem de motor milinde balanssızlık tespit edilmiştir.

Kestirimci bakım programı çerçevesinde yapılan işlemlerin değerlendirilmesi sonucu, bakımı yapılacak veya değiştirilecek parçaların uygun görülen zaman dilimlerinde, periyodik bakım programına alınarak bakımı yapılacaktır.

**Çizelge 2. Kestirimci Bakım Programı Çerçevesinde Periyodik Rulman-Keçe Bakım Programı**

| PERiYODiK RULMAN-KEÇE BAKIM PROGRAMI | | | |
|---|---|---|---|
| Fonksivonel Ekipman | Ekipman Bileşeni | Program tipi | Frekans |
| Besleyici | Motor | Vibrasvon Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | Redüktör | Vibras"VOn Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | | YağAnalizi | 12hafta |
| | Koyış-Kopl!n | Vibrasvon Ölc:;:ümü | 12hafta |
| Kıncı | Motor | Vibrasvon Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | Redüktör | Vibrasvon Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | | Ya Analizi | 12hafta |
| | :Kavıı;ı-Kaplin | Vibrasvon Öh;:ümü | 12hafta |
| Bant | Motor | Vibrasvon Öh:ümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | Redüld:ör | Vibrasvon Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | | Yas;i;Analizi | 12hafta |
| | l<avıi!i-l<aplin | Vibrasvon Olc;ümü | 12hafta |
| | Tambur:ru.lma.n vata.klan | Vibrasvon Ölcümü | 12hafta |
| Elek | Motor | Vibrasvon Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | Redüktör | Sıcaklık Oli:;ümü | 12hafta |
| | | Ya Anali.zi | 12hafta |
| | KavıG:-l<aPlin | Vibrasvon Ölc:UmU | 12hafta |
| Pompa | Motor | Vib:rasvon Ölcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Olc:ümU | 12hafta |
| | Redül<tör(Support) | Vibrasyon OlctimU | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölc;ümü | 12hafta |
| | | Ya Analizi | 12hafta |
| | Kavı!i-l<aPlin | Vib:rasvon Ölc:Umü | 12hafta |
| | Fan | Vib:rasvon Olc:ümU | 12hafta |
| | Pomoa 2:övdesi | Vibrasvon Olc:ümü | 12hafta |
| Ağır Ortam Tamburu | Motor | Vibrasyon Oli:;Umti | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölc:UmU | 12hafta |
| | Redüktör | Vibrasvon ÖlcUmU | 12hafta |
| | | Sıcaklık Ölcümü | 12hafta |
| | | Ya Analizi | 12hafta |
| | Koyış-Koplin | Vibrasyon Oli:;ümü | 12hafta |
| | Tambur rulman yata.klan | Vibrasvon Ölc:Umü | 12hafta |
| Tik.iner | Motor | Vib:rasvon Olc:ümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Olcümü | 12hafta |
| | Redüktör | Vib:rasvon Olcümü | 12hafta |
| | | Sıcaklık Olc;ümü | 12hafta |
| | | YağAnalizi | 12hafta |

Çizelge 3. Vibras on Öl üm Cihazı ile Ya ılan Öl ümlere Ait Bir Örnek De erlendirme

| **SEMBOL** | *1Y* | *2S* | *3K* | *ilk rakam-lıar(; LOW,2.:* MID, *3.:filGH* |
|---|---|---|---|---|
| 0,1-18 TK Bandı Redüktörü | YATAY Frekans | DÜŞEY Frekans | EKSENEL Frekans | |
| DEĞERLENDİRME HIGH MID'den çok yüksek: RULMAN ARIZASI | | | | |
| **SEMBOL** | YATAY | DÜŞEY | EKSENEL | |
| 0,1-18 TKBandı Motoru | Frekans | Frekans | Frekans |  |
| DEĞERLENDİRME | Balanssızlık ve rulman arızası | | | |

### *3.3.2 Periyodik Bakım Programı*

Bu bölümde planlı bakım yöntemlerinin periyodik bakım takvimleri oluşturulmuştur. Yağlama teknolojisinin önemi çerçevesinde yağlama programı hazırlanmıştır. Bakım işlemlerinde elektriksel ve mekanik kontrol sistemleri belirlenmiştir.

Hazırlanan bakım programlarının gerçekleştirilmesi sırasında dikkat edilecek çok önemli bir konu da, makine bakımında iş güvenliğinin öneminin ve iş güvenliğinin sağlanması için yapılması gerekenlerin bütün çalışanlarca bilinerek uygulanmasıdır.

#### *3.3.2.1 Elektriksel Kontroller*

Tesisin elektrik sistemi ile ilgili yapılacak bakım işlemleri belirlenmiştir. Elektriksel arızalara çoğunlukla, start-stop buton hatlarında, haberleşme hatlarında ve yüklenmelere bağlı olarak kesici, kontaktör ve rölelerde karşılaşılmaktadır. Bu arızaların ortaya çıkmasını önlemek için çalışma şartları ve zeminine uygun dizayn edilmiş elektrik hatları, çözümü kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda, diğer elektriksel parçaların kullanım amacına uygun ve kaliteli malzemelerden seçilmesi, beklenmedik arızaları çok azaltacaktır.

Elektriksel kontrollerde, kumanda hatlarında voltaj ölçüm kontrolü ile toprak hatlarının topraklama kontrollerinin de periyodik olarak yapılması gerekmektedir. Bu kontrollerin periyodik olarak gerçekleştirilmesi, hem iş sağlığı ve güvenliğinin sürekliliğinin sağlanması hem de ortaya çıkabilecek beklenmedik elektriksel arızaların önceden kestirilmesine olanak verecektir.

Çizelge 4.te periyodik bakım programı çerçevesinde yapılacak elektriksel kontroller gösterilmiştir.

Çizelge 4. Periyodik Bakım Programı çerçevesinde Yapılacak Elektriksel Kontroller

| ELEICTRJKSELKONTROLLER | | | |
|---|---|---|---|
| Bütün ekipmanlar | Start too butontan | Çalışma kontrolü | 24hafta |
| | Güchatlan | İzo1asvon | 52hafta |
| Bütün sistem | Toprakhatlan | Topraklama kontrolü | 24hafta |
| | Kumanda hatlan | Gerilim kaynaRı volta\ ölçümü | Sürekli |
| Motorlar | l<lemens kaoaklan | b:otasvon | 24hafta |
| Bantlar | Emnivet telleri ve komalar | Calısma kontrolü | 24 hafta |
| Trafo | Ayıncı kontaktlan, kesici | Açma-kapama sayısı kontrolü Aşınma kontrolü | 52hafta |
| | Trafo vaılı | Butcholz rölesi a...tıı>mda dl!SHuneli | En kısa zamanda |
| | Nemtutuc:u | Silika telin rensdnin kontrolü | 4haft:a |
| | Bus:hing (izolatör) | iletken toz ljartlanna göre temizlik | 52haft:a |
| | Askı izolatörü | lletken toz ;artlanna 2:öre temızlık | 52hafta |
| MCC | Kesici, kontaktör, röle | Parı;a değişimi | Çalı!jma şartlannm ağırlığına ve malzeme kalitesine göre 1-Svıl |
| | Tenrıikröle, vardımcı kontakt.ör | Kontakt testi | 1 yıl |
| Otomasyon | Scada programı | Vardiya raporlan ve istatistik veriler Yedekleme | 4hafta |
| | PLC ve Scada :n-ranu | Yedekleme | Her :nn-ıoram de2isikliğinde |
| | CPU (Ana işlemci) | Donanım tipine bağlı olarak hafıza pili dei;i imi | 1 yıl |

#### *3.3.2.2 Yağlama Programı*

Bu çerçevede tesis ekipmanları ıçın hareket verme ve iletme mekanizmalarının yağlanması ile ilgili bilgiler hazırlanarak kullanılan yağlar ve kullanım yerleri göre belirlenmiştir. Yağlama bakım işlemlerinin hangi periyotlarla yapılması gerektiği, bakım takvimleri ve kartları oluşturularak bir liste haline getirilmiştir.

Tercih edilen yağ cinsleri, miktarları ile değişim saatleri fiili olarak çalışan lavvar tesisi temel alınarak hazırlanmıştır. Tesis ekipmanlarının yağlama programı Çizelge 5.te sunulmuştur.

Çizelge 5. Periyodik Bakım Programı çerçevesinde Yapılacak Yağlama Programı

| TESİS EKİPMANI.ARI YAGLAMA PROGRAMI | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| SIRA NO | EKİPMAN NO | EKİPMAN ADI | YAĞ CİNSİ | MİKTARI | DEĞİŞTİRME SÜRESİ |
| 1 | 6 | Titreşimli Izgaralı Besleyici Redüld:örü | POfisiM220 | 141t | 2000 Saat |
| 2 | 8 | Tüvenan Sınıflandınna Eleği Redüld:örü | POfisiM150 | 401t | 800 Saat |
| 3 | 13 | +18 mm temiz kömür eleği redüld:örü | POfisiM150 | 3,5!t x 2 | 800Saat |
| 4 | 20 | Şlamayınna eleği redüld:örü | POfisiM150 | 4,5 lt | 800Saat |
| 5 | 25 | +0,5-18 mm temiz kömür eleği redüld:örü | POfisiM150 | 3,51t x 2 | 800 Saat |
| 6 | 29 | +0,5-18 mm Atık Yıkama Eleği Redüld:örü | P Ofisi M 150 | 4,5 it | 800 Saat |
| 7 | 22 | Ağır Ortam Siklon Pompası | Keban 90 | Bit | 800 Saat |
| 8 | 11 | Ağır Ortam Tambur Pompası | Keban 90 | Bit | 800Saat |
| 9 | 32 | ŞlamSik1on Pompası | Keban 90 | Bit | 800Saat |
| 10 | 42 | Temizlenmiş Su Pompası | Keban 90 | 8 it | 800 Saat |
| 11 | 43 | Taze Su Sağlama Pompası | Keban90 | Bit | 800 Saat |
| 12 | 40 | Atık Pompası | Keban 90 | Bit | 800Saat |
| 13 | 45 | Salmastra Suyu Pompası | Keban 90 | 11t | 800Saat |
| 14 | 39 | Tikiner Ana Tahrik Zinciri | POfisiM220 | 11t | 500 Saat |
| 15 | 39 | Tikiner İndirme Ka!dınna Redüld:örü | POfisiM320 | 11t | 1000 Saat |
| 16 | 7 | Tesis Besleme Bandı Redüld:örü | Mobil DTE BB (Türbin Yağı 150) | 1101t | 1800 Saat |
| 17 | 4 | Tüvenan Stok Bandı Redüld:örü | Mobil DTE BB (Türbin Yağı 150) | 701t | 1800 Saat |
| 18 | 14 | +18 mm Temiz Kömür Bandı Redüld:örü | Mobil DTE BB (Türbin Yağı 150) | 5!t | 1800 Saat |
| 19 | 17 | Tesis Atık Bandı Redüld:örü | Mobil DTE BB (Türbin Yağı 150) | 131t | 1800Saat |
| 20 | 18 | AOT Manyetik Seperatörü Redüld:örü | POfisiM220 | 6 it | 6000 Saat |
| 21 | 30 | AOS Manyetik Seperatörü Redüld:örü | P Ofisi M220 | 6!t | 6000 Saat |
| 22 | 9 | Ağır Ortam Tamburu Redüld:örü | POfisiM150 | 161t | 2000 Saat |

Makineler için yağ kimyasal bir akı$kandan öte, çalışma kondisyonunu direkt olarak etkileyen sıvı bir makine elemanıdır. Makinelerde uygun yağın kullanılmaması ya da zamanla özelliklerini yitirmiş yağın, kontrol edilmediğinden dolayı kullanımına devam edilmesi, işletmelerde ekipmanların bazı parçalarının ve/veya tamamının kaybının yanında, gereksiz beklenmedik arızi duruşlara ve bakım maliyetlerine, aynı zamanda üretim kayıplarına sebep olabilmektedir. Yağın yanlış ve eksik kullanımının sebep olabileceği ağır sonuçlardan ve gereksiz tüketiminden korunma yollarının bilinerek uygulanması da, hem bakım hem de üretim maliyetlerini aşağıya çekecek önemli bir faktördür.

### *3.3.2.3 Mekanik Kontroller*

Tesiste bulunan ekipmanların mekanik kontrollerinin yapılacağı ünite ve detayları ile hangi işlemlerin yapılacağı ve işlem periyotları tespit edilerek bakım programı da hazırlanmıştır. Kömür yıkama tesislerinde bakım çalışmaları içerisinde temel fonksiyonlar, mekanik çalışmalardır. Özellikle elekler ve pompalar, nakliye elemanları içerisinde bantlar, kırıcılar, besleyiciler, kurutucular ve diğer bir çok mekanik ekipman için bakım-onarım çalışmaları, hem kontrol aşamasında hem de kontrolden sonra arızanın giderilmesi aşamasında çok önemli bir zaman dilimini kapsamaktadır. Sayılan ekipmanların çalışmasını temin eden mekanik aksamın çokluğu ve çeşitliliği yanında aşınmadan ve yorulmadan kaynaklanan yedek parça değişimlerinin zorunluluğu eklenince mekanik çalışmaların bakım-onarım içerisindeki önemli payı anlaşılacaktır. Burada ayrıca nakliye elemanı olarak tercih edilen boru sistemlerinin değişimini mekanik çalışmalara ilave etmek gerekir. Çizelge 6.da tesiste yapılacak mekanik kontroller ile periyotları verilmiştir.

Çizelge 6. Periyodik Bakım Programı çerçevesinde Yapılacak Mekanik Kontroller

| MEKANiK KONTROLLER | | | |
|---|---|---|---|
| Titreşimli elekler, Sabit elekler | Elek Yüzevleri | Yüzev elemanı kmlma kontrolü | 12ün |
| | Elek baıHama pa ı,:aları | Ba,Hantı elemanları kontrolü | lı,ün |
| | Kasnak | Kanal ölcü kontrol | 12hafta |
| | ElekYavları | Ölcü kontrolü | 12hafta |
| | Şase kontrolü | Kavnak kontrolü | lhafta |
| | Şase kontrolü | Ba,Hantı elemanları kontrolü | lhafta |
| | Giris-cıkı• sutları | Asınma kontrolü | lhafta |
| | Vkavısları | **Uzama ve asınma kontrolü** | lhafta |
| Bantlar | Calısma oarçaları | Nominal calısma •artları kontrolü | lı,ün |
| | **Sıvıncılar** | Sıvırıcı oarçalarının kontrolü | 12ün |
| | Kasnak | Kanal ölçü kontrol | 12hafta |
| | Makara | Rulman „„,,Hama kontrolü | 12hafta |
| | Makara vetamburlar | Yüzevasınma kontrolü | 4hafta |
| | Tahrik tamburu | Kaplama malzemesi kontrolü | 4hafta |
| | Bant freni | Nominal calısma şartları kontrolü | 12hafta |
| | Giris-çıkıs şutları | Asınma kontrolü | 12hafta |
| | Bantkavışı | Kalınlık ve aşınma kontrolü | 4hafta |
| | Bant eki | Ek açılma kontrolü | lhafta |
| | Vkavısları | **Uzama ve as:ınma kontrolü** | lhafta |
| Pompa | Çalısına oarcaları | Nominal calısma sartları kontrolü | lı,ün |
| | Pomoa basınçları | Nominal deiier kontrolü | lı,ün |
| | **Salmastra ve suvu** | Nominal calışma sartları kontrolü | 12ün |
| | Kasnak | Kanal ölçü kontrol | 12hafta |
| | Vkavışları | **Uzama ve asınma kontrolü** | lhafta |
| Siklonlar | Siklon narçaları | Ölçü kontrolü | 4hafta |
| **Kıncı** | Kasnak | Kanal ölcü kontrol | 12hafta |
| | **Merdane** | Aşınma kontrolü | 12hafta |
| | Kavlama sacları | Aşınma kontrolü | 12hafta |
| | Vkavısları | **Uzama ve asınma kontrolü** | lhafta |
| Besleyici | Kasnak | Kanal ölcü kontrol | 12hafta |
| | Kaplama sadarı | Aşınma kontrolü | 12hafta |
| | Vkavısları | **Uzama ve asınma kontrolü** | lhafta |
| **Bunkerve silolar** | Kaolama sacları | Aşınma kontrolü | 12hafta |

### 3.4 İş Emirleri

İş emri hazırlamakla, iş planları, maliyetler, işçilik, malzeme, ekipman, arıza analizi ve ilişkili dokümanlar gibi detaylı bilgiler takip edilir. Arıza veya kestirimci bakım sonucu oluşmuş ve henüz tamamlanmamış açık iş emirleri ve periyodik bakımlar için oluşacak iş emirleri baz alınarak bakım personelinin iş yükleri tespit edilir ve bakım planları hazırlanarak, bakım aktivitelerinin personel tarafından önceden bilinmesi ve planlanması sağlanır.

### 3.5 Malzeme ve Yedek Parça Yönetimi

Bu modül, işletmede daima doğru zamanda ve yerde, doğru parça bulundurulmasını temin edecek bir malzeme ve yedek parça stok yönetim sistemi olarak kullanılmalıdır. Bu sistem, malzemelerin stok ve sipariş takibini yaparken stok envanter analizleri, fiyat analizleri, malzeme kullanım yerleri ve şekilleri gibi pek çok konuda oldukça detaylı bilgilerin elde edilmesi ve kolay ulaşılabilmesi ıçın gereklidir. Aynı zamanda kullanılan malzeme cins ve kalitelerinin takibi, tüketim süreleri, tedarikçi bilgileri ve kontrolü imkanını da sağlamaktadır.

### 3.6 Bakım Yönetim Sistemi

Yukarıda bahsedilen Kestirimci bakım, periyodik bakım kapsamındaki mekanik ve elektriksel kontroller ile yağlama programı, Bakım Yönetim Sistemlerinin önemli bir parçasıdır ve bahsedilen kalite sistemleri tarafından zorunlu tutulur. Aynı zamanda kalite sistemi için gerekli olan tüm kayıtları; her bir ekipman için veri analizleri, bakım talimatları ve bu çerçevede iş emirleri, malzeme ve yedek parça yönetim sistemi gibi bütün sistemin kayıtlarını, veritabanında sürekli güncelleyerek saklamak gerekmektedir.

## 4 SONUÇ ve ONERILER

İşletmeler makine ve donanıma büyük yatırımlar yapmakta ve dolayısıyla bu yatırımlarının karşılığını almak istemektedir. Makine ve tesislerin arızı duruşları veya kapasitelerinin altında çalışmaları önemli kayıplara neden olmaktadır. Sağlıklı bir üretimin yapılabilmesi, üretim programlarının aksaksız gerçekleştirilebilmesi, makine ve insan f törlerinin uyumlu çalışmasına bağlıdır. işletmelerde ekipman veriminden en yüksek düzeyde yararlanmak ise planlı çalışma koşullarına bağlıdır. Makinenin arıza yaparak beklemelere neden olması, !fim çalışma sistematiğini bozar. işletmelerin bugünkü rekabet şartlarında ayakta kalabilmesi, urun kalitesi ve ekipman kalitesi ile eşdeğer duruma gelmektedir.

İşletmelerin karlılıklarını koruyabilmesi hatta arttırabilmesi, çok iyi bir stratejik planlama ve iş süreçleri analizini beraberinde getirmektedir. İşte bu koşullar altında, üretimi aksatmadan bakım maliyetlerini düşürmek, bir işletme için kaçırılmayacak bir fırsattır. Günümüzde bir tesisin düzenli ve sürekli çalışabilmesi, karlılığı, bakım ekibinin çalışma sistemine, randımanı ve tecrübelerine de bağlıdır. Makinelerin planlı ve sistematik bir şekilde bakımı ve kontrolü, üretim maliyetlerini azaltmakta büyük rol oynamaktadır. Günümüzde en önemli rekabet avantajı, müşteri memnuniyetine odaklanan bir çalışma sistemini benimsemektir. Bakım sistemlerine yeni bir yaklaşım getiren bakım yönetim sistemi, ilgili faaliyetlerin bir bütün olarak ele alınmasını sağlayarak bilinen planlı ve arızi bakım faaliyetlerini, arızaları azaltma, bakımları kolaylaştırma ve bakım personelinin sorumluluk ve motivasyonlarını arttırarak disipline edebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Linyitlerimizin yıkanması yanında, kömür yıkama tesislerinin hem verimli hem de ekonomik şartlarda çalıştırılması gereklidir. Bu nedenle yıkama maliyetleri içerisinde önemli bir yere sahip olan tamir-bakım maliyetlerinin düşürülmesi için etkin bir bakım programının uygulanması da gereklidir.

Bir kömür yıkama tesisi için, etkin ve programlanan çalışma sürelerinin tamamının fiili olarak üretimde kullanılabilmesine yönelik olarak oluşturulan bu bakım modeli ile tesis yıkama randımanının, kapasitesinin ve verimliliğinin arttırıldığı, yıkama maliyetlerinin düşürüldüğü, uygulandığı (kalite yönetim prosedürleri hariç) Ömerler Lavvarı örneğinde tespit edilmiştir. 2005 yılı başından itibaren uygulanan bu bakım yöntemi ile 2000-2004 yıllarında ortalama yıllık 700 saat mekanik-elektrik arıza süresi, 2005 ve 2006 yıllarında 380'er saat olarak gerçekleşmiş olup, 320 saatlik süre üretimde fiili kömür yıkama kapasitesi olarak kullanılmıştır. Fiili yıllık ortalama 550 ton/saat kapasite çalışma ile 2 yılda 640 saat üretimde değerlendirilerek toplam 25.200 ton tüvenan kömür yıkandığı, satılabilir ürün olarak ta (fiili % 63,5 temiz kömür randımanı baz alınarak) 16.000 ton temiz kömür işlendiği hesaplanabilir. Bu arıza sürelerinin kazanılarak üretimde kullanılması sonucu elde edilen bu 16.000 ton temiz kömür miktarı, toplam satış hasılatı olarak 2006 yılı paçal satış tutarı olan ton başına 80 YTL'den hesaplandığında, 1.280.000 YTL'lik bir kazanç sağlandığı açıkça görülecektir.

## *KAYNAKLAR*

**Duyar ve diğerleri, (2004)** *MCM: Üretim Risklerini Azaltan, Türkiye'de Geliştirilmiş Yeni Bir Teknoloji,* Artesis Tek. Sis. A.Ş., İstanbul

**Gitmez A.,** (2005) *Seyitömer ve Soma Linyit Kömürleri için Zenginleştirme Tesis Tasarımı,* OGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir

http://www.konakmakina.com/kestirimcibakim.asp

http://www.orjin.net/periyodikbakim.html

http://hendese.tripod.com/tvb22.html

**Ünver Ö., (1991)** *Kömür Yıkama Tesislerinin Dizaynında Ele Alınması Gereken Önemli Faktörler,* Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, Editörler: Önal G., Ateşok G., TKİ, İTÜ, YMGV, , Didim, S. 252-268

# Kömür Yıkama Tesisindeki Eleklerin Kolmogorov-Smirnov Testi ile Karşılaştırılması: Ömerler Lavvarı'na Uygulanması

# *Comparison of Screens in Coal Washing Plant Using The Kolmogorov-Smirnov Test: Application of Omerler Washing Plant*

H. Ankara
*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir*
M. Uygun
*Garp Linyitleri Müessese Müdürlüğü Tunçbilek/Kütahya*
S. Yerel
*Anadolu Üniversitesi Bozüyük Meslek Yüksekokulu, Bozüyük/Bilecik*

ÖZET: Bu çalışmada, Tunçbilek Ömerler Lavvarında bulunan ve siklon üst çıkışı ile beslenen 25, 26, 27 nolu paralel çalışan kömür elekleri ile 28, 29 nolu siklon alt çıkışı ile beslenen paralel çalışan kömür elekleri analiz edilmiştir. Siklon üst çıkışı ile beslenen ve siklon alt çıkışı ile beslenen kömür eleklerinin çalışma süreleri (dak.) ve arıza süreleri (dak.) dikkate alınarak birbirleri ile uyumlu çalışıp çalışmadıkları parametrik olmayan test yöntemlerinden İki Ömek Kolmogorov-Smimov (K-S) Testi kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda siklon üst çıkışı ile beslenen eleklerin çalışma süreleri ve arıza süreleri bakımından birbirleri ile uyumlu çalıştıkları ve siklon alt çıkışı ile beslenen eleklerin de birbirleri ile uyumlu çalıştıkları sonucuna varılmıştır. Bu sonuçtan faydalanarak, siklon üst çıkışı ile beslenen eleklerin eleme verimlerinin özdeş olduğu ve siklon alt çıkışı ile beslenen eleklerin eleme verimlerinin de özdeş olduğu sonucuna varılmıştır.

**ABSTRACT:** in this study, parallel working coal screens in Ömerler coal washing plant in Tunçbilek was analyzed. Three screens numbered as 25, 26 and 27 are fed from upper flow of cyclone. Two screens numbered as 28 and 29 are fed from lower flow of cyclone. According to operation times (minutes) and down-times (minutes) of these screens, non-parametric test titled with Kolmogorov-Smimov (K-S) test for two samples was used for comparison of the screens whether working well-adjusted or not. in this comparison, according to operation times and down-times, the screens working well-adjusted were determined. As a result, the screen productivities as both feeding upper flow and feeding lowers flow were determined to be identical.

## 1 GİRİŞ

Türkiye'de kömür rezervi fazla, ancak kaliteli kömür rezervi azdır. Kömür kalitesinin aıitırılması ıçın kullanılan yöntemlerden biriside kömür yıkamadır. Kömür yıkama yöntemi ile kömürün kalorisi artar, külü azalır ve piritik kükürdün büyük kısmı atılabilir. Ancak bilindiği gibi her kömür yıkamaya uygun değildir. Türkiye'de yıkanabilir özelliğe sahip kömür miktarı çok fazla değildir. Tunçbilek havzası linyitleri,

yıkama ile iyi sonuç alınan bir yapıya sahiptir.

Tunçbilek kömürü, özellikle ithal kömürün kullanılmaya başlandığı 1986 yılına kadar Türkiye'de en çok aranan kömür olmuştur. Ancak bu yıldan sonra kaybedilen pazar payını tekrar kazanmak için Tunçbilek'de yeni bir lavvar'ın kurulması gündeme gelmiştir. Bu amaçla, üretimde merkezi bir yer olarak seçilen Ömerler Köyü yakınına 1994 yılı sonunda kesin kabulü yapılan 600 ton/saat (3.000.000 ton/yıl) kapasiteli Ömerler Lavvan faaliyete geçirilmiştir. Ömerler Lavvan 'nda tüvenan hazırlama tesisi ve zenginleştirme tesisi bulunmaktadır (Uygun ve Gitmez, 2006).

Bu çalışmada, zenginleştirme tesisinde bulunan ince kömür devresinde siklon üst çıkışı ile beslenen 25, 26, 27 nolu paralel çalışan kömür elekleri ile 28, 29 nolu siklon alt çıkışı ile beslenen paralel çalışan kömür elekleri analiz edilmiştir. Bu analiz için, kömür eleklerinin 01.08.2006 ile 31.10.2006 tarihleri arasındaki çalışma süreleri (<lak.) ve arıza süreleri (<lak.) dikkate alınarak eleklerin birbirleri ile uyumlu çalışıp çalışmadıkları parametrik olmayan test yöntemlerinden İki Örnek Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi kullanılarak belirlenmiştir.

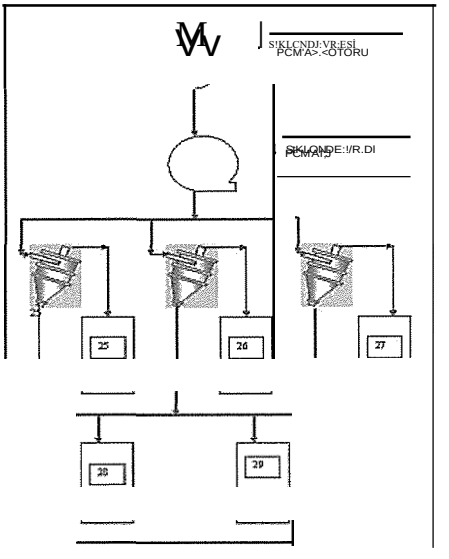
## 2 İNCE KÖMÜR DEVRESİ

İnce kömür devresinde zenginleştirme ekipmanları, ağır ortam siklonlarıdır. Bu devrede iki kademe mevcuttur. Birinci devrede 1.500 g/cm$^3$ yoğunlukta ince temiz kömür, ikinci devrede 1.800 g/cm$^3$ yoğunlukta ince ara ürün elde edilmektedir (Çiz. 1).

Birinci ağır ortam siklonlarına beslenen tüvenan kömür, şlam ayırma eleklerinin üstünde kalan +0.5 -18 mm boyutuna sahip olup, oluklarla birinci ağır ortam siklon tankına gider. Pompa ile basılan tüvenan kömürü zenginleştirmek için, 3 adet siklon yerleştirilmiştir. Üst akımdan alınan pulp, 3 adet ince temiz kömür eleğine gönderilir (25, 26, 27 nolu elekler). Ağır ortam siklon üst akımından gelen temiz kömürdeki manyetiti ayırmak üzere, ince temiz kömür elekleri önüne 3 adet sibent yerleştirilmiştir. Sibent üstü, ince temiz kömür eleğine, alta geçen malzeme birinci ağır ortam siklon tankına verilir. Sibentler, sabit kavisli elekler olup, DEISTER Company imalatıdır.

İkinci ağır ortam siklon devresinde, ağır ortam yoğunluğu, 1.800 g/cm$^3$ civarındadır. Burada zenginleştirilen, ara ürün ince mikst eleğine verilir. Manyetiti alınan ve yıkanan ince mikst, mikst bandı ile mikst stokuna gönderilir. Batan ürün, iki adet (28 ve 29 nolu) ince şist süzme eleklerinde yıkanıp manyetiti alındıktan sonra şist bandı ile şist silosuna gönderilmektedir.

İkinci ağır ortam siklonlan, birinci ağır ortam siklonlan ile aynı boyutlarda olup, ince kömür ara ürün devresinde besleme kapasitesi düştüğü için iki adettir. Birinci ağır ortam siklon devresinde iki adet olan manyetit ayırma seperatörü, ikinci siklon devresinde, iki adet batan elek ve bir adet ince mikst eleği için bir adet olarak yerleştirilmiştir. Uç eleğin sulu sıvı kısımları borularla birleştirilerek, seperatöre besleme sağlanmıştır (Uygun ve Gitmez, 2006; Uygun, yayımlanmamış).




Şekil 1. Sistemin akım şeması (Uygun ve Gitmez, 2006).

## 3 KOLMOGOROV-SMİRNOV (K-S) TESTİ

Ana kütleden rassal seçilen tek örnek için uyumluluk testi, Kolmogorov tarafından 1933 yılında geliştirilmiştir. Smirnov tarafından 1939 yılında, Kolmogorov'un testine benzer ancak iki bağımsız örnek grnbu için kullanılan uyum iyiliği testini geliştirmiştir. Kolmogorov ve Smirnov'un testi benzerlik nedeniyle, uygulamada, Kolmogorov-Smirnov testi olarak bilinir (Özdamar, 2004).

Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi, frekans dağılımlarının belirli ya da herhangi bir dağılıma uygunluğunu test etmek için yararlanılan bir uygunluk testidir. Tek örneklem ve iki örneklem uygulamaları vardır (Sheskin, 2000).

### 3.1 İki Bağımsız Örnek İçin Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi

İki bağımsız örnek için K-S Testi, nı ve n2 hacimli iki örnegın yığılımlı olasılık dağılımları $F_1(X)$ ve $F_2(X)$'in benzerliğini test eder. İki örneğin, benzer $F_1(X)$ ve $F2(X)$ yığılımlı olasılık dağılımlarına sahip iki yığından alınan rasgele örnekler olduğu varsayımı da test edilmiş olur (Özdamar, 2004).

İki bağımsız örnek için K-S testinde aşağıdaki aşamalar uygulanır (Sheskin, 2000).

- Hipotezler kurulur.

$H_0$ : $F_1(X)$ $F2(X)$

H1: $F_1(X)$* $F2(X)$

- $11_1$ ve n2 gözlem sayılı örnek gıuplarına göre ham veriler olarak işlenir ya da benzer sınıf başlangıç değerleri ve aralıkları içerecek şekilde frekans dağılımına dönüştüıülür.
- Her frekans dağılımı k bulunur ve $F_1(X)=k/n_1$ ve $F2(X)=k/n2$ biçiminde yığılımlı olasılık dağılımı durumuna getirilir.

Sınıflara göre yığılımlı olasılık dağılımlar arasındaki mutlak farklar hesaplanır ve D farkları arasında en büyük fark Dmax belirlenir.

- Kritik değerler Da;nı;mı çizelgesu ile kıyaslanarak karar verilir.

$D_{max} < D_{a;nl;n2}$ Önemli fark yoktur.

$D_{max} \geq D_{a;nl;n2}$ Önemli fark vardır.

### 3.2 İki Bağımsız Örnek **İçin** K-S Testi **Uygulaması**

Bu çalışmada, Omerler Lavvarında bulunan ve siklon üst çıkışı ile beslenen 25, 26, 27 nolu paralel çalışan kömür elekleri ile 28, 29 nolu siklon alt çıkışı ile beslenen paralel çalışan kömür elekleri incelenmiştir. Bu eleklerin 01.08.2006 ile 31.10.2006 tarihleri arasındaki çalışma süreleri (dak.) ve arıza süreleri (dak.) analiz edilmiştir. Her bir eleğe ait çalışma süreleri ve arıza süreleri ayrı ayrı örnek grnplar olarak alınmış ve siklon üst çıkışı ile beslenen 25, 26, 27 nolu elekler ile 28, 29 nolu elekler birbiri ile İki Örnek Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Kömür eleklerine ait çalışma ve arıza sürelerine ait maksimum ve minimum değerleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Eleklerin maksimum ve minimum çalışma süreleri ve gözlem sayısı.

| | *il* **adet** | **Çalışma Süreleri (dak.)** | |
|---|---|---|---|
| | | *Maksimum* | *Minimum* |
| *25 No'lıı Elek* | nçıs:28 | 12915 | 210 |
| *26 No'lıı Elek* | nç26:28 | 8400 | 180 |
| *27 No'lıı Elek* | nç27:39 | 16590 | 30 |
| *28 No'lıı Elek* | nçzs:23 | 19125 | 150 |
| *29 No'lıı Elek* | nç29:28 | 9825 | 60 |

Çizelge 2. Eleklerin maksimum ve minimum arıza süreleri ve gözlem sayısı.

| | *il* **adet** | **Arıza Süreleri (dak.)** | |
|---|---|---|---|
| | | *Maksimum* | *Minimum* |
| *25 No'lıı Elek* | DAzs:28 | 130 | 10 |
| *26 No'lıı Elek* | ilA26:28 | 780 | 10 |
| *27 No'lıı Elek* | ilA27:39 | 480 | 10 |
| *28 No'lıı Elek* | ilA2s:23 | 680 | 10 |
| *29 No'lıı Elek* | ilA29:28 | 120 | 10 |

Elekler çalışma süreleri ve arıza süreleri için aşağıdaki hipotezler kurnlmuştur.

Çalışma süreleri için hipotezler

$H_0$ iki eleğin çalışma süresi birbirinden farksızdır.
Hı: İki eleğin çalışma süresi birbirinden farklıdır.
Arıza süreleri için hipotezler
$H_0$ : İki eleğin arıza süreleri birbirinden farksızdır.
Hı: İki eleğin arıza süreleri birbirinden farklıdır.

Ömeklem dağılımını belirlemek için birim sayıları birbirinden farklı olan eleklerin frekans dağılımları arasındaki farklardan meydana gelen $D_{o,o1;n1;n2}$ 'nın İki Örnek Kolmogorov-Smimov kritik değerler çizelgesinden değerleri belirlenir. Ayrıca, eleklerin çalışma süreleri (dk.) ve arıza süreleri (dk.) için $D_{max}$ değerleri hesaplanır (Çiz. 3 ve Çiz. 4).

Çizelge 3. Kömür Eleklerinin Çalışma Sürelerine ait $D_{max;\ n1;n2}$ ve $D_{o,o1;\ n1;n2}$ değerleri

| Örnek No | $D_{n1;n2}$ + | Dnt;n-2 | Dmax; nl;n2 | Do,oı; nl;n2 |
|---|---|---|---|---|
| C2s-C26 | D2s,2t: 0,179 | D2s,2s··: -0,179 | Dmax;28;28: 0,179 | Do,01,2s,2s: 0,436 |
| C2s-C21 | D2s,39+: 0,249 | D2s;39··: -0,085 | Dmax;28;39: 0,259 | Do.01;28;39: . 0,404 |
| *C26-C21* | D2s,39+: 0,356 | D2s,39··: -0,051 | Dmax:28;39: 0,356 | Do.oı,2s,ı9: 0,404 |
| C2s-C29 | D23;2t: 0,154 | D2ı,2s··: -0,124 | Dmax;23;28: 0,154 | Do,01;2J;2s: 0,459 |

Çizelge 4. Kömür Eleklerinin Arıza Sürelerine ait $D_{max;\ n1;n2}$ ve $D_{o,o1;\ nl;n2}$ değerleri

| Örnek No | $D_{n1;n2}$ + | $D_{n1;n2}$ | Dmax; nl;n2 | $D_{o,o1;\ nl;n2}$ |
|---|---|---|---|---|
| C2s-C26 | D2s,2t: 0,214 | D2s,ıs··: 0,000 | Dmux;28;28: 0,214 | Do,01,2s,2s: 0,436 |
| *C2s-C21* | D2s,3t: 0,000 | D2s,39··: -0,283 | Dmax;28;39: 0,283 | Do,oı:2s,ı9: 0,404 |
| *C26-C21* | D2s,ı9+: 0,036 | D2s,ı9··: -0,201 | Dmax:28;39: 0,201 | Do,01;2s,ı9: 0,404 |
| C2s-C29 | D2ı,2/: 0,121 | D2ı,2s··: -0,022 | Dmax;23;28: 0,121 | Do,01;2ı,2s: 0,459 |

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te görüldüğü gibi eleklerin çalışma süreleri için $D_{max} < D_{o,o1;n;n}$ ve eleklerin arıza süreleri için $D_{max} < D_{o,o1;n;n}$ olduğundan, her iki durum için de Hı hipotezi reddedilerek, $H_0$ hipotezi kabul edilmiştir. $H_0$ hipotezi gereği eleklerin çalışma sürelerinin ve arıza sürelerinin birbirinden farksız olduğu ve eleklerin birbirleri ile uyumluğu çalıştığı görülmüştür.

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Tunçbilek Ömerler Lavvarında bulunan ve siklon üst çıkışı ile beslenen 25, 26, 27 nolu paralel çalışan kömür elekleri ile 28, 29 nolu siklon alt çıkışı ile beslenen paralel çalışan kömür eleklerinin çalışma süreleri (dk.) ve arıza süreleri (dk.) dikkate alınarak birbirleri ile uyumlu çalışıp çalışmadıkları para etrik olmayan test yöntemlerinden iki Omek Kolmogorov-Smimov (K-S) Testi kullanılarak belirlenmiştir.

Karşılaştırma sonucunda eleklerin çalışma süreleri için $D_{max} < D_{o,o1;n;n}$ ve eleklerin arıza süreleri için $D_{max;\ n1;n2} < D_{o,o1;\ n1;n2}$ olduğundan, her iki durum için de Hı hipotezi reddedilerek, $H_0$ hipotezi kabul edilmiştir. $H_0$ hipotezi gereği eleklerin çalışma sürelerinin ve arıza sürelerinin birbirinden farksız olduğu belirlenmiştir. Bu eleklerin aynı çalışma ve arıza özellikleri gösterdiği için sistemde ve kendi aralarında uyumlu çalıştığı istatistiksel olarak da ortaya konmuştur.

## KAYNAKLAR


Özdamar, K. 2004, *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 1*, Kaan Kitabevi, Eskişehir.

Sheskin, D. J., 2000, *"Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedıres Second Edition "*, CHAPMAN&HALL/CRC.

Uygun, M. ve Gitmez, A, 2006, *Ömerler Lavvarı Tanıtım Dosyası,* Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü.

Uygun, M., 2002, *Madencilikte Sistem Güvenilirliği Dersi Ödevi,* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı (Yayımlanmamış).

# Kömür havzalarındaki Şevlerde Elektriksel Direnç Dağılımları

## *Electrical resistivity variation in coal bearing strata*

K.Doğan & M.K.Gökay

*Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya*

**ÖZET:** Açık Maden ocağı çalışmalarının yapıldığı kazı bölgelerinde projelendirilen şevlerin bazılarında oluşabilecek kaymalar işçi ve iş makinelerinin güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Bazı durumlarda üst şevlerde oluşan çatlaklar işletmeye engel olmasa bile psikolojik olarak çalışanları etkilemektedir. Hasarsız ölçüm yöntemlerinden olan elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemi kullanılarak "maden sahasındaki problemli şevlerin durumu tespit edilebilir mi? " sorusunun cevabını araştırmak bu çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Şevlerdeki çatlakların derinlikleri, şevde ölçülen yerdirenci dağılım eğrileriyle belirlenerek, şevlerin duraylılıkları araştırılmıştır. GLİ-Ilgın Kömür Ocağında yapılan uygulama çalışmalarının sonuçları bu değerlendirmelerin yerdirenci ölçümleriyle yapılabileceğini göstermektedir.

**ABSTRACT:** Slope failure occurring at projected slope operations at open pit mines can lead the workers' and mine equipments' safety to dangerous positions. in some cases the discontinuities which may thought that they cause slope failures around the mine operation sites develop physiological problems among the mine workers. The main aim of this work to deterınine if the conditions of problematic slopes in open pit mines can be predicted through the electrical resistivity methods. The depths of fractures at selected slopes were analyzed by using measured eaıih resistivity values for this purpose. Field studies at GLI-Ilgın Coal Mine presented that electrical earth resisitivity measurements could be used to analyses the slope movements.

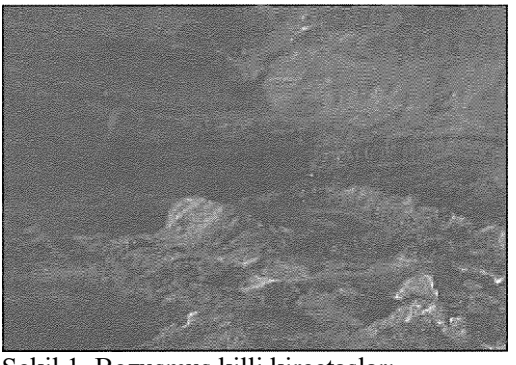
## 1 GİRİŞ

Açık maden ocaklarında şevlerin duraylılığı, ekipmanların ve işçilerin güvenliği için önemlidir. Dekapajın ve maden cevheri üretiminin planlandığı şekilde yapılabilmesi için ocak şevlerinin stabilitesinden emin olunmalıdır. İşletilen maden cevherinin cinsine ve bu cevherin içinde bulunduğu jeolojik formasyon yapılaşmasına bağlı olarak şevleri oluşturan kayaçlar değişecektir. Şevlerdeki kayaçların mekanik özellikleri genel kaya mekaniği kurallarında da belirtildiği gibi, ortaya çıkacak şev problemlerinin türünü yönlendirecektir (Brady R. Brown, 1985). Kaya maddelerinin dayanıklı olması durumunda şevi oluşturan ilgili kayaçların mekanik zayıflıkları kendi masif kısımlarının mekanik davranışlarının önüne geçecek; düzlemsel kayma, devrilme veya kaya düşmesi problemleri üzerinde yoğunlaşmak gerekecektir. Böylesi arazi şartlarında şevlerde oluşan heyelanlardan bahsetmek mümkün olmayabilir.

Eğer kaya maddesi dayanım özellikleri iyi değilse ortaya çıkacak şev problemleri, kaya içi çatlakların yol açtığı problemlere ilave olarak kaya maddesi bozulmalarının da incelenmesini gerektirecektir. Bu bozulmalar şevlerde gelişen gerilmelerin etkisiyle kayaç

içlerinin yenilmesinden olabileceği gibi kaya maddelerinin dekapaj ile iklim şartlarına açık hale getirilmesiyle kimyasal ve fiziksel bozunma ve bozuşmalarda ilgili olabilir.

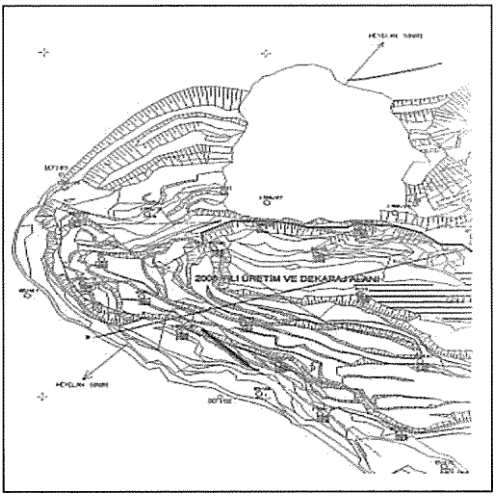
Bu çalışma kapsamında inceleme alanı olarak tespit edilen GLİ-Ilgın Kömür işletmelerinde, kömür yaklaşık 60-70 m derinlikte yer almaktadır. Kömür üstünde yer alan kayaç tabakaları kil, kiltaşı, kumlu kiltaşı, killi kireçtaşı gibi formasyonlardır. Açık ocakta yatay veya çok az eğimle ($10^0$ 15°) kömür üzerine yerleşen bu kayaçlar Ilgın'daki kömür ocağının şevlerini oluşturmaktadır. Bu kayaçların iklim şartlarında zaman içinde nasıl bozuştuğu Şekil 1'de verilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı bu ocaktaki kayaçlara kısa zamanda kil yığınlarına dönüşen çimentosu çok zayıf sedimanter kayaçlar da denilebilir.



Şekil 1. Bozuşmuş killi kireçtaşları.

Bu özelliklerinden dolayı ilgili formasyonlar sağlam toprak-zayıf kayaç (hard soil-soft rock) sınıfında da incelemeye tabii tutulabilir. GLİ -Ilgın Kömür Ocağı, kömür rezervinin sonuna gelmesi nedeniyle artık madencilik faaliyetleri durma aşamasına gelen bir işletmedir. Kömür üretiminin tekrar belirli bir tonajın üzerinde olması; günümüzde çalışılmakta olan işletmeye 1O km uzaklıkta bulunan yeni bir kömür rezervinin işletilmeye alınmasıyla tekrar mümkün olacaktır. Bu yeni üretim lokasyonunda da benzer jeolojik şartların olması, eski ocak şev şartlarının araştırılmasının yararlı olacağı kanaatini doğurmaktadır. Bu nedenle son madencilik aşamalarının yapıldığı kömür ocağında bulunan şevlerin durumları incelenmiş, bu şe.vlerde görülen duraylılık problemleri anlaşılmaya çalışılmıştır. Kaya maddesi mukavemet değerlerinin çok düşük olması ve iklim şartlarıyla şevlerin killi toprak şevlerine dönüşmesi buralarda heyelan tehlikesini doğurmaktadır. Şevlerde yapılan araştırmalarda sismik çalışmalar olabileceği (Çetin v.d.,2004) gibi elektriksel yerdirenci ölçümleri de (Zhou v.d. 2000) önemli bir yer tutmaktadır.

Üzerinde çalışılan açık maden ocağında görülen şev problemli sahalardan birisi araştım1amıza örnek olarak seçilmiştir. Bu bölge GLİ-Ilgın Kömür Ocağının G-GB bölümünde Şekil l 'de gösterilen şevlerdir. Burada bulunan şev akması (heyelan) elektriksel yerdirenci ölçüm sistemiyle (ARES-G4) izlenmeye alınmıştır. İlgili şevdeki hareketlerin beklenildiği günlerde ilgili bölgeden her hafta elektriksel yerdirenci ölçümleri alarak seçilen bölgenin derinliklerinde (2-15 m derinliğe kadar) meydana gelen elektriksel direnç değişimleri izlenmiştir.



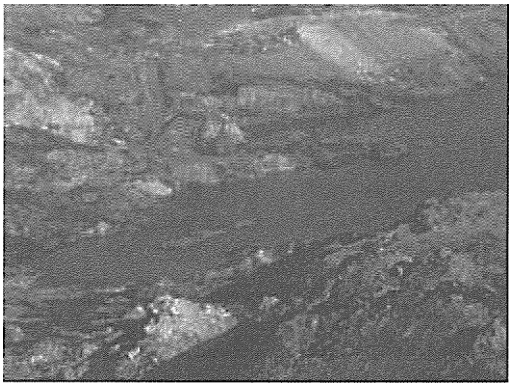
Şekil 2. Ölçüm yapılan GLİ-Ilgın Kömür Ocağı şevlerinin ocak içindeki pozisyonu.

## 2 GLİ-ILGIN OCAĞINDAKİ ŞEVLERDE HEYELANIN İZLENMESİ

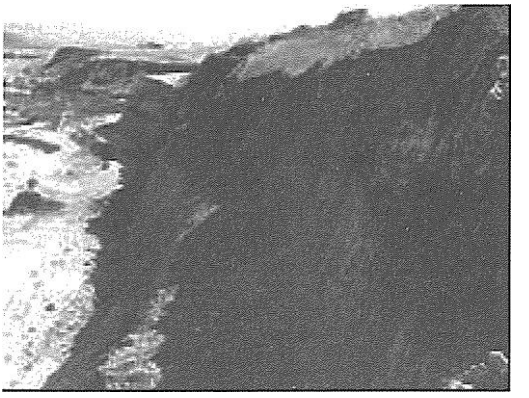
Ilgında bulunan GLİ kömür ocağında genel olarak kömür damarının uzun ekseni KBB-

GDD doğrultusundadır. Ocakta bulunan son kömür blokları da 2007 yılı sonlarına doğru çıkartılmış olacaktır. Ocağın KKB yamaçlarından sızan yeraltı suları nedeniyle ocak merkezinde küçük bir gölet oluşmuştur (Şekil 3). Ocağın KKB tarafında suyun da etkisiyle ayakta durabilen bir şev basamak yapısı kalmamış ve yamaç genel toprak akması (heyelan) şeklinde aşağı doğru hareket etmektedir.

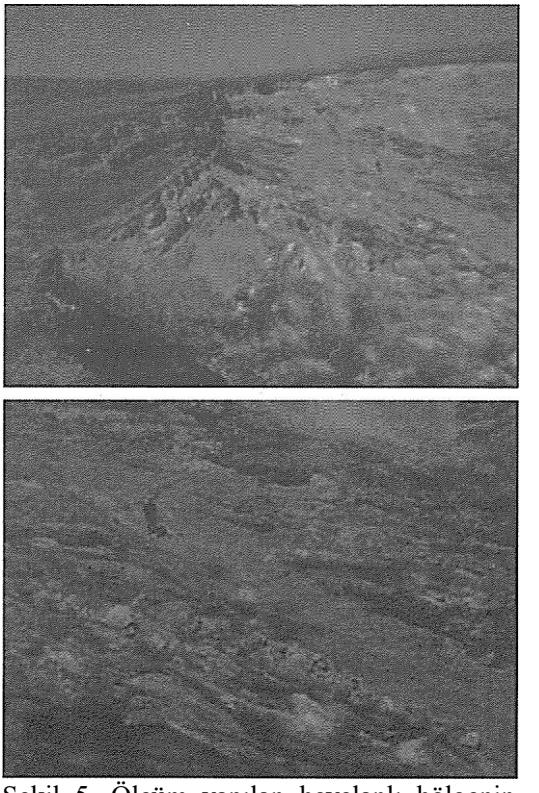
Ocağın güney yamaçları ocak taban kotundan 10-15 metre yükseklikten başlayarak sıralanmaktadır (Şekil 4). Ocağın bu bölümünde tabandan itibaren oluşturulan bu ilk basamak içinde görülen kömür damarı kalınlığı 0,5-2,0 metredir. Kömür damarının üzerinde bulunan killi kumlu, killi kireçtaşı tabakaları ocağın sınırına kadar 30°-40° lik bir eğimle yükselmektedir. Bu kısımda bulunan şev basamak yapısı heyelan hareketleri nedeniyle bozulmuştur (Şekil 5).



Şekil 3. GLI-Ilgın Kömür Ocağı tabanında biriken yeraltı suyu.



Şekil 4. Ölçüm yapılan heyelanlı şevleri ocak tabanına bağlayan en alt şev basamağı.

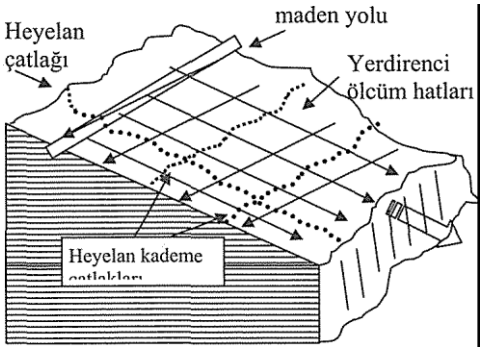


Şekil 5. Ölçüm yapılan heyelanlı bölgenin genel görüntüsü.

Araştırma için seçilen saha Şekil 5'de daha yakından görülebilmektedir. Burada bulunan şevlerin ortak özelliği şevi oluşturan

kayaçların hemen bozuşması ve toprak gibi davranmasıdır. Ocağın en üst basamağında görülen kayaç yapısı ocak içinde genel toprağımsı yapıya dönüşmektedir. Böylesi bir kayaç davranışında ocak içinde açılan yollar ve oluşturulan şevlerin alt kotlara doğru akması üretim için açılan yolların 1-2 ay içinde kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu yolları kullanacak maden makinelerinin ve ilgili sahada çalışacak kazıcı ekipmanların güvenliği heyelan hızının aniden artışa geçmemesiyle ilgilidir. Madenlerde çalıştırılan makinelerin performansı bulundukları şevlerin stabilitesiyle yakından ilgilidir. Heyelan olan sahalarda işletmeci mühendis, heyelan oluşturan kayaçları uzaklaştırmak isteyebilir. Heyelanın alt kayma zonunun üzerindeki yükün azaltılması kaymayı belki biraz azaltacaktır. Bunun yanında kaymayı yavaşlatan veya durdurmaya çalışan (varsa) blokların alınması ise devam etmekte olan heyelanı hızlandıracaktır. Bu nedenle şevlerde görülen heyelanların derinlemesine ne kadar bir bölgeyi etkilediğinin araştırılması ıçın elektriksel yerdirenci ölçümleri kullanılmıştır. Bu ölçümlerle heyelanın kaç metre derinliğe kadar etkili olduğu öğrenilmek istenmiştir.

Elektriksel yerdirenci ölçüm yöntemini seçilen ocak sahasında (Şekil 5) uygulamak için, burada yeni açılan üretim yolu baz alınarak ölçüm hatları (çizgileri) oluşturulmuştur. Şekil 6'da verilen kroki ölçüm yapılan hatların heyelan bölgesi olan sahadaki durumlarını göstermektedir.



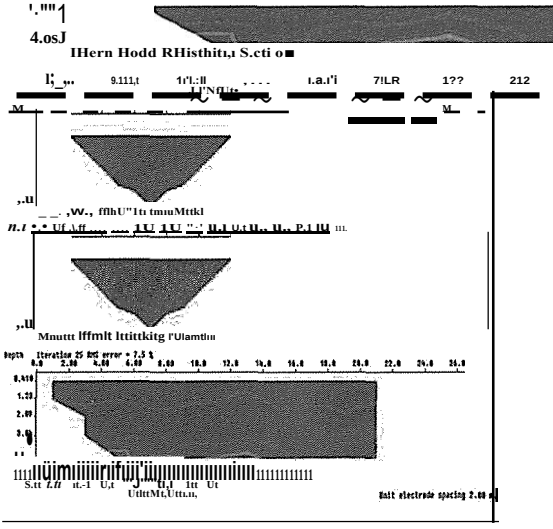

Şekil 6. Elektriksel yerdirenci ölçüm hatları.

Üzerinde araştırma yapılan maden bölgesinde; heyelanın akma doğrultusuna paralel 4 farklı hatta, heyelan akış eksenine dik olarak da 3 farklı hatta (çizgide) elektriksel yerdirenci ölçümleri alınmıştır. Arazi yerdirenci ölçümlerinde zamanın etkisini de gözlemleyebilmek için, ölçümler 4 farklı günde yapılmıştır. İlk ölçüm ile son ölçüm zamanı arasında 5 haftalık zaman farkı mevcuttur. Ölçümlerin başladığı 2007 Ocak ayının son haftasından sonra, 2007 Şubat ayı içinde yapılan 2. ve 3. ölçüm ziyaretleri arasında araştırma yapılan bölgede bulunan maden yolundaki deformasyonun 30-40 cm boyutuna vardığı gözlenmiştir. Şekil 6'da verilen heyelan çatlağı heyelanı sınırlandırmaktadır. Bu çatlağın üst bölümü ölçüm yapılan Şubat 2007'de bir hafta içinde 30-40 cm hızla alt kotlara doğru kayarak ilerlemiştir. Aktif heyelanlarla kaplı GLİ-Ilgın Kömür Ocağında bazı kısımlarda artık üretim yapılmayacağından şevler doğal heyelan akışına bırakılmışlardır. Bu kısımlarda ölçüm yapmak tehlikeli olduğu için ocağın G-GB bölümünde bulunan son kömür üretim alanlarının üzerindeki sahalarda yerdirenci ölçümleri yapılmıştır.

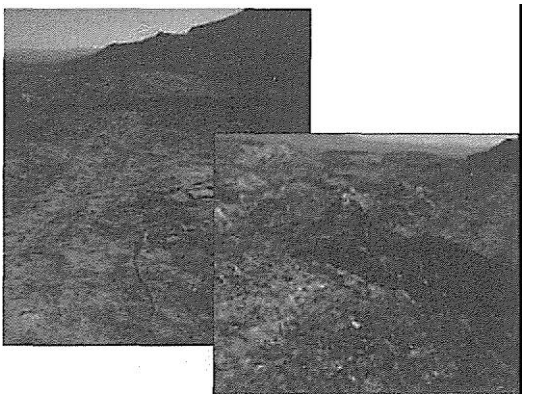
## 3 YERDİRENCİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

GLİ-Ilgın Kömür Ocağında yapılan elektriksel yerdirenci ölçümlerinden elde edilen derinlemesine direnç değişimleri incelenerek, hedef olarak seçilen heyelan bölgesinde hareket eden kitle tabanının bulunmasına çalışılmıştır. İlgili bölgenin jeolojik durumu (logları) bilinerek yapılan bu ölçümler sayesinde elektriksel yerdirenci ölçümlerinin gösterdiği sonuçların ocak mühendislerine herhangi ek bir bilgi sunup sunmadığı özellikle üzerinde durulan bir konu olmuştur.

Şekil 7' de verilen elektriksel yerdirenci dağılım kesitleri heyelanın G-GD sınırını oluşturan çatlak üzerinden ölçülmüş direnç grafikleridir. Bu grafikler incelendiğinde araştırma bölgesinde bulunan çatlağın heyelan içine doğru (KKB yönüne doğru) yönlendiği kolayca görülebilmektedir.



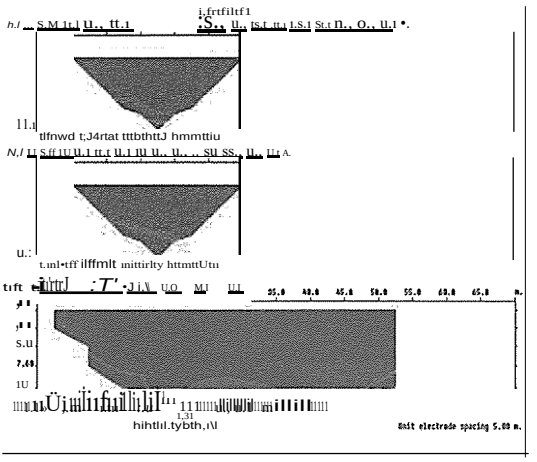

Şekil 7. Heyelan çatlağının heyelan sahasındaki yol boyunca yapılan yerdirenci ölçümlerinde ki görüntüsü, (2.test günü).



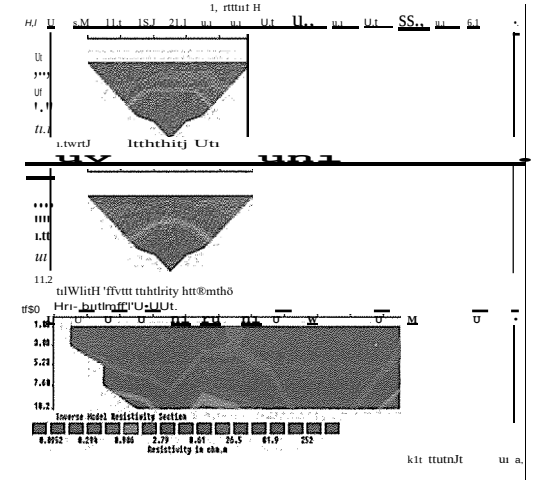
Şekil 8. Heyelan olan maden bölgesinde bulunan maden yolundaki 20-40 cm'lik kayma.

Ayrıca ilgili sahadaki yol boyunca ölçülen bu derinlemesine direnç değerleri, maden yolunun 2-3 metre altında diğerlerine göre daha dirençli bir tabakanın bulunduğuna işaret etmektedir. Şekil 7' de daha koyu olarak görünen bu tabakanın ilgili maden kısmındaki alınmamış kömür damarı parçalarına ait olduğu belirlenmiştir. Bu karar verilirken, ilgili ocakta görevli maden işletme mühendislerin deneyiminden ve kayma bölgesine yakın yerde açılan sondaj loglarından yararlanılmıştır. Bu sahada yüzeydeki killi, kumlu killi malzeme altında bulunan kömür damarı, buradaki heyelanın tabanda kömür damarıyla sınırlandığı izlenimini vermiştir. Şekil 6'da verilen krokide gösterilen heyelan çatlağının heyelanı sınırlayıp sınırlamadığı, o bölgede yapılan gözlemlerle belirlenmekle birlikte (Şekil 8), ilgili çatlağın heyelan bölgesi dışında bıraktığı sahada da elektriksel yerdirenci ölçümü yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 9'da verilen yerdirenci dağılım profilleri heyelan bölgesinin yanından (ilgili çatlağın G-GD tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmıştır. Burada diğer tarafa göre hızı çok yavaş olan bir heyelandan söz edilebilir. Böylece heyelan hızının fazla olduğu bölgeyle (Şekil 1O) hemen yanında bulunan fakat heyelan hızı göreceli olarak daha da az olan bölgenin profil farklılığı hemen gözlenebilmektedir. Bu farklılığın nedenleri arasında heyelan hızının fazla olduğu sahanın jeolojik olarak daha fazla yapısal bozukluklara sahip olması ve maden ocak taban kotunda heyelana engel olacak kaya kütlelerinin bu bölgede biraz daha kazılması (şev topuğu tahribatı) sayılabilir.




Şekil 9. Heyelan bölgesinin yanından (çatlağın G-GD tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci profilleri, (2.test günü).



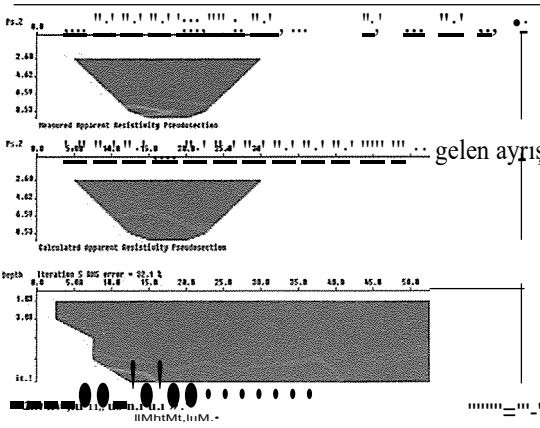

Şekil 10. Heyelan bölgesinin içinde (çatlağın K-KB tarafından), heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci profilleri, (2.test günü).

Şekil lO'da verilen direnç dağılım profilinde yer alan yüksek dirençli bölgelerin neden oluştuğu araştırıldığında, soldaki yüksek direnç lokasyonuyla, heyelan sahasında tespit edilen heyelan kademe çatlaklarının (Şekil 11) örtüştüğü görülmüştür. Aynı profilde sağda yer alan yüksek direnç lokasyonunun nedeni burada bulunan ve :¼Üzeyden 5-6 metre derinliğe kadar uzanan kömür damar parçası olduğu belirlenmiştir.

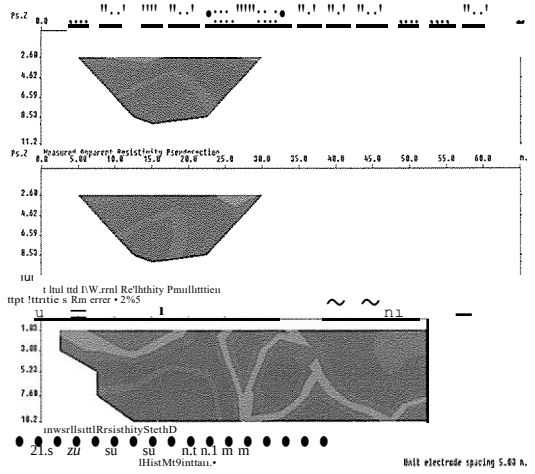
Şekil 11. Heyelan olan maden sahasında gelişen heyelan kademe çatlakları.

Farklı zamanlarda yapılan yerdirenci ölçümleri ilgilenilen heyelan bölgesinde yerdirencinin nasıl farklılaştığını göstermesi açısından önemlidir. Şekil 12'de verilen direnç dağılım profilleri Şekil 7' de verilen profillerin elde edildiği testlerden bir hafta sonra yapılan yerdirenci ölçümlerinden elde edilmiştir. Şekil 12'den de görüldüğü gibi yüksek direnç okumaları oldukça fazlalaşmıştır. Bir hafta süre içerisinde çok belirgin bir şekilde şev kayması meydana gelmiş ve yüzeyde görülen çatlaklar artmıştır (Şekil 8). Bu çatlaklardan ölçülen yerdirenci değerlerindeki artışlar hemen dikkat çekmektedir.

Benzer şekilde hızlı heyelan bölgesi dışında kalan sahadan elde edilen yerdirenci ölçümleri tekrarlanmış (Şekil 13) ve önceki ölçümlerle (Şekil 9) karşılaştırılmıştır.




Şekil 12. Heyelan bölgesindeki maden yolu boyunca yapılan yerdirenci ölçümleri, (3.test günü).



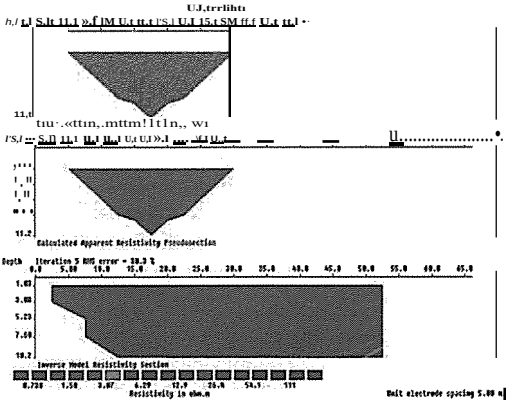

Şekil 13. Hızlı heyelan bölgesinin dışında heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci profilleri, (3.test günü).

Bu karşılaştırma sırasında ele alınan Şekil 13'deki yerdirenci dağılım profilleri Şekil 9'da verilen profillere göre büyük değişim göstem1iştir. Öncelikle zaman içinde ölçüm sayasının genel direncinde artışlar olmuştur. Yüzey altındaki killi malzemeler içinde heyelana bağlı olarak direnç farklılıkları daha belirgin hale gelmiştir. İkinci ölçüm gününde bu lokasyonda ölçülen en büyük direnç 150-160 Ohm-metre iken, Üçüncü ziyaret gününde ölçülen değerler 200 Ohm-metreyi geçmiştir. Bu farklılaşmanın nedenini ölçüm lokasyonu altında meydana gelen ayrışmalara bağlamak mümkündür.

Şekil 14' de verilen yerdirenci dağılım profili hızlı heyelan bölgesi içinde alınan bir ölçümdür. Bu ölçümün alındığı hat Şekil l0'da verilen profillerin ölçüm yeriyle aynıdır. İki ölçüm arasında bir haftalık bir ölçüm zaman aralığı mevcuttur. Daha önce heyelan kademe çatlaklarından dolayı ilgili lokasyona gelen yerlerde yüksek direnç değerleri gösteren ölçüm hattında üçüncü ziyaret sırasında çok belirgin direnç farklılıkları görülememiştir. Bunun yerine ilgili kademelere rastlayan yerlerde direnci düşük zonlar belirlenmiştir. Bunun nedeni ikinci ve üçüncü test ziyaretleri arasında bölgenin yağış alması olarak yorumlanmıştır. Şekil 13'de görülen direnç dağılım farklılaşmasının bir nedeninin de bu olabileceği düşünülmüştür.

## 4.SONUÇLAR

Elektriksel yerdirenci ölçümlerinin şev problemleri için kullanımı bu uygulama çalışmasından edinilen tecrübeye göre değerlendirilirse;




Şekil 14. Heyelan bölgesinin içinde heyelan ekseni boyunca maden yoluna dik olarak alınmış elektriksel yerdirenci profilleri, (3.test günü).

bu ölçümlerin yararlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Ölçümler yeryüzü altındaki tabakaları gösterdiği için buralarda olan katmanlar hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Sonuçların jeolojik sondaj logları sonuçlarıyla ve işletme tecrübesiyle birleştirilmesi halinde maden işletmelerinde daha değerli hale geldiği unutulmamalıdır. Açık maden ocaklarında kullanılan makinelerin şev kayması nedeniyle kaybedilmemesi ıçın riskli bölgeleri belirlenmesi, riskli kayma bölge sınırlarının takibi işletmeler için önemlidir. Bu araştırmada yapılan ölçümler, heyelan olan maden bölgelerinde yerdirencinin nasıl değiştiğinin örneklenmesi için yapılmıştır. Yerdirencinin zaman içinde ve yerde bulunan çatlaklılık seviyesine göre değiştiği açıkça görülmüştür. Ayrıca iklimsel yağış etkileri de yerdirencini etkilemiştir. Bu araştırmaların artırılması ve işletmelerde çalışma sırasında tekrarlanması işletmelerde şev güvenliği konusunda daha bilinçli kararların alınmasına ışık tutacağı kesindir.

Teşekkür: Bu çalışmanın gerçekleşmesine yardımcı olan GLİ-Ilgın Kömür Ocağı yetkililerine ve işletme mühendislerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Brady R., ve Brown,E.T. 1985, Rock Mechanics, G.Allen&Unwin Pres. Landon.

Çetin, K.Ö., Işık, N., Unutmaz, B., 2004, Seismically induced landslide at Degirmendere Nose, Izmit Bay, During Kocaeli (Izmit)-Turkey Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 149-166.

Zhou, W., Beck, B.F., Stephenson, J.B., 2000, Reliability of dipole-dipole electrical resistivity tomography for defining depth to bedrock in covered Karst terranes, *Enviromental Geology*, 39, 760-766.

# Açık Ocak Yollarının Elektriksel Özdirenç Yöntemiyle İncelenmesi

## *Analysis of open pit roads by electrical resistivity methods*

K. Doğan & M.K. Gökay
*Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya*
S. Kahveci & C. Arslan
*TKİ, GLİ-Ilgın Kömür İşletmesi, Konya*

**ÖZET:** Açık ocak madencilik çalışmaları sırasında işletmelerin can damarları yollardır. Ocak işletmeye hazırlanırken öncelikle uzun süre dayanabilecek yollar hazırlanması gerekir. Elektriksel özdirenç (rezistivite) yöntemiyle, henüz tam pekişmemiş ham yollar ile maden içinde zamanla pekişmiş yollar arasındaki farklılıklar araştırılabilmekte ve bu yollarda yüzeyden yapılan incelemeler sırasında tespit edilemeyen zemin problemleri, bu yöntemle önceden tespit edilebilmektedir. Bu makalede GLİ-Ilgın Kömür Ocağında yeni açılan ve uzun zamandır kullanılan iki ayrı ocak içi yol incelenmiş aralarındaki farklılıklar zeminleri açısından ve maden makinelerinin güvenliği açısından analiz edilmiştir.

**ABSTRACT:** Main haulage activities are carried on at mine roads during open pit mine operations. During mine development long time stable roads have been prepared for mine operations. Electrical resistivity measurements have been used to differentiate compact and incompact roads, or these measurements have been facilitated to determine ground problems under the roads. In this fıeld works electrical resistivity methods were used also to determine the compaction of open pit roads of GLI-Ilgın Coal Mine. The results of measurements were analyzed for the operation safety of mine equipments.

## 1 GİRİŞ

Dekapaj kazısının veya üretim işleminin devamlılığı düşünüldüğünde Açık işletmelerde yol bağlantılarının kısalığı ve bunları kullanan maden makinelerinin görevlerini mümkün olan en düşük maliyetlerle yapması Maden Mühendisinin ulaşmak istediği hedefler arasındadır. Açık ocakların içindeki yolların durumu; üretimine devam edilen cevherin taşınmasında ve cevher üzerinde yer alan formasyonların pasa sahasına aktarımı sırasında ilgili maden ocağında sürdürülen madencilik çalışmaları için vazgeçilmez ve bakımı mutlaka sağlanması gereken ana konular arasındadır. Zaman içinde, iklim şartlarının da etkisiyle, maden kamyonlarının uyguladığı yüke dayanım azaldığından yol yüzeyinde ve alt tabakalarında sıkışmalar ve deformasyonlar oluşabilmektedir. Açık işletmelerde bulunan kazıcı makinelerin (ekskavatörlerin) taşıyıcı unsurları olan maden kamyonları yüklerini aldıktan sonra güvenli ve ekonomik bir yol güzergahından pasa yığın sahasına veya ürün depolama sahasına ulaşmaları gereklidir. Bu aşamada cevher veya örtü tabakasındaki kazı çalışmaları önemle aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- -Kazıcı ve kamyonların faal olması,
- -İlgili makinelerin çalışabilmesi için gerekli enerjinin sağlanması,
- -Bu makineler için gerekli uzman personelin temini,
- -Kazıyı etkileyecek her türlü olumsuzluğun bertaraf edilmesi (kazı sahasındaki kaymalar, su geliri, v.b),
- -Yüklü maden kamyonlarının üzerinden geçtiği ocak içi yolların sağlamlığının sağlanması,

GLI-Ilgın Kömür Ocağında sürdürülen bir çalışma kapsamında, ocak ıçı ulaşım yollarının pekişme durumu incelemeye alınmıştır. Açık ocak maden yolları altındaki kayaç formasyonlarının durumu bu yolların davranışını etkileyen en önemli parametredir. Maden yolunun maden içindeki pozisyonu da yolun duraylılığını etkilemektedir. Önemli maden üretim faaliyetlerinden uzakta kalan yollar sadece kendi zemin durumlarından etkilenirken, üretim sahalarına yakın olan yolların; ocak içi patlatmalardan, şevlere yakın olup olmamalarına bağlı olarak şev problemleriyle karşı karşıya gelmeleri beklenilmektedir. Maden ıçı ulaşım yollarının maden araçları için kullanılamaz duruma gelmesinde en önemli etken yolun önem derecesidir. Eğer yol önemli faaliyetlerin sürdürüldüğü maden içi üretim bölgelerinin ana ulaşım yoluysa, bakımı ve kontrolü her zaman yapılacaktır. Bu gibi yolların özellikle alternatiflerinin olmaması durumunda, duraylılıklarının önemi büyüktür. Eğer maden içi herhangi bir yol artık kullanılmıyorsa, bu yolların bakımı azalacak ve yol bozulmaya başlayacaktır. Bu etkiye ilave olarak, iklimsel değişimlerin açık ocaklarda yolları bozması da bilinen unsurlar arasındadır. Maden içi yolların bozulmasında önemli bir faktör de yol altındaki tabakaların durumlarıdır. Ocak içi yolların bozulmasında ve kullanılmaz hale gelmesinde etkili olan parametreler incelendiğinde;

-Yolun kayması (düşük kotlara doğru hareket),
-Yolun oturması (pekişme veya yanlara doğru zeminin hareketi),
-Yolun kabarması,

gibi şartlarla çok karşılaşıldığı bilinmektedir. Ulaşım yollarının şevlerde açılması, şevler arası rampalarla üst şevlerden alt şevlere doğru bağlantıların sağlanmak zorunda olunması, ilgili açık ocak içi yolların bozulmasına neden olacak birçok koşulun oluşmasını sağlamaktadır. Bu şartların sağlandığı durumlarda, yolların zemine oturması veya zeminin yük altında ezilerek yol kenarlarına hareketi beklenilen yol davranışlarındandır. Bu çalışmada ocak içi yol zeminlerinin altında yer alan katmanlar incelenerek ulaşım yollarının geçmiş ve gelecekteki davranışı konusunda yorumlar yapılacaktır. Bu kapsamda uygulama alanı olarak seçilen GLİ-Ilgın Kömür İşletmeleri ocak içi yollarından seçilen iki ayn yol noktası inceleme konusunu örneklemek için test lokasyonu olarak seçilmiştir.

Açık ocak içi yol zeminlerinin durumu, araziye götüıülen elektriksel özdirenç ölçüm cihazı sayesinde, yola hasar vermeden yol yüzeyine yerleştirilen elektrotlardan elde edilen verilerle incelenmiştir.

Elektriksel yerdirençi ölçümleri son 30 yıldır, aşamalı olarak madencilikte, yeraltı maden yatakları aramalarında ve ayrıca hidrolojik incelemelerde kullanılan yöntemdir. Katı maddelerin elektriksel direncini değiştiren faktörlere paralel olarak, farklı kayaç ve toprak (kil) katmanlarının elektriksel direnci de ortamda bulunan yeraltı suyuna, kayaç porozitesine, kayacı oluşturan mineral içeriklere bağlı olarak değişmektedir. Farklı minerallerin ve bunların birisinin veya birkaçının birlikte oluşturduğu kayaç katmanlarının elektriksel özdirençleri de farklı farklı olmaktadır. İlgili farklılıklar yer yüzeyi altındaki derinliklere göre ölçülerek incelemekte olduğumuz derinliklerdeki elektriksel özdirenç farklılaşmasıyla oluşan dağılımları çizilebilmektedir. Bu grafikler yardımıyla, derinliklerde bulunan su, maden yatağı, kayaç içi çatlaklılık durumu veya fayların oıiaya çıkarılması, elektriksel yerdirenci ölçüm deneyi yöntemlerinin kullanılabilirliğinin zaman içinde artmasına neden olmuştur. Son yıllarda yapılan ilgili ölçüm çalışmalarının bir bölümü incelendiğinde, elektriksel yerdirenci ölçüm sisteminin odaklandığı uygulama alanlarının bazıları şunlardır.

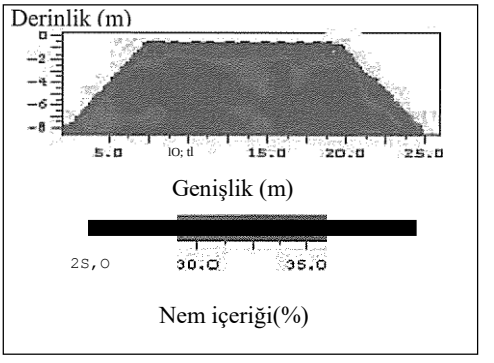
Abledu ve Laird (1992) kayaçların içindeki nem oranına göre elektriksel özdirenç değişimlerini incelemişler ve sonuçta elektrik kaçaklarına karşı yere serilen kırmataş, agrega ve benzeri taş sergilerinde kaçak elektrik akımının geçmesini sağlayanın agregalar arasında ki suyun veya agrega yüzeylerine tutunan su filmleri olduğunu vurgulamışlardır.

Bernstone, v.d., (2000) farklı jeolojik zamanlarda oluşmuş iki lokasyon üzerinde iki boyutlu elektriksel özdirenç ölçümleri yapmışlardır. Bu deneyler sonucu toplanan verilerden elde ettikleri 2-D kesitlerden, incelenen arazilerdeki dolgu bölgeleri belirlenerek incelenmiştir. Dolgu bölgelerinden alınan örneklerinin nem içerikleriyle, elektriksel özdirenç değerlerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Sonuçta dolguyu oluşturan farklı kayaç ve toprak türlerine ait nem içeriklerinin dolgu içerisindeki elektriksel özdirenç dağılımı üzerinde baskın etkisi olduğunu gözlemişlerdir.

Elektriksel yer direnci yönteminin kullanıldığı yer tomografisi çalışmalarının bir örneğini Batayneh ve Al-Diabat (2002) Ürdün'de Amman - Ölü Deniz otoyolu üzerinde bulunan kayaç şevlerindeki heyelan incelemesinde kullanmışlardır. İlgili heyelan yolun kapanmasına neden olacak kadar etkili olmuştur. Şiddetli yağışlar sonrası, karayolunun marn ve kireçtaşı tabakalarının bulunduğu bölgesi, özellikle bu kayaçların çatlaklı, kırıklı ve eğimli şevlere sahip bölgesi heyelan zonu olarak kaymıştır. Araştırmacılar ilgili karayolunun heyelan riski taşıyan diğer eğimli bölgelerinde elektriksel tomografi profili çıkararak, elde ettikleri sonuçları 2-D arazi kesit profili elde etmekte kullanmışlardır. Araştırınacılar buldukları sonuçlan irdelerken, özellikle tabakalı kayaçların bulunduğu lokasyonlarda elektriksel özdirencin düşük çıktığını ve heyelanlara neden olan kırılmaların katmanlı ve masif kireçtaşı tabakaları arasında oluştuğunu bu yöntem yardımıyla belirlemişlerdir.

Zhou, v.d., (2000) derin karstik bölgelerde obruk oluşumlarını araştırmışlardır. Özellikle içinde boşluk bulunan kayaçların (İçanadolu'daki obruklar gibi) ve ilgili karstik yapıların anlaşılmasına yardımcı olacak çalışmalar yapmışlardır.

Jackson, v.d., (2002) Kenya da dolgu yapılarak bağlantısı yapılan şehirlerarası bir yolda, dolgu zeminin zamanla heyelanını incelemişlerdir. Dolgu içindeki elektriksel direnç değişimlerini inceleyen araştırmacılar, dolgunun nem içeriğinin haritasını çıkarmışlardır (Şekil 1). Bu çalışmalar elektriksel yerdirenciyle ilgili ölçümlerin, üzerinde araştırma yapılan yerlerde, derinlemesine direnç değişimi haritalarının çıkarılması için kullanılması gerektiğini göstermiştir. Bu çalışmada daha önce maden işletmelerinde neredeyse hiç kullanılmayan bu ölçüm sistemi kullanılarak maden yollarının zemininde bulunan ve farklı yerdirenclerine sahip formasyonların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Böylece seçilen maden yollarının altında bulunan tabakaların durumları hakkında bilgi edinilmeye çalışılarak bu yolları kullanan maden makinelerinin güvenli ulaşımları konusunda analizler yapılmıştır




Şekil 1 Kenya'da dolgu yol içinde nemliliğin değişimi (Jackson, v.d., 2002).

## 2 ARAZİ ÖLÇÜM LOKASYONLARI

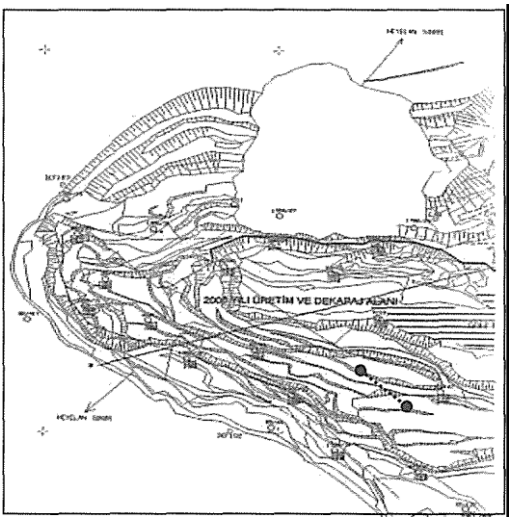
Açık maden ocaklarında, ocak içi yol zeminin ne gibi farklılıklar gösterebileceği konusu GLİ-Ilgın Kömür Ocağında örneklenmiştir. Deneyler için 2 farklı maden yolu seçilmiştir. Birinci deney lokasyonu; yeni açılan bir ulaşım yolunun durumu, ikinci deney lokasyonu ise yıllarca kullanılmış ve pekişmiş bir ulaşım yolunun durumunu göstermesi için özel olarak seçilmiştir.

GLİ-Ilgın Kömür Ocağı normal üretim faaliyetlerini tamamlamış bir maden ocağıdır. Bu günlerde ocakta bulunan ve alınması ekonomik değer taşıyan son kömür daman parçalarının üretimi için faaliyet gösterilmektedir. 2007 yılı bahar aylarında

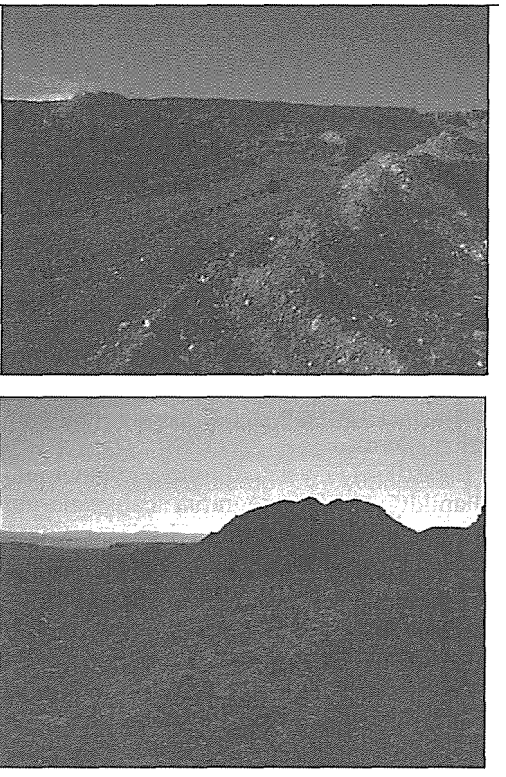
üretim için ayrılan ocağın G,GB bölümündeki şevlere ulaşım yolu Kasım 2006'da açılmaya başlanmıştır. Kış aylarında ara verilen çalışmalara 2007 Şubat ve Mart aylarında mümkün olan hava şartlarında devam edilmiştir. İlgili kömür üretim bölümlerine ulaşım için açılmış yeni yolun lokasyonu Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 3-4 ise ilgili lokasyonun fotoğraflarını içermektedir.

Bu şekillerden de anlaşılacağı gibi (Şekil 2-3) test lokasyonu-1 'de yolu oluşturan zemin tamamen bozulmuş kömür üstü formasyonlardan oluşmaktadır. Yolun düzeltilmesinde herhangi bir patlayıcı kullanımına gerek kalmadan ilgili killi ve kumlu-killi malzeme düzeltilerek yol yapılmıştır. Bu lokasyonda yol zemininde bulunması beklenen kayaç tabakaları, yola en yakın yerde açılan sondaj logunun incelenmesiyle (Şekil 4) anlaşılmaktadır.

Birinci test lokasyonu yeni yapılmış maden yolu üzerinde seçildiği için yumuşak zemin henüz pekişmemiş bir yol durumuna örnek teşkil etmektedir. Yol yapımı sırasında, düzeltmeler sırasında yolu açan dozerin ağırlığı ile biraz pekişmiş, üzerinden henüz üretimde kullanılan kamypnlar gelip geçmeye başlamamıştır.



Şekil 2 GLİ Ilgın Kömür İşletmesi G,GB bölgelerinin son durum haritası.



Şekil 3 Test lokasyonu-1 'de bulunan ulaşım yolunun görüntüleri ve ölçüm çizgileri.

| Derinlik (m) | Formasyonlar (Tabakalar) |
|---|---|
| 1,00 | Toprak örtü, |
| 9,65 | Kumlu killi kireçtaşı, |
| 10,75 | Bej renkli kireçtaşı, |
| 12,50 | Bej renkli kumlu killi krçtş, |
| 13,80 | Sarı bej renkli kil, |
| 16,85 | Killi kireçtaşı kil bandlı, |
| 19,90 | Kil bantlı çakıllı silisli krçtş, |
| 21,15 | Mor renkli plastik kil, |
| | Mor altere şist, |

(S.J. No: 85/44}

| Derinlik (m) | Formasvonlar (Tahakalar) |
|---|---|
| 18,20 | Toprak örtüsü, kil, kireçtaşı |
| 18,50 | Linyit zonu, |
| 22,75 | Taban kili, |

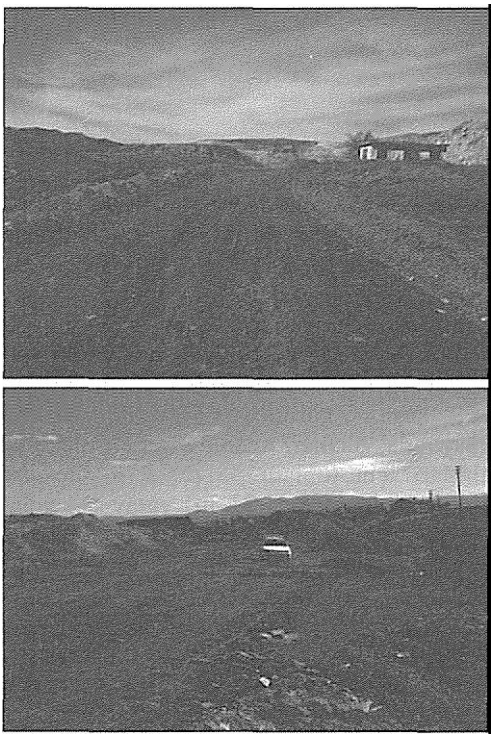
(S.j.No: 86/34)

Şekil 4 Test lokasyonu-1 yakınında (86/34) ve kömür zonu dışında bulunan (85/44) sondaj loglan (derinlik yüzeyde 0,0 metre).

Test lokasyonu-2 ise üretilen kömürlerin stoklandığı döküm sahasının yakınlanndan seçilmiştir. Bu lokasyon yıllardan beri ağır kamyonların (15-35 ton) sayısızca gelip geçtiği en önemli maden içi yol güzergahında yer almaktadır.

Bu yolun zemininde yer alan yapısal unsurlar Şekil 4'de test lokasyonu-1 için verilen sondaj loguna benzemektedir. Bu test lokasyonunun görüntüleri Şekil 5'de verilmektedir.

Test lokasyonu-2'nin zemini konusunda daha fazla bilgi toplamak için, ölçüm yapılan yol kenarında açılan yaklaşık 2 metre derinliğindeki su kanalı yan kayaçları incelenmiş (Şekil 6) ve yolun hemen altındaki katmanlar incelenmiştir. Bu kanalda yol stabilitesi için serilmiş agrega ve kumlu molozlar görülmüştür. Şekil 5'de verilen ikinci (alttaki) fotoğrafın sol tarafında alımı tamamlanmış bir kömür panosu bulunmaktadır.



Şekil 5 Test lokasyonu-2'de bulunan pekişmiş yolun görüntüsü.

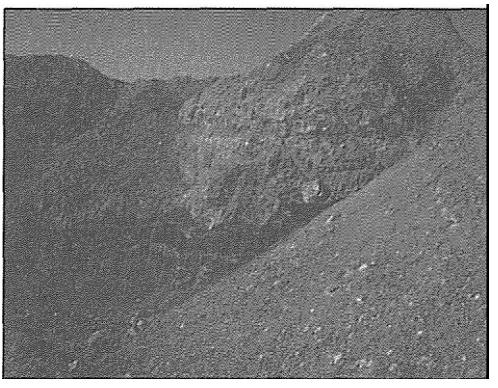
Bu pano içinden yol zeminin görüntüsü incelendiğinde test lokasyonu-2'nin zemınının bir bölümünde ince kömür damarlarının olduğu görülebilmektedir. Test lokasyonlarının görüntülerinde (Şekil 3 ve 5) gösterilen noktalı çizgiler, bu çalışmada yapılan ölçüm eksenlerini göstermektedir. Ölçümler seçilen yol lokasyonlarında yol boyunca ve yolun eni doğrultusunda iki farklı yönde yapılmıştır.

## 3 ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

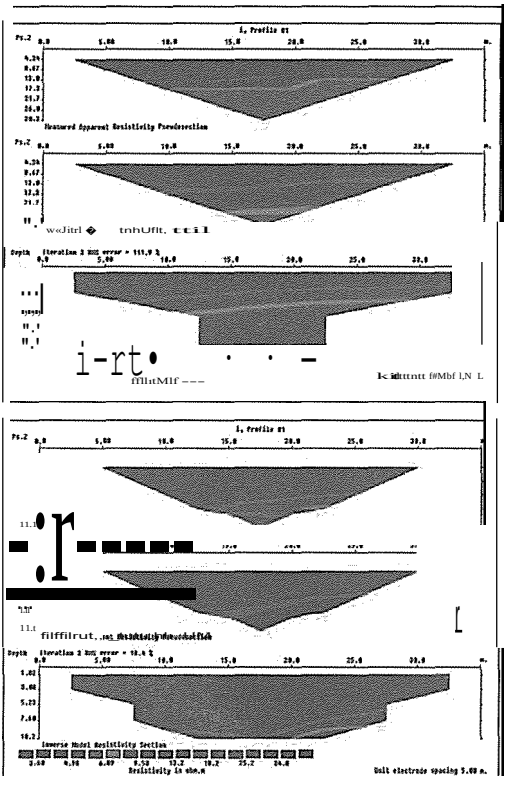
Maden içindeki yolların zemin durumlarını örneklemek amacıyla bu çalışmada elektriksel yerdirenci ölçüm düzeneği (ARES-G4 ölçüm ekipmanı) kullanılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı lokasyonlar herhangi bir önşart gözetilmeksizin, rastgele olarak seçilmiştir. Test lokasyonu-1 'de, elektriksel yerdirenci ölçümleri 3 farklı elektrot dizilim yöntemi ile yapılmıştır. Bunlar pole-dipole, pole-pole ve combine pole-dipole elektriksel özdirenç elektrot dizilim yöntemleridir.

Bu lokasyonda ayrıca ölçü ekipmanının ölçme zaman aralığı 0,4 ve 1,0 saniye olmak üzere iki farklı ölçüm setiyle belirlenmiştir. Bu ölçme setlerine ilave olarak ARES-G4 ekipmanının ölçüm elektrot aralıkları 5,0 metre ve 3,0 metre olarak farklılaştırılarak yol zemınının daha ayrıntılı direnç haritalaması yapılmıştır. Test lokasyonu-1 ıçın, bu ölçümlerden elde edilen derinlemesine özdirenç değişim haritaları Şekil 7 ve 8'de verilmektedir.

Test lokasyonu-2'de yapılan elektriksel yerdirenci ölçümleri 1,0 saniye okuma aralıklı olarak ölçülmüştür. Bu lokasyonda yapılan boyuna ve enine ölçümlerde 5,0 metre elektrot aralığı uygulanmıştır. Test lokasyonu-2'den elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 9 ve l0'da verilmektedir.



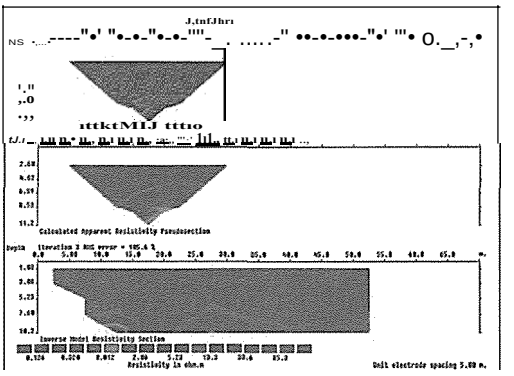
Şekil 6 Test lokasyonu-2'nin. zemını konusunda fikir verebilecek, yol kenarı su kanalı kazı görüntüsü ve yol yakınındaki yarmada yol tabanının kesit görüntü örneği.

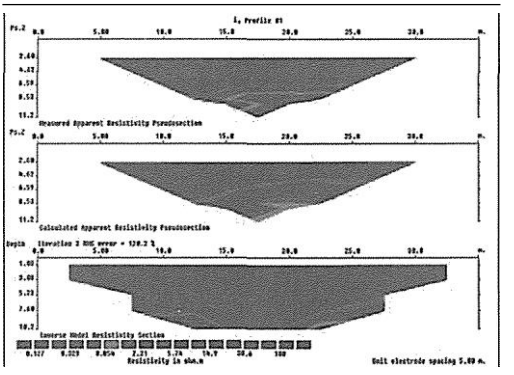


Şekil 7 Test lokasyonu-1 'de yol boyunca yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine görünür elektriksel özdirenç değişim kesitleri.

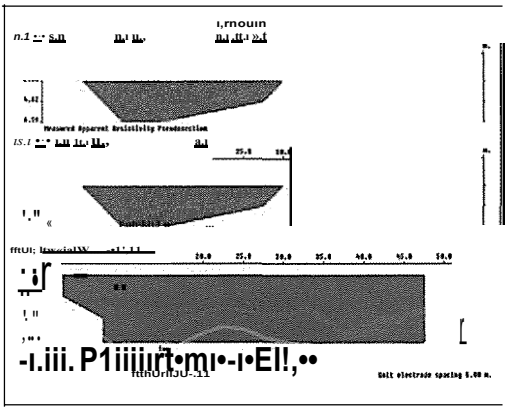
## 4 ÖLÇÜMSONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Elektriksel yerdirenci kesitleri her ölçüm için ayrı ayrı elde edildikten sonra ilgili kesit altındaki direnç değişimlerinin nedenleri orada bulunabilecek tabakalar ve onlar içinde bulunabilecek nem içeriğine göre incelenmiştir. Şekil 3 ve 5'de gösterilen her ölçüm çizgisi için en az 4 özdirenç ölçüm profili düzenlenmiştir. Her ölçüm profili ARES-G4 ekipmanıyla yaklaşık 30-45 dakika sürmüştür. İlgili her seans için elde edilen ölçüm verileri RES2DINV yazılım programıyla grafiklere dökülmüştür. Elde edilen 25 farklı derinlemesine yerdirenci dağılım setinden seçilen 6 tanesi Şekil 7-1O arasında gösterilmektedir. Her yerdirenci dağılım kesiti 3 farklı grafik içermektedir. Her kesit görüntü; ölçüm yapılan lokasyonda, ölçülen uzunluğu (5 m elektrod aralıkları için toplam 35 m; 3 m elektrot aralıkları için toplam 21 m) yatay eksende, yüzeyden başlayarak derinliği de düşey eksende metre cinsinden göstermektedir. RES2DINV programı sonuçlarını her profil için gösterirken üsteki kesit görüntüde "ölçülen görünür özdirenç değerlerini", ortadaki kesit görüntüde farklı yaklaşımlarla "hesaplanan görünür özdirenç değerlerini" ve alttaki kesit görüntüde de "ters çözüm" neticesinde elde edilen özdirenç model kesiti görüntülerini çizerek göstermektedir.

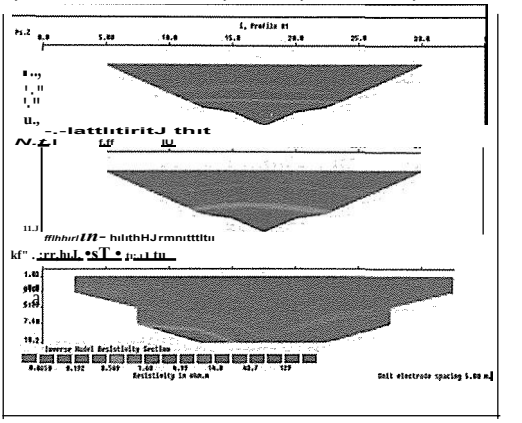




Şekil 8 Test lokasyonu-1 'de yol enine serilen elektrotlardan elde edilen derinlemesine elektriksel özdirenç değişim kesitleri.



Şekil 9 Test lokasyonu-2"de yol boyunca elde edilen derinlemesine elektriksel özdirenç değişim kesitleri.



Şekil 10 Test lokasyonu-2'de yol eninde yapılan ölçümlerden elde edilen derinlemesine elektriksel özdirenç değişim kesitleri.

Test lokasyonu-1 ıçın elde edilen kesit görüntüler seçilen lokasyon altındaki tabakaların yatay olarak yerleştiği yaklaşık 30 metre derinliğe kadar elde edilen direnç dağılım kesitlerinde görülmektedir. Bu lokasyonda ölçüm çizgisinin 0-17 metre yatay uzunluğu altında 2-6,5 metre derinlik arasında göreceli olarak daha dirençli bir formasyonun bulunduğu görülebilmektedir. Bu direncin nedenli yol altında bulunan kömür damarı olarak yorumlanmıştır. Böylece ilgili lokasyonda kömür damarının ne kadar derinliğe kadar bulunduğu da görülebilmiştir. Tabakaların farklı farklı dirençlere sahip olarak alt alta yerleştiği Şekil 7'den elde edilen kesitlerde açıkca görülebilmektedir. Test lokasyonu-1 için elde edilen enine yerdirenci ölçümleri de yatay uzunlukta, yolun asıl kullanılacak olan bölümü 10-25 metreleri altında yüksek dirençli bölgeler gösterınektedir. Bu ölçümlerde de dirençli bölge 7,5 derinliğe kadar ilerlemekte fakat çok fazla bir yayılım göstermemektedir. Bu ölçümler henüz kullanıma tam başlanmayan pekişmemiş maden yolunun altındaki formasyonları ilgili maden işletme mühendislerine göstermiştir. Kömürün üzerindeki bu yol kömür alındıkça kazılacağı için uzun ömürlü olmayacaktır. Maden mühendislerinin bu ocakta yıllar içinde elde ettikleri bir başka gözleme

(tecrübeye) göre ise kömürün hemen üzerindeki killi formasyonlar, üzerlerine yük aldıkça hareket edecekler, kayma, yana doğru hareket etme gibi davranışlar göstereceklerdir. Bu anlamda ilgili maden üretim yolunun stabilitesi çok fazla iyi görünmediği açıktır. Ayrıca bu maden yolunun açıldığı şevlerde görülen heyelan tehlikesi (haftada 10-25 cm hareketle), ölçüm yapılan lokasyona 100-150 metre uzaklıkta devam ettiğinden bu yolun kısa zamanda bozulmaya başlayacağı unutulmamalıdır. Yoldaki killi dolgular ve nem oranının yüksek olması aşırı tonajlı maden kamyonları için yolun emniyetli olmadığı yorumunu getirmektedir. Bu yolu kullanarak yapılacak kömür üretimi nispeten daha az tonajlı kömür kazı makineleri ve kamyonlarıyla yapılması gerektiği açıktır.

Test lokasyonu-2'den elde edilen yerdireci kesitleri Şekil 9 ve l0'da görüldüğü gibidir. Bu lokasyonda yolun eninde yapılan ölçümlerde, yolun asıl kullanılan ve pekişmiş kısmı, ölçüm yatay uzunluğunun 5-20 metreleri arasında olduğu direnç kesitlerinden net bir şekilde görülebilmektedir. Yol altında 4 metreye kadar derinliğe kadar yüksek direnç elde edilmesi yolun pekişen bölümünü göstermektedir. Bu yüksek direncin nedeni test lokasyonu-1 'de olduğu gibi kömür daman değildir. Çünkü Şekil 6'da verilen su kanal görüntülerinde de görüleceği gibi yolun 2 metre derinliği pekişmiş yol malzemesinin oluşturduğu gözlenmiştir. Bu pekişme sınırlarının yol altındaki dağılımı Şekil lO'da açıkça görülebilmektedir. Bu durum test lokasyonu-1 'de elde edilen kesitlerden farklılık göstermektedir ve yolun pekişmesinin direncini artırdığını belgelemektedir.

Test lokasyonu-2'de yol boyunca yapılan ölçümlerde direncin yol içinde farklılıklar göstermesi, yol pekişmesinin farklılıklar gösterdiğini bildirmektedir. Ölçümlerin başlama noktasında yüksek direnç (pekişme) gösteren yol, ölçüm yatay uzunluğunda yerdirencinde düşmeler göstermiştir. Bu kesitler yolun altındaki pekişmenin varlığını fakat her yerde eşit olmadığını belirtmektedir. Ayrıca ölçüm yapılan lokasyonunun yatay uzunluk 25-35 metre arası yol altının daha fazla nem içermesi muhtemel bir pozisyonu bulunmaktadır. Deneyin başlatıldığı noktanın yanal olarak 1-1,5 metre daha yüksekte kalması, zemin su drenajını yol kenarına doğru çekerek yolun direncinin daha fazla çıkmasına neden olmuştur.

Teşekkür: Bu çalışmanın gerçekleşmesine yardımcı olan GLİ-Ilgın Kömür Ocağı yetkililerine ve işletme mühendislerine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Abledu, K.O. ve Laird, D.N 1992, "Measurement of substation rock resistivity", Transactions on Power Delivery, V7, Nl, pp295-301.

Batayneh, A.T., Al- Diabat, A.A., 2002, "Application of a two-dimensional electrical toınography technique for investigating landslides along the Aınınan-Dead Sea Highway", Jordan, Environmental Geology, V42, ss399-403.

Bernstone,C., Dahlin, T., Ohlsson, T., Hogland, W., 2000, "DC-resistivity ınapping of internal landfill structures: Two pre-excavation surveys", Environınental Geology, V39, pp360-371.

Zhou, W., Beck, B.F., Stephenson, J.B., 2000, "Reliability of dipole-dipole electrical resistivity toınography for defining depth to bedrock in covered Karst terrains", Environınental Geology, V39, pp760-766.

Jackson, P.D., Northınore K.J., Meldrum, P.I., Gunn, D.A., Hallaın,J.R., Waınbura, J., Wangusi,B. ve Ogutu,G., 2002, "Non- invasive ınoisture ınonitoring within an earth eınbankınent-a precursor to failure", NDT & E International, Elsevier pres, V35, ppl07-l 15.

# *Tasarım ve Tamir-Bakım İşleri*

*(Design and Maintenance of Mining Machinery)*

/

# İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) Tekniklerinden Kontrol Grafiklerinin Kömür Zenginleştirme Tesisindeki Uygulaması

## *The Application of Control Graphics /rom Statistical Process Control (SPC) Techniques on Coal Processing Plant*

M. Uygun, A. Gitmez & N. Güralp
*Garp Linyitleri İşletmesi, Ömerler Lavvarz, Tunçbilek/Kütahya*

**ÖZET** Modern kalite anlayışı gereği, hedeflenen kaliteye uygunluk bir süreç içindeki işgücü, malzeme ve ekipman gibi tüm unsurlar için ayrı ayrı aranmaktadır. Bu çalışmada, bir kömür zenginleştirme tesisinde kullanılan nükleer yoğunluk ölçerler yardımıyla izlenen ve kontrol edilen devre yoğunluklarıyla ilgili İPK analizlerinin yapılarak sistemin etkilendiği rassal, personel, ekipman ve malzeme kaynaklı kontrol parametrelerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu şekilde, kontrol grafiklerinin kullanılması ile elde edilebilecek teknik ve mali kazanımlar irdelenmiştir.

**ABSTRACT** Suitability of aimed quality in a process is demanded separately for all elements like the work force, materials and equipment according to modern quality understanding. Our aim in this work to determine the control parameters originating from random, personnel, equipment and materials as using SPC analysis that is related to controlled period density with the help of nuclear density scale in the Coal Processing Plant so we study technical and financial gains that will obtained using the Control Graphics.

## 1 GİRİŞ

İstatistiksel düşünce ve kavramlar; insan, kurum ve ekipmanların etkinliğinin sağlanmasında önemli bir kavram haline gelmiştir. İstatistiksel çalışmalar, işletme yönetiminde gerek kalite açısından gerekse işletme ve ekipmanların yönetimi ile kontrolünde büyük önem taşımaktadır. Modern kalite anlayışı gereği hedeflenen kaliteye uygunluk bir süreç içindeki işgücü, malzeme ve ekipman gibi tüm unsurlar için ayrı ayrı aranmaktadır.

Kömür zenginleştirme tesislerinin teknolojik ve ekonomik yeterlilikleri karşılayacak şekilde işletilmesi ve denetimi çok önemlidir. Bu nokta, elde edilen çıktıların kalitesi ve maliyeti açısından önem arz etmektedir. Tesislerin işletilmesinde konunun uzmanı bir ekiple çalışmak, kısa ve uzun vadeli plan, programlara dayalı çalışmak yanında, değişen ve gelişen durumlara uyumu kolaylaştıracak motivasyon ve eğitim çalışmaları yapmak, eldeki teknolojik ekipmanların en iyi şekilde kullanılabilmesine imkan sağlayacaktır. Günümüzde bu tür tesislerde uygulanan etken üretim ve bakım planlamaları ile tesis otomasyonlarındaki gelişmeler amaca uygunluğu daha da arttırmaktadır (Önal, 2005). Tüm çalışmalara rağmen sektördeki insan kaynaklı faktörlerin, tesislerin ekonomik ve teknolojik kullanımlarına olumsuz etkisi yoğun bir şekilde görülmektedir. Bu nedenle, teknoloji yoğun çalışan, tam otomasyon tesislerde dahi insan faktörünün devreye girmesiyle ekonomik ve teknolojik verimde önemli kayıp ve düşüşler gözlenmektedir. İşletmecilikte ana amaç olan karı çoklayabilmek için etkin kalite ve maliyet denetimi şarttır. Bu amaçla hem teknolojik hem de yönetsel işlemlerde kalite ve maliyet denetimi sıkı tutulmalıdır. Denetimin vazgeçilmez olgusu raporlama ve istatistiktir. İstatistik, değişik nedenlerin

etkisi altında yaşanan olayların gözlenmesi ve gerekli bilgilerin sistematik biçimde toplanarak incelenmesi sonucunda belirli duyarlılıkta tahmin ve yorumlar yapmayı sağlayan bir bilim dalıdır (Kars ve Kuru, 2002). İstatistiksel tekniklerin kaliteyi iyileştirdiği, geliştirdiği, verimliliği arttırdığı ve maliyetleri düşürdüğü bilinmektedir. İstatistiksel teknikler; karmaşık süreçleri analiz ederek, bunlar arasındaki sebep-sonuç ilişkilerini ortaya çıkarmakta ve kalite iyileştirme faaliyetlerini kolaylaştınnaktadır.

Bu çalışmada, TKİ Kurumu GLİ Müessesesi Müdürlüğü Ömerler Lavvan'ndaki, yıkama devrelerine ait yoğunluk ölçme ve ayarlama sistemleri üzerinde istatistiksel proses kontrol (İPK) tekniklerinden kontrol grafikleri yardımıyla sistemin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilecek bilgilerin, tesiste yapılan kömür zenginleştirme işlemleri sonucu çıkan ürünlerin kalitesinin arttırılmasına ve elde edilecek gelirin aıimasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

## 2 KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ

İstatistiksel proses kontrol (İPK) bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir tarzda üretilmesini sağlamak amacıyla veri toplamak, analiz etmek, yorumlamak ve çözüm yollan önermek üzere istatistik prensip ve tekniklerin üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır.

İPK'da süreçlerdeki değişkenliklerin ölçülmesi ve irdelenmesinde istatistiksel teknikler uygulanmaktadır. Bu sayede, hatalar kaynağında önlenebildiği gibi, süreçteki bir sonraki ekipmana daha kaliteli ürün sunma imkanı da doğmaktadır. İPK faaliyetleri, düzeltici ve önleyici faaliyetlere başlanabilmesi için verilere dayalı karar venne olanağı sunmaktadır (Kars ve Kuru, 2002).

Kontrol grafikleri İPK yöntemleri içinde çok kullanılan bir yöntemdir. Shewhart kontrol grafikleri olarak da bilinen yöntemin basitliği yanında prosesteki değişimleri araştırmak ve anlamakta yardımcı olduğu da bir gerçektir.

Kalitesizliğin temelinde değişkenlik yatar. Kaynaklan hemen hemen tahmin edilebilen genel sebeplere veya belirsiz kaynaktan oluşan, düzensiz ve önceden tespit edilemeyen özel sebeplere bağlı olarak gelişen değişkenlikleri önlemek ve en aza indirmek İPK ile mümkün olabilmektedir. Özellikle, önlem almadıkça tekrar edebilen özel sebepli değişim kaynaklarını ortadan kaldırıp, süreci kontrol altında tutmak İPK'nın temel amacıdır. Bu sayede; prosesteki değişikliklerin önceden belirlenmesi, üründeki değişkenlikler azalması, ürün kalitesi artması, sistemde oluşan hurda oranı azalması, etkin kapasite kullanımının arttırılması, birim maliyetlerin azaltılması, kalitesizlik maliyetlerinin düşürülmesi, makine ve proses yeterliliğinin izlenmesi, düzeltici ve önleyici faaliyet ihtiyaçlarını belirlenmesi ve oldukça pahalı olan kontrol faaliyetlerinin azaltılması gibi yararlar elde edilebilir.

İPK ile ilgili yürütülen çalışmalarda çetele tablosu, histogram, pareto analizi, sebep sonuç diyagramları, gruplandım1a, dağılma diyagramları ve kontrol grafikleri gibi temel teknikler kullanılmaktadır.

Kontrol grafiklerinin gucu, süreçte meydana gelen ve kaliteyi etkileyen belirlenebilir nedenleri ayırabilmesidir. Sadece şans etkileri nedeniyle değişkenlik gözlenen bir süreç, istatistiksel olarak kontrol altında olarak tanımlanır. Belirlenebilir nedenlerin varlığı altında çalışan bir süreç ise kontrol dışındadır. İşçi, makine ve malzemeler arasındaki farklılıktan kaynaklanan değişmeler belirlenebilir değişmelerdir (Bumak, 1997).

Bir kontrol grafiği esas olarak üç çizgiden oluşur. Bunlar; alt kontrol sınırı (AKS), üst kontrol sının (ÜKS) ve orta çizgidir (OÇ). İncelenen proses özelliğinin ortalama değeri aynı zamanda hedeflenen değer olarak da ifade edilen orta çizgi ile temsil edilir. Eğer ilgilenilen kalite özelliği ölçülebilir özellikte ise, bu durumda merkezi eğilim ölçülerinden aritmetik oıialama, dağılma ölçülerinden ise değişim aralığı ve standart sapma kullanılır.

Olçülebilir özellikler için ha ırlana a kontrol grafiklerinde şu evreler ızlenebılır (Burnak, 1997):

- Kontrol grafiği amaçları belirlenir,
- Kontrol edilecek değişken seçilir,
- Örnekleme, ölçme ve kayıt yöntemleri tespit edilir.
- Olçümler yapılır, verıler kaydedılır,
- Her örnek için istatistikler hesap edılıp grafiğe işaretlenir.
- Kontrol limitleri saptanır.
- Kontrol grafiği oluşturulur,
- Çalışılan sist ı:ı e1: be len n ile gerçek durum arasındakı ıl şkı belır_ enır: . ..
- Sistemde alınabılecek duzeltıcı onleınler belirlenir.

Kontrol grafiklerinde, grafiğe işlenen noktalar, kontrol limitleri arasın a kalacak şekilde uzayıp gidiyor prosesın ko tr l altında olduğu farz edılır ve herhangı hır müdahaleye ihtiyaç duyulmaz. Bununla birlikte kontrol limitleri dışına çıkmamakla beraber noktaların sistematik bir eğilim göste esi veya noktalardan en az bir tanesinin kontrol limitleri dışına çıkmış olması kontrol dışı duruma işaret etmektedir. Bu durumda üretime müdahale edilip hatanın bulunması ve düzenlemelerin yapılması gerekir (Elevli ve Behdioğlu, 2006).

Bu çalışmada, kullanılan kontrol grafiklerinde, limitlerin hesabında;

X Kontrol grafiklerinde;

ÜKS=X+A1.s (1)

OÇ=X (2)

AKS=X-A1.s (3)

S Kontrol grafiklerinde;

ÜKS=B4.s (4)

OÇ=s (5)

AKS=B3.s (6)

formülleri kullanılmaktadır. Buradaki A1, B3 ve B4 katsayıları alınan örneklerdeki birim sayılarına göre Çizelge l 'den bulunabilir (Burnak, 1997).

Çizelge 1. Kontrol grafikleri için katsayılar.

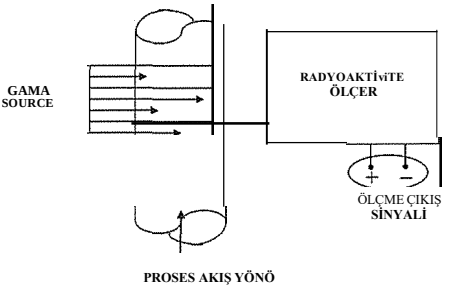
| 11 | A1 | | |
|---|---|---|---|
| 10 | 1,028 | 0,284 | 1,716 |
| 12 | 0,925 | 0,354 | 1,646 |
| 14 | 0,848 | 0,406 | 1,594 |

OG_UNLU DEQERLERl E;

## iLiŞKiN VERiLERiN ANALiZi

TKİ Kurumu GLİ Müessesesine ait Ömerler Kömür Hazırlama ve Zenginleştirme Tesisi (Ömerler Lavvarı) yıllık 3.000.000 ton tüvenan kömür yıkama kapasitesine sahip bir tesistir. Tesiste -150 mm. ven ı:ı kömür. 3 genel boyuta ayrılıp zengınleştırılınektedır. Buna göre; -150 ile +18 mm. kömür ağır ortam teknesiyle, -18 ile +0,5 mm. kömür ağır ortam siklonlarıyla, -0,5 ile O,1 mm. arasındaki kömürler ise spiral devresinde zenginleştirilmektedir. Yapılan ağır ortam zenginleştirmesinde -50 J\,.1µ. boyutun a öğütülmüş manyetit cevherı ($Fe_3O_4$), agır ortam hazırlamada kullanılmaktadır.

Tesis tam otomasyon olup, devrelerdeki ölçerler yardımıyla ölçülebilmektedir.




Şekil 1. Yoğunluk ölçer çalışına şekli.

Radyometrik yoğunluk ölçme cihazı, Şekil 1'de göıüldüğü gibi kabaca bir adet ışın kaynağı ve bir adet de radyoaktivite ölçerden oluşmaktadır. Işın kaynağı olarak çoğunlukla orta seviye radyoaktivite içeren ve yarılanma ömrü uzun olan izotoplar tercih edilmektedir. Gama ışınları proses içerisinden geçerken, radyoaktivitenin belli bir kısmı pr ses tarafından absorbe edilir. Bu absorbe edılen miktar, prosesin yoğunluğu ile doğru orantılı olmaktadır. Bundan sonrasında ise bilinen yöntemlerle ölçülen değerler elektriksel bir sinyal olarak ihtiyaç duyulan noktalara iletilir. Bu çıktı, gerektiğinde bir ekranda görüntülenebileceği gibi, farklı çevrimlerde kullanmak veya bir veritabanına verileri yazmak istendiğinde PLC'lere aktarımı

yapılmaktadır. Kullanılan herhangi bir SCADA yazılımına ait rapor editörü vasıtasıyla da istenilen aralıklarda ölçme değerleri bir veri tabanına aktarılır. Dakika ya da saat bazında veri alma sağlanabilir. SCADA yazılımı avantajlarını kullanarak, farklı istatistik bilgiler için rapor oluşturmak da mümkün olmaktadır. Bu çalışmada beşer dakikalık periyotlarla her bir devrenin yoğunluğu kayıt altına alınmış ve 1 gün boyunca alınan tüm veriler yardımıyla ilgili devre için kontrol grafikleri oluşturulmuştur.

### 3.1 Tekne Devresine Ait Yoğunluk Verilerinin Analizi

Ömerler Lavvarı'ndaki iri kömür yıkama devresindeki 1'inci ağır ortam teknesine ait, 24 saat boyunca beşer dakika aralıkla tutulan yoğunluk kayıtları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Tekne devresi yoğunluk kontrol grafiği veri tablosu.

| ÖRNEK | BİRİMNO | | | | | | | | | | | | ORT. | ST.SAP. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | X | s |
| 1 | 1,610 | 1,610 | 1,600 | 1,610 | 1,600 | 1,590 | 1,600 | 1,610 | 1,620 | 1,610 | 1,610 | 1,600 | 1,606 | 0,008 |
| 2 | 1,600 | 1,590 | 1,580 | 1,590 | 1,590 | 1,600 | 1,620 | 1,610 | 1,610 | 1,600 | 1,590 | 1,600 | 1,598 | 0,011 |
| 3 | 1,610 | 1,610 | 1,580 | 1,620 | 1,640 | 1,620 | 1,610 | 1,630 | 1,600 | 1,590 | 1,580 | 1,610 | 1,608 | 0,018 |
| 4 | 1,620 | 1,580 | 1,570 | 1,580 | 1,590 | 1,580 | 1,590 | 1,610 | 1,580 | 1,580 | 1,570 | 1,590 | 1,587 | 0,014 |
| 5 | 1,600 | 1,570 | 1,600 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,620 | 1,610 | 1,600 | 1,590 | 1,600 | 1,580 | 1,600 | 0,014 |
| 6 | 1,580 | 1,570 | 1,570 | 1,560 | 1,570 | 1,570 | 1,580 | 1,580 | 1,590 | 1,570 | 1,580 | 1,580 | 1,575 | 0,008 |
| 7 | 1,570 | 1,590 | 1,600 | 1,600 | 1,590 | 1,580 | 1,600 | 1,620 | 1,640 | 1,630 | 1,640 | 1,630 | 1,608 | 0,023 |
| 8 | 1,620 | 1,620 | 1,610 | 1,600 | 1,580 | 1,570 | 1,580 | 1,560 | 1,590 | 1,590 | 1,610 | 1,610 | 1,595 | 0,019 |
| 9 | 1,580 | 1,580 | 1,580 | 1,580 | 1,590 | 1,590 | 1,580 | 1,580 | 1,570 | 1,570 | 1,580 | 1,570 | 1,579 | 0,006 |
| 10 | 1,570 | 1,570 | 1,580 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,620 | 1,590 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,598 | 0,016 |
| 11 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,580 | 1,590 | 1,590 | 1,590 | 1,610 | 1,590 | 1,600 | 1,600 | 1,596 | 0,008 |
| 12 | 1,610 | 1,590 | 1,590 | 1,590 | 1,580 | 1,570 | 1,570 | 1,570 | 1,580 | 1,590 | 1,580 | 1,580 | 1,583 | 0,011 |
| 13 | 1,570 | 1,580 | 1,580 | 1,590 | 1,610 | 1,620 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,620 | 1,620 | 1,609 | 0,022 |
| 14 | 1,610 | 1,620 | 1,620 | 1,620 | 1,620 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,620 | 1,610 | 1,610 | 1,614 | 0,005 |
| 15 | 1,610 | 1,610 | 1,620 | 1,590 | 1,590 | 1,590 | 1,600 | 1,620 | 1,630 | 1,630 | 1,610 | 1,590 | 1,608 | 0,015 |
| 16 | 1,590 | 1,600 | 1,610 | 1,610 | 1,620 | 1,590 | 1,580 | 1,570 | 1,560 | 1,570 | 1,580 | 1,580 | 1,588 | 0,018 |
| 17 | 1,580 | 1,590 | 1,590 | 1,580 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,620 | 1,620 | 1,600 | 1,600 | 1,602 | 0,013 |
| 18 | 1,610 | 1,610 | 1,620 | 1,590 | 1,620 | 1,590 | 1,590 | 1,590 | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,600 | 1,604 | 0,011 |
| 19 | 1,600 | 1,590 | 1,590 | 1,580 | 1,580 | 1,580 | 1,620 | 1,620 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,607 | 0,021 |
| 20 | 1,620 | 1,620 | 1,610 | 1,630 | 1,610 | 1,630 | 1,630 | 1,630 | 1,610 | 1,620 | 1,630 | 1,630 | 1,623 | 0,008 |
| 21 | 1,620 | 1,630 | 1,630 | 1,620 | 1,630 | 1,630 | 1,620 | 1,640 | 1,640 | 1,630 | 1,620 | 1,630 | 1,628 | 0,007 |
| 22 | 1,630 | 1,620 | 1,610 | 1,590 | 1,580 | 1,590 | 1,600 | 1,610 | 1,620 | 1,620 | 1,620 | 1,620 | 1,609 | 0,015 |
| 23 | 1,620 | 1,590 | 1,590 | 1,590 | 1,600 | 1,620 | 1,610 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,602 | 0,010 |
| 24 | 1,600 | 1,610 | 1,620 | 1,620 | 1,630 | 1,610 | 1,590 | 1,580 | 1,570 | 1,570 | 1,570 | 1,570 | 1,595 | 0,022 |
| | | | | | | | | | | | | | 1,601 | 0,013 |

**Bu veriler yardımıyla Çizelge 1 değerleri de kullanılarak, (l)'den (6)'ya kadar tüm formüller ile, kontrol sınırları tespit edilebilir. Buna göre ortalama (X) kontrol rafiklerinde;**

**UKS=X+A $_1$.s=l ,601+0,925 . 0,013=1,613**

**OÇ=X=l,601**

**AKS= X-A$_1$.s=l ,601-0,925 . 0,013=1,589**

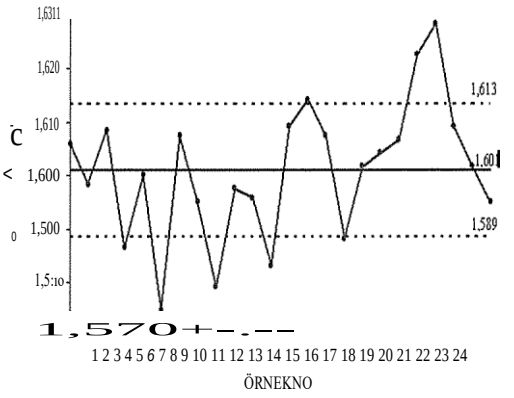
standart sapma (S) kontrol grafiklerinde;

ÜKS=B$_4$.s=l,646 . 0,013=0,022

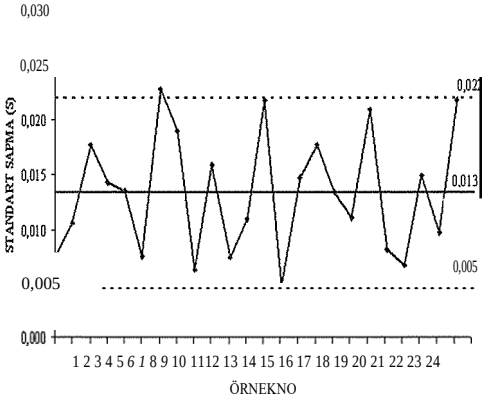
OÇ=s=0,013

AKS=B$_3$.s=0,354. 0,013=0,005

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değerler Şekil 2 ve Şekil 3'te kontrol grafiği haline getirilmiştir.




Şekil 2. Tekne devresi ortalama (X) kontrol grafiği.




Şekil 3. Tekne devresi standart sapma (S) kontrol grafiği.

Şekil 2'deki tekne devresi X kontrol grafiği incelendiğinde, 5 noktanın kontrol sınırları dışında olduğu görülmektedir. Ortalamalarda ani yükseliş ve düşüşler görülmektedir. Şekil 3'teki S kontrol grafiğinde ise 1 nokta dışında, bütün noktalar kontrol sınırları içinde kalsa da 13. örneğe kadar bir yükselen trend, daha sonra ortalamanın altında uzun bir seyir görülmektedir. Bunlara dayanarak, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olmadığı ve burada sistemin özel nedenlerin varlığı altında çalıştığı söylenebilir.

Örnek alma sürecinde, tüvenanın nominal sınır üzerinde beslenmesi ve özellikle iri parçalar içermesi nedeniyle, çıkan iri temiz kömürlerle beraber manyetit kaçakları da gözlenmiştir. Bu yüzden sık sık manyetit takviyesi gerekmiştir. Devredeki kaçakların onune geçilebilmesi halinde, yoğunluk dalgalanmaları en aza inecektir.

Sistemde meydana gelen bu durumun en büyük nedeni, operatörlerin, sistemin belli bölümlerini otomatik olarak değil, manuel olarak çalıştırmalarıdır. Manuel çalıştırmada tepki süresi ve işlem süresinin uzunluğu aşırı dalgalanmalara neden olmaktadır. Sistemin otomatik çalıştırılması durumunda, dağılım değeri düşecek, ortalamalara yakın bir seyir gözlenebilecektir.

Ayrıca, vardiya sonlarına denk gelen saatlerde (8, 16 ve 24. örnekler) görülen düşüşler dikkat çekicidir. Bu saatlerde operatörlerde meydana gelen dikkat dağılması ile fiziksel ve ruhsal yorgunluk bu durumun en büyük sebebidir. Bu husus işletme koşullarında mutlaka dikkate alınmalıdır.

### 3.2 Siklon Devresine Ait Yoğunluk Verilerinin Analizi

Ömerler Lavvarı 'ndaki ince kömür yıkama devresinde kullanılan 1'inci ağır ortam siklon devresine ait 24 saat boyunca, beşer dakikalık periyotlarla tutulan yoğunluk kayıtları Çizelge 3'te verilmiştir. Eldeki bu veriler kullanılarak (l)'den (6)'ya kadar olan tüm formüller kullanılarak kontrol grafikleri için sınır değerler hesaplanabilir.

Ortalama (X) kontrol grafiklerinde;

ÜKS=X+$A_1$.s=l,499+0,925 . 0,022=1,519

OÇ=X=l,499

AKS= X-$A_1$.s=l,499-0,925. 0,022=1,479

Standart sapma (S) kontrol grafiklerinde;

ÜKS=$B_4$.s=l,646 . 0,022=0,036

OÇ=s=0,022

AKS=B3.s=0,354 . 0,022=0,008

olarak hesaplanır.

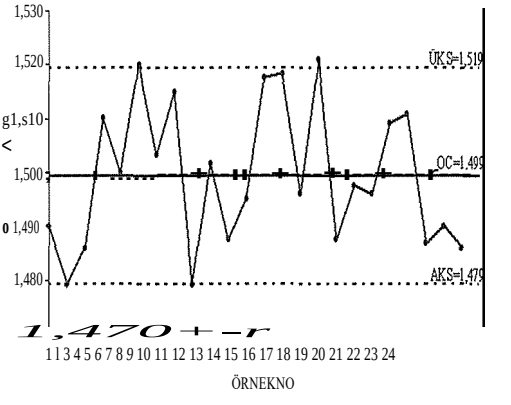
Çizelge 3. Siklon devresi yoğunluk kontrol grafiği veri tablosu.

| ÖRNEK | BİRİMNO | | | | | | | | | | | | ORT. | ST.SAP. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nü | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | X | s |
| 1 | 1,460 | 1,460 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,500 | 1,500 | 1,510 | 1,500 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,490 | 0,020 |
| 2 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,530 | 1,560 | 1,420 | 1,430 | 1,430 | 1,430 | 1,430 | 1,440 | 1,479 | 0,050 |
| 3 | 1,450 | 1,450 | 1,460 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,500 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,486 | 0,022 |
| 4 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,530 | 1,550 | 1,480 | 1,490 | 1,480 | 1,490 | 1,510 | 0,020 |
| 5 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,480 | 1,500 | 1,510 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,500 | 0,016 |
| 6 | 1,520 | 1,530 | 1,530 | 1,550 | 1,540 | 1,550 | 1,550 | 1,560 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,490 | 1,520 | 0,032 |
| 7 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,530 | 1,510 | 1,503 | 0,012 |
| 8 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,530 | 1,520 | 1,520 | 1,515 | 0,006 |
| 9 | 1,520 | 1,460 | 1,460 | 1,460 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,480 | 1,490 | 1,490 | 1,479 | 0,017 |
| 10 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,510 | 1,510 | 1,502 | 0,010 |
| 11 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,470 | 1,470 | 1,470 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,488 | 0,019 |
| 12 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,490 | 1,510 | 1,520 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,495 | 0,012 |
| 13 | 1,480 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,480 | 1,500 | 1,520 | 1,520 | 1,560 | 1,560 | 1,560 | 1,560 | 1,518 | 0,032 |
| 14 | 1,570 | 1,570 | 1,570 | 1,580 | 1,590 | 1,460 | 1,470 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,518 | 0,049 |
| 15 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,500 | 1,510 | 1,530 | 1,550 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,496 | 0,023 |
| 16 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,520 | 1,530 | 1,530 | 1,530 | 1,560 | 1,570 | 1,570 | 1,521 | 0,032 |
| 17 | 1,570 | 1,570 | 1,460 | 1,460 | 1,460 | 1,470 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,488 | 0,038 |
| 18 | 1,480 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,490 | 1,510 | 1,500 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,510 | 1,520 | 1,498 | 0,018 |
| 19 | 1,510 | 1,520 | 1,530 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,496 | 0,016 |
| 20 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,520 | 1,520 | 1,510 | 1,509 | 0,008 |
| 21 | 1,510 | 1,510 | 1,510 | 1,520 | 1,520 | 1,530 | 1,530 | 1,560 | 1,560 | 1,460 | 1,460 | 1,460 | 1,511 | 0,034 |
| 22 | 1,460 | 1,470 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,487 | 0,013 |
| 23 | 1,490 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,490 | 1,480 | 1,480 | 1,490 | 1,480 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 1,490 | 0,007 |
| 24 | 1,490 | 1,490 | 1,500 | 1,510 | 1,470 | 1,510 | 1,470 | 1,480 | 1,470 | 1,470 | 1,480 | 1,490 | 1,486 | 0,014 |
| | | | | | | | | | | | | | 1,499 | 0,022 |

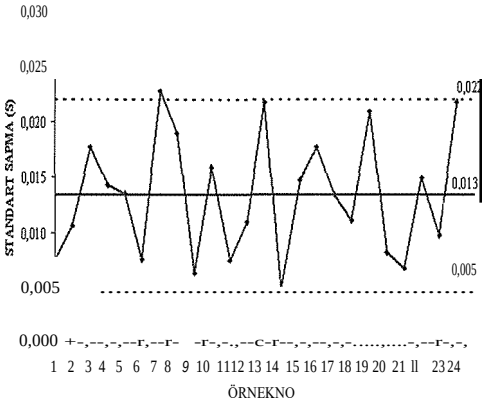
Hesaplanan bu değerler Şekil 4 ve Şekil 5'te kontrol grafiği haline getirilmiştir.

Şekil 4 ve Şekil S'teki X ve S kontrol grafikleri incelendiğinde ortalama çalışma yoğunluğunun (1,500 gr/cm$^3$ )hemen hemen sağlanmasına karşılık X kontrol grafiğinde 2 noktanın kontrol sınırları dışında; S kontrol grafiğinde ise 5 noktanın kontrol smırları dışında olduğu görülmektedir. Süreç istatistiksel olarak kontrol altında değildir.

X kontrol grafiği incelendiğinde **yoğunluklarm devamlı olarak artan ve azalan bir yapı gösterdiği görülmektedir. Burada 1. siklon devresinin elek sibentlerinde yeterli süzme olmaması ve koyu sıvının, sulu sıvı devresinden yoğunluğu yükselerek kazanılması nedeniyle, 1. siklon yoğunluğu devamlı yükselmektedir. Devreye yoğunluk düşürmek için otomatik su veren bir sistem**




Şekil 4. Siklon devresi ortalama (X) kontrol grafiği.




Şekil 5. Siklon devresi standart sapma (S) kontrol grafiği,

olmadığından, devre yoğunluğunu ayarlamak ve seviye tamamlamak için su takviyesi, manuel olarak yapılmaktadır. Siklon devresine su takviyesi işinin kontrolsüz yapılması neticesinde yoğunlukta önemli ölçüde düşüşler görülmektedir. Genellikle vardiya başlarında, ilk seviye tamamlaması sırasında yoğunlukta istenmeyen büyük düşüşler görülmüş (1,9 ve 17. örnek), daha sonraki işlemlerde daha dikkatli olunmuştur.

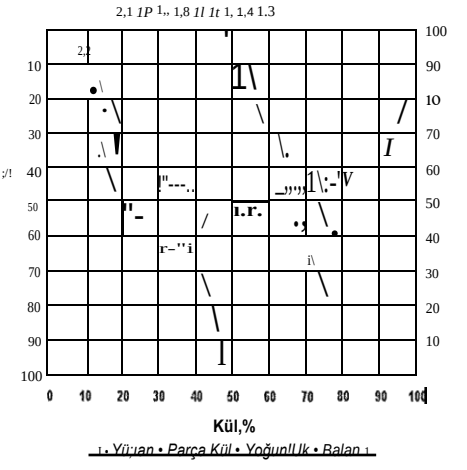
Sürecin istatistiksel kontrol altına alınması için, devredeki koyu sıvının, eleklerde, sulu sıvı devresine kaçmadan alınması; sibentlerin süzer halde olmaları sağlanmalıdır. Operatörler ile tesis çalıştırıcılar arasında, daha dikkatli davranmayı sağlayacak bir diyalog kunılmalıdır. Kumanda odasındaki operatörler, tesiste görevli çalıştırıcılardan istediklerini net ve ölçülere bağlı olarak istemelidirler.

## 4 SONUÇLAR, KALİTE VE MALİYET ETKİLERİ

Kömür zenginleştirme tesislerinde (lavvar) zenginleştirilecek tüvenan kömürle ilgili pek çok veri, yapılan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda elde edilir. Ocaklardan alınan temsili kömür numuneleri laboratuar koşullarında seri yüzdürme deneylerine tabi tutulur. Boyutlandırılmış gnıp numuneler için kül değerleri de tespit edilerek, yüzdürme batırma çizelgeleri oluştunılur. Bu çizelgelerden hareketle, tüvenan kömür için yıkama eğrileri hazırlanır. Bu eğriler yardımıyla istenen kül değerinde temiz kömür elde edilebilecek yıkama yoğunlukları tespit edilir. Çizelge 4 ve Şekil 6'da GLİ Müessesesi Ömerler Yeraltı ocağına ait tüvenan kömür numunesiyle yapılan yüzdürme deneyleri sonuçları ve bu verilerle oluştunılan yıkama eğrileri verilmiştir.

Çizelge 4. Kömür yüzdürme sonuçları.

| Yoğımluk (gr/cın³) | Ağıl'lık (kg) | Oran (%) | Kıil (%) |
|---|---|---|---|
| **1.30** | **5,050** | **12,50** | **12,10** |
| **1.30 - 1.40** | 12,200 | **25,54** | **15,17** |
| **1.40 - 1.50** | **2,225** | **5,34** | **28,71** |
| **1.50 - 1.60** | **1,680** | 1,93 | 43,75 |
| **1.60 - 1.70** | **2,540** | 4,35 | **53,90** |
| **1.70 - 1.80** | **2,635** | **4,63** | **56,80** |
| **1.80 - 1.90** | **0,655** | **5,53** | **64,30** |
| **1.90 - 2.00** | **0,270** | **1,64** | **66,40** |
| **2.00** | **32,265** | 38,55 | 77,10 |
| **TOPLAM:** | **59,520** | **100,00** | **47,10** |




Şekil 6. Kömür yüzdürme grafiği.

Sistemde, tespit edilen bu yoğunluklarla yıkama yapılmaktadır. Tespit edilen bu yoğunluktan daha düşük yoğunlukta üretim

yapmak, temiz kömür kayıplarına neden olacaktır. Bu da satışa sunulacak kömür miktarını, dolayısıyla da satış hasılatını azaltacaktır. Daha yüksek yoğunlukta çalışma sonucunda da kömür kalitesinde düşme meydana gelecektir. Böyle bir durum, müşteri şikayetlerine ve pazar daralmasına neden olacağından; sonucunda da işletmeye önemli bir maliyet getirecektir. Buradan yoğunlukların etkin kontrolünün çok önemli olduğu sonucu çıkartılmaktadır. Bu durum elimizdeki numune ile elde ettiğimiz Çizelge 4 ve Şekil 6'da da görülebilmektedir. 1,50 - 1,70 gr / $cm^3$ yoğunluk aralığında yaklaşık her % 5 yoğunluk değişimine karşılık, % 4 civarında temiz kömür miktarında değişme gözlenmektedir. Bu nedenle gerekli yoğunluk aralığında çalışılmadığında her % 5 oranında eksik yoğunlukta yaklaşık % 4 kömür kaybı meydana gelmektedir. Yıllık üretim miktarının 3.000.000 ton ve ortalama satış fiyatının 80 YTL olduğu düşünüldüğünde, ortaya çıkacak kayıp kömürün tutarı yaklaşık, 9.600.000 YTL'yi bulacaktır. Sistemden elde edilen, Şekil 2 ve 4'te görülen kontrol grafiklerinde izlendiği üzere yoğunluktaki değişme oıia çizgi (OÇ)'nin altında kaldığı kadar · OÇ'nin üzerinde de seyretmektedir. Bu durum temiz kömür kayıplarını minimize etmekte fakat, kalitede değişkenlik yaratmaktadır. Ömerler Lavvarı'nda hem iri hem de ince kömür yıkama devrelerinde ikincil yıkama devreleri de bulunduğundan olası kömür kayıpları en aza indirilmektedir.

Kontrol grafikleri ile İPK çalışması yapılması, sürecin grafiklerle izlenmesi, görsel bir raporlama imkanı sağlamaktadır. Bu çalışmada, rassal olmayan, belirlenebilir bazı parametrelerin de incelenmesi, anlaşılması mümkün olmuştur. Özellikle personel kaynaklı hususlara grafiklerin yorumu sırasında ayrıntılı değinilmişti. Bu noktada, vardiyalarda tesis otomasyonunu çalıştıran çift operatör devamlılığının sağlanmasıyla yorgunluk ve dikkat dağılması nedeniyle oluşabilecek süreç değişimleri önlenebilecektir. Operatörlerin, tesisi otomasyon dışına çıkmadan çalıştırmaları sağlanmalıdır. Bu şekilde bazı ekipmanların manuel çalıştırılması sırasındaki değişim ve çalışma riskleri de ortadan kaldırılabilecektir. Çalışanların sürekli eğitimi ile etkin tesis haberleşme ve iletişimi de bu noktada önem taşımaktadır. Kontrol grafiklerindeki görsellik; çalışanların aksaklıklarla ilgili uyarılmalarında ve motivasyonunda büyük yarar sağlayacaktır. Çalışanların konuya daha dikkatli yaklaşmaları sağlanacaktır. Bu nedenle, kontrol grafiklerinin bilgisayar destekli olarak sürekliliğinin sağlanması gereklidir.

Ekipman kaynaklı olarak, hissedilen ihtiyaç sebebi ile sonradan tesis edilip otomasyona dahil edilmeyen ekipmanların, en kısa sürede sisteme dahil edilmesi insan faktörünü en aza indirecek ve operasyonel hataların önüne geçilecektir. Sistemdeki kontrol ve ölçme araçlarının amaca uygun kullanılabilmesi ıçın bakım ve kalibrasyonlarına takip edilmelidir.

Günde yaklaşık 12.000 ton tüvenan kömürün yıkandığı tesiste, proses kaynaklı yoğunluk kayıplarının da olduğu düşünüldüğünde prosesle ilgili hazırlanan kontrol grafiklerinin büyük oranda kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir. Fakat, mükemmele ulaşma yolunda kontrol grafikleriyle sistemin sadece yoğunluk yönünden değil, doğru ölçülebilecek değişik faktörlerinin de denetlenmesi ve izlenmesi gereklidir.

## KAYNAKLAR

Bumak, N, 1997. *Toplam Kalite Yönetim - İstatistiksel Süreç kontrolü-*, TEKAM, Eskişehir, 222 s.).

Elevli, S, Behdioğlu S, 2006. İPK Teknikleri ile Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi, *Madencilik,* cilt 45, sayfa aralığı (s.19-26).

Kars, K, Kuru, A, 2002. İstatistiksel Proses Kontrol Eğitimi Seminer Notları, 2002.

Önal, G, 2005. *Cevher Hazırlama Tesislerinde İşletme ve Maliyet Denetimi - Maliyet Düşürme Teknikleri,* YMGV Seminer Notları, İstanbul, ( 18 s.).

# Ege Linyitleri Müessesesi Bünyesinde Urütülen iş Makinesi Revizyon Faaliyetleri

## *Mining Machinery Revision Works Carried out at Aegean Lignite Corporation*

M. Zıypak
*Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü Makine ve İkmal Daire Başkanlığı, Ankara*

ÖZET TKİ Kurumuna bağlı olarak faaliyet gösteren Ege Linyitleri Müessesesi (ELİ), yürütmekte olduğu dekapaj ve kömür üretim faaliyetleri için 300'ü aşkın muhtelif iş makinesi kullanmaktadır. Müessese bu makineler için üç kademeli bakım uygulamakta olup bunlar açıkocaklardaki ve açıkocak atölyelerindeki tamir-bakım faaliyetleri ile yenileme faaliyetleridir. ELİ'de iş makinesi revizyonları, açıkocak dışında ayrı bir yerde konuşlanmış 4 ayn birimden (Ağır Revizyon, Motor Yenileme, Elektrik ve İmalat) müteşekkil atölyelerde yürütülmektedir. Yaklaşık 250 kişinin görev yaptığı söz konusu atölyelerde revizyon işlemleri için gerekli olan her türlü makine ve tezgah mevcuttur. Önemli derecede arızalanmış, hasarlanmış veya performansı düşmüş iş makineleri ve üniteleri sözkonusu atölyelerde revizyona tabi tutulmaktadır. Revizyon işlemlerinde önce makineler veya üniteler komple sökülerek elden geçirilir; devamında makine parçalarından gerekli görülenler tamir edildikten ya da yenilendikten sonra yeniden montajları yapılır; son olarak makine ve üniteler test edilerek işe verilir. ELİ Revizyon atölyelerinde yılda ortalama 20-30 adet iş makinesi, 150-200 motor, 200-300 otomatik şanzıman-tork ile çok sayıda ünite revizyonu yapılmaktadır.

**ABSTRACT** Aegean Lignite establishment (ALE), a subsidiary of Turkish Coal Corporation, uses over 300 mining machineıy for its overburden removal and coal production. The Company applies three-graded maintenance which are repair-mintenance activities at open pit and workshop of open pit together with overhaul activities. Mining Machinery overhauls at ALE are carried out at workshops, emplaced out of open pit, which consist of 4 different sections (Heavy Overhaul, Engine Overhaul, Electrical and Manufacturing Workshops). Employing approximately 250 workers at mentioned workshops, there are every type of machinery and equipment that are necassry for revision operations. Mining machinery and their units that are failed, damaged considerably or have low performance are undergone overhaul operations. For overhaul operations, fırstly machinery or units are gone through by dismantling; then they are reassemled after repair or replacement of some parts which are seen necassary; lastly they are tested and put into operation. At ALE Workshops, 20-30 mining machinery, 150-200 engines, 200-300 transmission-torqueconverters and many machine units are overhauled annually on average.

## 1. EGE LİNYİTLERİ MÜESSESESİ

### 1.1 Genel Bilgiler

Ege Linyitleri Müessesesi (ELİ), Soma havzasındaki linyit yataklarını işletmekten sorumlu Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumuna bağlı sınırlı sorumlu bir kuruluştur. Müessesenin rezerv ve faaliyetleri 60 km'yi bulan geniş bir alana yayılmıştır. ELİ'nin ruhsat sahalarında 570 milyon ton linyit rezervi mevcut olup bunun yaklaşık % 35'inin açık ocak, % 65'inin yer altı metoduyla üretilebileceği tespit edilmiştir. Soma havzasında bulunan linyit rezervleri, ülkemizdeki teshin amaçlı kömürlerden çevre şartlarına uygun olanların başında gelmektedir.

ELİ, son yıllarda açıkocaklardan 7-8 milyon ton kömür üretmekte; bunun için de 70-90 milyon m3 dekapaj yapmaktadır. Dekapajın yaklaşık 1/3'lük bölümü Müessese makineleriyle, kalan kısmı müteahhit marifetiyle gerçekleştirilmektedir. ELİ yıllardır yeraltı ocaklarından da kendi imkanlarıyla kömür üretmiş, ancak bunu 2007'de yüksek maliyetten dolayı sonlandırmıştır. Fakat rezervin çoğunluğunun yeraltı ocaklarından üretilebileceği gerçeğinden hareketle özel sektör firmalarına rödövans ve hizmet alımı yoluyla kömür ürettirmekte olup yıllık kapasite 5 milyon tonu bulmuştur. Müessesenin kendi personeli toplam 3000 kişiyi bulurken, ELİ adına çalışan yeraltı ve yer üstü müteahhitlerinde çalışan personel sayısı 8000 civarındadır.

### 1.2 Makine Parkı

ELİ, yukarıda sözü edilen yıllık yaklaşık 30 milyon m3 dekapaj ile 7-8 milyon ton kömürün üretimini kendi makine parkı (çizelge 1) ile gerçekleştirmektedir. ELİ, 325'i bulan makine sayısı ile TKİ Kurumunun en büyük makine parkına sahip müessesesidir.

Müessese iş makinelerinin yaşlarına ve çalışma saatlerine göre dağılımı şekil 1-2'de verilmiştir. Bu çizelge ve şekillere baktığımızda makinelerin önemli bir bölümünün yaşlandığı ve çalışma saatlerinin yükseldiği görülecektir. Örneğin makinelerin 2/3'ünden fazlası 20 yaşı tamamlamış, yaklaşık% 45'i 40.000 saatin üzerine çıkmıştır. Bu sebeple makinelerin çoğunun emre amadelikleri ve fiili çalışma süreleri önemli düzeyde düşmüştür. Performansı düşmüş, yıpranmış makineler yoğun tamir-bakım ve revizyon faaliyetleri sayesinde ayakta tutulabilmektedir. Müessesenin 90'lı yıllardan itibaren makine parkına kattığı makinelerin oranı sadece % 12 mertebesindedir.

Çizelge 1. ELİ Makina parkı

| Makine cinsi | Ka2asite | Miktar (adeQ |
|---|---|---|
| Elektrikli eks. | 15-20 yd3 | 16 |
| Hidrolik eks. | 6.5 yd3 | 6 |
| Hidrolik eks. | 3 yd3 altı | 3 |
| Yükleyici | 12 yd3 üstü | 7 |
| Yükleyici | 6.5-7.5 yd3 | 5 |
| Yükleyici | 3.5 yd3 altı | il |
| Kaya kamyonu | 170 short ton | 10 |
| Kaya kamyonu | 85 short ton | 109 |
| Kaya kamyonu | 50 short ton | 26 |
| Sulama kamyonu | 50-85 ston | 11 |
| Buldozer | 400 HP üstü | 9 |
| Buldozer | 300-320 HP | 39 |
| Paydozer | 450HP | 3 |
| Grayder | 200HP | 12 |
| Grayder | 280 HP | 4 |
| Delik makinesı | 9inch | 21 |
| Muhtelif (Yol sil., mobil vinç v.b) | | 33 |
| | TOPLAM | 325 |

## 2. ELİ'DE YÜRÜTÜLEN İŞ MAKİNASI TAMİR-BAKIM FAALİYETLERİ

Genelde açıkocaklarda madencilik faaliyetleri çetin ve zordur. ELİ'de de bu durum fazlasıyla geçerlidir. Sert ve keskin marn, uzun harman yolu mesafesi, rampa, su ve maruz kalınabilecek aşırı yükler ELİ'deki kötü şartların bazılarıdır. Sözkonusu kötü şartlar makine performansı ve verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Diğer taraftan bu şartların makine üzerindeki etkisi arıza ve yıpranmadır. Bu

olumsuz etkiyi en aza indirmenin yolu uygulanacak etkili ve yoğun tamir-bakım faaliyetleridir.

ELİ bünyesinde faaliyet gösteren açıkocaklar, Soma ve Deniş açıkocakları olarak bölümlendirilmekte olup bunların her birisinde tamir-bakım atölyeleri (Işıklar ve Deniş) bulunmaktadır. Genel olarak söz konusu açıkocaklarda çalıştırılan iş makinelerinin tamir bakımları aşağıda belirtildiği gibi 3 kademede yüıütülmektedir:

Açıkocaklarda (yerinde) yürütülen tamir-bakımlar,

Ocaklardaki atölyelerde yürütülen tamir-bakımlar ve

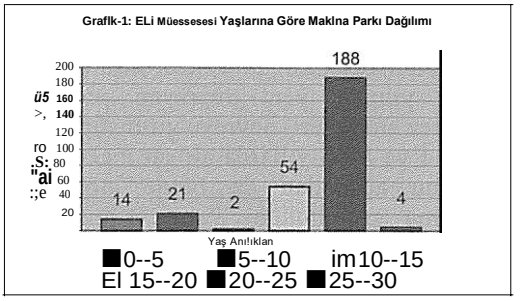
Revizyon atölyelerinde (Cenkyeri) yüıiitülen yenileme faaliyetleridir.

Çalışanların yönetim ve organızasyonu da bu sınıflama doğrnltusunda yapılmaktadır.

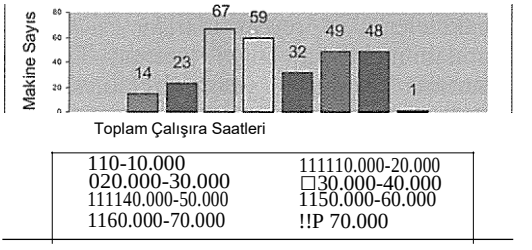
1. kademede makinelerde meydana gelen arızalara ilk müdahale yapılmakta, giderilemeyen önemli arızalar için makine ilgili saha atölyesine gönderilmektedir. Aynca sahalarda kısa süreli periyodik bakımlar ile test ve kontrol işlemleri de yapılmaktadır.

Ocak atölyelerinde (2. kademe) önemli arızaların tamiri, ünite ve yedek parça tamirleri, uzun süreli bakımlar, bazı makinelerin kısmi revizyonları, lastik değişimleri v.s yapılmaktadır.

Aşağıdaki bölümde detaylı olarak açıklanacağı gibi 3. kademe olan yenileme atölyelerinde komple şase revizyonu, ünite revizyonu, modifikasyon, adaptasyon işlemleri ile yedek parça imalat ve tamiratı yapılmaktadır.




Şekil 1. ELİ Müessesi yaşlarına göre makine parkı dağılımı




Şekil 2. ELİ Müessesesi toplam çalışma saatlerine göre makine parkı dağılımı

## 3. İŞ MAKİNESİ REVİZYON FAALİYETLERİ

### 3.1 İş Makinelerinde Revizyonun Önemi

ELİ Müessese Müdürlüğü bünyesinde kullanılan iş makinelerinin hepsi dış kaynaklıdır, yedek parça olarak da çok büyük oranda dışa bağımlıdır. Aynca bu makinelerin büyük çoğunluğu Türkiye'de sadece TKİ'de bulunmaktadır.

İmalatçısı dış kaynaklı olan ve Yurdumuzda da çok azı bulunabilen bu makineler için ELİ kendi tamir-bakım işlevini oluşturmak zorundaydı, bunu da yapmıştır. Aslında TKİ'nin tüm işletmelerinde tamir-bakım sistemleri birbirine benzerdir. Ancak ELİ'deki yenileme uygulaması farklılık göstermektedir. Daha önceleri ELİ'de iş makinesi revizyonları saha atölyelerinde yapılmakta, motor ve imalat atölyeleri ayrı

yerlerde faaliyet göstermekteydi. Hem birbirini tamamlayan bu atölyeleri bir yerde toplamak, hem de üretimin baskısından uzak sağlıklı revizyon yapabilmek amacıyla Cenkyeri Kasabasında tesisler inşa edilerek 1989 yılında yeni revizyon atölyeleri (merk z atölyeleri) devreye girmiştir.

ELI'ye 80'li yıllarda alınan makinelerin durumu açısından da böyle atölyelerin kurulma zorunluluğu vardı. Çünkü söz konusu makineler Dünyada çok fazla deneme imkanı bulmamış genelde yeni tasarlanmış makinelerdir. Makinelerin bazı aksamlarının hassas olması, bazı aksamlarının modifikasyon gerektirmesi, makinelerin çalışma saatlerinin çok yükselmesi gibi sebeplerden dolayı makineler revizyonlarla ayakta tutulabilmektedir. Diğer taraftan TKİ'nin yatırım bütçesinin yetersizliği nedeniyle yeni makine almak yerine revizyonlar vasıtasıyla makinelerin ekonomik ömürlerinin artırılması yoluna gidilmektedir.

## 4. REVİZYON ATELYELERİ VE YÜRÜTÜLEN FAALİYETLER

ELİ Revizyon atölyeleri, Soma'ya 10 km mesafedeki Cenkyeri Kasabası yakınında kurulmuş olup Soma açıkocaklarına yaklaşık 15 km, Deniş açıkocaklarına 30 km mesafededir. Atölyelerin yanında ambarlar da faaliyet göstermekte olup bunlar hep birlikte bütünleşmiş bir tesis niteliğindedir. Halihazırda ELİ Cenkyeri Tesisleri 3 atölye binası (A, B, C blokları), 2 ambar binası, 1 idari bina ve 1 sosyal tesis binasından müteşekkildir.

Kapalı alanı 8100 m2 olan A bloğunda Ağır Revizyon, Motor Yenileme, Elektrik ve Hafif Vasıta Atölyeleri; 3150 $m^2$ kapalı alana sahip B bloğunda İmalat (Mekanik) Atölyesi faaliyet göstermektedir. 2006 yılında inşa edilen C bloğunda ise şanzıman yenileme ve motor test çalışmaları yapılmaktadır. Revizyon Atölyeleri bünyesinde toplam 1O teknik eleman, 250 yevmiyeli personel görev yapmaktadır.

### 4.1 Ağır Revizyon Atölyesi Faaliyetleri

#### *4.1.1 Şase Revizyonları*

1989 yılında kurulmuş olan bu atölyede iş makinelerinin (kaya kamyonu, dozer, yükleyici, greyder, delik makinesi v.b) komple veya kısmi revizyonları yapılmaktadır (fotoğraf 1). 1989-2007 döneminde toplam 411 adet iş makinesinin komple revizyonu yapılmıştır (Çizelge 2). Bunun yanında Ağır yenileme atölyesinde makinelerin kısmi revizyonları ile modifikasyonlar ve adaptasyonlar yapılmaktadır.

Kısmi revizyonlarda sadece makinenin sorunlu bölümleri elden geçirilir. Bu kapsamda sık sık ön takım, diferansiyel, retarder freni, yürüyüş şasesi, kamyon damperi, göbek ve bom gibi aksamlar revizyona tabi tutulmaktadır. Adaptasyonlarda makinenin kendi ünitesinden (motor, şanzıman) farklı ünitelerin montajı yapılmakta olup şimdiye kadar gerçekleştirilen motor ve şanzıman adaptasyon sayısı 60'ı bulmuştur. Modifikasyonlarda makinelerin tasarım veya imalattan kaynaklanan kusurları (örneğin Müessesedeki 200 HP'lik greyderlerin tandem sisteminin dişliden zin irliye dönüştürülmesi) giderilmektedir.

Onemli derecede arızalanmış, hasarlanmış veya performansı düşmüş iş makineleri komple yenileme için yenileme atölyesine getirilir. Komple yenileme, makinenin ana şase kalıncaya kadar sökülerek temizlenmesi, her parça ve ünitenin kontrolden geçirilerek gerekli görülenlerin tamir veya yenilenmesi, makinenin yeniden monte edilmesi, test ve kontrolden geçirilerek işe verilmesinden ibarettir.

Revizyon atölyesinde işler fonksiyonlarına göre ayrılarak çalışan <?.rganizasyonu da buna göre yapılmıştır. Oncelikle kamyon ve iş makinesi ana gruplaması yapılmıştır. Makinelerin montaj ve demo. tajı bir ekibin sorumluluğuna verilir. Unite ve parçaların tamir ve

revizyonları ayrı ekiplerce yapılmaktadır. Motor ve şanzımanlar yenileme gerektiriyorsa ilgili bölümlere gönderilir. Diğer aksamlar için başlıca bölümler şunlardır:
Hidrolik bölümü
Diferansiyel bölümü
Retarder fren ve nihai tahrik bölümü
Tank (hidrolik ve yakıt) bölümü
Radyatör ve soğutucu bölümü
Hidrolik hortum yapım bölümü
Elektrik tesisat bölümü
Hava tesisatı bölümü
Lastik bölümü
Döşeme bölümü
Boya bölümü
. Komple sökülmüş parçaların ana şase ve dığer büyük parçaların (dozer yürüyüş şasesi, diferansiyel kovanı, bom v.b.) özel bakım elektrotları ile kaynaklı tamiratı makinelerin ömürlerini artırmak açısından çok önem arz etmektedir. Bu aksamlardaki çatlaklar kaynak ağzı açılarak, zayıf noktalar malzeme takviyesi yapılarak kaynaklanmak suretiyle tamir edilmektedir. Parçalarda bulunan delikler zamanla aşınarak ovalleşmekte ve boşluk oluşmaktadır. Aşınan yerler kaynakla doldurularak rektifiye tezgahlan ile orijinal ölçüsüne göre işlenmektedir.

Şase ve diğer aksamların revizyonu tamamlandıktan sonra makinenin komple montajına geçilir. Montajda servis kataloğunda yer alan ölçü ve ayar değerleri esas alınır. Montajı tamamlanan makinenin komple boyası yapılır. Daha sonra makine atölyede boşta çalıştırılıp yürütülerek test edilir. Test sonucunda basınç, sıcaklık, hız gibi kritik parametreler kontrol edilir. Bu testi geçen makineler sahaya teslim edilerek işe verilir. Başlangıçta revizyondan yeni çıkmış makineler kontrollü çalıştırılır; sorun çıkması durumunda Revizyon Atölyesinden ekip gönderilerek müdahale edilir.

Revizyonlar yüksek harcamalar (makine bedelinin % 15'ini bulan) yapılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bunun karşılığında makinenin ekonomik ömrü önemli l?lçüde artırılmaktadır. Şimdiye kadar ELI bünyesindeki kamyon, dozer ve greyderlerden birkaç kez revizyonu yapılan 85 ston'luk kaya kamyonları ortalama 60.000, 320 hp'lik dozerler 49.000 200 hp'lik greyderler 46.000 çalışma s;atine ulaşmıştır.

### *4.1.2 Şanzuman Revizyonları*

Ağır Revizyon Atölyesi bünyesinde bulanan şanzıman bölümünde başta kaya kamyonları olmak üzere dozer, yükleyici, greyder gibi makinelerin otomatik ve yarı otomatik şanzıman (planet dişli sistemli) ve tork konverterlerin revizyonu yapılmaktadır (fotoğraf 2). Son 10 yılda yıllık ortalama 253 adet şanzıman ve torkun revizyonu gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3).

Güç iletmeyecek şekilde arızalanmış, aşırı hararet ve anormal ses ile arıza işareti vermiş ya da yağ analizi vasıtasıyla metalik kirliliği artış trendi gösteren şanzımanlar ma i_n_eden sökülerek yenileme atölyesine getınlır. Şanzıman revizyonu söküm ve parça tespiti, tork, valf, toplama ve test şeklinde organize edilerek gerçekleştirilmektedir.

Yıkama alanında şanzımanlar komple sökülerek parçalar tek tek temizlenir ve yıkanır. Temizlenmiş parçalar hassas kontrolden geçirilerek üç guruba ayrılır: aynen kullanılacak, tamir edilerek kullanılacak, hurda edilecek (yenisi kullanılacak). Yeni parçalar ambardan malzeme bonosu vasıtasıyla temin edildikten ve arızalı parçalar tamir edildikten sonra şanzıman, toplama bölümüne alınarak montajı yapılır. Montajda aşağıdaki hususlara dikkat edilir:
Katalogda verilen ölçü ve ayar değerleri esas alınır.

Bazı parçalar tolerans değerleri içerisinde tamir edilerek kullanılabilir.
Genelde tüm sızdırmazlık elemanları yenisi ile değiştirilir.
Bir kavrama gurubunda bulunan disk-pleytler kullanılabilecekse değiştirilmeden birlikte kullanılmaya özen gösterilir.

Çoğunlukla yedek parça olarak orijinal parça kullanılır. Yayların tansiyonları kontrol edilir.

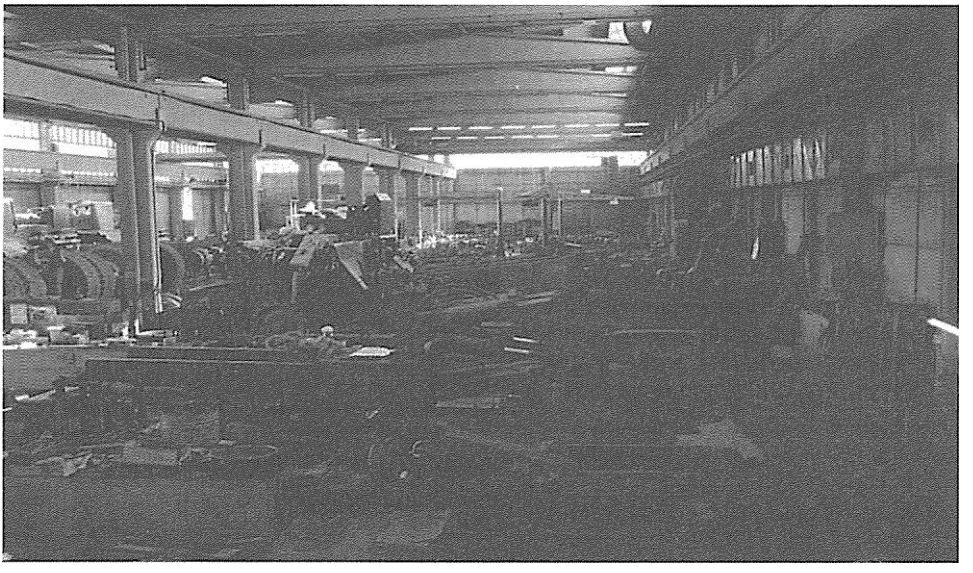
Montajı tamamlanan şanzımanlar test standına alınır. Şanzımanın fonksiyonları, 2006'da satın alınarak devreye alınan bremze (su freni) tezgahında gerçek çalışmadakine benzer yük altında test edilmektedir. Otomatik vites değişimleri ile kritik sıcaklık ve basınç değerleri izlenmekte, böylelikle sorun, varsa, teşhis edilerek şanzıman makineye takılmadan önce giderilmektedir.

Testten geçen şanzıınanlar, şanzıman ustalarınca sahada makineye monte edilerek işe verilir. Monte edilmeden önce, şanzımanın hidrolik devresi temizlenir.

ELİ'deki dekapaj kamyonlarının şanzımanları en sorunlu aksamlardan birisidir. Özellikle 1O. revizyondan sonra randımanları düşmektedir (şekil 3). Bu nedenle son yıllarda yenileme kalitesini artırmak amacıyla usta eğitimi ve orijinal parça kullanımına önem verilmiş; yakın zamanda yeni şanzıman atölyesi kurulmuştur. Bunun sonucunda son 2 yılda şanzıman çalışma saatlerinde artışlar gözlenmektedir. Ayrıca daha ekonomik olması sebebiyle yeni şanzıman alımlarına devam edilmektedir.

Motor Yenileme Atölyesi Faaliyetleri

ELİ bünyesinde bulunan tüm iş makinesi, plakalı araç ve diğer makinelere ait dizel ve benzinli motorlar ile bunların ünitelerinin yenileme ve tamirleri Motor Yenileme Atölyesi (MYA) tarafından yapılmaktadır (Fotoğraf 3).



Fotoğraf 1. Ağır Revizyon Atölyesinden bir görünüş

Fotoğraf 2. Şanzıman Atölyesinden bir görünüş

Çizelge 2. İş Makinesi Revizyon Sayıları

| MAK-CINSI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DEKAPAJ KAMYONU | 22 | 20 | 16 | 19 | 15 | 15 | 17 | . | 19 | 19 | 13 | 12 | 11 | 11 | 12 | 9 | 5 | 7 | 3 | 245 |
| DOZER | 8 | 14 | 9 | 3 | 2 | | 2 | 6 | 6 | 3 | 4 | 4 | 5 | 2 | 6 | 7 | 7 | 7 | 95 | |
| YÜKLEYiCi | | 2 | 2 | 4 | 2 | | 3 | 2 | | 3 | | | | | 3 | | | 3 | 28 | |
| GRAYDER | | | | 2 | 2 | 3 | 2 | | | 2 | | | 2 | 2 | 2 | 2 | | | 24 | |
| DELiK MAKiNESi | | | | | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | | | | | | | | | 19 | |
| KISMI REViZYON | | | 7 | | 4 | 15 | 9 | 9 | 20 | 10 | 13 | 5 | 2 | 6 | 9 | 8 | 11 | 7 | 136 | |
| TOPLAM (k.rev.hariç) | 31 | 37 | 28 | 28 | 25 | 22 | 26 | 29 | 27 | 24 | 19 | 18 | 19 | 16 | 20 | 14 | 14 | 14 | 411 | |

Çizelge 3. Şanzıman-Tork Revizyon Sayıları (Son 10 Yıl)

| MAK-CINSI | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KAYA KAMYONU | 195 | 214 | 220 | 223 | 113 | 153 | 173 | 215 | 247 | 135 | 1888 |
| DOZER | 38 | 32 | 38 | 43 | 34 | 33 | 59 | 30 | 30 | 10 | 347 |
| GREYDER | | 13 | 4 | 7 | 4 | | 4 | 7 | 2 | 3 | 45 |
| YÜKLEYiCi | 36 | 30 | 33 | 18 | 22 | 25 | 19 | 23 | 21 | 14 | 241 |
| DELiK MAKiNESi | | | | | | | | | | | 5 |
| TOPLAM | 270 | 290 | 296 | 292 | 173 | 213 | 255 | 275 | 300 | 162 | 2526 |

Çizelge 4. Motor Revizyon Sayıları (Son 10 Yıl)

| MOTORUN GÜCÜ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <100 HP | 30 | 15 | 12 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 6 | 3 | 92 |
| 100-200 HP | 49 | 47 | 24 | 24 | 23 | 18 | 25 | 29 | 14 | 14 | 267 |
| 200-300 HP | 8 | 6 | 4 | 5 | 6 | 3 | 2 | 5 | | 4 | 43 |
| 300-400 HP | 27 | 37 | 40 | 31 | 27 | 22 | 22 | 37 | 29 | 16 | 288 |
| 400-500 HP | 22 | 10 | 17 | 14 | 9 | 12 | 17 | 11 | 11 | 15 | 138 |
| 500-750 HP | 45 | 33 | , 26 | 17 | 27 | 34 | 28 | 35 | 14 | 22 | 281 |
| 750-1000 HP | 73 | 41 | 46 | 58 | 37 | 37 | 60 | 46 | 32 | 42 | 472 |
| 1600 HP | | | | | | | | 3 | 4 | 2 | 11 |
| TOPLAM | 254 | 189 | 169 | 155 | 135 | 133 | 159 | 170 | 110 | 118 | 1592 |

Atölyede son 10 yılda ortalama 159 adet motorun revizyonu gerçekleştirilmiştir (çizelge 4).

Tamir edilemeyecek derecede arızalanmış, anormal ses veya aşırı hararetle önemli arıza belirtisi vermiş ya da yağ analizi vasıtasıyla metalik kirliliği artış eğilimi gösteren motorlar yenilenme amacıyla makineden sökülerek MYA' sine getirilir. MYA genel olarak söküm ve temizlik, rektifiye, pompa revizyonu, toplama ve test bölümlerinden müteşekkildir.

Revizyon için gelen motorlar öncelikle Yıkama bölümünde sökülerek parçalara ayrılır. Parçalar elle kullanılan basınçlı makineler ile 1000 ton kapasiteli otomatik yıkama makinelerinde yıkanarak temizlenir. Temizlenmiş parçalar titizlikle kontrol edilerek "aynen kullanılacak", "tamir veya rektifiye edilecek" ve "hurda edilecek" şeklinde 3 guruba ayrılır.

Silindir bloğu, krank, silindir kapağı, biyel kolu ve eksantrik milinde gerekli görülen rektifiye işlemleri rektifiye bölümünde bulunan blok taşlama, krank taşlama, rektifiye, honlama, kapak taşlama v.b makinelerde işleme girer.

Motora ait yakıt pompası, yağ pompası, turboşarz gibi ünitelerin ilgili bölümlerde uzman tamircilerce tamiratları yapılır. Temizlik açısından çok fazla hassasiyet gerektirdiğinden yakıt pompası için ayrı bir oda tahsis edilerek pompa ayar tezgahları

buraya kurulmuştur. ELİ araçlarına ait tüm yakıt pompalarının hemen hemen hepsi burada tamir ve ayar yapılmaktadır.

Rektefıye ve tamir işlemleri tamamlanıp gerekli yedek parçalar ambardan çekildikten sonra motorun toplama işine geçilir. Motor toplamasında aşağıdaki hususlara önem gösterilir:

Cıvatalar tork anahtarı ile gerekli tork değerlerine göre sıkılır.
Katalogda verilen ölçü, ayar ve tolerans değerleri esas alınır.
Temizliğe özel önem verilir.
Yayların tansiyonları kontrol edilir.
Genelde orijinal malzeme kullanılır.
Ölçüm işleri bu işin uzmanı ustalarca yapılır.

Motorun montajı tamamlandıktan sonra bremze tezgahında yüklü teste tabi tutulur. Atölyede 2100 hp, 1000 hp ve 400 hp güçlerinde 3 adet bremze tezgahı mevcut olup 1 yıl önce yeni inşa edilen atelyeye monte edilmişlerdir. Test aşamasında motorda sorun veya performans düşüklüğü varsa teşhis edilerek giderilir. Testi tamamlanan motor yenileme ustalarınca makineye takılarak çalıştırılır ve MYA motorun performansını takip ederek sorun olması durumunda müdahale eder.

ELİ'nin dekapaj nakliyesinin ekseriyetini gerçekleştiren 85 ston'luk kamyonlara ait motorların revizyonlar arası çalışma saatlerinin mukayesesi Şekil 4' de gösterilmiştir. Bu motorların revizyonundan sağlanan performans tatmin edicidir, zira orijinal motorun yarı ömrü kadar ömür elde edilebilmektedir.

## İmalat Atölyesi Faaliyetleri

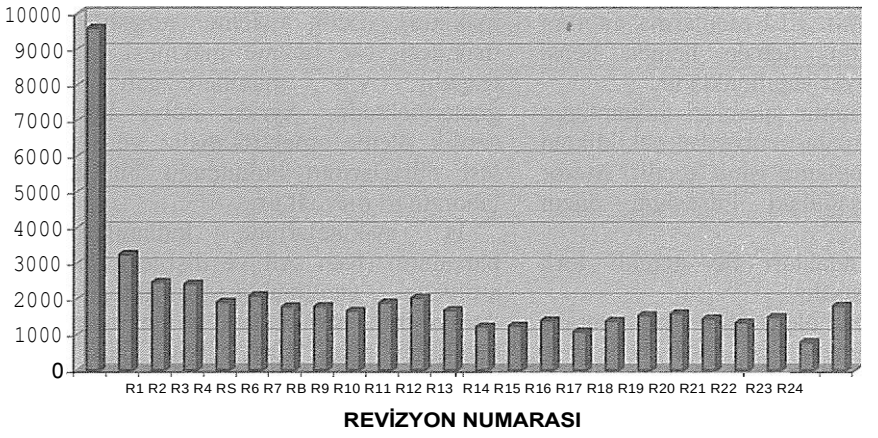
İmalat Atölyesinde başta açıkocak iş makineleri olmak üzere ELİ bünyesinde bulunan makini- teçhizat aksamlarının imalat ve tamiratı yapılır (fotoğraf 4). Atölyede muhtelif kapasitelerde toplam 90 adet torna, freze, planya, matkap, pres, kaynak makinesi, delik işleme tezgahı, kesme makinesi, sac bükme makinesi, ısıl işlem tezgahı v.b makine-tezgah faaliyet göstermektedir. Ayrıca atölye bünyesinde sertlik ölçme, spektro-analiz ve ultrasonik test cihazlarının bulunduğu bir malzeme laboratuarı mevcuttur.

İş makinelerinde kullanılan bazı parçaların (bazı şaft ve dişliler) imalatı bu atölyede yapılmakla birlikte, İmalat Atölyesinin esas önemi, iş makinelerine ait özellikle şase, blok, bom gibi büyük parçaların revizyonunun yapılmasını sağlamasından gelmektedir. Böylelikle İmalat Atölyesi, diğer revizyon atölyelerine yaptığı destekle işlevini yitirmiş makine teçhizatı ayağa kaldırmada önemli rol oynamaktadır.

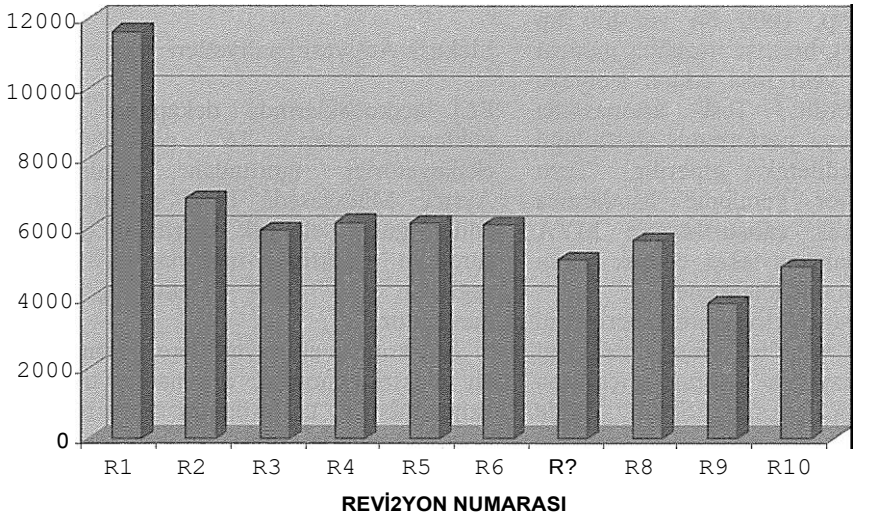
## Elektrik Atölyesi Faaliyetleri

ELİ açıkocaklarında dekapajın kazı ve yükleme işleri 16 adet elektrikli ekskavatörler tarafından yapılmaktadır. Ayrıca Müessesede dizel motordan elde edilen gücün elektrik enerjisine çevrilmek suretiyle elektrik motorlarıyla hareketi sağlanan 1O adet elektrikli kamyon mevcuttur.

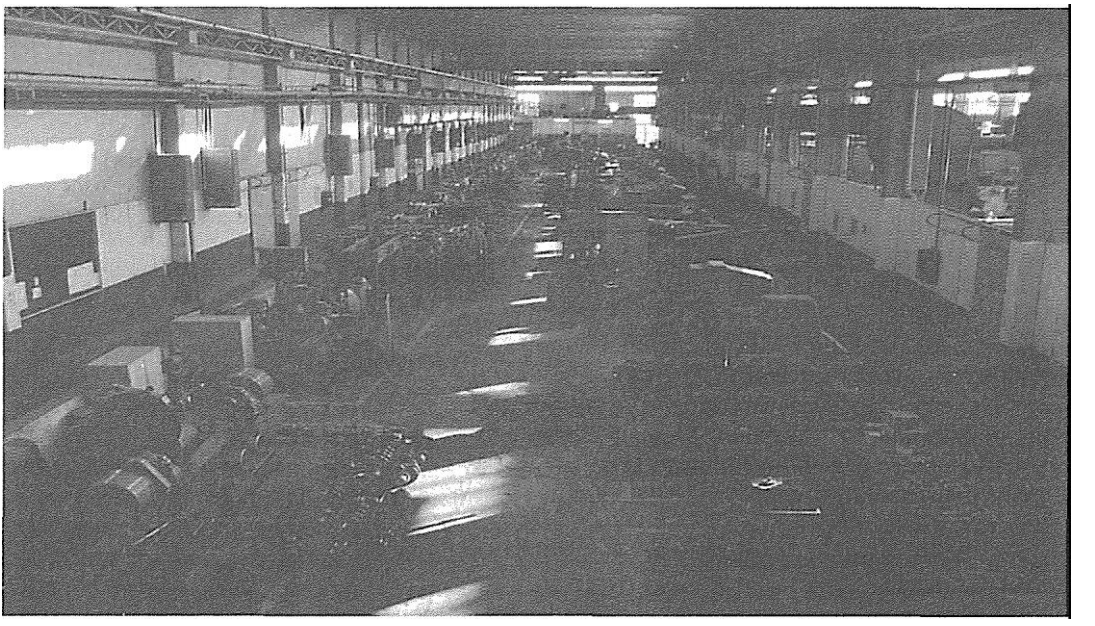
Söz konusu ekskavatörlere ve kamyonlara ait elektrik motoru, alternatör, trafo gibi ekipmanların tamir-bakım ve revizyonu büyük oranda bu atölye tarafından yürütülmektedir. Büyük motorların sargı işlemleri piyasaya yaptırılmaktadır. Atölyede bobin sarma, bandaj, bobin baskı, kurutma fırını gibi makineler faaliyet göstermektedir. Ayrıca Elektrik Atölyesi bünyesinde elektronik bölümü de mevcut olup burada özellikle makinelerin elektronik kartları tamir edilmektedir.



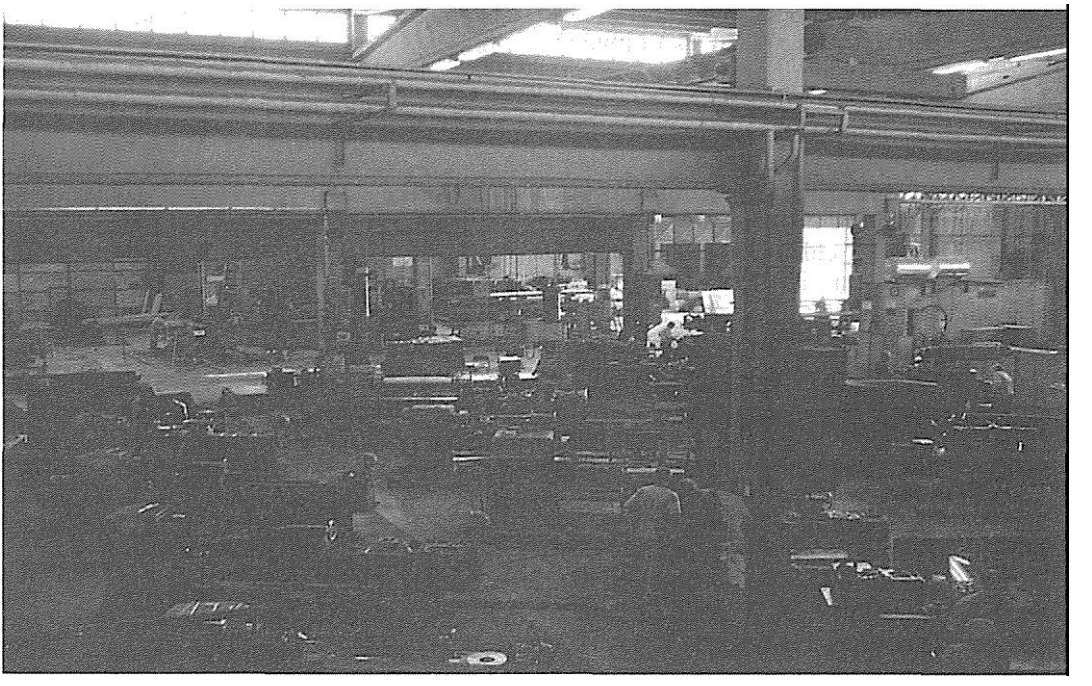

Şekil 3. Revizyon sayılarına göre şanzıman ömürlerinin değişimi




Şekil 4. Revizyon sayılarına göre motor ömürlerinin değişimi



Fotoğraf 3. Motor Yenileme Atölyesinden bir görünüş



Fotoğraf 4. İmalat Atölyesinden bir görünüş

## 5.SONUÇ

Son 18 yıldır ELİ Cenk.yeri Atölyelerinde yürütülen yenileme faaliyetleri nitelik ve nicelik açısından başarılı sayılabilir. Zira bu dönem içerisinde önemli sayı ve kapasitede olan Müessesenin makine parkı ayakta tutularak beklenen düzeyde dekapaj ve kömür üretimi gerçekleştirilmiştir. Üstelik bu dönem boyunca Müessese genelde önemli karlar etmiştir.

Şimdiye kadar ELİ'de iş makinelerinin randımanlı çalıştırılması ve ekonomik ömürlerinin artırılması açısından yenileme bir gereklilikti. Bundan sonra da Müessese, kendi operasyonlarını devam ettirdiği sürece, yaşlı bir iş makinesi parkı için bu gereklilik devam edecektir.

Doğal olarak yürütülen yenileme çalışmalarında eksiklikler mevcuttur; bazı iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu çerçevede aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

1. Revizyonu yapılacak makine veya ünitenin ekonomiklik analizi yapılmalıdır. "Astarı yüzünden pahalı" olacak bir yenileme yerine makine elden çıkartılmalıdır.
2. Revizyon işlemlerinde kalite konusuna önem verilmeli; bu kapsamda: ·

Malzeme laboratuarını da içine alan bir kalite servisi kurulmalı,

Temizliğe aşırı itina gösterilmeli; bunu sağlamak için kapı, cam ve bölmelerin sızdırmazlıkları elden geçirilmeli, ağır yenileme atölyesi için ayrı bir yıkama bölümü oluşturulmalı,

Eksik olan takım, cihaz, vinç v.s temin edilmeli; bunlardan kalibrasyon gerektirenler kalibre edilmeli ve

Personel eğitimine önem verilmeli, çalışmalarda mutlaka katalog ve teknik veriler esas alınmalıdır.

3. Verimi artırmak için atölye içi düzenlemeler gözden geçirilmeli, işlerin yürütümünde aparatlar geliştirilmelidir.
4. Revizyon Atölyeleri genelde kapasitenin altında iş yapmaktadır. Bu bakımdan öncelikle TKİ işletmeleri olmak üzere dışarıya bedeli karşılığında iş yapabilir.
5.. Revizyon Atölyelerinde kazanılan tecrübe *tKi* ve ülkemiz için çok önemlidir. Devam ettirilmelidir.

## 6. YARARLANILAN KAYNAKLAR

TKİ Kurumu makine parkı kitapçığı, 2006
ELİ Makine perfomıans raporları, 1989-2006

# İş makinelerinde filo yönetimi
# *Fleet management for heavy machines*

İ. Çelik
*Makina Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya*

E.Z. Mandal & Ö. Koç
*Garp Linyitleri İşletmesi, Makine İşletme Servisi, Tavşanlı/Kütahya*

**ÖZET:** Maden sektöründe kullanılan ve temelde kazma, kürek ve el arabasının çalışma fonksiyonlarına bağlı olarak çalışan iş makinelerinin teknolojisi hızla gelişerek; kazma yerini dozere, delik makinesine ve patlatma-gevşetmeye; kürek yerini lodere ve ekskavatöre; el arabası da yerini iş kamyonu ve konveyörlere bırakmıştır. Bu makinelerin kullanıldığı iş sahasında ekip çalışması gerekir. Bu makineler bir grup halinde, birlikte çalışırlar ve aralarında koordinasyon kurulur. Tesadüfe göre işleyen ve şahsa göre değişen makine yığını, çok büyük bir enerji, zaman, para ve emek kaybı demektir. Bu çalışmada, gerçek uygulama şartlarında, iş makinesi filosuna sahip bir iş sahasında makinelerin çalışma organizasyonları değerlendirildi, verimi arttırmak için bir takım çalışmalar yapıldı ve sonuçlar değerlendirildi.

**ABSTRACT:** Heavy duty machine technology used on mining sector basicly considers the functions of pickaxe,shovel and wheelbarrow. In the course of time technology rapidly developed and dozers, drilling machines and blasting substitute for pickaxe and the same is valid from shovel to loader or excavator and from wheelbarrow to heavy trucks or conveyors.On the working areas where these machines are run group collaboration is necessary. These machines run together as groups and they have to work in coordination. Machine park which run according to chance event and personel character mean big loss of energy, time, money and labour. In this study, running organisations of the machines on the real working conditions have been evaluated. Some researches have been realised to increase the output and the results have been evaluated.

## 1 MAKİNE FİLO İDARESİ

İnsanoğlu, insanlık tarihinin başlangıcından itibaren, sürekli tabiatla mücadele içinde olmuştur. İnsan hep daha rahat nasıl yaşarım hesabını yapmış; tabiat ise adeta yarışırcasına, ona, ulaşılması güç ve yeni bir hedef koymuştur. Madenler üretilmeye başlanmış ve 1800'lü yılların sonuna kadar temel üretim araçları "Kazma, Kürek ve El Arabası" olmuştur. Ancak insanın tüketim talebi artmış ve yüzeye yakın maden oluşumları azalmış; sonuçta klasik kazma, kürek ve el arabası gibi temel üretim araçları talebi karşılayamaz hale gelmiştir.

Gelişen teknolojiye paralel şekilde kazmanın yerini "Dozer", küreğin yerini küçük kapasiteli "yükleyiciler" ve el arabasının yerını yine düşük tonajlı "Kamyonlar" almıştır.

Uzun bir süre maden çıkartma taleplerini bu şekilde karşılayan insanoğlu 1900 lü yılların ikinci yarısından itibaren üretim araçlarını tekrar gözden geçirmek zorunda kalmıştır. Yeryüzünün üst tabakasından daha derinlerde kalan madenleri yerinden almak, yukarıda bahsedilen araçlarla olanaksız hale gelmiştir.

1900'lü yılların 2. yarısından itibaren toprağı gevşetmek için dozerlerin yerini

"Delik makinesi-patlatma işlemleri", küreğin yerını büyük kapasiteli "Yükleyiciler, hidrolik ve elektrikli ekskavatörler" ve son olarak el arabasının yerini 500 ton kapasitelere kadar çıkabilen "Kamyonlar" almıştır (Mandal & Çelik, 2004)

Günümüz modem dünyasında talepleri karşılamak üzere birçok üretim faaliyetleri yürütülmektedir. Bu amaçla İnşaat ve maden makineleri, gemiler, tırlar, yol yapım kompaktörleri, yardımcı iş makineleri, uçaklar ve benzerleri devamlı hareket halinde hizmet ve üretim faaliyetleri sunmaktadırlar.

Makinelerin kapasitelerinin, çeşitliliklerinin, sayılarının artmasına paralel olarak imalatları ve kullanılmaları da daha kompleks hale gelmiş; sevk ve idare edilmeleri bir uzmanlık alanı olmuştur. Bu uzmanlık alanı "Makine Filo İdaresi" olarak adlandırılan bir çalışma sahasını ortaya çıkarmıştır. Filo idaresi, taşımacılık, inşaat ve maden sahalarında kullanılan kompleks makine gruplarının nasıl idare edilmeleri gerektiğinin felsefe ve prensiplerini içerir (Çelik, 2004).

Bir işletmedeki makine filo idare birimi sadece bir personelden oluşabileceği gibi faaliyetlerin kompleks yapısına ve filonun büyüklüğüne bağlı olarak firmanın genel müdür yardımcılarından birinin başkanlığında oluşturulan ve onlarca görevliden meydana gelen ayn bir birim de olabilir (Dolce, 1984).

## 1.1 Filo İdaresinin Amaç ve Sorumlulukları

Makine filo idaresinin en önemli amacı; kurumun varlıklarından mümkün olan en büyük geri dönüşümü sağlamaktır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda takip edilen kurum varlığı; basit, fazla değeri olmayan bir lastik olabileceği gibi; pahalı, dev bir ekskavatör de olabilir. Net bir ifade ile, "En büyük geri dönüşümü elde etmektir".

Tipik bir filo yönetim oluşumunun sorumluluk alanlan şunlardır (Dolce, 1984);

-Makinelerin satın alınması, çalıştırılması ve bakımı için gerekli bütçeyi oluşturmak,

-Leasing, satın alma, kiralama gibi yöntemlerin uygun olanını belirleyerek makinelerin edinimini sağlamak,

-Yedek parça teminin sağlanması,

-Koruyucu bakım ve arıza bakım faaliyetlerinin çalışma programını oluşturma: Program oluşturulurken merkezi yada yerel yaklaşım benimsenir. Merkezi yaklaşım bakım faaliyetlerinin merkezi bir birimde yapılması, yerel yaklaşım ise makinenin çalıştığı yerde yapılan faaliyetlerdir.

-Bakım masraflarının takibi,

-Çalışanların takibi, düzeltici ve cezalandırıcı müdahalelerin belirlenmesi,

-Sistem bileşenlerinin birim (kilometre yada saat) çalışma maliyetlerinin belirlenmesi,

Sigorta, trafik ve vergilerle ilgili işlemlerin takibi,

-Makinelerin çalışmasının ve bakımlarının iş standartlarına uygun gerçekleşmesini sağlamak. Örneğin; gerçek tamir süresinin standart tamir süresine uymasını sağlamak,

-Birim iş (kilometre, saat) başına yakıt sarfiyatını belirlemek,

-Makinelerin çalışma ve bakımları ile ilgili evrak akışı ve takibi gibi idari hizmetleri gerçekleştinnek,

-Koruyucu bakım programını oluşturınak ve uygulamak,

-Nezaretçi, operatör, sürücü ve mekanik teknisyenlerin eğitim programlarını belirlemek,

-Koruyucu bakım dışında kalan program dışı arıza bakım ve tamir faaliyetlerinin belirlenmesi, uygulanması ve denetimi,

-Araçların serviste kalma oranlarının belirlenmesi ve takibi,

-Ekonomik kullanım özelliğini yıtıren makinelerin elden çıkarılması/satılması ile ilgili kararların verilmesi,

- Filodaki araçların uygun eşleştirilmesi,

-Yıllık hesap denetimlerinin yapılması,

-Satıcı faaliyetlerinin izlenmesi,

-İlgili meslek kuruluşları ile uyumlu ilişkilerin tesis edilmesi,
- İş güvenliği esaslarının belirlenmesi,
-Performans standartlarının oluşturulması,
-Tahmini ve gerçekleşen kaza sayısı ile maliyetlerin karşılaştırılması, kaza raporlarının oluşturulması,
-Yönetimin bütün kademelerinde iletişimin sağlanması.

## 1.2 Filo Yönetiminin Sahip Olması Gereken Yeterlilikler

Makine filo yönetimi, alanında sürekli gelişmelerin ve yeniliklerin olduğu, bu gelişmelerin en kısa zamanda uygulamaya sokulmasının zorunlu olduğu ve bütün aktivitelerin sürekli olarak kontrol edilmesinin şart olduğu bir alandır. Bölüm 1.1'de ifade edilen sorumluluk ve amaçlarını gerçekleştirebilmesi için, bir filo yönetimi aşağıda yeterliliklere sahip olmalıdır (Dolce, 1984):

i. Personelin mevcut yapısının değerlendirmesi yapılmalı, gerekirse tekrar yapılandırılmalı veya istenen düzeye gelmeleri sağlanmalıdır.

ii. Aşağıdaki unsurlara göre verimlilik analizini yapmalıdır:

a- İş düzeni hazırlıkları,
b- Görev dağılımı,
c- Tahmin edilen tamir süreleri,
d- Gerçekleşen tamir süreleri,
e- Araçlar,
f- Koruyucu bakım prosedürleri,
g- Kendi atölyeleri ve dışardan atölyelerin kıyaslanması,
h- Araçların arızada kalma süreleri.

iii. Tamir tesislerinin verimliliğini analiz edebilmeli ve maliyet azaltıcı modifikasyonları ve gelişmeleri önerebilmelidir.

iv. Araç parkındaki uygun eşleşmelere karar verebilmeli, kullanılırlığı ve maliyetleri azaltacak şekilde serviste kalma oranını arttırabilmelidir.

v. Maksimum kullanım ve en düşük maliyetleri elde edecek şekilde uygun araç ve parça özelliklerini belirlemelidir. Bu şekilde yedek parça ve diğer stok malzeme miktarının en az olması sağlanmalıdır. Filo yönetim birimi, aracın satın alınması veya leasing ile elde edinimi ya da revizyon edilmesine karşın yenisinin alınması gibi konularda işletme lehine olanları belirleyebilme yeterliliğine sahip olmalıdır. Personel istihdamında, eğitiminde ve personelin çalışma şeklinde de aynı yaklaşım benimsenmelidir.

vi. Mevcut koruyucu bakım programını en verimli şekilde oluşturabilmeli ve sürekliliğini sağlayabilmeli; programın zaman aralıklarını optimum şekilde belirleyebilmelidir.

vii. Genel bakım politikasını belirleyebilmeli ve yönetebilmelidir. Küçük ve büyük arızalar bakımından kendi tesisleri ile dışarıdan hizmet alımım fayda bakımından değerlendirebilmelidir. Ayrıca kendi tesislerindeki bakım işlemlerinde azami tasarrufu mümkün kılmalı, birim miktar başına günlük, haftalık ve aylık yakıt tüketimini izlemeli, her aracın çalışmasını kilometre veya saat olarak tespit etmelidir. Malzeme depolama prosedürü ve atölye teçhizatları analiz edilmeli, eskimiş yöntemler veya aletleri belirlemeli, envanter aml:ışhınlıdaki maksimum ve minimum miktarların standardını oluşturmalıdır. Alınacak parçaların satıcı tarafından teslim edilecek olması ya da işletme tarafından yerinde teslim alınması konusunda kurum lehine bir prensip belirlenmelidir. Ayrıca yeni parçaların mı yoksa tamir edilerek kullanılır hale getirilen parçaların mı işletme yararına olduğu her parça için net olarak belirlenmelidir.

viii. Makine filosunda fazlalık haline gelen veya kullanılmayan araçların satışa hazır hale getirilmesini sağlamalı; kullanılmayacak durumda olanları hurdaya ayırma kararını verebilmelidir.

ix. Acil tamir-bakım olaylarında işletme yararına olacak en uygun yaklaşımı oluşturabilmelidir. Örneğin; herhangi bir seviyedeki masraf için hangi birime yetki verilmesinin kararlaştırılması gibi yetki dağılımlarını yapabilmelidir.

### 1.3 Global Pozisyon Belirleme Sistemi (GPS; Global Positioning System)

Günümüzün makine filoları her sektörde öylesine büyümüş ve kompleks hale gelmiştir ki onların izlenmesi, kontrol edilmesi emek, uzman bilgi ve hassas takip gerektirir. Büyük bir inşaat veya madencilik firması düşünüldüğünde; ulusal ya da uluslar arası çalışabilen bu fıımaların dünyanın her yerinde bir merkezden takip edilebilmesi amaçlanmaktadır. Her bir bileşeni çok değerli olan sistemlerin verimli, etkili ve en az maliyetle takip edilmesi gereklidir. Modem teknoloji bu konuyu GPS sistemlerini geliştirerek çözmüştür. Bu sistemlerde takip edilen araç ve takip eden merkez iki yönlü haberleşmektedir. Haberleşme dünyanın yörüngesinde olan uydular aracılığı ile sağlanmaktadır

GPS sisteminin temel özellikleri ve yararları şunlardır (Dolce, 1984);

-Global kapsam alanı içinde aralıksız haberleşme özelliği,
-Makinenin yeri, yönü, mevcut hızı, o ana kadar olan durma ve rölanti süreleri, coğrafi rota sınırlaması, aların ve eklenebilecek daha birçok özelliği kapsayan tam mobil araç yönetim özelliği,
-Hiçbir software program gerektirmeyen WEB tabanlı sistem kurulumu,
-Ağır iş makineleri, mobil vinçler, uzun yol nakliye kamyonları, gemiler, servis-dağıtım araçları, otobüsler, konteynerler, sabit silo vb. sistemler gibi her türlü araca ve tesise uygulanabilme özelliği,
-Hem sistem bileşenleri arasında hem de merkez ile sistem bileşeni arasında iki yönlü iletişim olanağı,
-Düşük maliyet (ner deyse cep telefonun maliyeti kadar).

## 2 UYGULAMA

Maden işletmeciliği yönünden zengin olan Tavşanlı bölgesinde faaliyet gösteren kamu ve özel sektördeki makine filoları incelemeye alınmıştır. Çalışma sahasında genelde yayılarak çalışan makine filosunun ve personelinin iş amaçlı gönderilmesi, takip edilmesi, kontrollerinin yapılması ve bütün bunların işletmenin venınını arttıracak şekilde olmasını sağlamak amaçlanmıştır.

Kamu ve özel sektör makine filolarında GPS çözüm seçeneğiyle bütün araç ve operatörlerin mevcut pozisyonları ve yerleri ile ilgili bilgiler yönetim merkezine ve müşterilere sağlanabileceği, kayıp zaman ve kaynakların mınımuma indirileceği belirlenmiştir. GPS ile, kullanımı kolay ve güçlü bir mobil araç yönetiminin tesis edilebileceği tespit edilmiştir. Sistem basit araç takibinin ötesinde bilgiler sunarak servis ve dağıtım işlerinin daha verimli ve karlı olmasını sağlayacaktır.

### 2.1 Ağır İş Makinelerinde GPS Yararları

Uygulama sahasında makinelerin çalışma koşulları ve yapılan incelendiğinde maden sektöründe kullanılan makineler için GPS sistemının sağlayacağı önemli faydalar olduğu göıülmektedir.

GPS'den sağlanan bilgi ile uzaklıkları ne olursa olsun bütün makinelerin takibi yapılabilir. Araç belirlenen sınırlar dışına çıktığında anında uyarı alınabilir. Makinenin

anlık durumu ayrıntılı olarak saptanabilir. Örneğin; motorunun çalışıp çalışmadığı veya rölanti durumu, motor sıcaklığı, yağ basıncı, motor toplam çalışma saati gibi bilgiler anlık elde edilebilir. GPS sistemler basit araç takibinin ötesinde projelerdeki karlılığı ve verimliliği arttırmak ıçın gerekli olan bilgileri sağlar. Uygulamada GPS sistemini kullanan bir filonun belirtilen özelliklerine karşılık olarak elde edilecek faydalar Tablo l 'de özetlenerek verilmiştir.

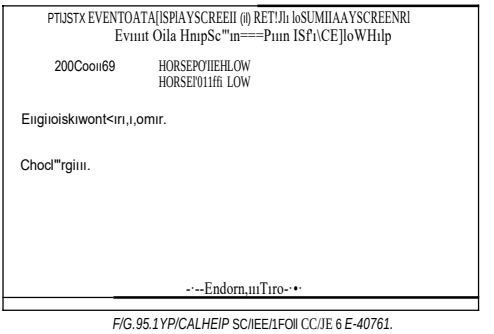
Tablo 1 GPS sistemi özellikleri - yararlan

| | Temel Özelliği | Sağlayacağı Fayda |
|---|---|---|
| 1 | Ekipman takibi | Filo bileşenlerinde verim artışı |
| 2 | Rota ve bölge ihlal alarmı | Kontrol ve verim artışı |
| 3 | Stop ve rölanti zaman raporları | Önceden belirlenen süreye uyum, yakıt tasamıfu |
| 4 | Motor çalışma saati raporları | Ayrıntılı görev maliyet raporları oluşturma |
| 5 | Hararet, yağ basıncı, motor sıcaklığı, yük sinyalleri | Yakıt tasarrufu, arıza oranında azalma, makinenin opsiyonel kullanımı |
| 6 | Daimi çalışmada 30 gün ve daha fazla güç sağlayan batarya | Çalınma riskinde azalma ve ekipmanı bulmada hızlılık |
| 7 | İki yönlü hızlı iletişim | Makine kullanımında verim artışı |
| 8 | Aşırı hız alarmı | Yetkisiz makine kullanımı |
| 9 | Çalıştırma, stop etme sayılan, yer ve süre raporları | Azalan fazla mesai, maliyet düşmesi |

## 2.2 Elektronik Kayıt - Kontrol Sistemi

GPS sistemleri uydu sistemleri aracılığı ile makine takibi esasına dayanmaktadır. Sistemin işletmeye geçebilmesi için dünya yörüngelerinde bulunan uydular kullanılmalıdır. Ayrıca coğrafik ve topografik haritalar tam olarak oluşturulup sistem içine yerleştirilmelidir. Bu konu tam olarak çözülememiş bir konu olduğu için uygulama sahasında online konum tespit olanağı sağlanamamaktadır. Bunun yerine elektronik kayıt-kontrol üniteleri makinelerin üzerine yerleştirilmektedir. Kayıt-kontrol cihazları makineleri çalışmaları sırasında sensörleri ile sürekli algılamakta ve motor sıcaklığı, yağ basıncı, hız, yük gibi değerleri sürekli kaydetmektedir. Periyodik zaman aralıkları ile cihazdaki veriler alınmakta ve değerlendirilmektedir.

Şekil l 'de TKİ Garp Linyitleri İşletmesi'ne ait ağır iş kamyonlarının üzerine yerleştirilen kayıt-kontrol cihazından elde edilen bir veriyi içermektedir. Kamyonlar üzerindeki cihaz ve programı sayesinde arıza derhal görülebilmekte ve kısa süre içinde giderilebilmektedir. Şekil 1'deki sistem arayuzu motorda "69 kodlu" hatanın oluştuğunu, motorun güç kaybettiğini ve kontrol edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Benzer şekilde makine üzerinde oluşabilecek bütün ihtimal arızalar başlangıç safbalarında tespit edilebilmektedir. Günlük olarak bu verilerin değerlendirilmesi makine filo yönetiminin koruyucu bakım ve arıza bakım faaliyetlerinde büyük avantaj sağlamaktadır. Çünkü arızanın başlangıç safbasında tespit edilerek ortadan kaldırılması büyük emek, zaman ve maliyet azalması demektir.




*F/G.95.1YP/CALHEIP* SC/IEE/1FOll CC/JE 6 *E-40761.*

Şekil 1 Elektronik kayıt verisi

## 3SONUÇ

Bedelleri oldukça yüksek olan maden makineleri grup olarak çalışırlar. Makinelerin hem çalışmaları hem de bakım faaliyetleri sırasında çok yakından, hassas takip edilmeleri, makinenin faydalı çalışına süresinin arttırılması ve servis dışı kalına süresinin azaltılması işletmeye büyük yarar sağlamaktadır. Üstelik bu makinelerin çalışmaları ve bakımları sırasında tesadüfi ve kişilere göre işleyen yaklaşımların değil, standartlara uygun, bilgiye dayalı, uzman yaklaşımların ve bilinçli filo yönetimin gerekliliği kaçınılmazdır.

Filo yönetimi makinelerin en verimli şekilde, en az arıza oluşacak, en güvenli şekilde çalıştırılmasını amaçlar. Uzman bilgi birikimleri birleşerek ortak fayda benimsenir. Örneğin madencilik açısından maden işletmesinin en verimli yapılma uzmanlığı ile makinecilik açısından maden makinelerinin en verimli ve en az arıza ile çalıştırılması ancak bilinçli ve bilgili bir filo yönetimi ile gerçekleştirilebilir.

Filo yönetimini etkin yapabilınede en modern sistemler GPS sistemleri ve elektronik kayıt kontrol sistemleridir. GPS sistemleri online olarak makinelerin dünyanın herhangi bir yerinden bütün özelliklerinin ve durumlarının tespit edilebilme imkanını sağlarken; elektronik kayıt kontrol sistemleri makine üzerine yerleştirilen bir kayıt sistemi tarafından makinenin bütün durumlarının kayıt edilmesini sağlar. Kayıt kontrol sistemlerindeki bilgiler istenildiği zaman cihazdan alınabilir.

Madencilik sektöründe kullanılan ve her birisi küçük bir fabrika olarak değerlendirilebilecek makinelerin uzman bir filo yönetim ekibi tarafından yönetilmesinin yararı tartışılamaz. Filo yönetim ekibinin bilgi almadaki en etkili, doğru ve teknik bilgi alma kaynaklarının GPS ve elektronik kayıt kontrol sistemleri olduğu değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

Çelik, İ., "İş Makineleri Operatörlük Uygulaması" ders ve uygulama notları, DPÜ, Tavşanlı MYO, İş Makineleri Bölümü 2004.

Dolce, J., "Fleet Management", ISBN 0-07-0174110-5, 1984.

Mandal, E., Z. & Çelik, İ., "İş Makineleri Teknolojisi I, II, III ve IV" ders notları, DPÜ, Tavşanlı MYO, İş Makineleri Bölümü 2004.

# Seyitömer Linyit İşletmeleri Marion-8050 Dragline'ın Bakım ve Revizyonu işlemlerinin Değerlendirilmesi

## *The Evaluation of the Maintenance and Revision Process of Marion-8050 Dragline of Seyitömer Lignite Corporation*

H. Akçakoca, Ö. Uysal & İ. Topal
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

R. Bozkurt, M. Yavuz & A. Akça
*Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü, Kütahya*

ÖZET SLİ'de 1988 yılından beri kullanılmakta olan 72 $yd^3$ kepçe kapasiteli Marion-8050 dragline tipi büyük kapasiteli iş makineleri seri olarak üretilen ve pazarlanan diğer iş makinelerinden farklı olarak siparişe göre projelendirilip üretilen, ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksek özel makinelerdir. Ekonomik ömürlerinin, çalışma koşullarına ve periyodik bakımlarının düzenli yapılmasına göre 75000-100000 saat arasında değiştiği kabul edilmektedir. Ancak bu tür büyük makinelerin revizyonuna karar verilmesinde ise daha farklı parametreler de rol oynamaktadır. Örneğin SLİ' deki dragline ın revizyonuna karar veriliş sürecinde özellikle göbek milinde meydana gelen boyuna çatlağın oluşumundan itibaren yaklaşık bir yıldan daha kısa bir süre sonra enine dönmeye başlaması etkin rol oynamıştır. Bunun üzerine, bu makinenin yaklaşık 55000 saatlik çalışma süresi aşamasında kapsamlı bir revizyonuna karar verilmiştir.

Bu çalışmada SLİ'de bulunan Marion-8050 dragline'ın bakım ve revizyon işlemlerinin öncesi, revizyon aşaması ve sonrası, karşılaşılan sorunlar ve geliştirilen çözümlerle birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Marion-8050 dragline which has 72 $yd^3$ shovel capacity and have been used since 1988, are produced on order, in a different way from the other business machines and they are the machines whose first investment price is quite high. Economic lives of the machines are considered to change from 75.000-100000 hours according to the working conditions and regular periodical maintenance. However, in the process of determining the revision of the machines different parameters play a significant role. For instance, in the process of determining the revision of dragline used in Seyitömer Lignite Corporation (SLC), as from the formation of longitudinal crack its turning towards transverse direction plays a significant role approximately one year later. Under such circumstances, in the process of functioning of approximately 55000 hours, an extensive revision is determined.

In this study, during and after revision progression of Marion-8050 dragline in SLC is held and evaluated across-the-board considering the encountered problems and improved solutions.

## 1 GİRİŞ

Büyük kapasiteli iş makinelerinden olan dragline'ların çalışına performanslarının maksimum düzeyde tutulması zorunludur. Bu nedenle sık sık durmaları istenmez ve daima uzun beklemeli arızalardan korunmaları gerekir.

SLİ de 1988 yılından beri kullanılmakta olan 72 $yd^3$ kepçe kapasiteli Marion-8050 dragline, 2004 yılına kadar, 16 yıl süreyle dekapaj kazısında çalıştırılmıştır. Bu zaman dilimi içerisinde çeşitli arızalar olmuş ise de, işletme imkanlarıyla giderilebilmiştir. Son olarak 2003 yılı ortalarından itibaren fark edilip 2004 yılı sonlarında kesin karar verilerek 2005-2006 yıllarında revizyon ve genel bakımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada makinenin bu bakım-revizyon süreci genel olarak mekanik ve elektrik olmak üzere iki ana bölümde ele alınmıştır.

Haziran 2003 ve ağustos 2004 aylarında ABD'li üretici Marion firmasının Türkiye temsilcisi olan Teınsa Madencilik Makine ve Sanayi Ticaret A.Ş. yetkilileri, ABD li firma yetkilileriyle birlikte kontroller yapmışlardır. İlk kontrollerde mekanik olarak; makinenin göbek milinde boyuna çatlaklar meydana geldiği ve boyuna çatlakların yaklaşık bir yıl sonraki 2. kontrollerde yataya döndüğü ve tehlikeli bir durum aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca harman dişlilerin bazılarında çatlakların görüldüğü ve sonradan arttığı, kule dönüş makara ve raylarında derin pullanmalar (yaralar) görüldüğü ve arttığı, hoist tambur büyük dişlisinin bir yerinde diş dibinde çatlak olduğu belirlenmiş ve makinenin durdurulması ya da (riskli olacağı dikkate alınarak) çok dikkatli çalıştırılması gerektiği belirtilmiştir.

Elektriksel olarak; MG setlerindeki tüm DC generatörler dahil, DC motor, senkron motor ve ikaz grubu generatörleri ile tüm elektrik ve elektronik aksamlar mayıs-2003'te test ve kontrole (elektrik check-up) tabi tutulmuştur. Öncelikle işletme tarafından ve daha sonra imalatçı firma tarafından test ve kontroller yapılmıştır. Bu kontroller sonucunda; MG setlerindeki DC generatör kolektör yüzeylerinin yıpranmış olduğu ve orijinal çaplarına göre limit değerlerin altına düştüğü, stator sargı yalıtım dirençlerinin normal değerlerinden çok düşük değerde olduğu (47 **K.Q** mertebesinde, standart değeri ise min. 1500 K.Q), bir kısım kömür tutucularında bozulmalar ve baskı yaylarında deformasyon olduğu, pedestaller üzerindeki bilye, rulman ve şaft yataklarında sürtünmeden dolayı kısmi bozulmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Özellikle DC generatörlerin kolektör yüzeylerinin aşırı yıprandığı, sargı yalıtım dirençlerinin normal değerlerinden çok düşük değerde olduğu belirlenerek söz konusu makinenin her an büyük arızalar ve dolayısıyla uzun duraklamalara maruz kalabileceği düşünülmüştür.

SLİ tarafından yapılan üretim planlamasına göre söz konusu dragline'ın yaklaşık 2020 yılına kadar çalıştırılması öngörülmüştür. Buna göre, açılacak ve üretilecek kömürlerin yaklaşık % 37'sinin dragline dekapajı ile sağlanacağı planlandığından, bu üretimin gerçekleştirilebilmesi için makinenin faal durumda tutulması gerekmektedir. Bunun için yukarıda belirtilen kapsamda genel bir tamir-bakım ve revizyona ihtiyaç olduğu ve söz konusu revizyon olmadan makinenin bu haliyle uzun süre kesintisiz olarak çalışmasının mümkün olmadığı kanaatine varılmıştır.

Generatörlerin revizyonunun yurt içinde yapılıp yapılamayacağı konusu incelenmiş, yedekli çalışılması düşünülmüş, ancak ekonomik ve teknik yönden birçok zorluklar ile karşılanabileceği kanaatine varılmıştır. Bu nedenlerle generatörlerin revizyonlarının üretici firmaya ABD' de yaptırılmasına karar verilmişir.

Revizyon işlemleri öncesinde karar veriliş süreci, ön hazırlıklar ve araştırma evresinden sonra yaklaşık 6 aylık bir süre parça temini ve bir o kadar da revizyon işlemleri sürmüştür. Makinenin revizyonunda garanti işlemlerinin sağlıklı yürümesi açısından revizyon süresince yüklenici firma tarafından

süpervizor bulundurulmuştur. Ayrıca işletmede revizyon işlerinde görev alacak yeterli sayıda eleman olmaması nedeniyle işçilikler hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir.

## 2 ÇALIŞMA SAHASI VE MARION-8050 DRAGLINE'IN TANITILMASI

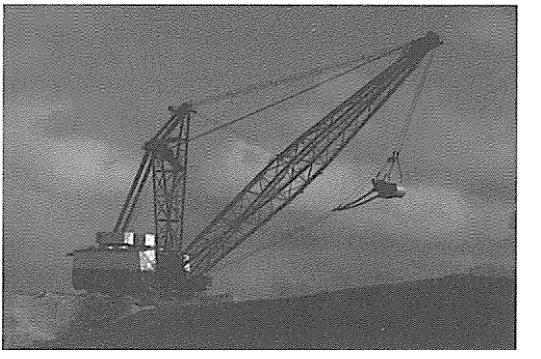
SLİ, Kütahya il merkezine 30km mesafededir. Bölgede, genel olarak karasal iklim hakimdir. Sıcaklık -15° C ile + 32° C arasında değişmektedir. Nem ve kar yağışı azdır. Genellikle çıplak ve sakin bir morfolojiye sahip olan Seyitömer havzasının yüksekliği + 1000 m ; + 1300 m arasında değişmektedir.

Kömür damarının üzerinde farklı kalınlıklarda (ortalama 35-60 m) kalınlığında dekapaj malzemesi mevcuttur. Örtü tabakası; genelde marn, killi marn ve yer yer silisli kalker bantlarından oluşmaktadır. Bitkisel örtü yoktur. Dekapaj malzemesinin yerinde ortalama birim ağırlığı 1,9 ton/m³ ve kabarma faktörü ise 1,3 tür.

İşletmede açık ocak kömür madenciliği yapılmakta ve üretilen kömürün büyük bir kısmı, termik santrale (4 x 150 Mw) çok az bir bölümü ise teshine verilmektedir.

Dragline'lar kömür damarı üzerindeki örtü tabakasını kazmak suretiyle yan tarafındaki boş alana dökerek kömür damarını üretime hazırlayan büyük kapasiteli kazı makineleridir. Sis hariç her türlü hava koşullarında ve günde 24 saat çalışabilirler (Köse vd., 1996; Erdem vd., 2002; Eskiya vd., 2005).

1988 yılı haziran ayından itibaren Seyitömer bölümü Gülbektepe mevkiinde dragline ile dekapaj sisteminin uygulanmasına geçilmiştir. SLİ'de bulunan dragline ABD Marion firması tarafından imal edilen 8050 tipinde makinedir (Şekil 1). Bu yılda SLİ yakınında kurulu bulunan 3X150 Mw kapasiteli termik santrale ilave IV. ünitenin (IX150 Mw) kurulması ve ayrıca o yıllarda artan teshin kömürü talebini karşılayabilmek için dragline alımı öngörülmüştür. Şekil 2'de görülen bu dragline 70 yd³ kepçe kapasitesine sahiptir. Burada dekapajı dragline ile gerçekleştirilecek saha öncelikle ekskavatör-kamyon yöntemi ile hazırlanmaktadır. Daha sonra hazırlanan kısımda dragline ile dekapaj yapılarak kömüre kadar olan örtü malzemesi, kömürü daha önce alınmış olan dilimlere atılmaktadır.



Şekil 1. SLİ'de kullanılan dragline

Dekapaj faaliyetleri; delme, patlatma, kazı ve yükleme, taşıma, dökme ve serme işlemlerini içermektedir. Delme işlemi 9 inç çaplı delici makinaları ile yapılmakta, açılan deliklere ANFO-yemleyici dinamit doldurularak patlatılmaktadır. Kömür üzerinde 35-60 m kalınlıktaki örtü tabakası bu şekilde gevşedikten sonra 10 ar metrelik dilimler halinde 10 yd³ lük ekskavatörlerle kazılıp, 65-85 tonluk kaya kamyonları ile kömürü alınmış veya kömürsüz alanlara taşınarak dökülmektedir.

Dekapaj sonucu üzeri tamamen açılan kömür ekskavatör-kamyon ve yükleyici-kamyon yöntemleri ile kömür hazırlama tesislerine taşınmaktadır. İşletmede dekapaj işlemleri, ağırlıklı olarak işletmenin kendi imkanlarıyla dragline ve ekskavatör-kamyon yöntemleri ile yapılmaktadır. İşletme imkanlarının yetersiz kaldığı durumlarda, özel sektöre de ihale yoluyla dekapaj yaptırılmaktadır. Dragline ile yapılan

dekapaj işleminin diğer dekapaj yöntemlerine göre maliyetinin düşük olmasına rağmen, dragline'ın kullanılacağı panoların özel şartlar gerektirmesi makinenin kullanımını kısıtlamaktadır. Havzanın iklim koşullarına bağlı olarak yıl içinde ortalama 8 aylık bir dönemi kapsayan dekapaj faaliyetleri devam etmektedir. Dragline ile 2004 yılında 3.544.000 $m^3$ dekapaj gerçekleşmiştir. Dragline ın fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1 de, çalışma özellikleri ve iş kapasitesi Çizelge 2 de görülmektedir.

Dragline üç vardiya halinde çalışmaktadır. Makinenin işletiminde üç vardiya için toplam en az 9 kişi görev yapmaktadır.

Çizelge 1. Dragline teknik özellikleri

| **Özellikler** | **Kapasite** |
|---|---|
| Dragline toplam ağırlığı | 3297672 kg |
| Yürüyüş hızı | 2,28 m/dk |
| Adım boyu | 2m |
| Adım atma süresi | 50 sn |
| Tabs (taban kaide) ağırlığı | 245000 kg |
| Tabs çapı | 17,7m |
| Döner şasi ağırlığı | 625000 kg |
| **Hoist mekanizması** tambur çapı | 2,3m |
| Motor adedi | 4 |
| Motor gücü | 4xl300 HP |
| Halat çapı | 82,55 mm |
| Halat boyu | 243,84 m |
| Halat sayısı | 2 |
| **Bom** boyu | 99m |
| Bom ağırlığı | 191000 kg |
| Bom açısı | 35,45° |
| **Kepçe** hacmi | |
| Kepçe boş ağırlığı | |
| **Swing (Dönüş)** motoru adedi | 4 |
| Dönüş motoru gücü | 4 x 800 HP |
| **Drag mekanizması** tambur çapı | 2,3 m |
| Motor adedi | 4 |
| Motor gücü | 4xl300 HP |
| Halat boyu | 144,78 m |
| Halat sayısı | 2 |
| **Yürüyüş** motoru adedi | 2 |
| Motor gücü | 2x800 HP |

Çizelge 2. Çalışma özellikleri ve iş kapasitesi

| **Çalışma Özellikleri** | **Kapasite** |
|---|---|
| Çalışma yüzey basıncı | 1,34 kg/$cm^2$ |
| Çalışma yarıçapı | 80m |
| Kazı derinliği | 48,7m |
| Dökme yüksekliği | 45,6m |
| Kepçe periyodu | 51 sn |
| Günlük fiili çalışma zamanı | 20 saat |
| Yıllık fiili çalışma günü | 300 gün |
| Yıllık fiili çalışma kapasitesi | 6000 saat |
| Efektif yıllık iş miktarı | 5400000 $m^3$ |
| Yıllık hazırlanacak kömür miktarı | 3000000ton |
| Yıllık elektrik sarfiyatı | 6885000 Kwh |
| Ton başına elektrik sarfiyatı | 0,75 Kwh |

## 3 MARION-8050 DRAGLINE REVİZYONU

Bu çalışmada Marion-8050 dragline'ın bakım ve revizyonuna ilişkin süreç üç aşamada ele alınmıştır. Bunlardan ilki; revizyon öncesinde, revizyona karar verilmesine ve gerekli ön hazırlıkların yapılmasına kadar geçen ilk aşamadır. İkinci aşama ise temelde elektrik ve mekanik arızaların giderilip bakımların yapıldığı bölümdür. Burada ilgili tüm birimlerin demontajı ve bakım süreçleri değerlendirilmiştir. Son aşama ise yeniden montaj ve makinenin devreye alınması sürecidir.

### 3.1 Revizyon Öncesi Süreç

Haziran 2003 ve ağustos 2004'de Temsa firmasının Amerikalı firma yetkilileri ile birlikte, ücretsiz olarak yaptıkları kontrollerde; makinenin mekanik ve elektrik donanımlarında belirlenen deformasyonlardan dolayı durdurulması veya (riskli olacağı dikkate alınarak) dikkatli

çalıştırılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca eylül-2004 de GELİ Müessese Müdürlüğü'nde bulunan aynı tip dragline için revizyon teklifi veren Mine-Plus firmasına da kontroller yaptırıldığında yine aynı tespitler ortaya çıkmıştır.

Daha sonra bir dizi toplantılarla revizyon konusu tartışılmış ve revizyon şartnamesi hazırlanması için karar alınmıştır. Sonradan hazırlanan revizyon gerekçelerine ilişkin rapor ve şartnameler yanında bir kez daha Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nden uzman bir heyete göbek milindeki çatlağın tehlike boyutunu anlamak için bir inceleme daha yaptırılmıştır. Bu heyette benzer bir sonuca ulaşınca dragline aralık-2004 de revizyon yapılacak sahaya çekilmiştir.

TKİ Genel Müdürlüğünde revizyon raporu, şartname ve firma raporları üzerinde yapılan değerlendinneler sonucunda firma yetkilileriyle görüşülerek siparişe bağlanmasına karar verilmiştir. Buna göre 2005 yılı içersinde mekanik parçalann siparişe bağlanması ve gelmesi, 2006 yılında da mekanik revizyonun yapılmasına karar verilmiştir.

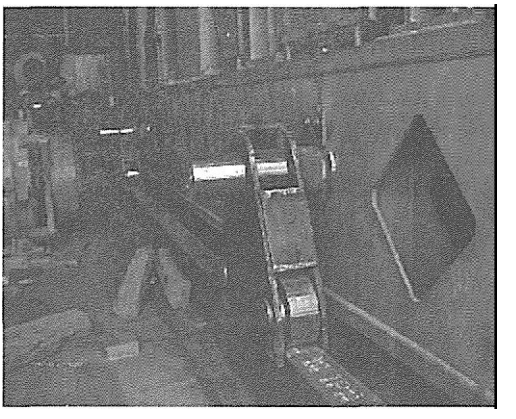
### 3.2 Revizyon İşlemleri

Revizyon işlem akışında öncelikle elektriksel ekipmanların revizyon ve bakımı tamamlanmış ve daha sonra mekanik aksamlar revize edilmiştir.

Mart-2005 de Temsa firması MG setlerinin sökülerek ABD'ye gönderilmesini istemiştir. Bunun için fırına tarafından, setlerin olduğu bölümün çatı kısmının sökülerek MG setlerinin demonte edilmesi önerilmiştir. Ancak işletme, çatının kaynak konstrüksiyon olması nedeniyle bu metodun çok problemli olacağını bildinniştir. Bunun yerine MG setlerinin, dragline'ın arkasının döner şase üst yüzeyine kadar toprak ile doldurulup, rampa yapılmak suretiyle, makinenin arka kapılarından kaydırılarak çıkarılmasını önermiştir (Şekil 2). Bunun için firma tarafından, bazı parçaların işletmede elde imalatı için krokiler ve iş planları hazırlanarak işletmeye uygulanmak üzere verilmiştir. Bu konu Temsa ve ABD li süpervızor ile mutabakata varılarak uygulanmak üzere işlemlere başlanmıştır.

Şekil 2. Elektrik donanımı demontajı

Belirlenen krokilere göre İşletme imalat atölyesinde parçaların imalatına başlanmıştır. İşletmede bulunmayan parçalar ise siparişle temin edilmiştir. Buna göre; MG setlerini kaldmnak ve makaraları takmak için 4 adet mil ve MG setleri yerinden çıkarmak için gereken makaralar yapılmıştır (Şekil 3).

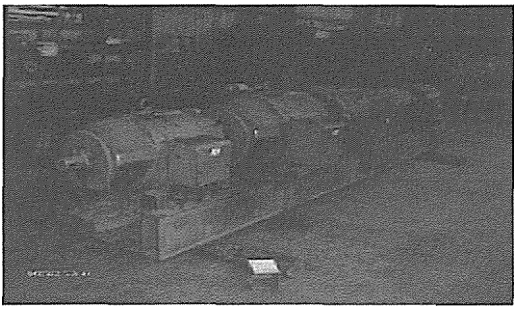


Şekil 3. MG setleri demontajı

Dragline arka kapıları menteşelerinden sökülerek alındıktan sonra arka kısmına toprak rampa yapılarak üst kısmına kırınataş serilmiş ve üzeri çelik plakalarla kaplanmıştır. Bu arada MG setlerin kablolarının sökümü ve kodlanmasına

başlanmıştır. Temsa firması yetkilisi ve ABD li süpervizör işletmeye gelerek işlemlere nezaret etmişlerdir.

Dragline üzerindeki 4 adet drag motoru, 2 adet hoist motoru (2 ve 4 nolu), soğutucu motorların tamamı (fanlarla birlikte) ve 3 adet trafo sökülerek işletmeye ait elektrik atölyesine temizlik ve bakım için getirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Atölyede revizyon çalışmaları

Demontaj işlemi bittikten sonra toprak rampa üzerindeki sac platformlar dragline'a kaynaklı olan yerlerinden kesilerek 3-4 m geriye alınmış ve dragline arka • kapıları kapatılmıştır.

### *3.2.1 Elektriksel bakan-revizyonu*

Revizyonu yapılacak olan MG Setleri, ileri teknoloji ürünü olarak özel imal edilmiş olup, imalatçı firma tarafından ABD'deki fabrikasından akuple halinde getirilerek makineye monte edilmiştir. İki ayrı set olarak çalışan Ward-Leonard sistemidir (1050 Kw 2210 A nominal akım). Motorlar ve generatörler birbirlerine akuple olarak çalışmaktadırlar. 1000 d/d hızla dönen, her birinin ağırlığı yaklaşık 9 ton ve toplam ağırlığı 70 ton olan bu sistemin vibrasyonsuz çalışması gerekmektedir. Türbin yatakları ile bağlı olduklarından sürtünmeler olmamalı, kollektör-kömür çalışmaları çok uygun olmalıdır. Dizildikleri şasede olabilecek en ufak şimleme hatası dahi 12 metre uzunluğu olan bu sistemde büyük vibrasyon ve vuruntulara sebep olmaktadır. Bu durum işletme şartları ve sürdürülebilir çalışma açısından sakıncalar doğurabilir. Dolaysıyla yaptığı iş bakımından, yüksek randımanla ekonomik olarak çalışan bu makinede bakım ve onarım da, tıpkı imalatında olduğu gibi özen, ileri teknoloji ve deneyim gerektirmektedir.

MG Setlerindeki DC generatörlerin hacimce büyük ve ağır olması (DC generatör - 9 ton, endüvisi 5 ton) nedeniyle, sargı ile kollektör birleşimini yapacak büyük TIG kaynağı tezgahı ve generatör endüvilerini alabilecek büyüklükte vakumlu vernikleme tesislerine Türkiye' deki resmi ve özel kuruluşlarda bulunamamıştır. Ayrıca, 2 adet senkron motor ile 12 adet bu büyüklükteki generatörün bakım ve onarımını, işlem sırasına göre ve bütün olarak yapacak herhangi bir kuruluş veya firma tespit edilememiştir. Çünkü güç ve yapı özellikleri bakımından oldukça güçlü olan bu generatör endüvilerinin sayıca çokluğu da yapıın ve tamir bakımından Türkiye'deki firmalarda sorun oluşturabileceği düşünülmüştür. Çünkü teknik işlemlerin hepsinin sırasıyla aynı atölye de yapılabilmesi gerekmektedir. Zira 12 generatörün açılıp dağıtılması için büyük bir atölye'nin olması, aynı atölye de TIG kaynağı tezgahı ile vakumlu vernikleme ve fırınlama tesislerinin bulunması, elektriksel test işlemlerinin yapılabilmesi için gerekli düzenek ve aletlerin bulunması, bandaj işlemleri ile balans işlemlerinin süratle yapılabilmesi gerekmektedir.

Aynı zamanda makinenin uzun süre hizmet vereceği düşünülecek olursa, bu süre için istenilen garantiyi (ortalama 5 yıl) ve sürekli teknik desteği verebilecek, ileri teknoloji uygulayacak, malzeme yönünden şüphe uyandırmayacak imalatçı bir firma atölyesinde MG setlerin bakım ve revizyonlarının yaptırılması daha uygun görülmüştür. Bu nedenle, söz konusu MG setlerin bakım ve revizyonlarının, yurt dışında imalatçı firma atölyesinde yaptırılmasının daha uygun olacağı kararına varılmıştır.

Revizyon teknik şartnamesindeki elektrik parçaları bölümünde istenen parçalar Çizelge 3' de sunulmuştur.

Çizelge 3. Revizyon için istenen elektriksel parçalar

| Parça Adı | Miktar |
|---|---|
| Hoist generatör kollektörü | 4Adet |
| Hoist generatör endüvi sargısı | 4Adet |
| Drag generatör kollektörü | 4Adet |
| Drag generatör endüvi sargısı | 4Adet |
| Swing generatör kolektörü | 4Adet |
| Swing generatör endüvi sargısı | 4Adet |
| Plc program yükleyici (westinghouse) | 1 Adet |
| Yürüyüş için transfer anahtarı p/n | 4Adet |
| Hoist optik enkoder (allen-bradley) | 1 Adet |
| Drag optik enkoder (allen-bradley) | 1 Adet |
| Probel optik enkoder (allen-bradley) | 1 Adet |

Çizelge 3 de ilk 6 malzeme (DC generatör endüvi sargılan ve kolektörler) tek başına birer yedek parça olmayıp, revizyon sırasında MG Setlerindeki generatörlere, yüklenici firma atölyesinde firma tarafından monte edilmişlerdir.

DC generatör endüvilerinin tümünün yeni alınıp makine üzerine monte edilmesi de düşünülmüş, ancak endüvilerin ve generatörlerin çok pahalı ve burada montaj zorluğu olmasından dolayı bu fikirden vazgeçilmiştir. Bundan dolayı endüvilerin eskimiş ve yıpranmış kollektörleri ile sadece endüvi sargılarının değiştirilmesi kararlaştırılmıştır. Bu iki parçası(bir endüvi üzerinde) değiştirilen sistem, yine eskisi gibi yerine monte edilerek çalıştırılmıştır.

DC generatör endüvi sargıları ile kollektörler, TIG kaynağı ile birbirine kaynaklı olup yekpare şeklindedir. Demontaj sırasında bu iki parçanın ancak kesilerek birbirinden ayrılması mümkün olmuştur. Bu işlem sırasında endüvi sargı boyları zorunlu olarak kısaldığından aynı sargı tekrar kullanılmaz duruma gelmiştir. Dolayısıyla, kollektörler ile endüvi sargılarının birbirlerine TIG kaynağı ile birleştirilmesi esnasında sorun yaşanmaması için bu sargıların değiştirilmesi zorunlu olmuştur.

MG Setlerinde bulunan 2 adet senkron motor, 4 adet drag generatör, 4 adet hoist generatör ve 4 adet swing generatör SLİ den alınıp yüklenici firma atölyesine nakledilmiş ve teknik şartnamede elektrik işleri adı altında belirtilen işlemler uygulanmıştır. Buna göre, satın alınan bu sargılar yüklenici firma atölyesinde firma tarafından DC generatör endüvi ankuşlarına yerleştirilmiştir. Aynı şekilde kollektörler de, yüklenici firma tarafından imal edilerek ve mevcut endüvi üzerine dizilmiştir. Dizimi yapılan bu lameller tomalanarak dilim araları açılıp hazır hale getirilmiştir. Kollektörlerin bakır lamelleri ile endüvi sargı uçları, yüklenici fırına atölyesinde fırına tarafından TIG kaynağı ile birleştirilmiştir. Bu işlemleri takiben, endüvinin vakumlu sistemle vemiklenmesi, fırında kurutulması ve balans işlemleri yapıldıktan sonra, gerekli tüm elektrik testleri yapılmıştır.

Sargı yalıtım dirençlerinin çok düşük olduğu (47 **KQ** mertebesinde) ve mutlaka standart değerlere (min. standart değer, 1500 **KQ)** yükseltilmesi gerektiğinden, yüklenici firma, stator sargılarında yaptığı onarım (temizleme, vernikleme ve kurutma) işlemi ile yalıtım dirençlerini standart değerlere yükselmiştir. Burada yapılan tüm onarım işlemlerine rağmen, stator sargı yalıtım dirençleri standart değerlere ulaşmaz ve yapılacak elektrik testleri iyi sonuç vermez ise, yüklenici firma ile TKİ'den onay almak şaıiıyla bozuk sargıları değiştirmek üzere anlaşılmıştır. Ancak değişiklik yapmadan söz konusu tamir-bakımlarla değerler düzeltilmiştir.

### *3.2.2 Mekanik bakfın-revizyoıu*

Makinenin aşağıda Çizelge 4'de belirtilen işlem sırasına göre mekanik aksamlarındaki parça değişiklikleri ile bakım ve onarımları yapılmıştır.

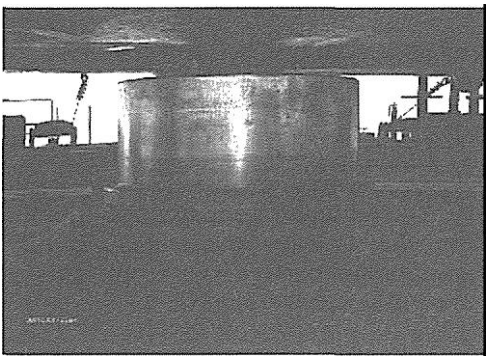
Çizelge 4. Mekanik revizyon işlemleri

| |
|---|
| *Makinenin bom indirme pozisyonuna etirilmesi, |

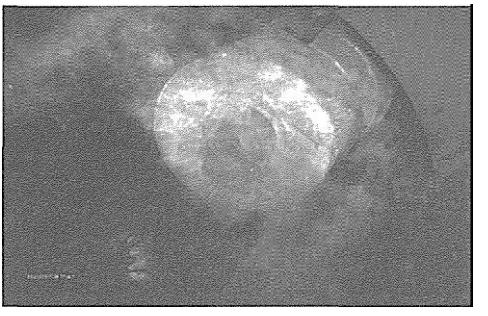
*Hoist tambur dişlisinin değiştirilmesi,
*High-cam po isyonu: . .
*Tabs'ın terazılenmesı ve altına kum serılmesı,
*Bom indinne halatlarının bağlanarak bomun indirilmesi,
*Tabanm indirilmesi ve makinenin sabitlenmesi,
*48 adet plakanm montajı,
*Ham1an dişli ray ve makaralarmın sökülmesi,
*Harman dişli ray ve deliklerinin doldurulması,
*Harman dişli, ray, makara, swing kamaraları ve göbek pimi alanlarının temizlenmesi,
*Yeni göbek pimi montajı,
*Harman dişli ve alt ray yatağmm tornalanması,
*Döner gövdenin krikolar ile kaldırılarak, tezgaha ait raylar yeniden ayarlandıktan sonra üst ray yataklarının tomalanması,
*Hannan dişli, ray ve makaralarınm montajı, montaj deliklerinin delinerek cıvatalarmın yerleştirilip sıkılması,
*Tabanın kaldırılması ve makinenin sabitlenmesi,
*Bomun kaldırılması ve ana gergi halatlarınm bağlanması,
*Swing şanzımanlarının kaldırılıp doldurulması,
*Tabs'm indirilip, high-cam pozisyonundan inilmesi,
*Swing alt rulman göbeklerinin işlenmesi ve swing şanzımanlarının montajı,
*Swing motor input şaftlarınm yenilenmesi,
*Tabs kanca padlerinin tomalanması,
*PLC montajı.

Mekanik revizyona başlanmadan önce generatör setlerinin elektriksel ayarları yapılarak start verilmiştir. Daha sonra generatör setleri üzerindeki testler yapılmıştır. Ayrıca dragline'a dönüş, kaldırma ve çekme hareketi testleri yaptırılmıştır. Ayrıca dragline yüiiitülüp, kepçe takılarak kazı yapılmıştır. Bu test işlemleri ve elektriksel revizyon süreci tamamlandıktan sonra makine mekanik revizyona alınmak için tekrar revizyon alanına çekilmiştir.

Mekanik revizyon öncesinde özellikle göbek milinde boyuna ve yataya dönük çatlaklar belirlenmiştir. Makine çalışırken bu milin kırılması halinde, eksen kaçıklıkları meydana geleceği, yeni göbek milinin takılması imkansız gibi bir hal alacağı için, bu milin yenisi ile mutlaka değiştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır (Şekil 5, 6).



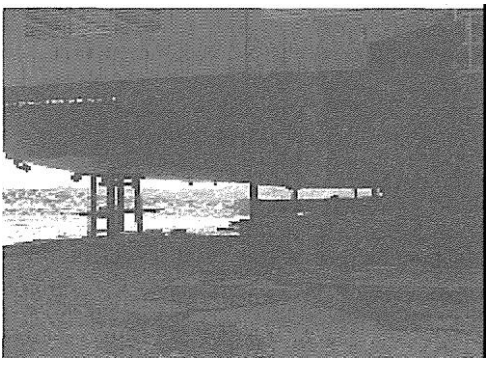
Şekil 5. Göbek mili değişimi



Göbek milinin değiştirilmesi için bom indirilmiş (Şekil 7) ve döner şase ve tabs birbirinden ayrılmıştır.

Şekil 7. Bomun sökülmesi

Makinenin kule makaraları ile alt ve üst raylarında, parça kopmaları olduğunda ve makinenin 55000 saat(16 Yıl) çalışmış olması nedeniyle bu makara ve raylarda bir süre sonra kırılmalar olacağı ve parti paiii değiştirilmesi gerekeceği ortaya çıkmıştır. Göbek milinin değişmesi ve makinenin döner şasesi ile tabsın birbirinden ayrılması (Şekil 8) esnasmda makara ve raylar tümüyle değiştirilmiştir.

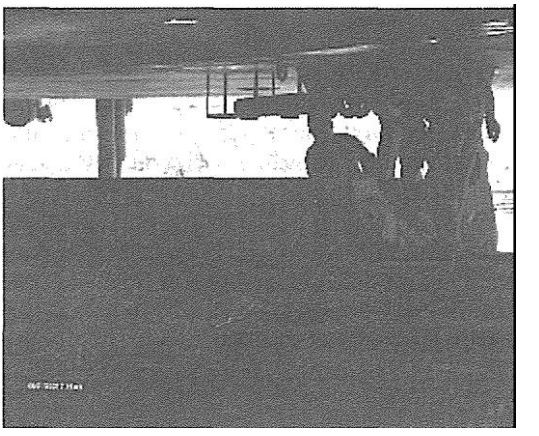


Şekil 8. Tabsdan ayrılan döner şasesinin desteklerle tutulması

Makinenin dönüş harman dişlilerinde ve bilhassa bir tanesinin diş diplerinde önemsenecek şekilde çatlak olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla ileriki yıllarda dişlilerde malzeme yorulması nedeniyle çatlakların sayısı ve derinliğinin artacağı düşüncesiyle, bu harman dişlileri tümüyle değiştirilmiştir (Şekil 9).

Şekil 9. Döner şase ile tabsın ayrılmış hali

Hoist tambur dişlisinde gözle görülebilecek şekilde çatlak olduğu belirlenmiştir. Bu dişlinin kırılması durumunda makine çalışmaz duruma geleceği için, bu revizyon sırasında bu dişlinin de değiştirilmesi uygun görülmüştür (Şekil 1O).



Şekil 10. Harman dişli değişimi

Swing grupları (dönüş şanzımanları) için motor yardımcı elemanları da bu revizyon sırasında değiştirilmiştir.

### 3.3. **Revizyon Sonrası**

Revizyon işlemlerinde öncelikle elektriksel işlemler tamamlanmıştır. Bunun için MG setleri üretici fırına tarafından ABD'de revize edilerek getirilmiştir. Daha sonra bakım ve onarımı yapılan tüm elektriksel donanımlar yeniden dragline'a monte edilmiştir. Bunların test işlemleri yapıldıktan sonra makine yeniden çalıştırılmıştır. Bu aşamadan sonra yukarda mekanik bakım ve revizyon işlemlerinde bahsedilen çalışmalar tamamlanmıştır. Bu işlemlerde bitirildikten sonra bir kez daha makinenin tüm elektriksel ve mekanik test ve kontrolleri yapılarak dragline yeni panoya doğıu yürütülmüştür.

## 4SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında SLİ de 1988 yılından beri faaliyette olan Marion-8050 dragline'ın 2005-2006 yıllarında yaklaşık bir yıllık bir sürede yapılan bakım ve revizyon işlemleri her yönüyle değerlendirilmiştir. Buna göre;

Makine revizyonunun gerçekleştirilmesi ile 5 yıllık bir garanti sağlanmıştır. Makine, işletme tarafından planlanan 2020 yılına kadar yapılacak tüm dekapaj işlemlerinin %37'lik kısmının dragline ile yapılabilmesi hedefini sağlayabilecek konuma getirilmiştir.

Öte yandan SLİ koşullarında dragline ile dekapaj birim maliyeti yaklaşık 0,52 $/m$^3$, ekskavatör-kamyon sistemi birim maliyeti 1,04 $/m$^3$, müteahhit marifetiyle dekapaj birim maliyeti ise 0,62-1,0 $/m$^3$ arasında değişmektedir. Dragline revizyonu bu açıdan değerlendirildiğinde; tüm yöntemler içersinde dekapaj birim maliyetleri en düşük olan dragline ile 5 yıllık garanti süresince yapılacak yıllık yaklaşık 3,5 milyon m$^3$ lük bir dekapaj kazısı ile aynı miktar kazının kamyon-ekskavatör sistemiyle yapılması durumunda oluşacak fiyat farkı ile dragline revizyonunun kendini fazlasıyla amorti edeceği söylenebilir. Dolaysıyla yapılan bu revizyon işlemi ile işletmenin geleceğe dönük üretim planlaması da desteklenmiş olmaktadır.

Bu çalışma ile bir kez daha görülmüştür 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 değerlendirınesi yapılması gerekmektedir. Böyle yapılması, özellikle makinede uzun süreli durmaların önüne geçilmesinde önemli bir planlama unsurudur.

İş makinelerinin satın alınmasında; satış sonrası servis, periyodik bakım hizmetleri yanında revizyona da ihtiyaç duyulabileceğinin göz onune alınınası, revizyon sürecinin daha etkin olarak değerlendirilmesini ve gereksiz zaman kayıplarının da önlenmesini sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Erdem, B., Duran, Z., Çelebi, N., 2002, Pullback Mode Dragline Stripping in Dipping Coal Seam, Mineral Resources Engineering, Vol.11, No.l, pp.17-34, Imperial College Pres.

Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., (ed.), 2005. *Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı,* TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 744 s.

Kişisel Görüşmeler, 2006, SLİ.

Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Kızıl, S., 1996. *Açık İşletme Tekniği,* Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 467 s.

Private communications, 2005, Marion Inc., Ohio, USA,

TKİ Faaliyet Raporları, 2003-2006.

# *Malzeme ve Yardımcı Donanım*

*(Material and Ancillary Equipment*

# Tekerlekli iş makinelerinde lastik ömürlerinin uzatılması

# *Extension the life of the tyres on wheeled heavy mining machinery*

İ. Çelik
*Makina Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya*

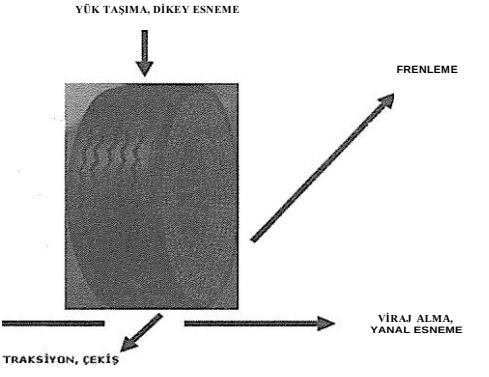
Ö. Koç & E. Z. Mandal
*Garp Linyitleri İşletmesi, Makine İşletme Servisi, Tavşanlı/Kütahya*

**ÖZET:** Ülkemizde kullanılmakta olan iş makinelerinin teknik bakımları ve verimli kullanılmaları tam olarak gerçekleştirilmemektedir. Bunun sebebi, iş makinesini kullanan operatörün yeterliliğinden iş makinesinin tekerleğinin hava basıncına kadar bir çok faktöre bağlıdır. Satın alma fiyatları oldukça yüksek olan iş makinelerinin, tamir bakım ve yedek parça maliyetleri de oldukça yüksektir. Bazı durumlarda, tamir bakım ve yedek parça alım bedelleri iş makinesinin bedelini geçmektedir. Tekerlekli iş makinelerinin yedek parça maliyetlerinin önemli bir bölümünü lastik oluştunnaktadır. Uygulama sahasında yapılan bu araştırmada, lastik ömrüne etki eden faktörler gerçek çalışma şartlarında araştırılmış ve lastik ömrünü uzatmak amacıyla bazı çalışmalar yapılmış, olumlu sonuçlar alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT:** Technical maintenance and effective operation of the heavy duty mınıng machines used in our country can't be realized as well as wished. The reason depends on from the productivity of the operator driving the machine, to the air pressure of the tyre.The fırst purchase price of the machines is very high and their cost price of repair,maintenance and spare parts is also very high.Sometimes the service cost is higher than purchase cost price. Tyres constitute veıy big portion of the spare parts cost. in this study realized on the working area, the factors effected the tyre life have been researched and some other efforts have been exerted to extend the tyre life. Positive results have been achieved and evaluated.

## 1 LASTİĞİN TANIMI

Lastik belli bir süre içinde "belli bir sıcaklık ve basınç altında istenilen şekil ve boyutta" pişirilen kauçuk, kord bezleri ve çelik tellerden meydana gelmiş önemli bir araç parçasıdır ". İçi hava ile pişirilen lastik, bir aracın zemin ile temasını sağlayan tek bağlantısıdır (Geredelioğlu, 1997).
Lastiğin başlıca görevleri şöyle sıralanabilir: Aracın yükünü kaldırmak, aracın hareketini ve durmasını sağlayan kuvvetleri yola iletmek, aracın yönünü istenilen şekilde




Şekil 1. Lastiğin görevleri

### 1.1 Lastiklerin sınıflandırılması

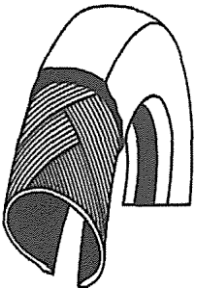
Yapılarına göre lastikler; çapraz lastikler ve radyal lastikler olarak ikiye ayrılırlar. Çapraz lastikler konvansiyonel lastikler olarak da adlandırılırlar. Çapraz lastiklerin temel özellikleri;

-Bozuk zeminde sürüş konforu,
-Zayıf viraj performansı,
-Daha hızlı aşınma,
-Daha çabuk ısınma,
-Düşük fiyattır.

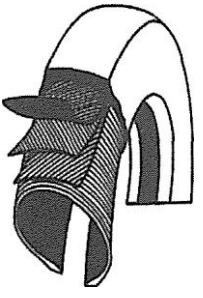
İkinci grupta yer alan Radyal lastiklerin temel özellikleri ise;

-Uzun ömür,
-Az ısı üretimi,
-Düzgün sürüş ve direksiyon hakimiyeti,
-Yakıt tasarrufu(% 6-10),
-Mükemmel fren ve viraj performansı,
-Üstün çekiş yeteneği,
-Defalarca kaplanabilme,
-Darbelere dayanıklı olmalarıdır.

Lastik tekerlekli maden makineleri genelde arazi şartlarında, karayollarından bağımsız çalışan makineler oldukları için lastikleri "yol dışı lastik" sınıfına girmektedir. Bu makinelerde radyal tip lastikler çapraz tip lastiklerden daha çok tercih edilmektedir. Lastiğin çapraz ya da radyal olması lastiği oluşturan tabakaların yapısına bağlı olarak Şekil 2 ve 3 den görülebilir (Mandal ve Çelik, 2004).



Şekil 2.
Çapraz lastik



Şekil 3.
Radyal lastik

Hava basıncını tutma şekline göre lastikler; iç fastikli ve iç lastiksiz (Tubeless) ikiye ayrılır. İç lastikli lastiklerde lastik havasını korumak için ayrı tüp görevi yapan iç lastik vardır. İç lastiksiz olanlarda ayrıca bir iç lastik yoktur. Tubeless lastiklerin avantajları şunlardır:

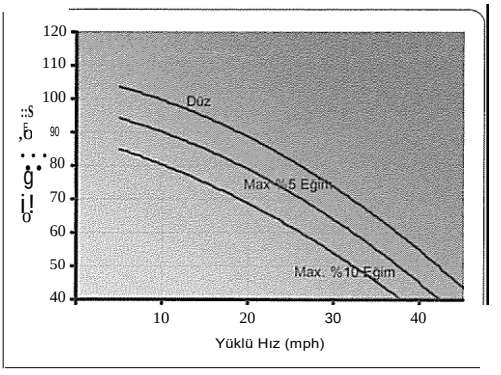
-Patlama anında lastiğin havası aniden değil yavaş yavaş boşalır,
-Lastik takıp sökmede kolaylık sağlar (iç lastik, kolon ve jant halkaları yoktur),
-Lastik daha soğuk çalışır ve ömrü uzar,
-Kesit oranı daha az olduğu için direksiyon hakimiyetinde üstünlük sağlar,
-Janta montaj sırasında kilit halkanın veya yan halkanın fırlama olasılığı yoktur,
-Aracın toplam ağırlığı azalır.

Karayolu dışı maden makinelerinin lastikleri, çalıştıkları zemine göre belirli diş tiplerine göre imal edilirler. Bazı lastiklerin hız performanslı olması istenirken, bazılarının kesmeye karşı dayanıklı olması, bazılarının ise tırınanma kabiliyetinin yüksek olması gerekir. Bu hususlar göz önüne alındığında, yol dışı lastikler çalıştığı makine ve zemine göre Kamyonlar için E tipi, loder ve dozerler için L tipi şekilde sınıflandırılır (Goodyear).

### 1.2 Lastik ömrünü etkileyen faktörler

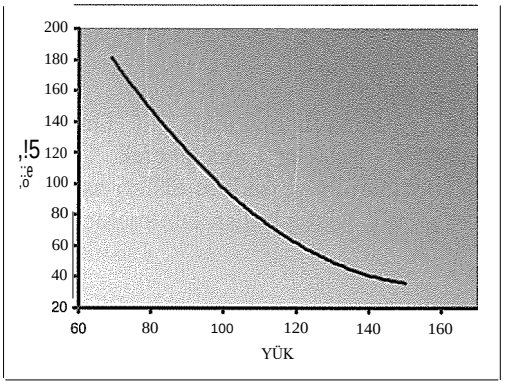
Hız, düşük/yüksek hava basıncı, aşırı yük, aşırı ısınma, kesilme, kopma, aşınma, yırtılma, kimyasal maddelerle temas ve operatör olarak sıralanabilir (Mandal ve Çelik, 2004)

Lastik ömrü ile iş makinesinin hızı arasında olan ilişki Şekil 4 de verilmiştir (Goodyear). Grafikten görüldüğü gibi makinenin hızı arttıkça lastik ömrü azalmaktadır. Grafik iş makinesi yüklü iken elde edilmiştir. Ayrıca yol eğiminin artmasının da lastik ömrünü azalttığı görülmektedir.




Şekil 4 Lastik ömrü-hız- yol eğimi grafiği(OTR)

Lastik ömrü ile taşınan yük sarsındaki ilişki Şekil 5 de verilmiştir (OTR). Şekil 5 den görüldüğü gibi yük ile ömür ters orantılıdır. Yük azaldığında ömrü artmakla birlikte toplam maliyet taşınan yük ile ilişkili olduğundan optimum değer 100 olarak kabul edilmiştir.

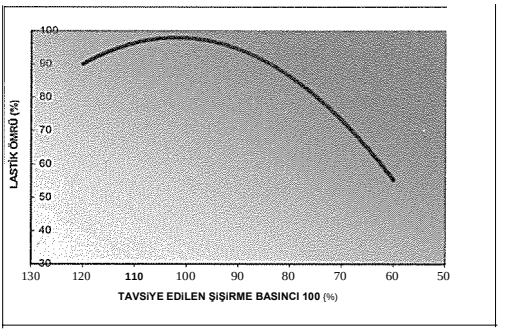



Şekil 5 Lastik ömrü-yük ilişkisi(OTR)

Aşırı yük lastik ömrünü düşürür ve lastiğin kısa zamanda kullanım dışı kalmasına neden olur. Optimum performans alabilmek için önerilen maksimum yük geçilmemelidir. Eğer daha fazla yük ile çalışılmak zorunda kalınırsa kat muadili yüksek lastikler kullanılmalıdır. Aşırı yük ile olumsuz sonuçlar:

-Isı oluşumunun artması ve buna bağlı sırtta kat ayrışmaları,
-Lastiklerin aşırı esnemesi, iç bölgedeki kord tabakanın kırılması,
-Sırtın yola daha yüksek basınçta teması, buna bağlı hızlı aşınma,
-Topuk esnemesinin artması, lastiğin topuk bölgesinden arızalanması,
-Kord gerilmelerinin artması, lastiğin darbelere karşı dayanımının azalması olarak sıralanabilir.

Lastik ömrü ile şışırme basıncı arasındaki ilişki Şekil 6'da gösterilmiştir (OTR).




Şekil.6 Şişirme Basıncı-Lastik Ömrü Grafiği

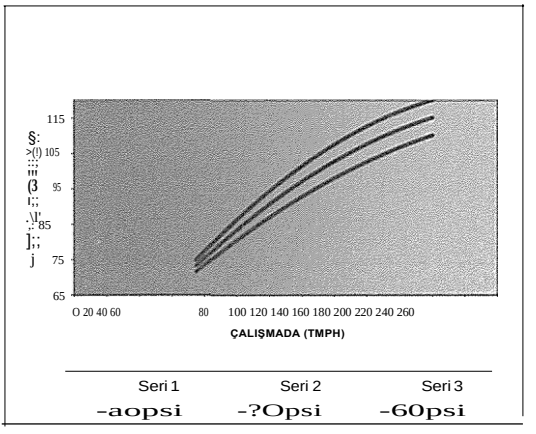
Lastik hava basıncını fazla tutmak lastiği güçlendirmez, aksine dışarıdan gelen darbelere karşı lastiğin esnemesini azaltır. Böylece lastik dayanımı azalır ve aşağıdaki olaylar gerçekleşir;

-Kolay yara alma,
-Daha fazla kesilme,
-Sırt merkezinde aşırı ve düzensiz aşınma,
-Topukta ve jantta aşırı gerilmeler,
-Lastiğin gerilerek daha büyük hacim kazanması, buna bağlı sırt çatlamaları,
-Sırtta aşırı gerilme ve buna bağlı sırt ayrılması,
-Aracın sarsılması, daha fazla arızaların oluşması, bakım masraflarının artması,
-Sırt bölgesinin yere daha az temas etmesi,
-Tırmanma kabiliyetinde azalma oluşur.

Düşük hava basıncı nedeniyle lastik esnemesi istenilen şekilde gerçekleşmezse;

-Lastiğin aşırı ısınması ve kat ayrışmaları,
-Sırt atması,
-Omuzlarda düzensiz ve aşırı aşınmalar meydana gelir.

Lastik şişirme basıncı-lastik ısınması arasındaki ilişki incelendiğinde lastik hava basıncı azaldıkça çalışma sırasında lastik sıcaklığının arttığı görülür. Şekil 7 Şişirme basıncı ile lastik ısınması arasındaki ilişkiyi göstermektedir.




Şekil.7 Şişirme basıncı-lastik sıcaklığı ilişkisi

Lastik çalışırken ısı üretir ve sıcaklık artar. Bu yüzden lastik basıncı da yükselir. Lastik basıncı % 20'nin üzerine çıkarsa şişirme basıncı tekrar gözden geçirilmelidir. Eğer şişinne basıncı doğru ise hız veya yük ya da her ikisi birden azaltılmalıdır. Aksi halde sırt ve katlarda ayrılmalar olacaktır.

Lastiğin çalışma sırasında ısınması lastiğin dayanımını ve ömrünü etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Lastik ısınması ve dayanımı ile ilgili olarak TKPH ((ton-km-per-hour) faktörü esasa alınır. TKPH; "bir lastiğin aşırı ısınmaksızın verilen çalışma şartlarında emniyetli ve verimli şekilde yapabileceği maksimum yük kapasitesini ifade eden bir büyüklüktür" ve Denklem 1, 2 ve 3 kullanılarak değeri belirlenir (Bridgestone).

$$Ort.lastik.Yiiki = \frac{Bosyuk + Doluyiik}{2} \quad .....(1)$$

$$Ort.Hiz = \frac{mesafe(km) x\ Sefer}{Calisma.Saati} \quad .....(2)$$

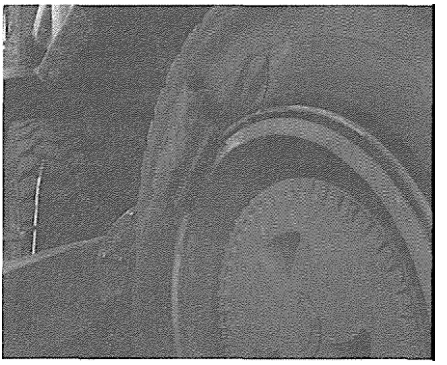
$$TKPH = Ort.Lastik.Yiikii \times Ort.Hiz \quad .....(3)$$

Lastiğin TKPH değeri, çalışma şartlarında belirlenen çıkan TKPH değerinden büyük olmalıdır. Aksi durumlarda yük, hız ya da her ikisinde azaltma yapılmalıdır. TKPH değerinin hesaplanmasında mesafe birimi "mil" alındığında TMPH değeri olarak ifade edilmektedir.

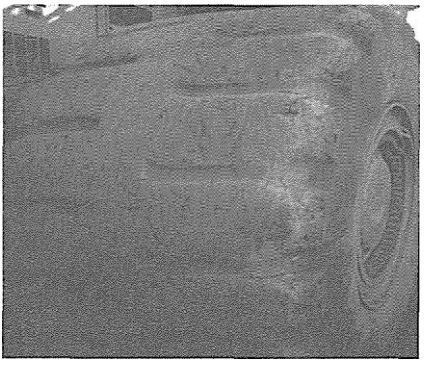
## 2. GELİŞTİRİLEN YAKLAŞIM

Bir iş makinesinin zemin ile temasını sağlayarak, yere tutunmasını sağlayan ve hareket yeteneğini gerçekleştiren önemli elemanlardan birisi olan lastik zaman içinde ömrünü tamamlamaktadır. Ömrünü tamamlayan lastikler incelenerek, temel yapısı bozulmamış ve sadece dişleri aşınmış ise kaplanarak tekrar kullanılabilmekte, aksi takdirde hurdaya ayrılmaktadır. Lastikli bir makinenin, çalışma koşullarına göre belirli bir ömre sahip olan lastiklerinin ömiiinü maksimum düzeye ulaştırmak için TKİ Garp Linyitleri Açık İşletme sahalarında incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemede lastiğin ömrünü tamamlayarak servis dışı kalmasında beş durumun etken olduğu tespit edilmiştir. Bunlar;

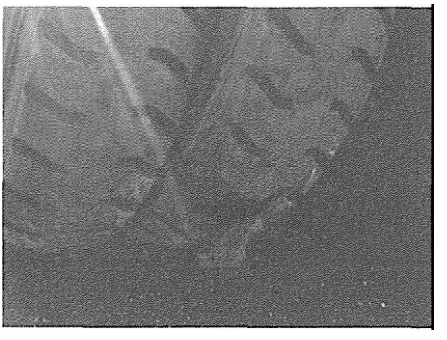
a- Ani patlama (Şekil 8)
b-Dişlerin aşınması (Şekil 9)
c-Sırt atması (Şekil 1O)
d-Taş kesmesi (Şekil 11)
e-Topuk hasarıdır (Şekil 12).



Şekil 8 Lastikte ani patlama

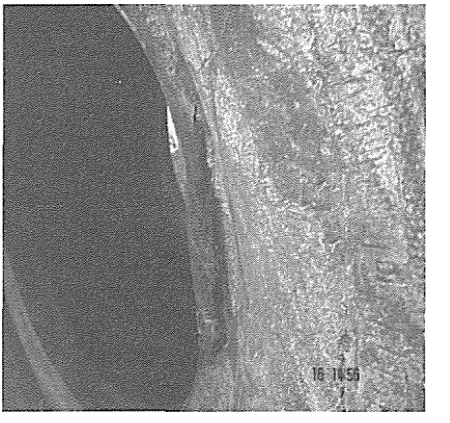


Şekil 9 Lastikte aşınma



Şekil 1O Lastikte sırt atması

Şekil 11 Lastikte kesilme



Şekil 12 Lastikte topuk hasarı

Yapılan çalışmada, sık aralıklı periyotlar ile lastikler incelenmiş, yukarıdan oluşan arızalar ve mevcut diş derinlikleri Tablo 1 de verilen lastik kontrol kartı formuna işlenerek daha sonra bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Üç yıllık toplam inceleme süresinde; 2004 ve 2005 yıllarında lastik havaları düzensiz olarak kontrol edilmiş, 2006 yılında ise her hafta lastik havaları kontrol edilerek hava basıncı düşük olanlar tamamlanmıştır. 2004 yılında 119 adet iş kamyonu lastiğinin, 2005 yılında 1O1 adet ve 2006 yılında 64 adet ağır iş kamyonu lastiğinin hurdaya ayrıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 1 Lastik Kontrol Kartı Formu

LASTİK KONTROL KART!

YENİ LASTİK

1. SIRT

| Takıldığı Tarih Km./Saat | Kapı No. | Yeri | Çıkarıldığı Tarih Km./Saat | Yapılığı Km./Saat | Kalan Diş Kalınlığı | Çıkarma Sebebi | Takıldığı Tarih | Makinanın durduğu modül | Çıkarıldığı Tarih Km./Saat | Yapılığı Km./Saat | Çıkarma Sebebi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |

Lastik ömürlerinin iş verımını en yüksek düzeyde olacak şekilde maksimum ömre ulaşmasını sağlayacak en etkili çalışmalardan birisi, lastik hava basınçlarının düzenli aralıklarla kontrol edilerek eksik olanların tamamlanmasıdır. 2006 yılından itibaren lastik havaları haftalık olarak, herhangi bir arıza olmamasına rağmen kontrol edilerek, eksik olanlar tamamlanmıştır. Daha önceki yıllarda ise, iş yeri sahasında lastik havalarının düzensiz olarak denetlendiği tespit edilmiştir. 2004 ve 2005 yılları baz alınarak lastik kayıtları incelenmiş ve lastik havalarının haftalık düzenli olarak kontrol edildiği 2006 yılı kayıtları ile 2004 ve 2005 yılları kayıtları da incelenerek Tablo 2 oluşturulmuştur.

Tablo 2 incelendiğinde, lastik hava basınçlarının haftalık olarak kontrol edildiği 2006 yılında hurdaya ayrılan lastik sayısında 2004 yılına göre %46 azalma ve 2005 yılına göre %36 azalma olduğu görülmektedir. Çalışma şartları ve toplam makine sayısı değişmediği halde müdahale edilen tek parametre lastik hava basınçlarının düzenli kontrol edilmesidir.

Tablo 2 de, lastiklerin çalışma saatleri incelendiğinde 2004 yılında toplam çalışma saati 119 adet lastik için lastik başına ortalama 6997 saat (Denklem 4); benzer şekilde 2005 yılında 1O1 lastik için lastik başına 7008 saat; ve 2006 yılında 64 lastik için lastik başına 7486 saattir.

$$Q_{o\rightarrow} = \frac{29 \times 8 \text{ J } 18 + 77 \times 6732 + 7 \times 5343 + 5 \times 7279 + 1 \times 5050}{119} \quad (4)$$

$0,_{004} = 6997$ Saat

Lastik hava basınçlarının düzenli olarak, her hafta, kontrol edildiği ve eksik olanların tamamlandığı 2006 yılında, bu işlemin yapılmadığı 2004 yılına göre 489 saat fazla ömür ile %6.98 lik bir ömür artışı tespit edilmektedir. Benzer şekilde 2005 yılına göre 2006 yılında 478 saatlik ömür uzaması ile % 6.82 ömür artışı görülmektedir.

Tablo 2 Lastik inceleme tablosu

| HURDAYA AYRILMA SEBEBİ | YIL | ADET | DİŞ DERİNLİĞİ ORTALAMASI (mm) | SAAT ORTALAMASI |
|---|---|---|---|---|
| | 2004 | 29 | 7 | 8118 |
| | 2005 | 33 | 13 | 7328 |
| | 2006 | 23 | g | 8279 |
| | | | | |
| | 2004 | 77 | 15 | 6732 |
| | 2005 | 57 | 15 | 7033 |
| | 2006 | 26 | 19 | 6820 |
| | | | | |
| | 2004 | 7 | 28 | 5343 |
| | 2005 | 5 | 28 | 7487 |
| | 2006 | 11 | 34 | 8041 |
| | | | | |
| | 2004 | 5 | 12 | 7279 |
| | 2005 | 0 | 0 | 0 |
| | 2006 | 3 | 20 | 5691 |
| | | | | |
| | 2004 | 1 | 17 | 5050 |
| | 2005 | 6 | 18 | '1828 |
| | 2006 | 1 | 33 | 5812 |

Tablo.2'de aşınmaya göre lastikler incelendiğinde 2004 ve 2005 yıllarına göre 2006 yılında hurdaya ayrılan lastik adedinde azalma görülmektedir. Tablo 2 analiz edildiğinde 2006 yılında 2004 ve 2005 yıllarına göre hurdaya ayrılan lastik oranı büyük oranda azalmaktadır. Lastiklerin ani patlama yönünden incelenmesi sürecinde, lastik süresinde 2006 yılında belirgin bir artış görülmekte ancak hurdaya ayrılan lastik adedinde artış görülmektedir. Yapılan araştırmada 2006 yılında ani patlama nedeniyle hurdaya ayrılan 11 lastiğin bir kazada oluşan statik elektrik nedeniyle, operatör hatasından kaynakladığı tespit edilmiştir. Sırt atmaya göre hurdaya ayrılan lastik sayısı 2006 yılında 2004 yılına göre düşmüştür. Ancak 2005 yılında hiç bir sırt atma olayı ile karşılaşılmamıştır. Topuk atmasına göre, kayıtlarda 2006 yılında geçen üç yıla göre net bir değerlendirme yapılamamıştır.

Tablo 2'ye göre, lastiklerin hurdaya ayrılma nedenleri toplu olarak değerlendirildiğinde, lastik basınçlarının uygun değerinde sabit tutulduğu 2006 yılında, lastik ömürlerinde artış ve hurdaya ayrılan lastik adedinde azalma görülmektedir. Elde edilen değerlendirme sonuçlan Tablo.3'de verilmiştir.

Tablo 3. 2004, 2005, 2006 yıllarının değerlendirilmesi

| ı.. '' | Hurdaya Ayrılan Lastik Sayısı (adet) | Ortalama Çalışma Saati (saat/adet) | 2006 yılında lastik adedi kazancı | 2006 yılında lastik ömür kazancı |
|---|---|---|---|---|
| 2004 | 119 | 6997 | %46 | %6,98 |
| 2005 | 101 | 7008 | %36 | %6,82 |
| 2006 | 64 | 7486 | - | - |

## 3. SONUÇLAR

Maden makineleri yüksek bedeller ile satın alınan makineler olup, çalışma sırasında en çok aşınan ve hurdaya ayrılan elemanlarından birisi lastiklerdir. Ayrıca lastik maliyeti de yüksektir. Örneğin 2006 verilerine göre bir maden makinesinin (ağır hizmet tipi) tek bir lastiğinin bedeli yaklaşık 9.000YTL'dir. Lastik kaplama ile lastik ömrünün belirgin bir artış maliyetini düşürme çalışmaları devam etmekle birlikte, lastik maliyetinin düşürülmesinde etkili ve pratik olacak bakım ve kontrolü olduğu görülmektedir.

Çalışma sırasında lastik ömrünü etkileyen birçok faktörün olduğu görülür. Yük, hız, yol şartları, operatörün makineyi bilinçli kullanması, kimyasallar ile lastiğin teması gibi. Bu faktörlerin yanında lastik basıncının sabit ve katalog değerinde hıtulması lastik ömrünü etkileyen önemli faktör olarak tespit edilmiştir. üstelik lastik havasının düzenli takibi eksilen havanın tamamlanması oldukça pratik bir işlemdir. Yapılan çalışmada lastik hava basıncını uygun değerde sabit tutmak amacıyla her hafta kontrolünün yapılması duıumunda hurdaya ayrılan lastik sayısında % 36-46 arasında bir azalma değeri ve ortalama lastik ömründe yaklaşık % 7 oranına artış tespit edilmiştir. Bu duıumda 7000 saat ömrü olan bir maden makinesi lastik ömrü 7500 saate çıkmaktadır. Bu duıumda saat başına lastik maliyetinin 1.285 YTL den 1.200 YTL ye düştüğü tespit edilmiştir.

Hava basıncının sabit tutulmasına ek olarak, lastik ömrünü etkileyen diğer faktörlerin de incelenerek lastik ömürlerinin daha da uzatılmasının alınabilecek çok pratik tedbirler ile mümkün olacağı değerlendirilmektedir. Maden makineleri iç n önemli bir maliyet gideri oluşturan lastık harcamalarının bu sayede önemli oranda azaltılması sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

Bridgestone Off The Road Tyres Maintenance Handbook, 2002

Geredelioğlu, O., C., "Taşıt Lastikleri", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, ISBN 975-395-255-4, 1997, ANKARA

Goodyear OffThe Road Tyres Data Book

Mandal, E., Z. & Çelik, İ., "İş Makineleri Teknolojisi I, II, III ve IV" ders notları, DPÜ, Tavşanlı MYO, İş Makineleri Bölümü 2004.

"OTR Lastik Uygulamaları", OTR Lastik İhracat ve Satış A.Ş., Teknik Servis Müdürlüğü, Uygulama Kılavuzu (Genel)

# *İş Güvenliği*

*(Work Safety)*

# Garp Linyitleri İşletmesi açık ocaklarında çalışan iş makinelerinin kaza risklerinin azaltılmasında geçmiş vakaların analizi

# *Analysis of the previous events to reduce the accident risks of the mining machinery operating at the open pits of Western Lignite Corporation*

C. Şensöğüt & Ö. Ören
*Maden Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya*
M. Taksuk
*Garp Linyitleri İşletmesi, Açıkocak Servisi, Tavşanlı/Kütahya*

**ÖZET:** Bu çalışmada iş kazalarının kısa bir tarifi yapılmış ve tehlikelerin tahmin edilmesi ve risklerin azaltılması için metotlardan bahsedilmiştir. Ayrıca iş kazalarının nedenleri ve kaza oluşma senaryoları ile birlikte bu kazaların azaltılması için uyulması gereken kurallar sıralanmıştır. Son olarak da Garp Linyitleri İşletmesi'ndeki kazaların analizleri yapılmıştır.

**ABSTRACT:** In this work, a short definition of occupational accidents was made and the methods suggested to stipulate the hazards as well as to decrease their risks were outlined. Additionally, tlıe reasons and their sceneries of occupational accidents were listed together with the rules to be obeyed at work to decrease the accidents. Finally, the analysis of tlıe occupational accidents took place at Westem Lignite Corporation was realized.

## 1 İŞ KAZASI TANIMLARI

İş kazası, Uluslararası Çalışma Örgütü'ne (ILO) göre; önceden planlanmamış ve beklenmeyen bir olay sonucunda sakatlanmaya ve zarara neden olan durum şeklinde tanımlanırken (Yeşildal, 2005), Dünya Sağlık Örgütüne (WHO) göre; önceden planlanmamış çoğu kişisel yaralanmalara, makinelerin ve araç gereçlerin zarara uğramasına, üretimin bir süre durmasına yol açan bir olay olarak ifade edilmektedir (Ölmez, 2004).

## 2 İŞ KAZALARINDA DURUM

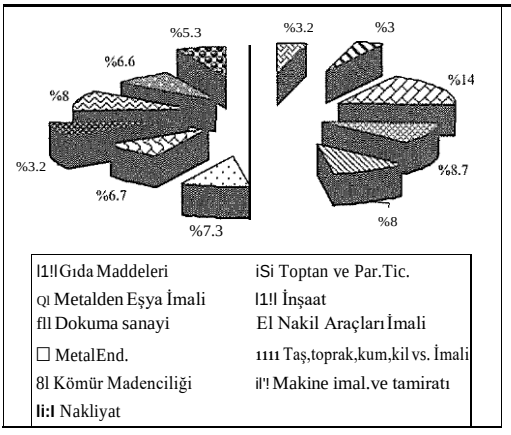
Ülkemizde gerçekleşen iş kazalarının çoğu SSK çalışanlarını kapsamakta olup kayıt dışı çalışanlar, bu verilerin içerisinde yer almamaktadır. 1998-2005 yılları arasında meydana gelen iş kazaları ve sayıları Çizelge 1 'de verilmiştir (Ölmez, 2004; Selvi, 2006; Çağlayan, 2007).

Çizelge 1 incelendiğinde, her iş gunu yaklaşık olarak 266 kişi kaza geçirmekte, 6-7 kişi iş göremez duruma düşmekte ve 3-4 kişi de hayatını kaybetmektedir.

Çizelge 1. Türkiye genelinde iş kazası sayıları.

| Yıl | Toplam Savı | Sürekli iş 2örememe | Ölüm |
|---|---|---|---|
| 1998 | 91895 | 2667 | 1252 |
| 1999 | 77955 | 3407 | 1333 |
| 2000 | 74847 | 1493 | 1173 |
| 2003 | 76668 | 1451 | 810 |
| 2004 | 83830 | 1693 | 843 |
| 2005 | 73923 | 1639 | 1096 |
| **Ortalama** | **79853** | **2058** | **1085** |

Ayrıca, iş kazalarının ülkemizde yaklaşık olarak yıllık 4 milyar YTL'lik bir ekonomik kayba neden olduğu bilinmektedir (Öcal, 2006; Torun, 2007).




Şekil 1. İş kazalarının sektöre! dağılımı.

2005 yılında ülkemizde meydana gelen ölümcül iş kazalarının sektöre! dağılımı ise Çizelge 2'de verilmiştir (Öcal, 2006).

Çizelge 2 incelendiğinde kömür madenciliği ölümcül iş kazaları bakımından inşaat ve nakliyat sektöründen sonra 3. sırayı almıştır.

1941 yılından bu yana meydana gelen maden kazalarının, 3712 kişinin hayatını kaybetmesine ve 373484 kişinin de yaralanmasına neden olduğu düşünülürse olayın ciddiyeti anlaşılabilir (Sür, 2006).

Çizelge 2. Ölümcül iş kazaları bakımından sektörlerin dağılımı.

| Faaliyet Grubu | Toplam Sayı | Sürekli iş görememe | Ölüm |
|---|---|---|---|
| Kömür madenciliği | 6011 | 282 | 82 |
| Gıda mad. sanayi | 2334 | 46 | 32 |
| Dokuma sanayi | 5869 | 72 | 29 |
| Tas, toorak vs. imal. | 4891 | 48 | 33 |
| Metal endüstrisi | 4964 | 38 | 17 |
| Metal eşya imalatı | 10283 | 124 | 25 |
| Makine imalatı | 4875 | 49 | 22 |
| Nakil araçları imal. | 5388 | 49 | 20 |
| İnşaat | 6480 | 324 | 290 |
| Toptan ve oeraken. | 2236 | 50 | 62 |
| Nakliyat | 3928 | 81 | 163 |
| Toplam | 73923 | 1639 | 1096 |

## 3 TEHLiKE ANALiZi VE RiSK TAHMİNİ İÇİN ÖNERİLEN METOTLAR

Tehlike analizi ve risk tahmini için birçok metot mevcuttur. Ayrıca, tehlike analizi ile risk tahminini birleştiren analiz teknikleri de kullanılmaktadır.

Risk analizinin yapılmasında tümdengelim ve tümevarım metotları kullanılmaktadır. Tümdengelim metodunda son olayın gerçekleştiği kabul edilmekte ve bundan sonra olaya sebep olabilecek olaylar araştırılmaktadır. Tümevarım metodunda ise bir elemanın arızalandığı kabul edilmekte ve bunu takiben yapılan analizlerin, bu arızanın sebep olabileceği olayları açığa çıkardığı düşünülmektedir. Önerilen metotlar (TSE EN 1050):

- Ön tehlike analizi,
- Böyle olsa metodu,
- Arıza ınodu ve etki analizi,
- Kumanda sistemleri için arıza benzetişiini,
- Mosar metodu,
- Arıza soy ağacı analizi ve
- Delphi tekniğidir.

## 4 İŞ KAZALARININ NEDENLERİ VE ANALİZLERİ

Kazalar incelendiğinde, "Kaza Zinciri" olarak adlandırılan beş temel nedenin arka arkaya dizilmesi sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunlardan biri olmadıkça bir sonraki oluşmadığı gibi zincir tamamlanmadıkça da kaza ve yaralanma olamamaktadır. Kaza Zinciri şu şekilde sıralanmaktadır;

- Tabiat şartları,
- Kişisel eksiklikler,
- Tehlikeli hareket-tehlikeli durum,
- Kaza ve
- Zarar veya hasardır.

Bir işletmede problemlerinin çözümünde göz önünde tutulması ve dikkate alınması gereken, iş güvenliği ile ilgili temel prensipler vardır. Bu prensipler, düzgün bir çalışına çerçevesinde yürütüldüğü takdirde, iş kazaları çok düşük seviyelerde tutulabilir.

Iş kazalarının % 88'i tehlikeli hareketlerden, % lO'u tehlikeli durumlardan ve % 2'si de kaçınılmaz ve sebebi bilinmeyen hareketlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle özellikle tehlikeli hareketler üzerinde yoğunlaşmanın gerekliliği açıktır (Ölmez, 2004).

### 4.1 Tehlikeli Hareketler

Tehlikeli hareketlerin önemlileri aşağıdaki verilmiştir:

- Emniyetsiz çalışma,
- İşin önemini kavrayamama,
- Kendine aşırı güven,
- Çalışına şartlarını dikkate almadan çalışına,
- Makine ve ekipmanları iyi tanıyamama,
- Gereksiz hızlı çalışına,
- Emniyet donanımını kullanılmaz duruma sokma,
- Alet ve makineleri tehlikeli şekilde kullanma,
- Emniyetsiz yükleme, taşıma, istifleme,
- Emniyetsiz vaziyet alma,
- Tehlikeli yerlerde çalışma,
- Şaşırma, kızgınlık, üzgünlük, telaş, şakalaşma vb.
- Kişisel koruyucuları kullanmamak.

### 4.2 Tehlikeli Durumlar

Tehlikeli durumlar ise;

- Uygun olmayan koruyucular,
- Koruyucusuz çalışma,
- Kusurlu alet, makine, teçhizat kullanma,
- Emniyetsiz yapılmış alet ve makineler,
- Yetersiz- bakımsız bina, alet ve makineler,
- Yetersiz ya da fazla aydınlatma,
- Yetersiz havalandırma,
- Emniyetsiz yöntem ve şaıilardır.

Yapılan istatistikler, kazaların % 50'sinin kolayca önlenebileceğini, % 48'inin ancak etüt ve metotlu bir çalışma ile önlenebileceğini, % 2'sinin de önlenmesinin mümkün olamayacağını göstenniştir (Ölmez, 2004).

Tehlikeli hareketlerin nedenleri olarak genellikle; işçinin yaradılış gereği sahip olduğu şahsi kusurları, bilgi ve ustalık yetersizliği, fiziki yetersizlik ile uygunsuz mekanik şaıilar sayılabilir.

## 5 İŞ KAZALARINDAN KORUNMA METOTLARI

İş kazalarından korunmak için önerilen metotların kullanımında;

**a) Mühendislik ve revizyon**

- Tehlikeli durumların bilinmesi,
- Tehlikeli durumların analizi,
- Tedbirlerin alınması,
- Tedbirlerin uygulanması ve
- Gerekli kontrollerin sağlanmasını kapsar.

**b) İkna ve teşvik**

- Eğitim ve öğretim çalışmaları,
- Çeşitli yarışmaların düzenlenmesi,
- İkaz levhaları ve afişler,
- Propaganda,
- Ödüllendirme/ özendirmeyi kapsar.

**c) Ergonomiden yararlanma**

Yapılacak işe uygun işçi temini en önemli hususlardan birisidir. Ayrıca, çalışanların biyolojik özellikleri ile yeteneklerine göre makine, tesis ve aletleri geliştirmek ergonomi biliminin gerekleri arasında yer almaktadır.

**d) Disiplin kuralları**

İş güvenliğinin sağlanmasında en son başvurulacak çozum yolu, disiplin kurallarının uygulanması olmalıdır.

İş güvenliğini sağlama metotları ile verimlilik, kalite çalışmalarında kullanılan yöntemler arasında tam bir paralellik vardır.

Güvenliliğin tam anlamıyla sağlanmış olduğu bir işletmede, üretimin artıp maliyetin düşmesi ile birlikte kazalar sonucunda yapılan ve çok büyük değerlere ulaşan ödemelerde engellenmiş olacaktır.

## 6 GLİ AÇIK OCAKLARINDA MEYDANA GELEN İŞKAZALARI

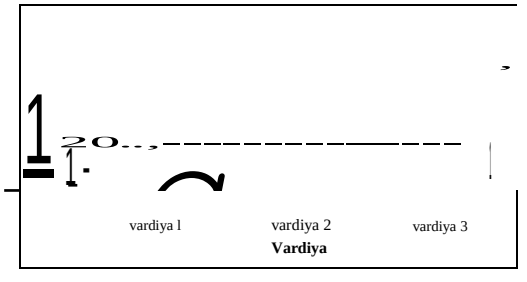
Bu çalışına kapsamında GLİ açık ocaklarında meydana gelen iş kazaları

incelenmiş ve burada meydana gelen olayların ve sebeplerin listesi aşağıda verilmiştir:

- Yağ kaçağı ve aşırı ısınma nedeniyle makinenin yanması,
- İş makinelerinin kontrolden çıkması,
- Lastik patlaması,
- Şev kayması,
- Barınandan kayma,
- Araba çarpması,
- Kamyon çarpması,
- Ayağı kayarak dozerden düşme,
- İş makinesinin kayarak dozere çarpması,
- Sulama nedeniyle kayma,
- Yağış nedeniyle kamyonun yolda kayması,
- Tamirci hasarı,
- Aracın devrilmesi,
- Operatör dikkatsizliği,
- Kamyon üzerine parça düşmesi,
- Araçtan düşme,
- Şoförün uyuması,
- Frenin tutmaması direğe çarpma,
- Kontrolden çıkma.

## 7 İŞ KAZALARININ ZAMANSAL DAĞILIMI

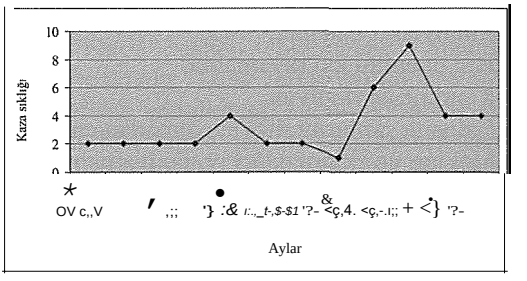
Zaman kriteri insanları fiziksel, biyolojik ve psikolojik olarak etkilemektedir. Ayrıca işyeri ve iklim koşulları kazalarda çok büyük etken olmaktadır. Şekil 2'den görüleceği gibi madencilik gibi ağır çalışma koşullarına sahip sektörlerde hava sıcaklığının kazaların oranına daha fazla etkisi vardır. Sıcaklığın en yoğun olduğu saatler ile akşam saatleri arasında % 50 fark olduğu anlaşılmaktadır.




Şekil 2. İş kazalarının vardiyalardaki değişimi.

## 8 İŞ KAZASININ AYLARA GÖRE DEĞİŞİMİ

İş kazaları en fazla Eylül- Ekim aylarında meydana gelmektedir (Şekil 3). Bunun en belirgin sebebleri olarak, bu aylarda aynı zamanda hasatta çalışan işçilerin gerektiği gibi dinlenememeleri, işe yorgun gelmeleri, dikkat eksikliği ile birlikte havaların sıcak geçmesi söylenebilir.




Şekil 3. GLİ açık ocaklarında aylara göre kaza dağılımı.

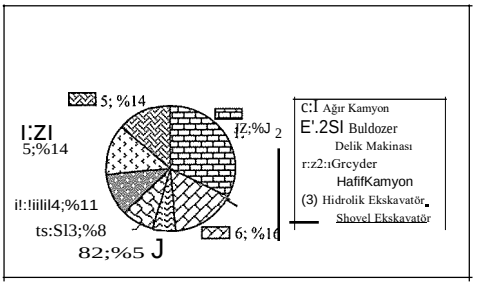
## 9 İŞ KAZALARINA ERGONOMİNİN ETKİSİ

GLİ'de çalışan makinelerde en fazla kazanın 85 ston'luk Wabco kamyonlarda olduğu ve bu araçlarda geçmiş yıllara kadar klimanın olmaması, kabinlerin çok fazla toz ve ses alması ve işçilerin 8 saatlik mesailerinin en az 7 saatini araç içinde geçirmek zorunda oluşu kazaların başlıca sebebi olarak görülmektedir.

Aynı şekilde dozerlerde de klimanın ve ses yalıtımının çok iyi olmaması, bu araçların ikinci en fazla kaza odağı olmalarının temel nedeni olarak söylenebilir. Ancak devamlı çalışmayı gerektiren araçlar olmadığı için kazalardaki oran kamyonlara göre daha düşük kalmaktadır.

2003-2006 tarihleri arasında meydana gelen olaylarda, ergonomik olarak daha iyi tasarlanmış olan yeni araçlardaki (klima, ses yalıtımı, kabin emniyeti, sıcaklık vb.) kaza sayısı 5 adet olurken, ergonomik olarak daha kötü araçlardaki kaza sayısı 36 olmuştur. Şekil 4' te verilen kamyon, dozer, delik makinesi ve greyderlerde klima mevcut

değilken hidrolik ekskavatör ve shovel ekskavatörlerde klima mevcuttur.

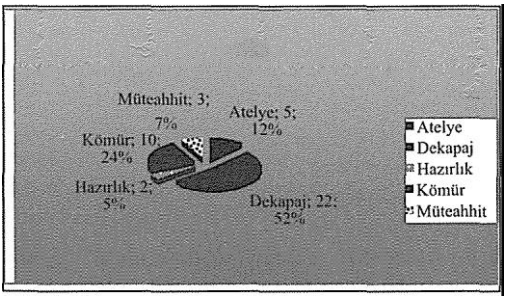



Şekil 4. Makine tiplerine göre kaza sayıları.

## 10 İŞ KAZALARININ ÇALIŞILAN BİRİME GÖRE DEĞİŞİMİ

Burada atölye, müteahhit ve açık ocaklar içerisindeki birimler kastedilmektedir. Bu birimlerde çalışan personel, daha çok yukarıda bahsedilen kamyon ve dozerlerle çalışmaktadır.

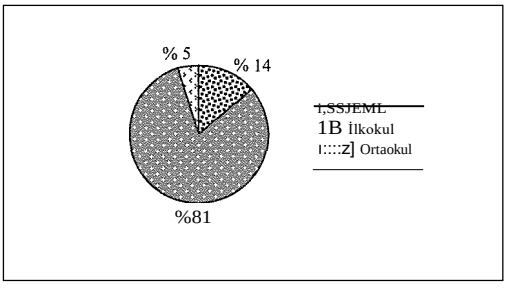
Ayrıca diğer birimlerle karşılaştırıldığında vardiyada çalışılan personel başına en fazla çalışma saati dekapaj biriminindedir. Bu değer dekapaj için 7 saat /kişi, kömür için 5 saat/kişi olurken, hazırlık ve diğer birimlerde bu oran talebe ve ihtiyaca göre belirlendiği için daha düşük olmaktadır. Dekapajdaki kaza oranı % 52 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5).




Şekil 5. İş kazalarının çalışılan birime göre dağılımı.

## 11 KAZALARIN İŞÇİ EĞİTİM DURUMLARINA GÖRE DAĞILIMI

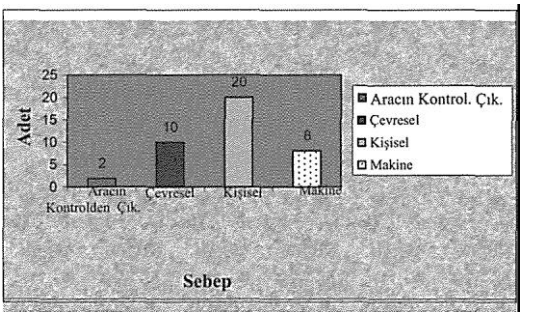
İş kazalarının daha çok kişi ve kişisel hatalardan kaynaklandığı bilinmektedir. Ayrıca, kazaların temelinde işçilerin eğitim durumlarının da önemli bir etken olduğu söylenebilir. İlkokul mezunu işçilerde kazalanma oranı % 81 olmuştur (Şekil 6).




Şekil 6. Kazaların işçieğitim durumlarına göre dağılımı.

## 12 KAZA NEDENLERİ

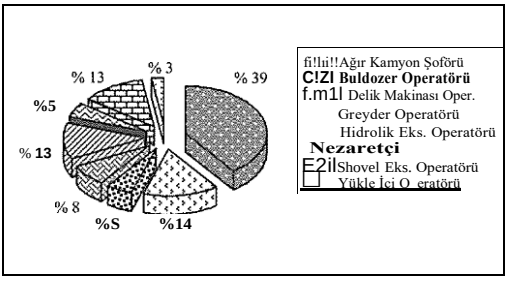
GLİ açık ocaklarındaki iş kazalarının % 50'den fazlasının kişisel hatalardan kaynaklandığı anlaşılmaktadır (Şekil 7).




Şekil 7. İş kazalarının sebepleri.

## 13 İŞ. ASININ UNVANLARA GÖRE DEGIŞIMI

Şantiyelerde en fazla çalışan personel ağır kamyon şoförleri olduğu için en fazla vaka bu iş grubunda meydana gelmektedir (Şekil 8). Ayrıca diğer kazalarda da bunların dolaylı etkisi olmaktadır. Özellikle mevsim geçişlerinde ve kış aylarında bu yoğunluk artmakta ve bunun başlıca nedenleri ise yol, zemin şartları ve görüş mesafesi olarak sıralanabilir.




Şekil 8. İş kollarına göre kaza dağılımı.

## 14. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bir işletmede kazaların önlenebilmesi ya da azaltılabilmesi, o işletmede meydana gelen iş kazalarının analiz edilmesi ile mümkün olabilir. GLİ'de meydana gelen iş kazalarının önlenmesi veya azaltılması ve işletmeye yapılacak öneriler için, GLİ'de tutulmuş olan iş kazası tutanakları incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, iş kazalarının genellikle gündüz vardiyasında ($08.^{00}$-$16.^{00}$) ve Eylül-Ekim aylarında meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca kazaların büyük bir kısmının kişisel hatalardan kaynaklandığı ve en çok kazalanmanın da ağır kamyon şoförlerince yaşandığı tespit edilmiştir.

Kişiden ve makineden kaynaklanan sebepler ile çevresel faktörlerin iyileştirilmesi, verimli bir hizmet içi eğitim programı, denetleme ve bakım-yenileme işlerinin zamanında yapılmasıyla, iş kazalarının büyük bir kısmının önlenebileceği söylenebilir.

## KAYNAKLAR

Çağlayan, C., 2007; 'İş kazaları sanayide 20 milyon gün kaybı yarattı', 14.02.2007, Referans Gazetesi

MEGEP, 2005; 'İşçi sağlığı ve iş güvenliği', Ankara, 68 s.

Öcal, E., 2006; 'İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güven sempozyumu', Ç.Ü., 14.12.2006, Adana

Ölmez, F., 'İş Sağlığı ve İş Güvenliğinin Temel Prensipleri', Seminer, 10-11 Eylül 2004

Selvi, C., 2006; 'Maden ocaklarındaki kazaların-iş kazalarının Türkiye'ye bedeli çok ağır oluyor', TBMM Genel Kurul tutanağı, 22. Dönem, +. Yasama Yılı, 116. Birleşim, 15.06.2006

Sür, O., 2006; 'Türkiye'de maden kazaları', 16.06.2006, www.turkei.net

Torun, M., 2007; 'İş sağlığı ve güvenliği sempozyumu açılış konuşması', 19.03.2007, www.maden.org.tr

Türk Standartları Enstitüsü (TSE EN 1050), Makinelerde Güvenlik - Risk Değerlendirmesi Prensipleri

Yeşildal, N., 2005; 'Sağlık hizmetlerinde iş kazaları ve şiddetin değerlendirilmesi', TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 4(5), s 280-302

# *Diğer Konular*
*(Miscellaneous)*

# Endüstriyel Çaplı Kömür Stoklarında Kendiliğinden Yanmaya Tane Boyutunun Etkisi

# *Effect of Grain Size on Spontaneous Combustion at Large Scale Coal Stockpiles*

A.H. Özdeniz
*Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA*

**ÖZET** Kömür ocaklarında satılamayan üretim fazlası kömürler ve stoklu çalışmak zorunda olan Termik santral, Çimento fabrikaları gibi işletmeler, kullanacağı kömürleri zorunlu olarak stok sahalarında bekletmektedirler. Bu kömürlerin uzun süreli beklemesi durumunda, kömür stoklarında kendiliğinden yanma meydana gelmektedir. Bu yüzden stokta bekletilen kömürlerin kendiliğinden yanmasına sebep olmadan, gerekli önlemlerin alınması ekonomik ve çevresel yönlerden çok önemlidir. Bu çalışmada, Tunçbilek Termik Santralı kömür stok sahasında, Tunçbilek Garp Linyitleri işletmesi kömür stok sahasında ve Konya'da bulunan bir işletmenin kömür stok sahasında yapılmış olan endüstriyel boyutlu üç adet kömür yığınının, atmosfer şartları altında davranışları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yığınlar üzerinde iki katman halinde yerleştirilen ısıl detektörler aracılığıyla her saatte bir sıcaklık değerleri alınmıştır. Ayrıca kömür yığınları üzerinde etkili olan parametrelerden hava sıcaklığı, havanın nemi, atmosfer basıncı, rüzgar hızı ve yönü değerleri ölçülerek, kömür tane boyutunun etkisi incelenmiştir.

**ABSTRACT** Excess amount of coals produced more than demand has to be deposited in stockyards. During this period, coals lose both their economical values and cause environmental problems. It is often that spontaneous combustion event of coals can take place where convenient conditions are available. The behaviors of three coal stockpiles were compared with each other under atmospheric conditions which were built in different locations namely in the coal stock area of Tunçbilek Therınal Power Plant, in the coal stock area of Westem Lignite Corporation and in the coal stock area of a company in Konya. Moreover, the effects of coal size were investigated by continuously measuring air temperature, air humidity, atmospheric pressure, velocity and direction of wind that are some of the parameters affecting the stockpile.

## 1.GİRİŞ

Tunçbilek kömürleri üzerinde laboratuar ölçekli birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, endüstriyel boyutlu stoklar üzerinde ayrıntılı çalışma yapılmamıştır (Akgün, 1994). Yapılan laboratuar ölçekli çalışmalar, sınırlı sayıdaki parametı·elerin olay üzerindeki etkisi, yalnızca deney şartlarında geçerli olmak üzere incelenebilmektedir. Bu nedenle laboratuar ölçekli deneysel çalışmalar ile kömürlerin kendiliğinden yanma olayının bir bütün olarak incelenmesi güç olduğu gibi, elde edilen sonuçların pratiğe uyarlanması da oldukça zor olmaktadır. Kendiliğinden yanma olayı üzerinde etkin olan parametrelerin büyük çoğunluğunu veya tümünü kapsayan, özellikle kömürün kendiliğinden yanması esnasındaki genel davranışının belirlenmesi amacına yönelik, büyük ölçekli (endüstriyel çaplı) çalışmaların önemi büyüktür. Ancak bu tür çalışmaların çok uzun süre gerektirmesi ve pahalı olması nedeniyle

sayıları oldukça kısıtlıdır (Ozdeniz, 2003; Sensöğüt ve ark., 2005; Özdeniz ve ark., 2006).

Literatürde çok az olan bu çalışmaya benzer örnekler, Fierro ve diğ. (Fierro ve ark., 1999; Fierro ve ark., 2001) tarafından yapılan detaylı araştırmalardır. İspanya'daki Mezcla tipi kömürlerden 5 adet 2000 ve 3000 ton civarında yığın oluşturmuşlardır. Yığınların iç sıcaklığını kaydetmek ve gaz örneklerini toplamak için termokupl ve örnek alıcılı 0,6 m, 1,5 m ve 3 m boyunda paslanmaz çelikten sondalar yığının belirli bölgelerine yerleştirilmiştir. Bu sondalar yardımıyla kendiliğinden yanma işleminin başlangıç ve gelişimi gözlenmiştir.

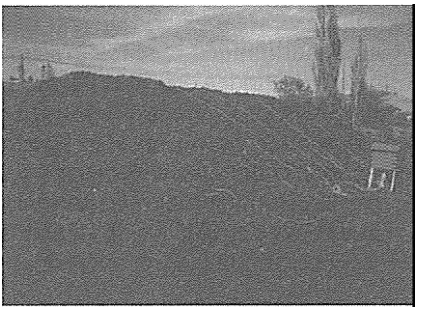
Yine Fierro ve diğ. (Fierro ve ark., 1999), İspanya' daki Endesa kömürlerinden 3 ayrı stokta, 2000 ve 3000 ton civarındaki kömürler üzerinde deneysel ve laboratuar araştırmalar yapmışlardır. Yığınlarda oksidasyonun durumu, aıian sıcaklık değerleri ve konumları, kızılötesi termografı ile takip edilmiştir. Deneyler sonunda, kendiliğinden ısınmaya bağlı sıcaklık değişimlerini hesaplamış ve yeni bir kalorifik kayıp katsayısı geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, stok sahalarındaki endüstriyel boyutlu üç adet kömür yığınının doğal hava şartlarında bekleme sonucu oluşan davranışları incelenmiştir.

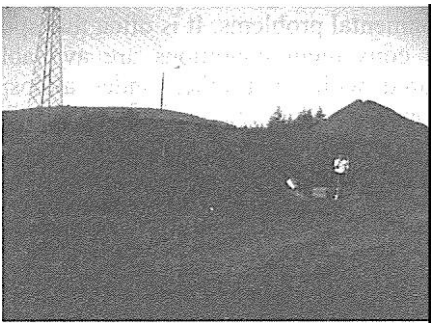
## 2. DENEY SİSTEMİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Deneyler farklı tane boyutundaki endüstriyel çaplı üç kömür yığını üzerinde yapılmıştır. Birinci kömür yığını, Garp Linyitleri İşletmesi'nin (GLİ) Tunçbilek'teki kömür stok sahasında oluşturulmuştur. Oluşturulan kömür yığını 18/50 olarak adlandırılan, 18 mm ile 50 mm arasındaki zenginleştirilmiş kömürlerdir. İkinci kömür yığını, GLİ Tunçbilek kömür işletmesinin açıkoçak ve yeraltı kömür sahalarından getirilerek, Tunçbilek Termik santralının kömür alma ünitesinde çeşitli işlemler vasıtasıyla 30 mm altına düşürülmüş kömürler ile yapılmıştır. Yapılan bu yığın Tunçbilek Termik Santralı kömür stok sahasında oluşturul-muştur. Üçüncü oluşturulan kömür yığını ise, GLİ Tunçbilek kömür işletmesinde zenginleştirilmiş, 10/18 olarak adlandırılan 1O mm ile 18 mm arasındaki kömürler ile Konya'da çok fazla kömür kullanan bir işletmenin kömür stok sahasında yapılmıştır.

Yapılan üç adet endüstriyel çaplı kömür yığınlarının boyutları aynıdır. Kömür yığınlarının uzunluğu 1O m, eni 5 m, yüksekliği 3 m ve kütlesi yaklaşık 120 ton'dur. Üçgen prizma şeklinde oluşturulan kömür yığınlarının genel görünüşleri Şekil 1'de verilmiştir.



a) 1. yığın



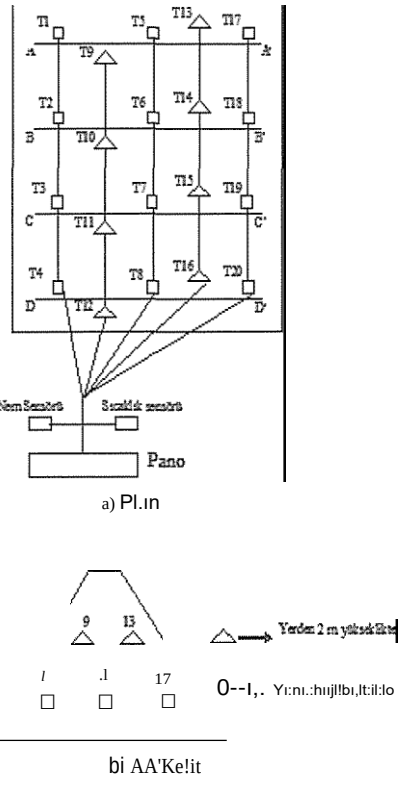
b) 2. yığın

c) 3. yığın

Şekil 1. Kömür yığınlarının genel görünüşü.

Yığınların içerisinde önceden belirlenmiş noktalara, sıcaklık değerlerini hassas şekilde algılayabilecek, ısı sensörleri (Ptl 00) yerleştirilmiştir. Ayrıca yığın içerisinden sıcaklık ölçümleri alınırken, yığın üzerinde etkili olan parametrelerden hava sıcaklığı, hava nemi, atmosfer basıncı, rüzgar hızı ve yönü değerleri de devamlı olarak ölçülmüştür.

Birinci ve ikinci yığınlar içerisinde, iki katman halinde toplam 40 adet ısı sensörü yerleştirilmiştir. Bunlara ait şematik görünüş Şekil 2' de verilmiştir. 3.yığında ise yine iki katman halinde toplam 17 adet ısı sensörü yerleştirilmiştir. Bu yığına ait şematik görünüş ise Şekil 3'de verilmiştir.

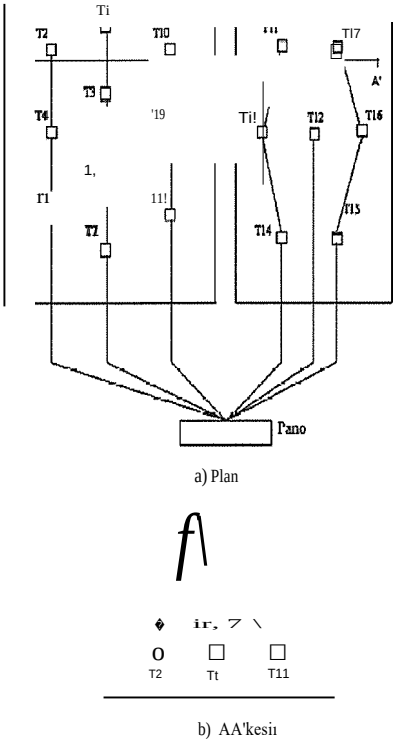



a) Pl.ın




bi AA'Ke!it

Şekil 2. Birinci ve ikinci yığınlara ait ısı sensörlerinin şematik gösterimi

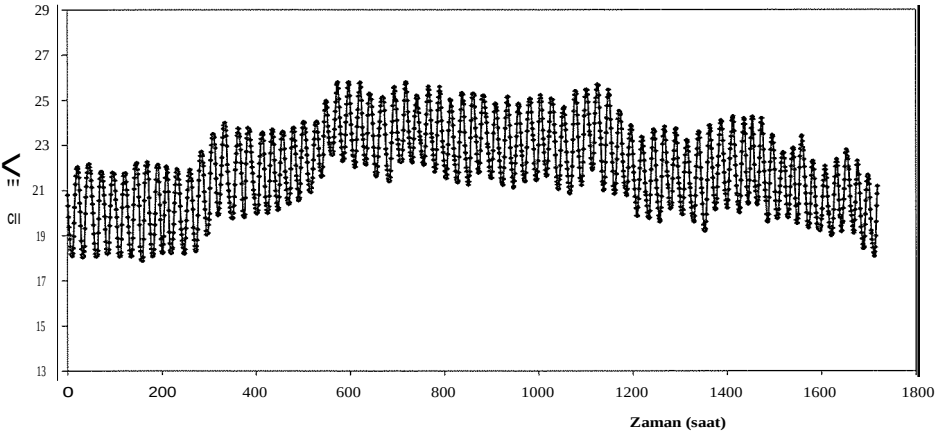



Şekil 3. Üçüncü yığına ait ısı sensörlerinin şematik gösterimi.

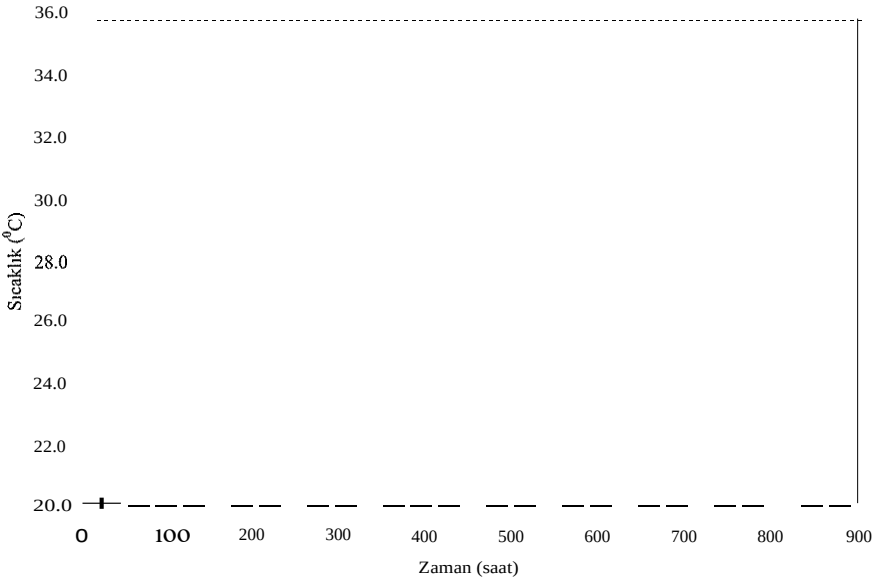
## *3.* ALINAN VERiLERiN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kendiliğinden yanmanın tespitine yönelik olarak yapılan yığınlardan alınan veriler, saat başı ölçülmüştür. Ölçülen bu ham veriler "Hareketli Ortalama Filtre Yöntemi (Moving Average Filter) (Canan ve ark., 1998) ile Excel programında filtrelenmiştir. Bu filtrelemenin amacı, elektrik şebekesindeki gerilim dalgalanmalarının ve istasyon yakınında çalışan büyük makinelerin (greyder, dozer vb.) sistem üzerindeki etkilerinin ortadan kaldırılmasıdır.

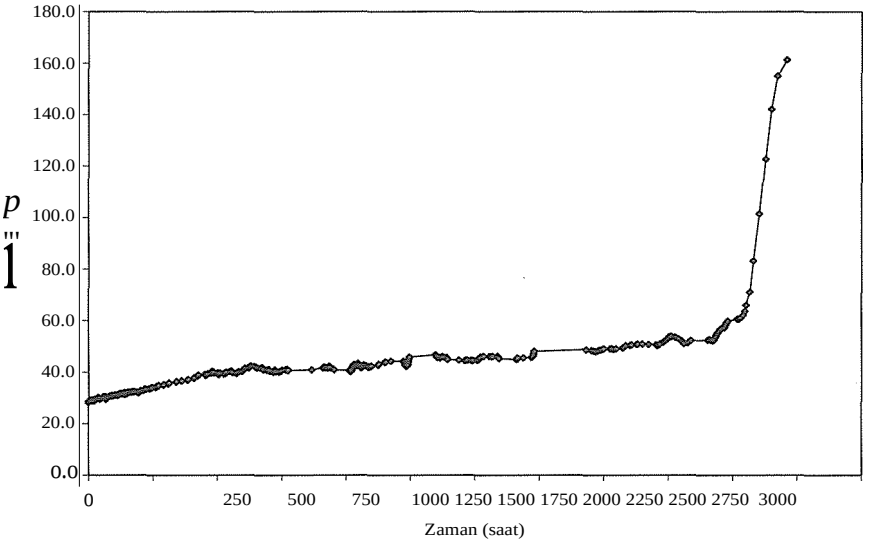
Birinci ve ikinci yığında seçilen T1'e ait zaman-sıcaklık ölçüm grafikleri Şekil 4, 5'de, üçüncü yığında seçilen T17' e ait zaman-sıcaklık grafikleri Şekil 6'da verilmiştir.




Şekil 4. Birinci yığında T1 istasyon noktasına ait zaman-sıcaklık grafiği (Özdeniz, 2003)




Şekil 5. İkinci yığında T1 istasyon noktasına ait zaman-sıcaklık grafiği




Şekil 6. Üçüncü yığında T17 istasyon noktasına ait zaman-sıcaklık grafiği

## 4. ALINAN SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Birinci kömür yığınına yerleştirilen 20 adet sensörün 1 saatlik seviyelerde sıcaklık ölçümü, yaklaşık 1700_ saat boyunca yaz aylarında yapılmıştır (Özdeniz, 2003). Bu veriler yardı-mıyla 20 adet istasyon noktasına ait zaman-sıcaklık grafikleri çıkarılmıştır. Deneyler süresince Tl 'e ait istasyon noktasında alınan yüksek değer, 600. saatlerdeki 26 °C'lerdir. Bütün istasyon noktalarında kendiliğinden yanma oluşturacak sıcaklık değerlerine bu sürede ul3:şamayarak deneyler sona erdirilmiştir.

ikinci yığına yerleştirilen 20 adet sensörün saat başlarında alınan sıcaklık değerleri, 692 saat boyunca ağustos ayında yapılmıştır.
Elde edilen bu veriler yardımıyla 20 adet istasyon noktasının zaman-sıcaklık grafikleri çıkarılmıştır. Bu periyot zarfında yığından alınan değerler içerisinde, T1 en yüksek değeri olan 30,6 °C ye 97. saatte ulaştığı görülmüştür. Bu yığında da bütün istasyon noktalarında yanma oluşturacak değerler sap_!anmayarak deneyler sona erdirilmiştir.

Üçüncü yığın da ise kendilığinden yanmanın tespitine yönelik olarak, 17 farklı noktada ölçümler alınmıştır. Yığında yapılan ölçümler nisan ayı ortasından başlayarak, ağustos ayı ortasında sona erdirilmek üzere toplam 2710 saattir. Yığın iç sıcaklıkları bir aylık sürede 50 °C ye ulaşırken, bu saatlerden sonra yataya yaklaşarak 2500. saatlerde kritik sıcaklık olan 70 °C değerine ulaşmıştır. Bu değerden sonra yığın içinde kendiliğinden yanma meydana gelerek sıcaklık değerleri hızla artmıştır. Kömürün oksidasyonunun kritik sıcaklık değerine kadar çok yavaş seyrettiği, bu değerden sonra hızlı bir seyir aldığı Chamberlain ve ark. (1976) çalışmasında da görülmektedir. 700. ile 2500. saatler arası hava sıcaklığının yüksek ve havadaki nem değerlerinin düşük seyretmesi nedeniyle bu değerlerin, yığın üzerinde etkili olduğu, üst katmandaki bütün istasyon noktalarında kendiliğinden yanmanın meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu aşamada kullanılan donanımlara bir zarar gelmemesi için çahşma sona erdirilmiştir.

Ayrıca her üç yığın üzerinde etkili olan parametrelerden hava sıcaklığı, havanın nemi, atmosfer basıncı, rüzgar hızı ve rüzgar yönü değerleri devamlı olarak ölçülmüştür. Oluşturulan yığınlara ait kısa kömür analizi Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan kömürlere ait kısa kömür analizi

| Yığın adı | 18/50 | 0/30 | 10/18 |
|---|---|---|---|
| Nem(%) | 12,80 | 12.93 | 17.31 |
| Kül (%) | 15,69 | 52.55 | 17.21 |
| Kalorifik değer (kcal/kg) | 5124 | 2346 | 5102 |
| Uçucu madde (%) | 37.10 | 20.33 | 36.10 |
| Yanıcı kükürt (%) | 1.57 | 1.98 | 1.59 |

## 5.SONUÇLAR

Tunçbilek kömürleri üzerinde endüstriyel boyutlu yapılan kendiliğinden yanma çalışmaların sayısı çok azdır. Bu nedenle çalışma, Tunçbilek kömürleri üzerinde üç farklı tane boyutunda, fakat stok boyutları aynı olan üç adet yığın oluşturularak yapılmıştır.

Birinci yığında, ölçüm süresince alınan değerlerde sıcaklık artışları meydana gelmemiştir. Bunun da en önemli nedeni iri boyutta (18-50 mm) oluşturulmuş yığı da eı7dana gelen sıcaklık artışları yığın içinde bınkmeyerek, dışarıya kaçmaktadır. 18/50 ile

10/18 tane boyutundaki kömürler, birbirine yakın kalorifik değerlerde olmasına rağmen, 18/50 deki yığında ısı birikimi gözlenmemiştir. yapılan deney süresince yeterli ısı ortamda birikmediği için, istasyon noktalarının hiç birinde kendiliğinden yanma görülmemiştir.

İkinci yığında, istasyon noktala-rının yığın içi sıcaklıklarının, hava sıcaklığı değeriyle birebir yakınlık gösterdiği görülmüştür. Buradan da dış etkenlerden yığının etkilendiği açıkça görülmektedir. Bundan dolayı yığın içerisinde ısı birikimi oluşmadığından sensörlerin hiçbirinde kendiliğinden yanma olayı görülmemiştir. Tane boyutunun iri olması ve kalorifik değerlerinin düşük kömürler olması nedeniyle, bu süre zarfında alınan değerlerde herhangi bir yanma gözlenmemiştir.

Üçüncü yığında ise, ince tane boyutlarında kömür yığını içerisinde üst katmanda bulunan T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17 ve alt tabakada bulunan T5 istasyon noktalarının hepsinde, kritik sıcaklık değerini geçerek, kendiliğinden yanma oluştuğu tespit edilmiştir. Yine alt katmanda bulunan T2, T3, T4, T6, T8, T9 ve Tl0 nolu sensörlerin kritik sıcaklık bölgesine çok yakın seyrettiği, eğer deneyler nihayete erdirilmese idi, onların hepsinde de tutuşmanın olacağı gözlenebilecek idi. Alt katmanda bulunan Tl ve T7 nolu sensörde kritik sıcaklık değerlerine yaklaşmadığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, endüstriyel çaplı yığınlarda kendiliğinden yanmaya kömür tane boyutunun etkisinin rolü açıkça görülmektedir.

## KAYNAKLAR


Akgün, F., 1994, Kömürlerin kendiliğinden yanmasının teorik ve deneysel incelenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri, Doktora Tezi, İstanbul, s 1-142.

Özdeniz, A.E., 2003, Kömür Stoklarındaki Kendiliğinden Yanma Olayının İncelenmesi-Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Örneği, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s 185, Konya.

Sensogut C., and Ozdeniz A.H, Statistical modelling of stockpile behaviour under different atmospheric conditions - Westem Lignite Corporation (WLC) case, FUEL 84, 2005, p 1858-1863.

Ozdeniz, A.H., and Sensogut, C., Computer controlled measurement of spontaneous combustion in coal stockpiles of the Westem Lignite Corporation, Turkey, Joumal of University of Science and Technology, Beijing, Vol 13, No 2, April, 2006, p 97-101.

Fierro V., Miranda J.L., Romero C., Andres J.M., Arriaga A., Schmal D. and Visser G.H., Prevention of Spontaneous Combustion in Coal Stockpiles. Experimental Results in Coal Storage Yard, Fuel, vol. 59, 1999, pp 23-24.

Fierro V., Miranda J.L., Romero C., Andres J.M., Arriaga A. and Schmal D., Model Predictions and Experimental Results on Self-Heating Prevention of Stockpiled Coals, Fuel, vol. 80, 2001, pp 125-134.

Fierro V., Miranda J.L., Romero C., Andres J.M., Pierrot A., Gomez-Landesa E., Arriaga A. and Schmal D., Use of Infrared Thermography for the Evaluation of Heat Losess During Coal Storaje, Fuel, Vol. 60, 1999, pp 213-229.

Canan, S., Ozbay, Y. and Karlik, B., A method for removing low varying frequency trend from ECG signal, [ in] Proceeding oh the 2nd Intemational Conference Biomedical Engineering Days, 1998, p.161.

Chamberlain E.A., Barrass, G., and Thirlaway, J.T., Gases Evolved and Possible Reactions During Low Temperature Oxidation of Coal, Fuel, July,1976, pp 217-222.

# Eskişehir-Mihalıççık-Y11;nusemre (Bçlektepe) Lateritik Nikel Cevherinin Su Banyosu Içinde $H_2SO_4$ Ile Atmosferik Liçi

# *Atmospheric Leaching of Eskişehir-Mihalzccık-Yunusemre (Belektepe) Lateritic Ore with $H_2SO_4$ Jn Water Bath*

T. Ağaçayak, S. Aydoğan &Veysel Zedef

*Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya*

**ÖZET** Bu çalışmada, lateritik nikel cevherinin sıcaklık kontrollü su banyosu içerisinde Sülfürik asit ile atmosferik liçi araştırılmıştır. Liç çalışmaları için kullanılan lateritik cevher Belektepe yatağından elde edilmiştir. Su banyosu içerisine liç reaktörü olarak 1000 ml bir cam kap yerleştirilmiştir. Liç düzeneğinin üzeri plastik bir aparat ile kapatılmıştır. Karıştırma işlemi Heidolph marka RZR 2021 model mekanik karıştırıcı ile yapılmıştır. Nikel çözünmesinde, karıştırma hızının (100-600 dev./dak.), asit konsantrasyonunun (0,l-2M) ve sıcaklığın (40-96°C) etkisi çalışılmıştır. Liç çözeltisi içerisindeki Ni konsantrasyonları ise SensAA marka atomik absorpsiyon spektrofotometre ile belirlenmiştir.

**ABSTRACT** in this study, atmospheric leaching ofNickel Laterite ore with sulphuric acid in a temperature-controlled water batlı was investigated. The nickel laterite ores used for leaching studies were collected from Belek laterite deposits. A glass vessel of 1000 ml was used as a leaching reactor and put in temperature-controlled water batlı. It was closed by a rubber cover. Stirring process was carried out by Heidolph mark RZR 2021 model mechanic stirrer equipped with propeller. The effect of degree of agitation (100-600 rpm), acid concentrate (0.1-2 **M),** temperature (40-96 °C), on nickel extraction were studied. Ni in leaching solution was determined by Sens-AA model atomic absorbsion spectrophotometer.

## 1 GİRİŞ

1751'de İsveç'te Cronstedt tarafından keşfedilmiştir. İlkçağ'dan beri başka madenlerle alaşım halinde kullanılan nikel XIX. yy' dan itibaren birçok ülkede, bakır ve nikel alaşımından para yapımında kullanılmıştır. İlk metalürjik tesis, 1824 yılında Avusturya' da Gersdorff tarafından kurulmuştur. Endüstrinin gelişmesi ile nikelin diğer metaller arasında yer alması 1865 yılında Yeni Kaledonya'daki nikel yataklarının işletilmesiyle başlamış ve demirden sonra en fazla kullanılan metal haline gelmiştir (Caneb, 1970).

Nikel elementi yerkabuğundaki belli başlı elementlerden birisi olup; yüz yıla yakın bir süredir endüstride kullanılmaktadır. Doğada çoğunlukla demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (lateritik) şeklinde bulunur (DPT, 2001).

Metalik madenlerimizin üretiminin zahmetli olmasından ve gelişmiş bir prosesin ortaya konulmasının zaman almasından dolayı, lateritik demir cevherlerinin sadece açık işletme ile üretilip, hiçbir işleme tabii tutulmadan çimento sanayisine satılması göz önündedir. Bu nedenle, nikel fiyatlarının yüksek olması ve yurt dışından ithal edilmesi nikelin önemini bir kat daha artırmaktadır.

Nikel elementinin zenginleştirmesi, fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal yollarla yapılmakta olup, zenginleştirme işlemleri içinde, manyatik ayırıcılar, elektrostatik ayırıcılar, gravite ayırıcıları (fiziksel zenginleştirme), flotasyon hücreleri (fizikokimyasal zenginleştirme), liçing

düzenekleri ve otoklavlar (kimyasal zenginleştirme) kullanılmaktadır.

Literatürde genellikle, yüksek basınç ve sıcaklık altında yapılan deneylerde titanyum otoklavlan kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, su banyosu içerisine hazırlanmış olan liç düzeneğinin atmosferik şaiilar altında farklı parametreler denenerek nikelin daha verimli olarak kazanılabileceği ortaya konulmuştur. Bütün bu nedenler göz önünde bulundurularak Ülkemiz Madenciliği ve ekonomisi açısından yeni bir nikel yatağının işletilebilirliği söz konusu olduğu için bu çalışmanın önemi daha da göz önüne çıkmaktadır.

## 2 MATERYAL VE METOT

### 2.1 Materyal

Bu çalışmada, lateritik nikel cevher örnekleri Eskişehir-Mihalıççık-Yunusemre yöresi Belektepe mevkiinden elde edilmiştir. Laboratuara getirilen yaklaşık 80 kg'lık cevher numunesi Denver marka · çeneli kırıcıda 1O mm'nin altına indirilmiştir. Numune azaltma yöntemleri ile yaklaşık 2 kg'a indirilen numune öğütülmüştür. -106 µm elekten geçirilerek element analizi ve deneyler için hazır hale getirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

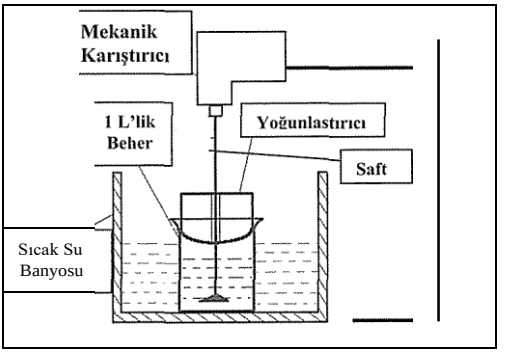
Çizelge 1. Lateritik Nikel Cevherinin Element Analizi(%).

| Tane Boyutu (µm) | Element(%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Ni | Co | Mg | S |
| -106 | 23,14 | 1,9 | 0,03 | 1,5 | 0,016 |

### 2.2 Metot

Liç reaktörü olarak 1 litre cam beher kullanılmış ve sıcaklık kontrolü olan su banyosu içensine yerleştirilmiştir. Liç düzeneğinin ağzı buharlaşmayı engellemesi için plastik bir aparat ile kapatılmıştır. Liç reaktörü içerisindeki çözeltinin sıcaklığı 40-960C ±2 hassasiyet ile su banyosu içerisindeki termostat yardımıyla sağlanmıştır. Karıştırma üzeri teflon kaplı Heidolph marka RZR 2021 model mekanik karıştırıcı ile yapılmıştır ( Şek. 1).

Deneyler için -106 µm tane boyutu kullanılmış ve katı/sıvı oranı 10g/500ml olarak ayarlanmıştır. Nikel çözünmesinde, karıştırma hızının (100-600 dev./dak.), asit konsantrasyonunun (O,1-2 M) ve sıcaklığın (40-96°C) etkisi çalışılmıştır. Liç çözeltisi içerisindeki Ni konsantrasyonları ise SensAA marka atomik absorpsiyon spektrofotometre ile belirlenmiştir.




Şekil 1. Deney düzneği.

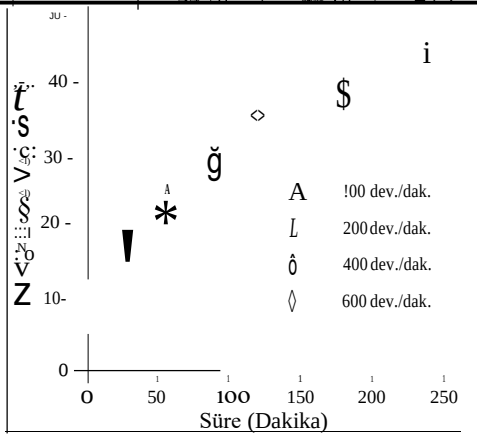
## 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1 Karıştırma Hızının Ni Çözünmesine Etkisi

Karıştırma hızının etkisini araştırınak için yapılan deneylerde, 0,5 M $H_2SO_4$ derişiminde 60 °C sıcaklığında ve katı/sıvı oranı 10g/500ml olarak ayarlanmış, -106 µm tane boyutunda nikel içerikli lateritik demir cevheri kullanılmıştır. Deneyler 100, 200, 400 ve 600 dev/dak. karıştnma hızlarında ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. $H_2SO_4$ Ortamında Karıştırına Hızının Ni Çözünmesine Etkisi.

| Süre (dk.) | 100 (dev./dk.) | Ni Çözünme Verimi (%) 200 (dev./dk.) | 400 (dev./dk.) | 600 (dev./dk.) |
|---|---|---|---|---|
| 30 | 18,42 | 19,55 | 15,68 | 17,01 |
| 60 | 25,45 | 23,31 | 21,31 | 22,68 |
| 90 | 30,63 | 28,20 | 29,30 | 27,32 |
| 120 | 34,12 | 33,25 | 35,70 | 32,11 |
| 180 | 40,27 | 38,23 | 37,24 | 39,25 |
| 240 | A Q<; | 44 28 | 44 18 | 45 33 |




Şekil 2. $H_2SO_4$ Ortaminda Karıştırma Hızının Ni Çözünmesine Etkisi.

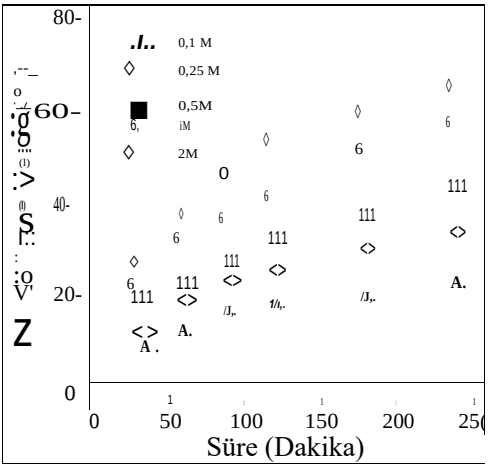
Çizelge 2 ve Şekil 2' de görüldüğü gibi karıştırına hızının Ni çözünürlülüğüne etkisinin olmadığı görülmüştür. Diğer parametrelerin etkisinin incelenmesinde 200 dev./dak. karıştırma hızı seçilmiştir.

### 3.2 $H_2S0_4$ Derişiminin Ni Çözünmesine Etkisi

$H_2SO_4$ derişimi etkisini araştırınak için yapılan deneylerde, 60 ◦ C sıcaklığında, 200 dev/dak. karıştırma hızında ve katı/sıvı oranı l 0g/500ml olarak ayarlanmış, -106 µm tane boyutunda nikel içerikli lateritik demir cevheri kullanılmıştır. Deneyler O.1, 0.25, 0.5, 1 ve 2 M derişimlerinde ve 30, 60, 90, 120,180 ve 240 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3 ve Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. $H_2SO_4$ Derişiminin Ni Çözünmesine Etkisi.

| sure (<lak.) | 0l M | 0.25M | 0.5M | 1 M | 2 M |
|---|---|---|---|---|---|
| | Nı1..;ozunme verımı lo/oJ | | | | |
| 30 | 10,70 | 13,68 | 19,55 | 3,13 | 28,15 |
| 60 | 38 | 19,17 | 23,31 | 3,56 | 38,60 |
| 90 | 16,54 | 24,13 | 28,20 | 7,83 | 47,17 |
| 120 | 19,13 | 26,64 | 33,25 | 2,20 | 53,91 |
| 180 | 20,57 | 31,10 | 38,23 | 2,19 | 60,05 |
| 240 | 23,80 | 34,67 | 44,28 | 7,88 | 65,27 |




Şekil 3. $H_2SO_4$ Derişiminin Ni Çözünmesine Etkisi.

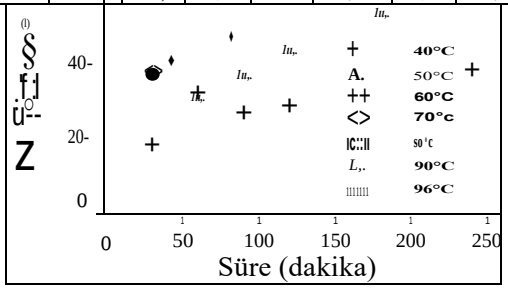
Çizelge 3 ve Şekil 3'de görüldüğü gibi asit derişimi arttıkça Nikel çözünme hı ı artmaktadır. Diğer parametreleın belirlenmesi için sülfürik asit derişiminin 2 M olarak seçilmiştir.

### 3.3 Sıcaklığın Ni Çözünmesine Etkisi

Sıcaklığın etkisini araştırmak için yapılan deneylerde, 2 M $H_2SO4$ derişiminde 200 dev./dak. Karıştırma hızında ve katı/sıvı oranı 10g/500ml olarak ayarlanmış, -106 µm tane boyutunda nikel içerikli lateritik demir cevheri kullanılmıştır. Deneyler 40, 50, 60, 70, 80, 90, 96 °C sıcaklık değerlerinde ve 30, 60, 90, 120, 180 ve 240 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4 ve Şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Sıcaklığın Ni Çözünmesine Etkisi.

| Süre | Ni Çözünme Verimi(%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (dık.) | 141tn.: | 50°C | 60°C | 70• | 80°C 111 | 90°c | 1ır,oc |
| 3( | 18,34 | 28,33 | lillı8,15" | 35,!¼ | 56,92 | 76,50 | (>2,21 |
| 6( | 22,83 | 31,36 | L'sll,60L | 62.ıı | 71,05 ʌ | 87,88 | 95,6 |
| 9c e" | :z&(h- | 3 1 | 47,17. | 703.ll | 76,98 | 89,95 | 96,8 |
| 1 0";;;: | 28,58 | 43,19 | lı-i>3,9l | 77,44 | 84,78 | 92,57 | 99,5 |
| ırn-= | 28,78 | 53,23 | 60,05 | 84,23 | 91,66 | 100,00 | +oo,ı o |
| ı,o...v | - | 51:1)1 | 65,27 | 93,34 | ıoo,oo<ı | 100,00 | .ıoo,ı o |




Şekil 4. Sıcaklığın Ni Çözünmesine Etkisi.

Çizelge 4 ve Şekil 4' de görüldüğü gibi sıcaklık artıkça nikel çözünme hızı artmaktadır.

## **4** SONUÇLAR

Bu çalışmada, ultramafık kayaçlar içerisinde oluşan Eskişehir-Mihalıççık-Yunusemre (Belektepe) lateritik nikel cevherinin su banyosu içinde $H_2SO_4$ ile atmosferik liçi çalışılmıştır. Karıştırma hızının Ni çözünmesi işleminde etkili bir parametere olmadığı gözlenmiştir. Farklı asit derişimlerinde asit derişiminin artmasıyla birlikte Ni çözünürlüğüde artmıştır. Benzer şekilde sıcaklığında Ni çözünürlüğü üzerinde etkin bir parametere olduğu gözlenmiştir. Kapsamlı bir projenin ön çalışması niteliğinde olan bu bölüm projenin ilerleyen aşamalarında çalışmacılara bir ön fikir sağlayacaktır.

**TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Arş.Gör.Tevfik AĞAÇAYAK'ın doktora tez ön çalışmasından üretilmiştir. Yazarlar, Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne maddi desteklerinden dolayı teşekkür eder (061001021 nolu Proje).

**KAYNAKLAR**

Anonim. 2001, "Madencilik özel ihtisas Komisyonu, metal madenler alt komisyonu diğer metal madenler çalışma grubu raporu" *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı,* DPT, Ankara.

Caneb G, 1970, Nikel, Madencilik, *TMMOB Maden Müh. Od. Derg.* Cilt:9 Sayı:5, Ankara.

# Seyitömer linyitleri yıkama tesisi: Bir başarı öyküsü
# *Seyitomer washery plant: a success story*

A. Uçar
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

A. Olgun, Z, Çağrıcı & H. Daşcı
*Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü, Kütahya*

**ÖZET:** TKİ. Kurumu SLİ (Seyitömer Linyit İşletmeleri) bölgesi linyitleri özellik bakımından yapısal farklılıklar göstermektedir. Damar stampının kalitesi (ara kesmeler ve bünye külü nedeni ile) tavandan tabana doğru azalmaktadır. SLİ Müessesesinde üretilen tüvenan kömürün ısıl değeri ortalama 1744 kcal/kg'dır, bununla birlikte çok düşük ısıl değere sahip kömürlerde bulunmaktadır (1000-1300 kcal./kg.).

Kömürün hazırlanması yoluyla kül (mineral madde), kükürt ve nem miktarının azaltılması ve kalorisinin aıiırılması ile tüketimi artacağı bilinen bir gerçektir. Müessesesinde Açık Ocaklarda Dekapaj faaliyeti sonucu açığa çıkarılan kömür sellektif madencilik yöntemi ile belirli bir kalınlığa kadarki ara kesme killerinden arındırılarak belirli içeriklerde üretilmektedir. Ayrıca üretilen kömür, Kriblaj Tesislerinde elle ayıklama işlemlerine tabi tutularak kullanıma hazır hale getirilip sektörlere göre arz edilmektedir. SLİ Müessesesinin EÜAŞ (Elektrik Üretim Anonim Şirketi) için ortalama 1750 kcal/kg'lık ve Piyasa için 2800 kcal./kg'ın üzerinde ısıl değere sahip temiz kömür üretmesi gerekmektedir. Bu nedenle farklı tüvenan kömürlerin Kriblaj Tesisinden EÜAŞ'a beslenmesi problem yaratmaktadır ve standart bir besleme yapılmasında güçlükler vardır. Ayrıca piyasaya verilen kömürde de çevre yönetmelikleri nedeni ile sorunlarla karşılaşılmaktadır.

Belirtilen nedenlerle SLİ kömürleri üzerinde çeşitli yüzdürme testleri yapılmış ve GLİ-Ömerler Lavvarında yaklaşık 750 ton kömür yıkanarak, Seyitömer kömürlerinin yıkanabilir olduğu belirlenmiştir. Fakat yüzdürme ortamında bazı sorunlarla karşılaşılınca önce DPÜ (Dumlupınar Üniversitesi) ve daha sonra da HÜ (Hacettepe Üniversitesi)'de yıkama amaçıl proje çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu TKİ. Kurumu SLİ'inde 300 ton/saat kapasiteli, bir adet, iki devreli (iri ve ince); farklı iki yoğunlukta, Ağır ortam mayi ile çalışan kömür yıkama (Lavvar) tesisi yap-işlet modeli ile kurdurmuştur.

Lavvar tesisinin kurulması ile çok düşük ısıl değere sahip kömürler de EÜAŞ ve Piyasa standart değerlerine getirilebilmektedir. Diğer taraftan sellektif madencilik ve lavvar uygulamasının birlikte yürütülmesi halinde rezerv dengeli tüketilecek ve düşük kaliteli taban kömürleri zamanında üretilerek iç döküm imkanı oluşturulacaktır. Bu duıumda dekapaj faaliyetleri daha ekonomik olacaktır.

**ABSTRACT:** Lignites of the Seyitomer Lignite )Vorks (SLI) division of the Turkish Coal Operations Corporation show significant differences in their structural composition. The quality of their vein stamp decreases downwards due to interception and inherent clays within the coal matrix. Although the average calorific value of the run of mine produced here is 1744 kcal/kg, it may be as low as 1000-1300 kcal/kg.

it is known that beneficiation methods can increase the quality of coals. Selective mining method is practiced in open pit mines which is helpful to produce improved grades up to a certain limit. These coals are also subjected to manual sorting for further improvement oftheir quality before they can be marketed. SLI has to supply coal at two different grades, one with an average calorific value of 1750 kcal/kg for an Electric Production Campany (EUAS) and another with a higher calorific value of 2800 kcal/kg for the general market. These requirements were difficult to meet on a steady basis due to the variable nature of the lignite deposit.

For this reason, various float and sink tests have been canied out and it was demonstrated by washing 750 tons of coal at GLI's Washeries that SLI lignites can be washed off to remove their associated impurities. However, it was realised that presence of clays creater some problems in maintenance ofa target density for the heavy media. Due to these problems, two additional projects on washability were undertaken, initially at DPU (Dumlupinar University) and subsequently at HU (Hacettepe University). As a result of these projects, a decision was made to have a 300 ton/h washery according to "build and operate" model, which featured two heavy media circuits (for fine and coarse sizes) operating at two densities.

Thanks to this new washery, it has been possible to upgrade the low grade lignites to meet the quality requirements for EUAS and the general market in a more flexible manner. On the other hand, integration of selective mining with washery application is thought to be helpful to increase the ekonomic value of deeper lignite deposits, the grade of which is otherwsie too low for exploitation.

## 1 GİRİŞ

Kömür yanabilen sedimanter organik bir kayaçdır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminde olup, milyonlarca yıl sürebilen oluşum süreçleri içerisinde ve tektonik hareketler sonucunda bir çok inorganik bileşimleri de bünyesine almıştır.

Kömür Dünya'nın en bol, en sağlam ve en güvenilir fosil yakıtıdır. Aynı zamanda rekabet edebilir bir maliyete sahiptir. Kömür gün geçtikçe daha temiz bir yakıt olmaktadır. Temiz kömür teknolojileri; enerji verimliliğini artıımakta ve kömürün neden olduğu çevre gaz emisyonlarını azaltmaktadır (www.tki.gov.tr).

Dünya enerji gereksiniminin 2003 yılı itibariyle yaklaşık %90'ı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji konusunda etkin olan çeşitli uluslar arası kuruluşların çalışmalarına göre de en azından önümüzdeki 20 yıllık süreçte, yeni teknolojiler alanında çok köklü değişikliklerin olmaması halinde, fosil kaynaklar, enerji kullanımındaki toplam payları olan %90'ı koruyacaklardır. %90 tüketim değeri içinde; yaklaşık %42 paya sahip olan kömür; dünya üzerindeki homojen rezerv dağılımı, petrol ve doğalgaz gibi diğer iki fosil kaynağa göre daha fazla kullanım ömrü (yaklaşık 220 yıl) ve geçmişte 20 yıllık sabit fiyatı ile özellikle arz güvenliği açısından, stratejik bir avantajı ile ön plana çıkmaktadır. Petrolün 40 ve doğal gazın ise 60 yıllık bir kullanım ömürleri bulunmaktadır (Boylu v.d., 2005).

Bu nedenle, enerji açısından kömürlerin önemi oıiadadır. Yaklaşık 171.546.860 ton rezervi ile SLİ linyit yatakları da Ülkemizin önemli yataklarından biridir. Seyitömer linyit havzası, Neojen yaşlı çökeller bulunan bir göl oluşumudur. Sahasının temel kayalarını ofıolitik karmaşıktan oluşan grimsi yeşil renkli, yer yer kahverenkli serpantinler oluşturmaktadır. Bu formasyonun üzerinde sırasıyla kumtaşı-konglomera, çamurtaşı-kiltaşı, laminalı şeyl, silisli kireçtaşı, killi kireçtaşı formasyonları bulunmaktadır. Çamurtaşı-kiltaşı üyesinin en üst bölümünde siyahımsı renkli ve mat görünümlü olan alt kömür damarı (B damarı) yer almaktadır. Kömür damarı, ince ve orta kalınlıkta yeşilimsi grimsi kiltaşı, siyahımsı renkli killi kömür ve siyah sert sileksit ara katmanlıdır. Laminalı şeyler (1200-1300 KCal'ye kadar alt ısıl değerili yanıcı marn) genel olarak yeşilimsi gri, yer yer açık gri renkli, yeşilimsi beyaz ayrışma renklidir. Üyenin tavan kesiminde ise genel olarak ince bazen orta kalınlıkta ve düzenli tabakalı silttaşı killi kömür, kömür ve yer yer silisli kireçtaşı ardalanmasından yapılı üst kömür damarı (A damarı) yer alır (Özkul ve Daşçı,1992).

Bölgedeki Linyit yatakları genellikle kuzey-güney istikametinde uzanan ve atımları 10-60 m arasında değişen faylarla bloklara bölünmüştür. Bu fayların en önemlisi Aslanlı Ağızören köyleri istikametinde uzanan 20-60 m atımlı faylardır. Bu faylar havzayı Aslanlı ve Seyitömer olmak üzere iki bölüme ayırmıştır (Özkul ve Daşçı,1992).

Bu çalışma, Seyitömer linyitlerinin yıkanabilirlik verileri kullanılarak tasarlanan lavvardan üretilen ürünlerin miktar ve kalitelerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Seyitömer kömürleri ve müessese imkanları ile GLİ Tunçbilek, Dumlupınar Üniversitesi (DPÜ) ve Hacettepe Üniversitesi (HÜ) laboratuvarlarında yapılmış olan yıkama verileri kullanılarak, tesis sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 2 SEYİTÖMER KÖMÜRLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Havzanın jeolojik yapısından da göıüldüğü gibi, Seyitömer kömürleri yatay ve dikey yönde, fiziksel ve kimyasal özellik yönünden değişim göstermektedir. Ana damarların kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ana damarların kimyasal özellikleri (SLİ Etüt Proje Merkezi, 2004).

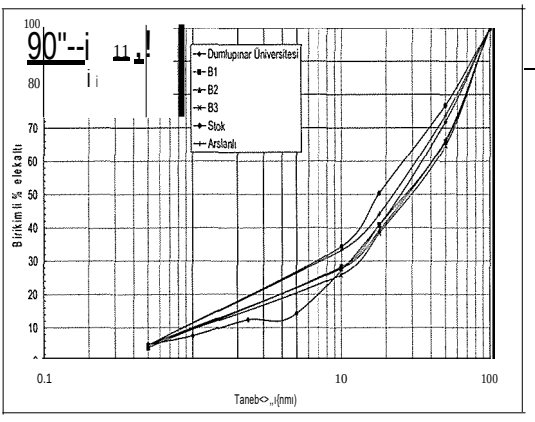
| Damar Adı | Kül, % | Nem, % | Kükürt, % | Alt Isıl Değer, Kcal/Kg |
|---|---|---|---|---|
| A Damarı | 47 | 33 | 1,75 | 1550 |
| B Damarı | 42 | 36 | 1,42 | 1776 |
| Arslanlı | 54 | 32 | 0,85 | 1100 |

Ayrıca, kömür ile birlikte bulunan şistler ve arakesme killeri, linyitlerin nemini, kül miktarını artırmakta ve dolayısıyla kalori değerini düşürmektedir (Öteyaka, v.d., 2004). Böylece B damarı kömürleri de Çizelge 2'de görüldüğü gibi kimyasal özellik yönünden yukarıdan aşağı (Bl, B2, B3) azalan kalitede bir değişim gösterınektedir. Ayrıca sahada, damarlardan üretilen ve kimyasal özellik olarak düşük kalitede olan kömürler stoklanmış (stok) olarak bulunmaktadır. Bununda kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Farklı özelliklere sahip kömürler ile yapılan elek analizleri ise Şekil 1'de verilmiştir. Şekil'den görüldüğü gibi, Pso değeri 55-70 mm, $P_{5o}$ değeri 18-30 mm ve $P_{20}$ değeri 2,5-7 mm arasındadır. Stok kömürü olarak adlandırılan kömür numunesının boyut dağılımı diğer numunelere oranla daha ince olmaktadır. Dumlupınar üniversitesi tarafından yapılan analiz ise ½ oranlarında B1 ve B2 karışımının analizidir.

Çizelge 2. Bl, B2 ve B3 damarlarının ve stok kö!;llürünün kimyasal özellikleri (SLİ, 2004; HU, 2005).

| Damar adı | Kül,% | | Nem % | | Alt Isı değeri, kcal/Kg | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | SLİ | HU | SLİ | HÜ | SLİ | HÜ |
| BI | 30,39 | 37-38 | 34,74 | 34-40 | 2394 | 1800-2000 |
| B2 | 36,22 | 32-33 | 34,06 | 34-40 | 2257 | 2000-2200 |
| B3 | 61,21 | 57-58 | 30,58 | 30-40 | 1122 | 900-1200 |
| Stok | | 51-57 | | 30-35 | | 1000-1200 |




Şekil 1. Seyitömer kömürleri tane boyu dağılımları (Ergün, L. vd., 2005).

Çizelge 3'de verilen Seyitömer linyitlerinin tüketim alanları (Termik santral ve teshin) ve istenen özellikleri incelendiğinde, B1 ve B2 damarı linyitleri bu haliyle ancak Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) termik santralinde elektrik üretimi amacıyla tüketilebilir özellik göstermekte, A ve B3 damarı, Arslanlı ve stok kömürleri ise düşük kalorili ve yüksek küllü (Çiz. 1 ve 2) olduğundan değerlendirilememektedir. Ayrıca, Çoğunlukla termik santrale %45-56 kül içerikli kömürler verilmiştir. Termik santrale verilen kömürler gereken ortalama ısıl değeri sağlamakla beraber üretime bağlı olarak öne1:11li salınımlar meydana gelmektedir (SLI, 2004). Diğer yandan çevre sağlığı açısından da büyük problemler oluşturmaktadırlar. Teshin amaçlı üretilen köfUürlerin kül içeriği çoğunlukla %22-26 arasında değişmektedir. Teshine verilen kömürlerin ısıl değerleri ise çoğunlukla 2500-2750 kcal/kg arasında olmaktadır. Böylece linyitlerin büyük kısmının istenilen şartları sağlamadığı görülmektedir.

Çizelge 3. SLİ linyitlerinin tüketim yerleri ve istenen özellikler (SLİ, 2004).

| Tüketim yeri | Tane boyutu mm | Kül,% 2004 | Kül,% Bugün istenen | Nem,% 2004 | Nem,% Bugün istenen | Alt ısı değeri, kcal/kg 2004 | Alt ısı değeri, kcal/kg Bugün istenen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EÜAŞ 1., 2. ve 3. Ünite | 0-200 | 45 | 35 ± 10 | 30 | 40 ± 10 | 1750 ± 100 | 1750 ± 100 |
| EÜAŞ 4. Ünite | 0-200 | 46 | 35 ±10 | 33 | 40 ±10 | 1600± 100 | 1750 ± 100 |
| Teshin | +100 | 26 | 20 | 38 | 40 ± 10 | 2500± 100 | 3000 -200 min. * |

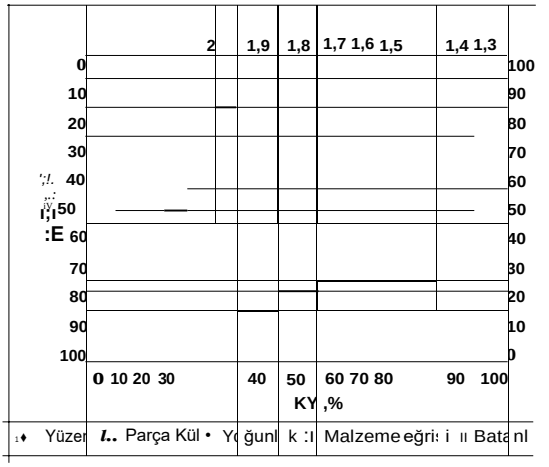
* Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Hava Kalitesini korunması yönetmeliği

Bu nedenlerle linyitlerden empüriteleri uzaklaştırmak için yıkanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Santrallere verilen kömürlerin istenilen değerlerde homojen olması ve dalgalanmaların en aza indirilmesi santralin düzenli çalıştırılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

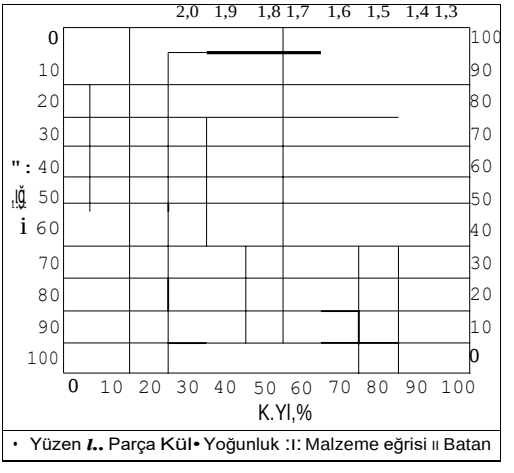
## 3 KÖMÜRÜN YÜZME DAVRANIŞLARI

Kömürlerinin _yıkanabilirliğini tespit etmek amacıyla SLI'den bir ekip (Komisyon çalışması raporu, 2003) bütün damarların ayrı ayrı ve değişk boyut gruplarında ve belirli bir karışım elde etmek için değişik alternatiflerle birleştirilmiş karışımlar ile yüzdürme-batırma deneyleri yapıştır. Şekil 2-6'da SLİ tarafından yapılan tüvenan kömürlerin yüzdürme - batırma grafikleri verilmiştir. Şekil 2 ve 3'den görüldüğü gibi B1 ve B2 damarı kömürlerinin yüzebilirliği kolaydır. Eğer bu kömürler karıştırılırsa yüzebilirlik daha da kolaylaşmaktadır (Şekil

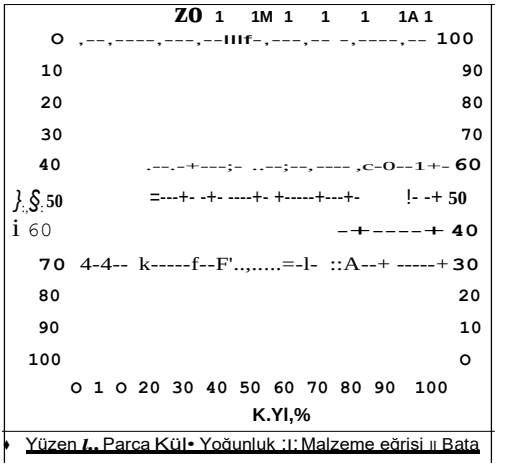
3). Stok kömürünün Şek. 6) nisbeten kolay, fakat B3 damarı kömürünün ise yüzebilirliğinin zor olduğu da Şekil 5'de görülmektedir. Yine çalışmalarda yüzebilirliği zor olan kömürler kolay olan kömürler ile karıştırılarak yüzebilirliğin arttığı tespit edilmiştir.



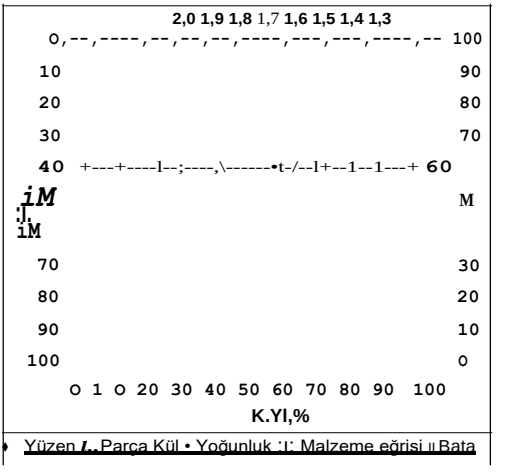

Şekil 2. **Bl** numunesinin yıkanabilirlik eğrileri



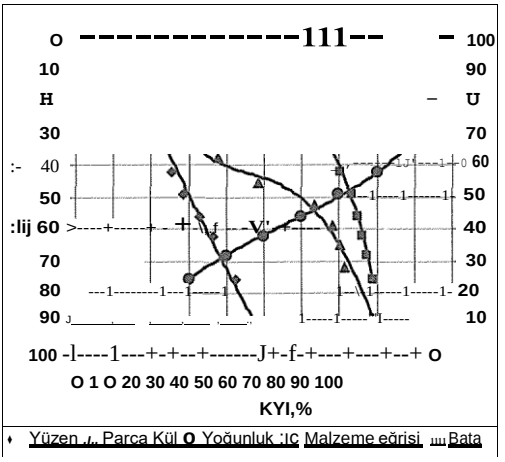

Şekil 3. B2 numunesinin yıkanabilirlik eğrileri




Şekil 4. Bl-B2 numunesinin yıkanabilirlik eğrileri




Şekil 5. B3 numunesinin yıkanabilirlik eğrileri




Şekil 6. Stok numunesinin yıkanabilirlik eğrileri

Bu yüzdünne batırma deneyleri sonucunda SLİ ekibi, kömürleri GLİ-Ömerler Lavvarında yıkamya karar vermiş ve yaklaşık 750 ton kömür yıkanarak, Seyitömer kömürlerinin yıkanabilir olduğu belirlenmiştir.

SLİ Bl+ B2 panolarının numuneleri GLİ-Ömerler Lavvarında yıkanarak 1,4 yoğunlukta temiz kömür, 1,7 yoğunlukta ara ürün, 1,9 yoğunlukta miks elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda Bl+ B2 panolarının numuneleri için, yıkama tesisine giren ve çıkan ürünler incelendiğinde uygun analiz değerlerinin elde edildiği ve toplam kaybın %30.05 olduğu görülmektedir (Çiz. 4).

Çizelge 4' de görüldüğü gibi SLİ kömürünün tesis bazındaki yıkanabilirliği, ayırma zorluğunun olmadığı laboratuar sonuçlan ile de doğrulanmıştır. Fakat yüzdürme ortamında kömür ile beraber giren killerin bazı sorunlara neden olduğu belirlenmiş ve bu sorun DPÜ (Dumlupınar Üniversitesi)'inde proje kapsamında çözülmeye çalışılmıştır. Öteyaka ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmalarda killerin zamana bağlı olarak dağıldığı ve ortama girerek ortamı bozduğu belirlenmiş ve bu killerin ortama ginneden tromel elek ile etkili olarak u aklaştırılabileceği önerilmiştir.

Çizelge 4. B1+B2 Damarlarının birlikte tesis bazında yıkanması ile elde edilen sonuçlar (SLİ Laboratuar Servisi, 2004).

| Ortam yoğunluğu | Tane boyutu, mm | Miktar, % | Nem, % | Kül, % | Kalori, kcal/kg | Kükürt, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,4 (Temiz kömür) | +80 (Teshin) | 19,30 | 39 | 16,43 | 2897 | 1,92 |
| | 18-80 (Teshin) | 20,02 | 39,20 | 17,94 | 2865 | 2,01 |
| | Teshin To lam | 39,32 | | | 2880 | |
| | 0,1 18 EÜAŞ) | 23,72 | 37,10 | 25,46 | 2715 | |
| (_,7 (Ara Ürün} | 0,1-80 (EÜA } | 3,75 | 30,6 | 55,50 | 1637 | 0,40 |
| 1,9 (Miks) | 0,1 18 (EÜA ) | 3,16 | 21,10 | 80,60 | | 0,50 |
| | EÜAŞ To lam | 68,95 | | | 2032 | |
| | Atık (şist) lam | 3,82 26,23 | | | | |
| | Artık | 30,05 To lam | | | | |
| TOPLAM | | 100 | 34,65 | 45,27 | 1936 | 1,69 |

Son tesis kurulma aşamasında HÜ (Hacettepe Üniversitesi)'de de yıkama amaçlı proje çalışmaları yaptırılmıştır. HÜ'de ise Ergün ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmalarda, bütün bu yapılan çalışmaların ışığında bütün değişik kömür damarları ve bunların değişik karışım senaryoları üzerinde modelleme çalışmaları yapılmış ve bu beslemelere göre istenilen değerlerde Teshin (pratikte tavsiye edilmemekte) ve EÜAŞ kömür değerlerinin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

## 4 YIKAMA TESİSİ

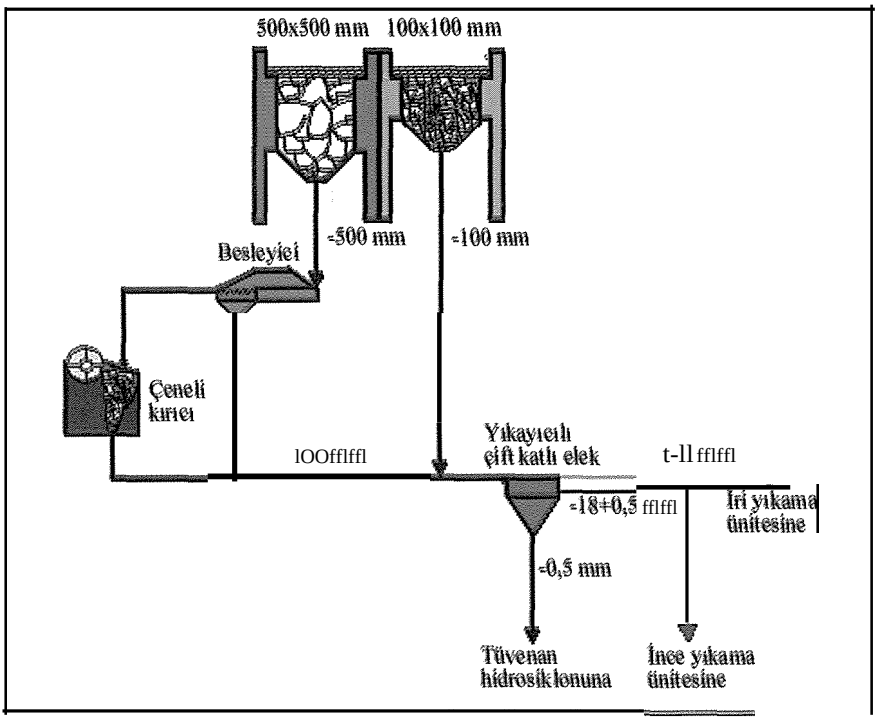
Kömür yıkama işlemleri genel olarak iri (18 mm'nin üstü), orta (6, 10 veya 18-0.5 mm) ve ince (0.5 mm'nin altı) olmak üzere bir dizi devreden oluşmaktadır. İri ve orta

boyutlar ıçın gravite yöntemleri, ince boyutlar için ise genelde flotasyon yöntemi uygulanır (Meenan, 1999; Güney vd., 1995). Optimum bir üretime ulaşabilmek için tüm devreler üzerinde çalışılmalıdır. Amaç yanabilir verimi artırmak ve ürünün kül yüzdesini düşürmektir. Tesislerin istediği mümkün olduğunca kararlı birim işlemlerini sürdürebilmektir.

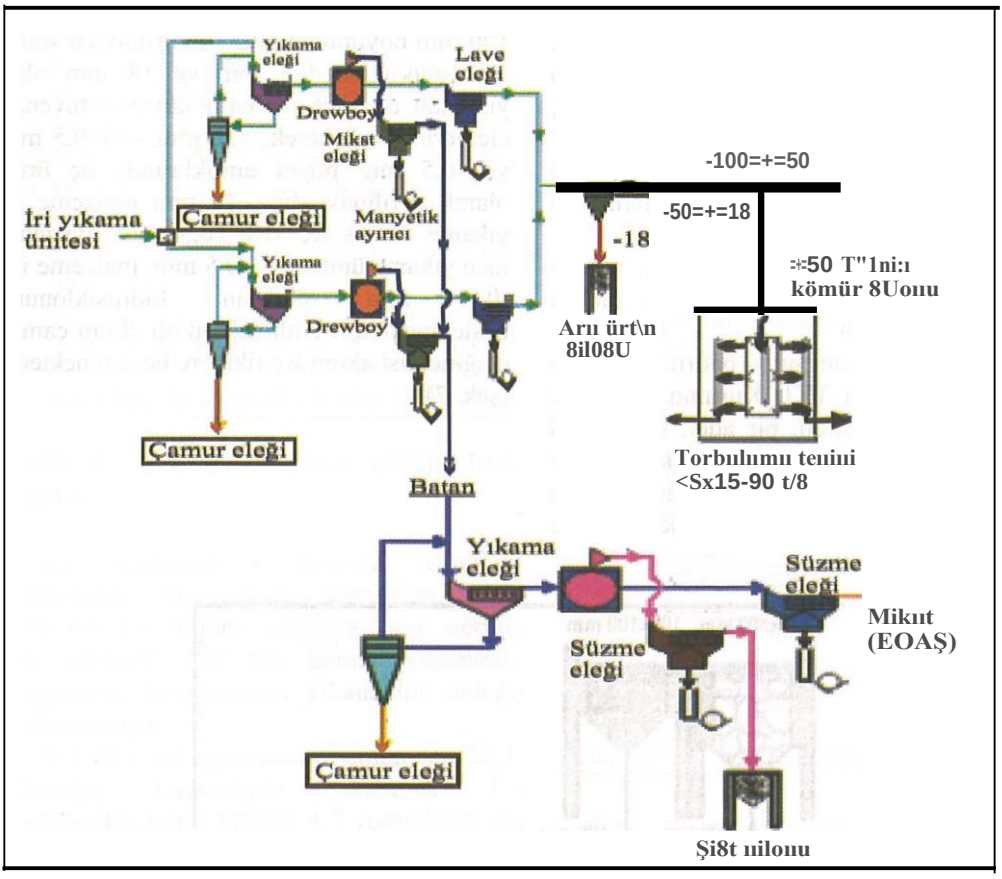
Değişikliğin sadece besleme ve maden işletme şartlarındaki koşullara göre olması istenir (Firth, 1999).

Kömürlerin yüzdürme - batırma ve tesis çalışmaları sonucu TKİ. Kurumu, SLİ'inde 300 ton/saat kapasiteli, bir adet, iki devreli (iri ve ince); farklı iki yoğunlukta, Ağır ortam mayi ile çalışan kömür yıkama (Lavvar) tesisi yap-işlet modeli ile kurdurmuştur.

Ocaktan getirilen kömür, çeneli kırıcı ile 100 mm boyutunun altına indirildikten sonra elek açıklıkları 0,5 mm ve 18 mm olan yıkamalı iki adet çift katlı sarsıntılı tüvenan eleklerine beslenerek, +18 mm, -18+0,5 mm ve -0,5 mm boyut aralıklarında üç ürün olarak ayrılmaktadır. +18 mm malzeme iri yıkama ünitesine, -18 +0,5 mm malzeme ince yıkama ünitesine, -0,5 mm. malzeme ise -0,5 mm tüvenan hidrosiklonuna beslenmektedir. Hidrosiklon alt akımı çamur eleğine, üst akımı ise tikinere beslenmektedir (şek. 7).




Şekil 7. Kırma ve sınıflandırma ünitesi

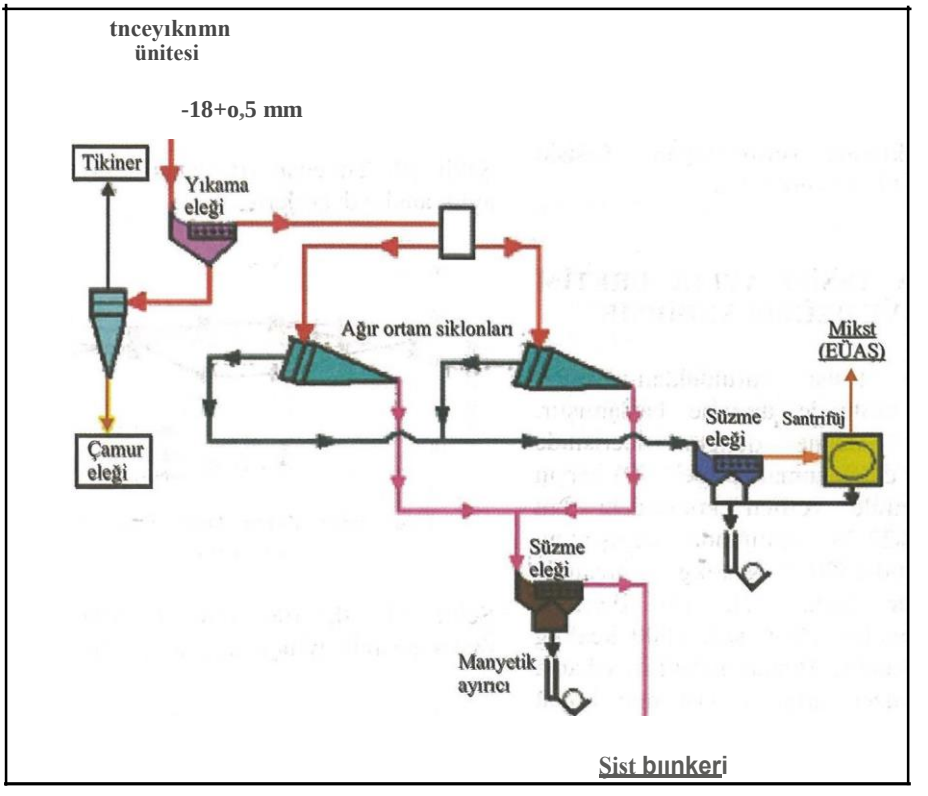



Şekil 8. İri yıkama devresi.

İri Yıkama Ünitesinde, -100+18 mm. boyut aralığındaki malzeme, Kapasiteleri150 t/s (Gladyatör), 50 t/s (Buldog) ve 75 t/s (Centrion) olan Drewboy yıkama teknelerinde yıkanmaktadır. Bu ünitede kömür 0,5 mm'lik elekte tekrar yıkanarak ortam yoğunluğu 1,30 - 1,35 gr/cm$^3$ olan ilk iki tekneye beslenmektedir. Yüzen malzeme temiz kömür parça bandıyla, 18 mm ve 50 mm elek açıklıklarına sahip çift katlı titreşimli tasnif eleği'ne beslenmektedir. Malzeme elekte, +50 mm, -50+18 mm ve -18 mm boyut aralıklarında üç ürün olarak elde edilmektedir. +50 mm kömür iri parça bunkerine (Orhaneli Stok), -18 mm kömür ara ürün bunkerine (EÜAŞ kömürü-lavvar stok) beslenirken, -50+18 mm. kömür ise saatte 90 t/s ile çalışan torbalama tesisine beslenmektedir. Batan malzeme (miks) ise 1,70 - 1,75 gr/cm$^3$ yoğunluklu ortama sahip Centrion olarak isimlendirilen uçuncü tekneye verilmektedir. Bu ünitede sadece EÜAŞ kömürü elde edilmektedir. Ağır ortam teknesinde yüzenler miks süzme eleğinde manyetitten arındırılarak EÜAŞ bandıyla ara ürün bunkerine (EÜAŞ kömürü-lavvar stok) beslenmekte iken, Batanlar ise şist süzme eleğinde manyetitten arındırılarak şist bandıyla şist bunkeri'ne (Harman) dökülmektedir. Ön yıkama eleğinde yıkanan

malzemenin, -0,5 mm. elek altı Centrion ile kapalı devre çalışan Hidrosiklona beslenmekte, hidrosiklon alt akımı çamur eleğine, üst akımı ıse tesise geri beslenmektedir (şek. 8).

manyetitten arındırılarak santrifüje beslenmektedir. Santrifüjde yüzey suyundan arındırılan miks, EÜAŞ bandıyla ara ürün bunkerine (EÜAŞ kömürü-lavvar stok) beslenmektedir (Şek 9).




Şekil 9. İnce yıkama ünitesi.

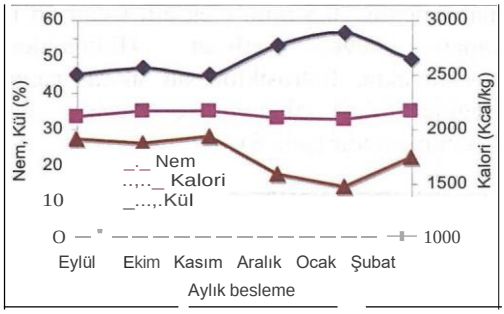
İnce yıkama ünitesinde -18 +0,5 mm. olarak ayrılan kömür, ön yıkama eleğinde yıkanarak -0,5 mm elek altı, hidrosiklona beslenmekte olup, hidrosiklon alt akımı çamur eleğine, üst akımı ise tikinere besl!,nmektedir. -18 +0,5 mm. malzeme ise yoğunlukları 1,65 - 1,70 gr/cm$^3$ olan iki adet ağır ortam siklonları'na pompa vasıtasıyla beslenmektedir. Siklon alt akımından batan olarak alınan şist, şist süzme eleğinde manyetitten arındırılarak şist bandıyla şist bunkeri'ne (Harman) dökülmektedir. Siklon üst akımı (miks) ise, miks süzme eleğinde

Tesiste yer alan bütün hidrosiklonların alt akımları 0,25 mm elek açıklığına sahip Çamur Eleğine beslenmektedir 0,25 mm elek altı malzeme tikinere beslenmekte olup, elek üstü malzeme ise EÜAŞ bandıyla ara ürün bunkerine (EÜAŞ kömürü-lavvar stok) beslenmektedir.

Tüvenan hidrosiklonunun üst akımı, ince yıkama ünitesi hidrosiklonunun üst akımı ve 0,25 mm elek altı malzeme tikinere beslenmektedir. Tikinerde taşan temiz su tesise geri beslenmekte olup, batanlar şlam havuzuna pompalanmaktadır. Tesise takviye su, Arslanlı gölünden temin edilen su ile

şlam havuzundan taşan temiz suyun tekrar tikinere beslenmesi sonucu sağlanmaktadır. Tikinerde floculant kullanılmaktadır.

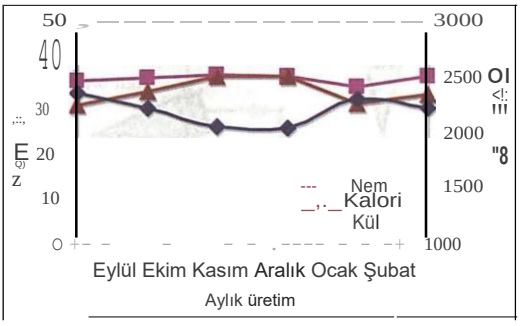
Yıkama eleklerinde kömür, miks ve şistten arındırılan manyetit, manyetik seperatörlerle tekrar geri kazanılarak tesise beslenmektedir. Temiz kömür, miks ve şist eleklerinde yıkanan üründen elde edilen sulu mayi manyetik seperatörlerde manyetiti alınarak ağır mayi tankma verilmektedir. Suyu ise ön yıkama tanklarına verilmektedir. Tesisin akım şeması Ek'de verilmiştir.



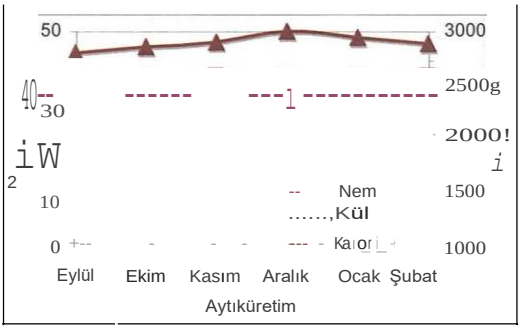

Şekil 10. Tüvenan (Beslenen) malzemenin aylık analiz değerleri.

## 5 YIKAMA TESiSi AYLIK ÜRETİM VERİLERİ VE DEĞERLENDİRME

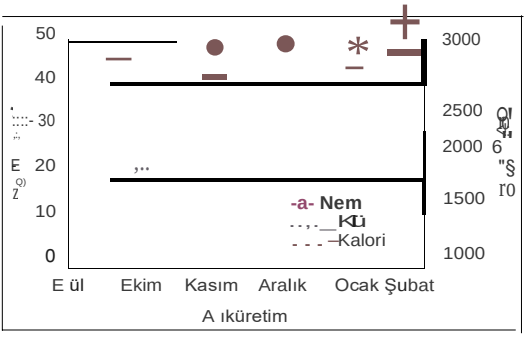
SLİ lavvar tesısı kurulduktan sonra, 04.09.2006 tarihinde üretime başlamıştır. Altı aylık çalışma dönemi içerisinde beslemedeki dalgalanmalara (şek. 10) karşın Termik santrale verilen kömürdeki kül değerleri %27-34 aralığında değişirken, kalori 2300-2500 kcal/kg arasında değişmektedir (şek. 11). Bu değerler istenilen sonuçları (%40 kül, 1800 kcal/kg kalori) aşmaktadır. Bunun nedeni iri yıkama ünitesinde yüzen üründen -18 mm boyut grubununda termik için elde edilen ince yıkama ünitesi mikst kömürleri ile karıştırılmasıdır. İri yıkama devresinden elde edilen 50-100 mm boyutlu torba ve EÜAŞ stok kömürleri aylık analiz değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı şekil 12 ve 13'de görülmektedir. Kalori değerleri 3000 kcal/kg'a yaklaşırken kül değerleri %20'nin altına düşebilmektedir. Fakat bunların aylık ürtim miktarlarında Ekim ayından sonra düşme olmuştur (Şekil 5.5).



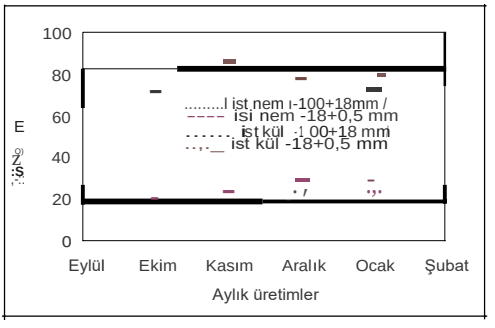

Şekil 11. 0,5-100 mm boyutlu EÜAŞ malzemesinin aylık analiz değerleri.



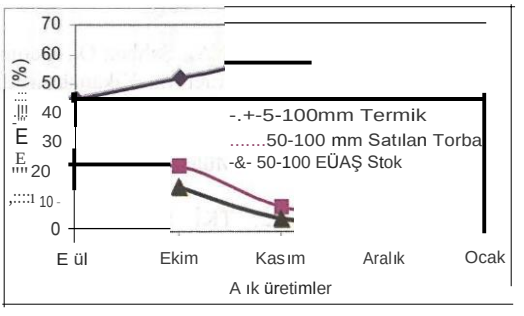

Şekil 12. 50-100 mm boyutlu Satılan Torba malzemesinin aylık analiz değerleri.




Şekil 13. 50-100 mm boyutlu EÜAŞ Stok malzemesinin aylık analiz değerleri.




Şekil 14. Değişik boyutlardaki şist malzemesinin aylık analiz değerleri.




Şekil 15. Tesis ürünlerinin üretim miktarları

Kurulan lavar tesisinin istenilen hedefleri yakaladığını Çizelge 5'den de görmek mümkündür.

Çizelge 5. 09.09.2,006-31.01.2007 tarihleri arasındaki lavvar ortalama kömür analizleri.

| Tane boyutuna göre ürünler | Miktar % | Nem, % | Kül, % | Kalori, kcal/kg |
|---|---|---|---|---|
| Tüvenan | 100 | 33,52 | 49,91 | 1705 |
| EÜAŞ (0,5-100) | 49,57 | 37,80 | 30,00 | 2431 |
| Satılan torba (50-100) | 8,00 | 39,43 | 17,75 | 2897 |
| EÜAŞ stok (50-100) | 5,84 | 39,69 | 17,24 | 2886 |
| Şist (18-100) | 14,18 | 21,51 | 80,87 | |
| Şist (0,5-18 | 14,18 | 25,81 | 81,85 | |
| Sianı | 8,23 | | | |

## 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- SLİ kömürleri kimyasal ve fiziksel özellik bakımından yatay ve dikey yönlerde büyük değişiklikler göstermektedir.
- Uzun süre yapılan çalışmalarda SLİ kömürlerinden daha kaliteli olan B1 ve B2 damarı kömürlerinin kolay, diğerlerinin ise zor yıkanabilir olduğu, fakat bu kömürlerin belirli oranlarda karıştırılması ile yıkanabilirliğin kolaylaştığı tespit edilmiştir.
- Lavvar tesisinin çalışmaya başlamasından sonra elde edilen sonuçlara göre 09.09.2006-31.01.2007 tarihleri arasında toplam ürünün %63,41 ve toplam kaybın %36,59 olduğu tespit edilmiştir. Lavvar çalışmaları sonucunda sırasıyla Eylül,Ekim,Kasım, Aralık ve Ocak aylarında yapılan tüvenan beslemenin %45,35, %52,88, %57,73, %47,68, %43,23 'ü Termiklik kömür olarak elde edilirken, %22,01, %4,31, %14,80, %11,59, %21,26'sı Piyasalık kömür olarak satılmıştır. Ve sırasıyla Eylül,Ekim,Kasım, Aralık ve Ocak aylarındaki zayiatlar %32,64, %29,53, %29,37, %44,36, %42,5 olarak gerçekleşmiştir. 09.09.2006-31.01.2007 tarihleri arasında Lavvar çalışmaları sonucunda Tüvenanın ortalama kalorisi 1705 cal/g iken, lavvara bu besleme sonucunda %49,57 oranında 2431 cal/g lık 0,5-100 mm ebatlarında Termiklik kömür elde edilirken, piyasalık olarak

elde edilen ürünün %8'i piyasaya satılmıştır.

Lavvar tesisinin çalışmasıyla;

- Santrale daha az taşlı kömür verilmekte,
- Santral bacasından çıkan kül oram azaltılmakta ve tesis korunmaktadır.
- Santrale daha homojen kömür beslemesi yapılmaktadır.
- %37 civarındaki ihmal edilebilecek kalorideki şist ve şlam santrale kadar taşınmadığı için maliyet düşmektedir.
- Düşük nitelikteki tüvenan kömürlerinden krible yöntemlerle elde edilemeyen teshinlik kömür (+2800 kcal/kg) elde edilmektedir.
- Lavvar tesisi olmasaydı santralin ve piyasanın istediği kömürü elde etmek için uygulanacak olan sellektif madencilik azalmaktadır.
- Düşük nitelikteki kömürler değerlendirilerek ocak için dekapaj döküm yerleri açılacaktır.
- Yaklaşık 2,000,000 ton stok kömürleride değerlendirilecektir.
- Çevre sağlığı daha çok korunmuş olacaktır.
- Tesiste kömürün yıkama öncesi elklerde iki aşamada killerinden arındırılması, ağır ortama kil girişini bir nebzede olsa önlemektedir.

Öneriler;

- Termik santral ihtiyacı yıllık yaklaşık olarak 4,000,000 ton'dur. Termik santrale bu miktarda sürekli standart kalitede kömür temin edilmesi ancak lavvarda yıkama ile sağlanabilir. Fakat bu durumda lavvarda yıkanması gereken miktar yıllık 7,200,000 ton olmaktadır. Bu da mevcut lavvara 300 ton/saat kapasiteli bir lavvar daha eklenerek sağlanabilir. Böylece mevcut kriblaj tesisleri ortadan kaldırılmalıdır.
- Ayrıca briketleme tesisi de kurularak daha kaliteli teshin kömürü üretilmelidir.
- Tesisten çıkan killerin çeşitli sektörlerde değerlendirme olanakları araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR


Boylu, F., Ateşok, G., Özer, M., 2005. Farklı Türdeki Türk Kömürlerinin Kömür-Su Teknolojisinde Viskozite Özellikleri, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi, İzmir.

Çevre Ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2004, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği, Ankara.

Ergün, L., Gülsoy, Ö., Benzer, H., Can, M., Orhan, E. C., Dikmen, S. Ve Özer, C. E., 2005, TKİ SLİ Müessesesi Seyitömer Kömürleri Yıkanabilirliği Ve Lavvar Tasarımı Simülasyon Çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Firth, B.A. (1999). Australian Coal Flotation Practice. *Advances in Flotation Technology,* 289-307.

Güney, A., Ateşok, G., Önal, G. ve Altaş, A., 1996, Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri III, Yurt Madenciliği Geliştiime Vakfı Yayınları, Ed. Önal ve Ateşok, s. 270-282 İstanbul.

Komisyon çalışması raporu, 2003, Seyitömer Kömürleri Yıkanabilirlik Araştırması, TKİ Seyitömer Linyitleri İşletme Müdürlüğü, Ağustos, Kütahya.

Meenan, G.F., 1999, Modem Coal Flotation Practices, ed. Parekh and Miller, Mar. 1-3, pp. 309-321 in Denver, USA.

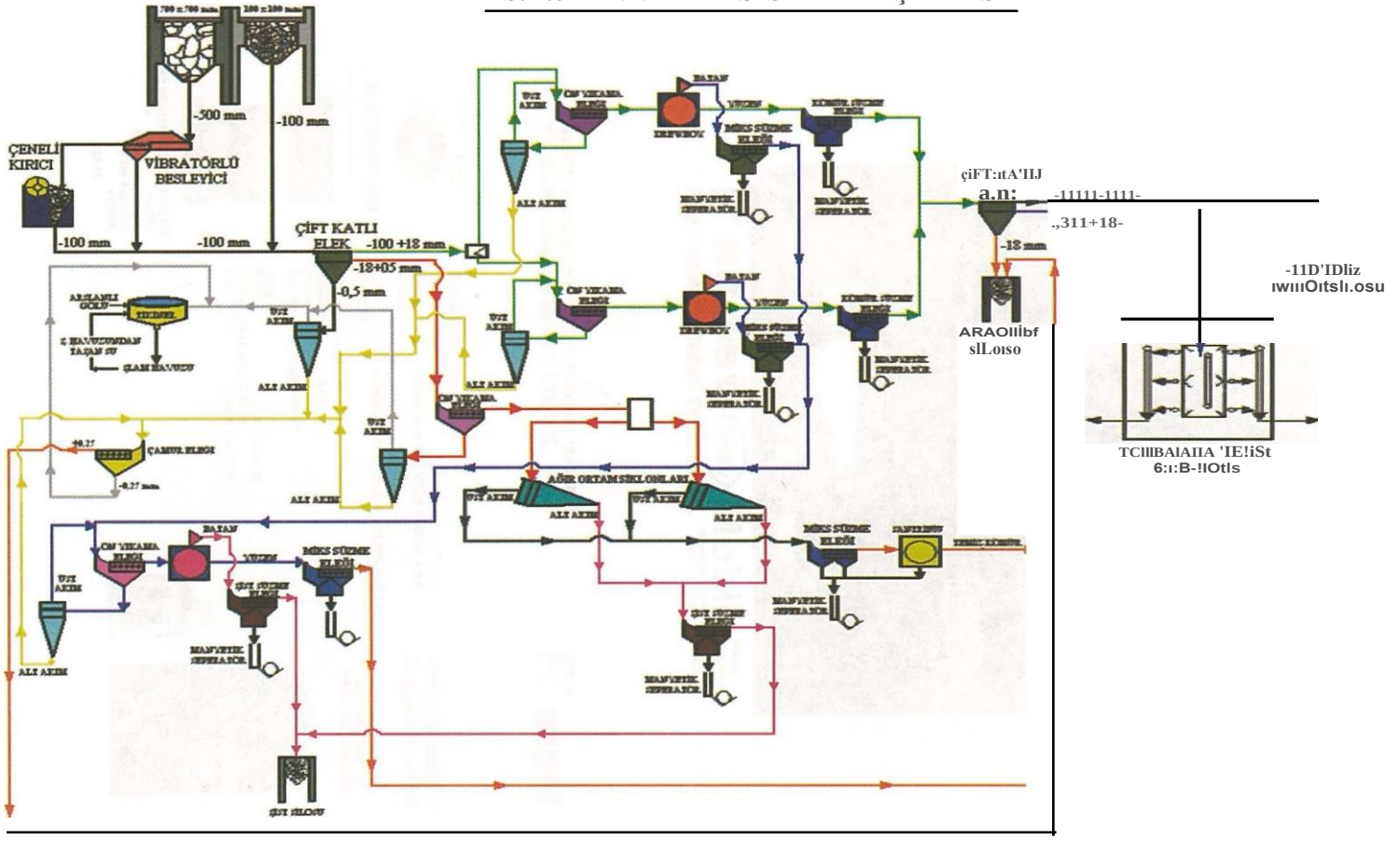
Öteyaka, B., Yamık A., Uçar A., Şahbaz O., Demir U., 2004. Seyitömer Linyitlerinin Yıkanabilirliği ve Arakesme Killerinin Yüzdürme Ortamındaki Davranışlarının Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya.

Özkul ve Daşçı, 1992, TKİ Seyitömer Linyit İşletmeleri Müessese Müdürlüğü imtiyaz Sahası ve Civarının Jeoloji Raporu, SLİ, Kütahya.

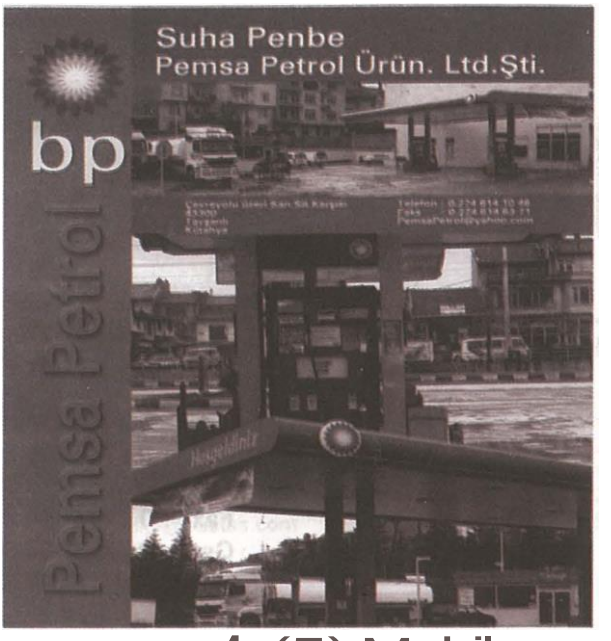
SLİ Etüt Proje Müdürlüğü, 2004, Yıllık Faaliyet Raporu, Kütahya.

SLİ Laboratuar Servisi, 2004, Kömür Analiz Raporları, Kütahya

www.tki.gov.tr




Ek. Seyitömer lavvan akım şeması.




**aspet** (5) Mobil

ASPIT otomotlV Mıcıtnl YIOI Lta.Ştı. '"':r.:::5,. r .•.•

AUIT AKARVAKIT OTOMOTiV VI MADINI
**VA61.Alt** IANAVII TICARIT I.TD,fTI.

aspet

bp

iP OAI ltÜlAMVA IAVI

lhMılt lıillltuıı aıı ıwıltl ı

ıanıı ıllllUIIAIIA'il ıtıılı '14M.Olt M0ı4
ltÜlAMVA

. JIIIIIIIUIDHIfiÖıtlİlM M>I.Al.nnı
m:MVA

ıalıtll
,_tıuıuun
hkttt \tl,tı Ui itti

-!ull
•..-ıı.uıtM4o1Uİ liHI4
kı ••lıı-ll uoıı

Mobil
ExxonMobil

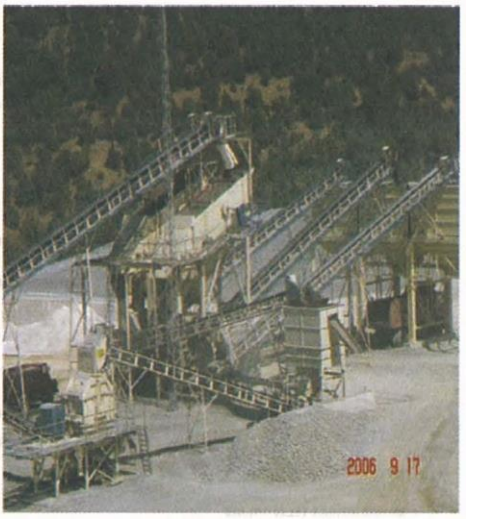
-L OLliltıtA,t.
vnıci.l ıl11Mtllü.41

# YILMAZLAR

DDlldLtlSAI. Ttc. LTD. fTt.

**K6mir-tfakllye**
**Detapaj-Kalılt-Kımatq**

Tunçbilek Karayolu 7. Kın.
Tel : 0.274. 648 30 40 (pbx)
Tel : 0.533. 376 35 16
Fax : 0.274. 648 30 44
Gsm : 0.532. 594 50 05
TAVŞANLI • KÜTAHYA



# Ahmet BAŞ

Fabrika: Çanakkale Asfaltı 8 Km.
Tel : 0.266 727 22 55 - 727 22 23
Fabrika: Kütahya Yolu 4.Km Sanayi Sil.Karşısı
Tel : 0.274 616 00 88 - 616 00 89
www.bas-tas .com bilgi@bastas.com

Edincik/**BANDIRMA**
**Fax:0.266 727 20 19**
**Tav§811lı/KÜTAHYA**
Fax: o.274 616 02 *n*
**Cep: 0.533 320 16** 17

---

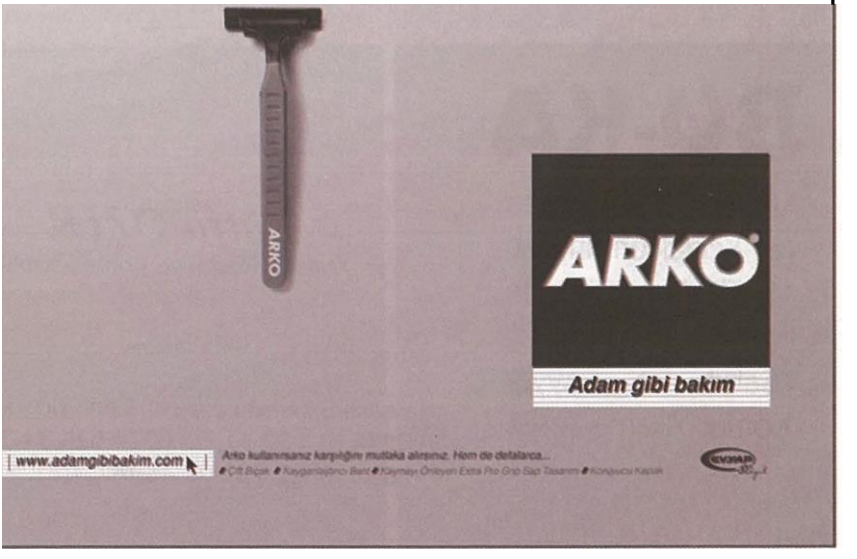
**BU-KA**

*Maden Makinaları ve Yedekleri İmalatı
*Çelik Kontrüksiyon İmalat ve Montajı
*Sabit ve Seyyar Kömür Yıkama Tesisi

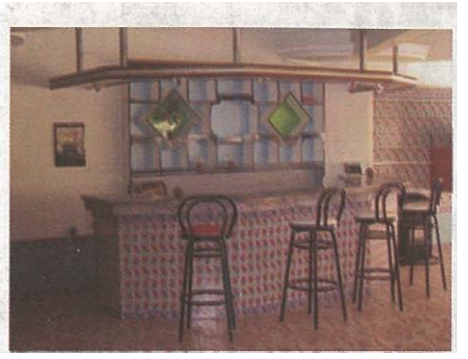
*Lütfü* ***ÖZER***
Makina Resmi ve Kontrüksiyonu Teknikeri

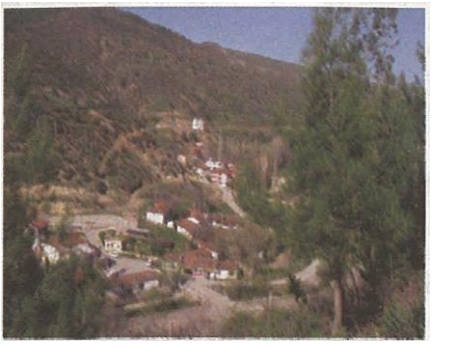
Tavşanlı Balıkesir Karayolu 1.Km. No. 5
Tel:0274 614 22 11Fax:0274614 34 33
Gsm: 0532 731 03 48 TAVŞANLI

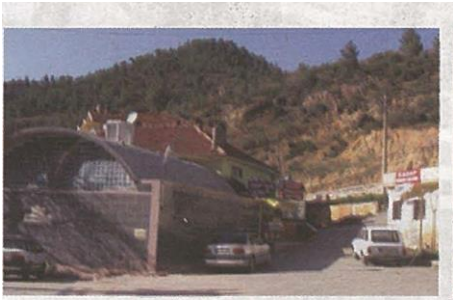
# Ve Arlco,
# fır• ¡ığını
# bı
# su ıar!



## DERE KAPLICALARI (GÜNLÜCE- KÜTAHYA)







Dere Kaplıcaları tamamen doğal ortamda olup, Ankara Numune Hastanesi, Refik Saydam Merkez Hıfzısıhha Enstitüsü tahlil raporlarına göre;

Romatizma
Nevrit,
Nevralji,
**Kırık** veçıkık,
Kadın hastalıkları,
Cilt hastalıkları
için faydalıdır.

Günlüce Dere Kaplıcalarında Belediye, kooperatif ve şahıslar tarafından yapılmış modem (500 yatak kapasiteli) otel ve moteller ayrıca Değirmisaz Kömür İşletmesine ait modem saunalı ve restaurantlı tesisler bulunmaktadır. Kaplıcada umuma ait üç adet kapalı havuz, bunlardan bir tanesi doğal bir mağara içinde hamam olup, 1O adet özel banyo bulunmaktadır. Kaplıca yaz aylarında günlük 2500 - 3000 kişiye hizmet vermektedir. Kaplıca suyunun debisi 286 litre/sn olup sıcaklık 38-39,5°'dir.

# COMPLETE

When one manufacturer makes every component of a system, you can be sure that everything is integrated and interfaced. That issues such as communication & control, management, diagnostics and maintenance are optimized. And that custom-design for your specific application will ensure maximum productivity and lowest possible operational cost – as shown repeatedly by world-record output achieved with DBT longwall systems. Complete DBT systems – making your longwall operation a complete success.

**Mining to Success**

D8T Mining Engineers GmbH
**Innovationsring7**
66115 5aarbruec k en
**Germany**
Phone (+49) 681 405 9500
Fax (+49) 681 405 9501

**www.dbt.de**

**DBT**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayın No: 131

ISBN: 978-9944-89-277-3