

*PROCEEDINGS OF  
7<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONGRESS OF  
MINING MACHINERY & TECHNOLOGIES*

**7. ULUSLARARASI MADEN MAKİNALARI  
VE TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ  
BİLDİRİLER KİTABI**

*24-25 October/Ekim 2019  
İzmir - Turkey*

*Editors/Editörler*

Çelik TATAR

Ergin KAHRAMAN

Tülay SUIÇMEZ

UCTEA

*Chamber of Mining  
Engineers of Turkey*



TMMOB

Maden Mühendisleri  
Odası

İzmir - Turkey

24-25 October/Ekim 2019

---

*Website/İnternet Sitesi:* [www.immat.org.tr](http://www.immat.org.tr)

All rights reserved © 2019

No parts of this book may be reproduced in any forms any means, without written permission of The Chamber of Mining Engineers of Turkey.

Tüm Hakları Saklıdır © 2019

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap veya bu kitabın herhangi bir kısmı yayınlanamaz.

The proceedings are also available in e-book format.

Bildiriler ayrıca e-kitap biçiminde yayınlanmıştır.

*Published by/Baskı:* Kanyılmaz Matbaacılık, İzmir-TÜRKİYE

*Editors/Editörler :* Çelik TATAR, Ergin KAHRAMAN, Tülay SUIÇMEZ

*Layout/Dizgi :* Çelik TATAR

ISBN : 978-605-01-1301-3

## SUNUŞ

İnsanlık tarihi kadar geçmişi olan hammadde madenciliğinin toplumların sivilleşmesinde ve gelişmesinde önemli rolü vardır. Tarihsel geçmişinin izinde günümüzde ulaşılan teknolojik gelişme ve yaşam standardı hammadde madenciliğinin insanlık var oldukça devam edeceğine işaret etmektedir. Diğer taraftan maden kaynakları uzun jeolojik süreçler sonucunda oluşmuş ve yenilenemeyen oluşumlardır. Bu çerçevede insanlık tarihi boyunca sadece bir kere uygarlığın kullanımına sunulacak hammadde kaynaklarının, uygarlığımızın sahip olduğu en ileri teknoloji, bilim ve toplumsal fayda ile çıkarılması sadece geçmişten gelen bir miras değil aynı zamanda gelecek nesillere aktarılacak bir bilinç düzeyidir. Bu bilinç düzeyinin yaygınlaştırılması, geliştirilmesi ve aktarılması misyonunu üstlenmiş olan TMMOB Maden Mühendisleri Odası madencilik sektörünü ve bilimsel bileşenlerini sürekli bir araya getirecek Kongreler, Sempozyumlar, Çalıştaylar ve eğitimler düzenlemektedir.

Ülkemiz, doğal kaynaklar açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Ancak ülke ekonomisinde madenciliğin önemli bir yeri olduğu söylenemez. Türkiye, üretilen madensel kaynak çeşitliliği açısından, 152 ülke arasında, 29 maden türünde yapılan üretim baz alındığında, 10. sırada yer almaktadır; ancak üretici ülkelerin dünya pazarı içi payları sıralamasında % 0,16 oranı ile 52. sıradadır. Kendi kaynaklarını yok sayan, kaynaklarını kullanmayan bir ülkenin kalkınması mümkün değildir. Kalkınmanın ve yaşam seviyesinin belirleyicisi olarak kabul edilen sanayi, enerji ve tarım sektörlerinin temellerini de madencilik oluşturmaktadır. Son yıllarda izlenen yanlış politikalar sonucu sanayi sektörleri yerine hizmetler sektörünün genişlemesi, sanayi sektörlerine hammadde sağlayan madencilik sektörünü de zor durumda bırakmıştır. Madencilik sektörünün kalkınmadaki kritik önemi, sadece fazla miktarlarda üretilip yurt dışına satılarak gelir elde edilmesinde değil, yerli sanayiye düşük maliyette ve kaliteli girdi sağlamasındadır. Bu vizyon çeşitlilik açısından oldukça avantajlı olduğu yeraltı kaynaklarının değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulmalı, yeraltı kaynakların işletilmesinde kamu yararı öncelikli, çevresel duyarlılıklar dikkate alınarak mühendislik bilim ve teknolojisi en üst düzeyde kullanılmalıdır.

Odamız tarafından düzenlenen 7. Uluslararası Maden Makinaları Ve Teknolojileri Kongresi 'nde amaçlanan, en son gelişmelerin tartışılması için sektörünün tüm bileşenlerinin yer alacağı bilimsel bir platform oluşturmaktır. Bu amaçla gerçekleştirilen kongrenin ülkemizin ve sektörün sorunlarının çözümüne katkı koyacağına inanmaktayız.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu olarak başta İzmir Şube'mizi bugünlere taşıyan Yönetim Kurulu üyelerimiz ile kongrenin uluslararası platforma taşıyarak odamızın başarılarına bir yenisini daha ekleyen Yürütme Kurulu üyelerimize, etkinliğin bilimsel niteliğini yükselten Bilim Kurulu üyelerimize, bildiri ve sunum hazırlayan bilim insanlarına, yönetimleriyle katkı koyan Oturum Başkanlarımıza, Sempozyumumuza desteklerini esirgemeyen tüm Kurum ve Kuruluşlar ile değerli Yöneticilerine teşekkür eder saygılar sunarız.

*TMMOB*

*Maden Mühendisleri Odası*



## ÖNSÖZ

Madenler, gelişmekte olan ÷lke ekonomilerinin önemli yenilenemez doğal kaynaklarındandır. Madencilik; başta üretim verimliliğini dikkate alarak katma değer yaratacak ürünlere dönüştüreceğ şekilde, negatif çevresel etkiler göz önüne alınarak ve en önemlisi de kamu yararına gerçekleştirilmelidir.

÷lkemiz madencilik potansiyeli oldukça zengin olmasına karşın, maden üretimi ve işlenmesinde kullanılan alet, makina ve donanımların büyük bir kısmı yurtdışından ithal edilmektedir. Makina ve donanım ithaline oldukça yüksek meblağlar ödenmesine karşın, ithal edilen makina ve donanımlarından istenen verimin alınmadığı durumlarla da sıkça karşılaşılmaktadır. Hem üretici hem de ÷lke ekonomisi bakımından gereksiz maddi kayıplara yol açan bu gibi durumların aşılması oldukça önemli husustur.

**7. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi, IMMAT 2019**'un ana hedefleri; uluslararası düzeyde üretici, tüketici ve akademik çevreleri bir araya getirerek maden makina ve donanımları konusunda dünyadaki gelişmeleri tartışmak, bilinçli makina ve donanım seçimine yardımcı olmak, yerli teknoloji üretimi ve gelişimini desteklemek adına yararlı bir platform oluşturmaktır.

Bu bağlamda, Kongre'nin ÷lkemiz madenciliğinin gelişmesi, iş sağlığı ve güvenliğinin artırılması ve maden makinaları üretimine ve bilinçli tüketimine katkı sağlayacağını umarız.

*Kongre Yürütme Kurulu Adına*

*Kongre Başkanı*

**Prof. Dr. Tuğrul ÜNLÜ**

## *FOREWORD*

Minerals are among important nonrenewable resources of developing countries. Mining must be done especially for the public benefit in a way that it turns minerals into products that creates added value by taking into account the production efficiency as well as negative environmental effects.

Even though mining potential is high in Turkey most of the tools, machinery and equipment has been imported from other countries. While we pay high amounts of money for the import of machinery and equipment situations are encountered frequently where the desired efficiency is not achieved. Overcoming such incidents which causes unnecessary losses both for the producer and the country is one of the important issues.

Main targets of 7th International Congress of Mining Machinery and Technologies, IMMAT2019, are: discussing the developments in mining machinery and equipment by bringing producers, consumers and academics together, assisting accurate selection of machinery and equipment, and creating a useful platform to develop and support domestic technology.

In this context, we hope that the congress will contribute to development of mining industry in Turkey, improvement of occupational health and safety standards as well as mining machinery manufacturing and use.

*Congress Chair*

**Prof. Dr. Tuğrul ÜNLÜ**

*on behalf of the Executive Committee*

**ORGANIZED BY/ ORGANİZE EDEN KURUM**

*Izmir Branch of The Chamber of Mining Engineers*  
**TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi**

**CONGRESS CHAIR/ KONGRE BAŞKANI**

**Prof. Dr. Tuğrul ÜNLÜ**

**EXECUTIVE COMMITTEE/ YÜRÜTME KURULU**

***Chair / Başkan:***

**Prof. Dr. Tuğrul ÜNLÜ**

*MTP A.Ş. Chair of Executive Committee/ MTP A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı*

***Co-Chair / II. Başkan :***

**Prof. Dr. Yalçın ÇEBİ**

*Dokuz Eylül University / Dokuz Eylül Üniversitesi*

***Co-Chair /II. Başkan :***

**Mustafa HACARLIOĞLU**

*Chamber of Mining Engineers of Turkey/ Maden Mühendisleri Odası*

***Secretary/ Yazman:***

**Tülay SUIÇMEZ**

*Chamber of Mining Engineers of Turkey/ Maden Mühendisleri Odası*

***Accountant / Sayman:***

**Kemal SÖYLEMEZ**

*Chamber of Mining Engineers of Turkey/ Maden Mühendisleri Odası*

**Members/ Üyeler**

Doç. Dr. Kemal BARIŞ *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi*

Doç. Dr. Mustafa ÇINAR *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi*

Ahmet Haşim DEMİRLER *İmbat Mad. Enerji Tur. San. A.Ş.*

Seyhan DERBENTOĞLU *İZFAŞ*

Prof. Dr. Taki GÜLER *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi*

Ergin KAHRAMAN *Polyak Eynez Enerji Üret. Mad. San. ve Tic. A.Ş.*

Merve KIYAK *İZFAŞ*

Dr. Öğr. Üyesi Çelik TATAR *Dokuz Eylül Üniversitesi*

*THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS*  
**TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU**

<i>President/Başkan</i>	: Ayhan YÜKSEL
<i>Vice President/II.Başkan</i>	: Emre DEMİR
<i>Secretary/Yazman</i>	: Mehmet Erşat AKYAZILI
<i>Accountant/Sayman</i>	: Veyis SIR
<i>Members/Üyeler</i>	: Öznur AKÇA Ümit KILIÇ Talat KARATAŞ

*THE EXECUTIVE BOARD OF İZMİR BRANCH OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS*  
**TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBESİ YÖNETİM KURULU**

<i>President/Başkan</i>	: Aykut AKDEMİR
<i>Vice President/II.Başkan</i>	: Mustafa HACARLIOĞLU
<i>Secretary/Yazman</i>	: Erdem TURGUT
<i>Accountant/Sayman</i>	: Kemal SÖYLEMEZ
<i>Members/Üyeler</i>	: Tülay SUIÇMEZ Ozan AYKURT Asunur TABAN



**SCIENTIFIC COMMITTEE/ BİLİMSEL KURUL**

Prof. Dr. Adnan KONUK	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Abdullah Erhan TERCAN	<i>Hacettepe Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Abdullah FİŞNE	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. A. Ekrem YÜCE	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Dr. Agnieszka SUROWIAK AGH	<i>University of Science and Technology, Poland</i>
Prof. Dr. Ahmet DAĞ	<i>Çukurova Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ahmet Hakan BENZER	<i>Hacettepe Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. A. Hamdi DELİORMANLI	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	<i>Çukurova Üniversitesi</i>
Dr. Ali Benbia	<i>MMD Mineral Sizing (Europe) Ltd., United Kingdom</i>
Prof. Dr. Ali İhsan AROL	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ	<i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>
Dr. Öğr. Üyesi Alper GÖNEN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Askeri KARAKUŞ	<i>Dicle Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU	<i>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Avni GÜNEY	<i>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ayhan KESİMAL	<i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>
Dr. Öğr. Üyesi Aytaç GÖREN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Barbara TORA AGH	<i>University of Science and Technology, Poland</i>
Prof. Dr. Bülent ERDEM	<i>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Celal KARPUZ	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT	<i>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Cemal BALCI	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Cengiz KUZU	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Dr. Öğr. Üyesi Cihan DOĞRUÖZ	<i>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi</i>

Doç. Dr. Deniz TUMAÇ	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Erdiñ BİLİR	<i>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Erol KAYA	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ferri HASSANİ	<i>McGill University- Canada</i>
Prof. Dr. Gürcan KONAK	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Hanifi ÇOPUR	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Hürriyet AKTAŞ	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
Prof. Dr. İhsan ÖZKAN	<i>Selçuk Üniversitesi</i>
Prof. Dr. İhsan TOROĞLU	<i>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
Prof. Dr. İsmail Göktaş EDİZ	<i>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ	<i>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Mahmut YAVUZ	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Marinela PANAYOTOVA	<i>University of Mining and Geology, Bulgaria</i>
Prof. Dr. Malcolm SCOBLE	<i>The University of British Columbia, Canada</i>
Prof. Dr. Mehmet Kemal GÖKAY	<i>Konya Selçuk Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Mehmet Sıddık KIZIL	<i>The University of Queensland, Australia</i>
Prof. Dr. Mehmet POLAT	<i>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü</i>
Prof. Dr. Melih İHBAR	<i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Mete GÖKTAN	<i>Osman Gazi Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Mete KUN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Doç. Dr. M. Kemal ÖZFİRAT	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Mustafa AYHAN	<i>Dicle Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Mohamed KECIR	<i>University of Boumerdes, Algeria</i>
Prof. Dr. Nuh BİLGİN	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Nuray DEMİREL	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Nuri Ali AKÇIN	<i>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Okan SU	<i>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi</i>

Prof. Dr. Oktay BAYAT	<i>Çukurova Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Oktay ŞAHBAZ	<i>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Olgay YARALI	<i>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU	<i>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi</i>
Dr. Öğr.Üyesi Özgür TAMER	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Raşit ALTINDAĞ	<i>Süleyman Demirel Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Sair KAHRAMAN	<i>Hacettepe Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Serkan SAYDAM	<i>The University of New South Wales, Australia</i>
Prof. Dr. Suphi URAL	<i>Çukurova Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN	<i>Hacettepe Üniversitesi</i>
Doç. Dr. Tomasz NIEDOBA AGH	<i>University of Science and Technology, Poland</i>
Prof. Dr. Turgay ONARGAN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Vedat ARSLAN	<i>Dokuz Eylül Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Vedat DİDARİ	
Prof. Dr. Yadigar MÜFTÜOĞLU	
Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK	<i>Hacettepe Üniversitesi</i>
Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ	<i>Hacettepe Üniversitesi</i>

## CONTENTS/ İÇİNDEKİLER

SUNUŞ.....	111
ÖNSÖZ.....	v
FOREWORD.....	vi
ORGANIZED BY/ ORGANİZE EDEN KURUM.....	vii
EXECUTIVE BOARD of UCTEA/ TMMOB YÖNETİM KURULU .....	viii
SCIENTIFIC COMMITTEE/ BİLİMSEL KURUL.....	ix

## PROCEEDINGS/ BİLDİRİLER

<b>Maden Makinaları Kapsamında Kazı Makinaları ve Kazı Mekanizasyonunun Ülke Madencilğinde Takip Ettiği Seyir .....</b>	<b>1</b>
<i>Ş. Eskikaya</i>	
<b>From Conveyor Element Tointelligent, Interlinked Operating Assistant Chains – Smarter And More Reliable With Sensors .....</b>	<b>6</b>
<i>G. Philipp</i>	
<b>Paper: Fmsl &amp; Bulk Sorting Systems .....</b>	<b>17</b>
<i>A. Benbia</i>	
<b>Effect Of Oxidizing And Reducing Agents On Quartz Bleaching .....</b>	<b>22</b>
<i>M.M.A Mohammed, T. Güler, M. Issah</i>	
<b>Digital Transformation of Mining Enterprise .....</b>	<b>30</b>
<i>M. Makeev</i>	
<b>Operasyonel Parametrelerin ve Kayaç Özelliklerinin Delme Verimine Olan Etkisi .....</b>	<b>42</b>
<i>U. Sakız, H. Aydın, O. Yaralı, N.A. Akçın, H. Duru</i>	
<b>Orta Ağırlıkta Bir Kollu Galeri Açma Makinasırazi Performansınıfarklı Kazılabilirlik Kriterleri Açısından Değerlendirmesi: Amasra Sahası Uygulaması .....</b>	<b>55</b>
<i>M. Akkaş, O. Su, G. Bacak</i>	
<b>Mekanik Kazıcılarda Keski Dizilim Tasarımlarının İrdelenmesi .....</b>	<b>69</b>
<i>O. Z. Hekimoğlu</i>	
<b>Modifiye Cerchar Aşınma İndeks (CAI) Deney Aleti ile Kayaçların Spesifik Çizme Enerjilerinin Belirlenmesi .....</b>	<b>77</b>
<i>H. Duru, N.A. Akçın, O. Yaralı, H. Aydın, U. Sakız</i>	
<b>Çelik Tahkimat Profillerinde Ülke Standartlarının Değerlendirilmesi .....</b>	<b>89</b>
<i>O. Yılmaz, S. Demirci, T. Dikici, M. F. Ebeoğlu</i>	

<b>An alternative spontaneous combustion experiment set-up by employing an old version Gas Chromatograph.....</b>	<b>92</b>
<i>M.Bilen, E. Kaymakçı, S. Yılmaz, A. Çakır</i>	
<b>Yeraltı Kömür Madenciliğinde Enjeksiyon/Köpük Pompasının Önemi .....</b>	<b>102</b>
<i>C. Tuz, T. Çağlayan, E. Kahraman, A. Erel</i>	
<b>TTK Kozlu Taşkömürü İşletmesi Dik Damar Esnek Yarı Mekanizeuygulaması (Kırkayak) .....</b>	<b>111</b>
<i>İ. Güner, N. Yılmaz, N. Kayabalı, H. Oruç</i>	
<b>Zincirli Kollu Kesme Makinası Etkinliğinin Maden Üretim Endeksi ile Değerlendirilmesi.....</b>	<b>117</b>
<i>M. Karaabat Varol, M.S. Saraç</i>	
<b>Açık İşletme Nakliye Sistemlerinde Bant Konveyörlerin Teknik ve Ekonomik Analizi: Agrega İşletmesi Örneği .....</b>	<b>127</b>
<i>T. Mallı</i>	
<b>Yeraltı Madenleri İçin Ana Havalandırma Fan Seçiminin Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi .....</b>	<b>136</b>
<i>F. Karakoç</i>	
<b>Dizel Ekipmanlardan Kaynakların Kirleticilerin Maden Havasına Etkileri ve Dpm Yönünden Detaylı Değerlendirilmesi.....</b>	<b>148</b>
<i>U. Yaşa, O. Öztürk</i>	
<b>Kazı Kapasitelerine Bağlı Hidrolik Kırıcı &amp; Delme-Patlatma Maliyet Analizi: Proje Örneği.....</b>	<b>157</b>
<i>T. Mallı, D. Karakuş</i>	
<b>Park Termik A.Ş Çayırhan Linyit İşletmesi' Nde J Sahası Hazırlık Kazı Çalışmalarının Değerlendirilmesi.....</b>	<b>164</b>
<i>Ç. Temel, E. İlhan, F. Ustabaş</i>	
<b>Tam Otomatik Eğik Düzlem Test Cihazı İmalatı .....</b>	<b>175</b>
<i>G. Coşkun, G. Sarıışık</i>	
<b>Dairesel Testereli Doğal Taş Kesim Makineleri İçin Spesifik Enerji Tahmin Modelinin Geliştirilmesi .....</b>	<b>182</b>
<i>S. DüNDAR, N. Bilim</i>	
<b>Yeraltı Kömür Madenciliğinde Halat Saplama Makinelerinin Güvenli Kullanımı .....</b>	<b>190</b>
<i>E. Kahraman, C. Tuz, A. Erel</i>	
<b>Kalın Kömür Damarlarında Farklı Üretim Yöntemlerinin Nümerik Analizi.....</b>	<b>201</b>
<i>M. E. Yetkin, M. K. Özfirat, M. Kun</i>	

<b>Mermer Ocağında Kullanılan İş Makinelerinde Oluşan Arızaların Üretim Maliyetine Etkisi .....</b>	<b>210</b>
<i>Ö. Topal, A. Güney</i>	
<b>Madencilik Operasyonlarında Makinelere Kaynaklı Risklerin HTEA Yöntemi ile Değerlendirilmesi .....</b>	<b>222</b>
<i>S. Kun</i>	
<b>Madencilik Faliyetlerinde Kullanılan İnsansız Hava Araçlarında Karşılaşılabilecek Riskler ve Risk Yönetim Modeli .....</b>	<b>229</b>
<i>M. Kun, S. Kun, K. Özfirat</i>	
<b>Uzunayaklarda Kullanılan Kesici-Yükleyici Makinalar ve SWOT Analizi .....</b>	<b>237</b>
<i>Ç. Tatar, M. K. Özfirat, M. E. Yetkin, M. Kun</i>	
<b>Mermer Üretiminde Kullanılan Kesici Uç/Soket Atıkları: Potansiyeli ve Geri Dönüşümü .....</b>	<b>244</b>
<i>O. Celep, E.Y. Yazıcı, H. Deveci</i>	
<b>Madencilik Sektöründe Optik Ayırma Makinalarının Tasarımı ve Teknolojisi .....</b>	<b>253</b>
<i>A. V. Korkmaz, İ. Altunkaya</i>	
<b>Investigation Of Briquetting Behavior For Chromite And Magnetite Concentrator Tailings .....</b>	<b>265</b>
<i>İ. Toroglu, M. Bilen, D. Cuhadaroglu, S. Yılmaz</i>	
<b>Kömür Hazırlama Tesislerinde Kullanılan Sınıflandırma Ekipmanları ve Salıncak Tipi Elek Hakkında Bilgi .....</b>	<b>274</b>
<i>S. Yılmaz, B. Kurnaz, İ. Toroğlu, M. Bilen</i>	
<b>Akışkan Hava Ortamında Kömürün Zenginleştirilmesine Yönelik Yeni Bir Cihaz Tasarımı .....</b>	<b>281</b>
<i>M. Bilen, E. Tazegül, D. Cuhadaroglu, S. Yılmaz</i>	
<b>Boron ore grindability and prediction the specific rate of breakage .....</b>	<b>290</b>
<i>S. Yılmaz</i>	
<b>Madencilik Sektöründe Filtrasyon İşlemi ve Alternatif Filtreler .....</b>	<b>297</b>
<i>A. Akın, H. Hacıfazlıoğlu</i>	
<b>From Minerals To Nanomaterials Through Mechanochemistry .....</b>	<b>308</b>
<i>N. Akhgar, P. Pourghahramani, M. Pazouki</i>	
<b>Separation Of Barite-Gangue Minerals In Cell Flotation Using SDS .....</b>	<b>319</b>
<i>M. Kecir, A. Kecir, J. Botula</i>	
<b>High Performance Vacuum Disc Filters – Excellent Solution For Tailings Dewatering .....</b>	<b>330</b>
<i>J. Pridal, J. Hahn</i>	

<b>Termal Olarak Aktifleştirilmiş Pirofillit Konsantresinin Alümina Üretimi İçin Asidik Liçi .....</b>	<b>338</b>
<i>R. Aydoğmuş, M. Erdemoğlu</i>	
<b>Tünel Şeklinin Elektromanyetik Sinyal Yayılımı Üzerindeki Etkisi.....</b>	<b>349</b>
<i>Y. Karaca, Ö. Tamer</i>	
<b>TTK Gelik İşletmesinde Uygulanan Dik Damar Kalkan Tahkimat Sisteminin Rehabilitesi .....</b>	<b>356</b>
<i>C.Yamudi, B. Tank, K. Kibaroğlu</i>	
<b>Simulation and animation of shovel – truck operations.....</b>	<b>366</b>
<i>G.N. Panagiotou</i>	
<b>AUTHOR INDEX / YAZAR LİSTESİ .....</b>	<b>376</b>

## MADEN MAKİNALARI KAPSAMINDA KAZI MAKİNALARI VE KAZI MEKANİZASYONUNUN ÜLKE MADENCİLİĞİNDE TAKİP ETTİĞİ SEYİR

**Prof.Dr. Şinasi Eskikaya**

**We know, mining is not everything, but without mining, everything is nothing.**

**Marc Planck**

Maden makinalarının ülkede bu gün geldiği seviyeyi takdir edebilmek için, onun eğitim ile ilgisine bir göz atmakta yarar vardır.

Türkiye'nin ilk maden Fakültesi,1953 de **İTÜ** bünyesinde,5. Fakülte olarak kuruldu. Resmi açılışı Üniversite öğretime başladıktan sonraya rastladığı için, ilk sınıf öğrencileri, başta Makina Fakültesi olmak üzere diğer Fakültelerden geçiş yapan öğrencilerden oluşmuştu. Diğer yandan maden mühendisliği dalında ders verecek maden mühendisi kökenli bir akademisyen hoca da mevcut değildi. Bu sebeple eğitim kısa süreliğine **Almanya**'dan gelen Profesörlerle, eğitimlerini yurtdışında yapmış, endüstride çalışan ve Üniversiteye "**öğretim görevlisi**" olarak atanan bazı değerli kişiler tarafından sürdürülmekteydi. Birinci gruba örnek olarak **Prof.Wöhlbier** (Maden İşletme A,B ve C),**Prof.Engels** (Maden Makinaları A ve B), **Prof.Bierbrauer** (Cevher Hazırlama),**Prof.Schumacher** (Maden Yatakları-Mineroloji),**Prof.Rellinghausen** (Yeraltı topoğrafyası) ; ikinci gruba örnek olarak ta, **Galip Özen, Namık Esmer, Hüseyin Kulaksız, Asaf Yenisey, Yavuz Fındıkgil, Falih Ergunalp**, kısa bir süreliğine de olsa **Gürbüz Fındıkgil** ve **Ferit Kromer** sayılabilir.

Maden Makinaları dersini, **Türkiye**'ye gelip kaldığı bir kaç haftalık süre içinde **Prof.Engels** veriyor **Namık** bey de tercüme ediyordu. **Engels** gittikten sonra da dersi anlatmaya **Namık** bey devam ediyordu.

**İTÜ** de,5 yıllık eğitim sürecinde staj mecburiyeti, her sene birer buçuk aydan 6 ay, yani 180 iş günü idi. Stajlar sırasıyla ve her biri ayrı ayrı olmak üzere : "Yeraltı işletmesinde, Açık işletmede, Metal madeninde ve Kömür ocağında" yapılmak mecburiyetinde idi. Ben şans eseri bütün stajlarımı,işçi olarak çalışmak suretiyle **.Almanya**'nın muhtelif ocaklarında yaptım ve staj sürem toplamı da iki yıla yaklaşmaktaydı.Bu sebeple ,daha öğrenim yıllarında,yani 1950'li yıllarda, çeşitli maden makinalarını bizzat yerinde görmek imkanım oldu. Bunların içinde en ilginç olanları da, henüz ülkemizde adı sanı bile bilinmeyen "**kazı makinaları**" idi.

Mezuniyet sonrası bir seneyi aşkın bir süre **DSİ** de sondaj mühendisi olarak çalıştım. Askerlikten sonra yeniden **DSİ** ye müracaat ettim. Tayinim çıktı. Görev yerine gitmek üzere hazırlık yapmakta iken, akıl almaz bir tesadüf sonucu kendimi Üniversitede Asistan olarak buldum.



Dersler gene öğrenciliğim zamanındaki gibi devam ediyordu. O an için kürsünün başında, dünyanın sayılı kaya mekaniği otoritelerinden **Prof.Fritz Mohr** bulunuyordu. Ama iki yıllık görev süresi bitmek üzereydi. O gittikten sonra, öncesinde de olduğu gibi kürsü başkanlıklarına **Jeoloji** Bölümünün hocaları idareten bakmaya başladılar. Yani biz tam anlamıyla sahipsizdik. Elimizden tutup bize doktora yaptıracak maden mühendisi kökenli bir hoca yoktu.Günler bu minval üzere geçip giderken,ben biraz da haddimi aşarak **Namık** beye :"*Hocam,biraz da kazı makinaları anlatsanız*" dedim. **Namık** bey : "*kardeşim, o kadar hızlı gelişıyorlar ki! hangi birini anlatayım?*" diye bir cevap vermişti.Gerçi cevabın savunulacak bir yanı yoktu ama,gerçekten de,ikinci dünya harbinin verdiği ivme ile kazı makinaları çok hızlı bir gelişme içindeydi.Bunların içinde de bilhassa kömür sapanı !.

1964 sonları veya 1965 in başlarında, **Zonguldak**'ta çalışmakta olan **Cemal Birön** isimli bir Doçentin kürsümüze geleceği haberi geldi. O gelmeden önce koca **Maden İşletme Kürsüsü** ile **Maden Makinaları** kürsüleri birleştirilip tek bir kürsü haline getirilmiş (**Maden İşletme ve Makinaları Kürsüsü**), ve bir kürsünün kadroları, jeoloji kürsüsüne aktarılmıştı. **Cemal** bey geldi ve birleştirilmiş kürsünün başına geçti. Ama **Cemal** bey henüz doçent idi ve doktora tezi veremiyordu. O da bizlere, bu arada şahsıma, bir imkan sağlıyarak,"*kazı mekanizasyonu*" konusunda doktora yapmak üzere **İngiltere, Newcastle Üniversitesi**'ne gitmemi sağladı.

O Üniversitede, hidrolik kazı fikrinden yola çıkılarak 15 yıl boyunca beş doktora yapılmıştı. Zincirin son halkası ben oldum. Benden istenen "*1/4 ölçekli bir hidrolik sapan yapmak, keza gene 1/4 ölçekli mekanize bir ayak modeli inşa ederek, bu sapan ile o tesiste deneyler yapmak*" idi. Özellikle başlangıçtaki ilk sene çok ama çok zorluk çektim. Kendi öğrenimimiz sırasında adını,sanını duymadığımız bir çok konuyu (strain gauge'ler, hidrolik konusu, dimensional analysis gibi) öğrenmek zorunda kaldım.Ama tüm zorluklara rağmen,2.5 sene içinde hem hidrolik sapanı yaptım, hem de 1/4 ölçekli mekanize ayak modelini kurdum.Hidrolik sapanın yapı prensibine,o zamana kadar kimsenin akıl etmediği bir yenilik getirmiştım.Kürsü başkanımız **Prof.Potts**,kendi adına bunun patentini aldı. Zaten sapanın endüstriyel boyutta yapılanına da "**Potts Plough**" adı verilmişti. İnşa ettiğim 1/4 ölçekli mekanize ayak ise,20 sene müddetle, yani kürsü kapanıncaya kadar, bir çok master ve doktora öğrencisine, araştırmalarını yaptıkları bir araç oldu.

Kazı makinaları ve kazı mekanizasyonu hakkında 1970 lerdeki durumu ifade etmesi açısından bir anımı nakletmek istiyorum. Sanıyorum 1972 idi, Üniversiteden bazı arkadaşlar için bir haftalığına **Akçay**'a gitmiştik. Orada, **Ankara**'dan gelen sınıf arkadaşlarım olan maden mühendisleriyle karşılaştım. Bir akşam oturduk, yiyip, içip eğleniyoruz. İçlerinden bir tanesi,bütün içtenliğiyle dedi ki : "*yahu Şinasi arkadaşımız şimdi bizim canımız ciğerimiz,kardeşimiz.Niye İngiltere'ye gidip onca sene çalışarak "hiç bir işe yaramaz bir konu'da doktora yapıp ta geldi ki?*".Hepsi de yüksek maden mühendisi olan arkadaşlarımın hiç birinden,aksi yönde bir yorum gelmedi.Yani 1970 lerde kazı mekanizasyonu konusuna bu gözle bakılıyordu.Kazı mekanizasyonu konusunda **Türkiye**'nin "*ilk doktora yapan kişisi*" bendim.Ama yaptığım çalışma "*işe güce yaramaz*" olarak niteleniyordu.İşte şimdi yapacağımız iş ,bu "**hiç bir işe yaramaz**" bilgi birikiminin bana neler kazandırdığı ve neler yaptırdığına kısaca bir göz atmak olacak :

-- Doçentlik tezi çalışması çerçevesinde, **Tübitak** destekli bir proje olarak, **Tunçbilek**'teki kömür damarının mekanizasyonu konusunda 4 yıl aralıksız olarak çalıştım. Yeraltında deneyler yaparken müdür sayın **Akın Kocatopçu**'dan ve yardımcısı sayın **Ertürk Okyay**'dan gördüğüm desteği burada şükranla yad etmek istiyorum. Orayı tanıyanlar bilir, kömür damarının içinden, masa büyüklüğüne kadar çıkabilen ve adına "**kaynak taşı**" dedikleri silis kayaları geliyordu. Bunların bir makine ile kesilmesi imkansızdı ama ben gene de "*Batıda bu durumlarla karşılaşılıyor mu, eğer öyle ise ne yapılıyor?*" konusunu araştırmak istedim. İki yumruk büyüklüğünde bir kaynak taşını bir filenin içine koyup açıktan taşıyarak **İngiltere**'ye gittim. 1.5 ay hemen hemen önemli tüm maden makineleri fabrikalarını gezdim, incelemelerde bulundum. Sonra kalan 1,5 ayı geçirmek üzere **Almanya**'ya geldim. Orada da aynı işi yaptım. Elimde kaynak taşı, dünyanın en güçlü kesici yükleyici makinelerini yapan "**Eickhoff**" Firmasının müdürünün yanına girdiğimde, müdür bana : "*eğer siz bu taşı bizim makinelerle kesmeye kalkarsanız, ben hemen burdan ayrılır, Türkiye'ye gelir ve bir "keski ve yedek parça temin şirketi" kurarım*" demişti. **Tunçbilek**'te yaptığımız uzun incelemelerden sonra, kaynak taşlarının, damarın **C** kilinin üzerindeki kısmından geldiği ve **C** kilinin alt tarafındaki 1.5--2 metrelik damar kısmında kaynak taşı olmadığını tespit ettik. O halde damarın bu kısmı mekanik olarak kazılabilir. Raporumu, bu kısımda önce bir pilot ayak denemesi yapmalarını önererek ve kullanılacak özel makinenin de çizimlerini yapıp koyarak hazırlayıp işletmeye verdim. Aynen önerdiğim şekilde bir uygulama yapıldı. Alınan sonuç üzerine bizden, "**Ömerler derin saha kömürlerinin tam mekanize projesi**" ni istediler. Bu "*hiçbir işe yaramayan*" bilgilerle onu da yapıp işletmeye teslim ettik.

--Bir gün, bir vesileyle **TKİ**'nin **Zafer Çarşısı**'ndaki Genel Müdürlüğüne gitmiştim. Aynı zamanda sınıf arkadaşım olan eüt-proje daire başkanına uğradım. Laf arasında bana, **Çayırhan** bölgesinin mekanizasyonu olayının bir firmaya verildiğini ve epeyce de mesafe katedildiğini söyledi. Beraber okuduğumuz için arkadaşımın mekanizasyon hakkında hiç bilgisi olmadığını biliyordum. Nitekim konuşma sırasında önemli boşluklar ortaya çıktı. Sonuçta, projeyi, bu benim de adını ilk defa duyduğum firmaya vermekten vazgeçtiler ve işi ehline verdiler. O arkadaşım vefat etti. Bu olayın perde arkasını da hemen hemen kimse bilmez. Ben ise ülkeme bu "*hiçbir işe yaramayan*" bilgilerim dolayısıyla önemli bir hizmette bulunduğuma inanıyorum.

--Gene bir gün, **Zafer Çarşısı**'ndaki Genel Müdürlükte, bu defa arkadaşım olan Genel Müdürü ziyaret ediyorum. Bana sevinçle büyük bir müjde verdi : "*Müjde, Zonguldak'a* (o zamanki statüsü **TKİ**'ye bağlı **Ereğli Kömür İşletmeleri** isimli bir müessese) *bir kömür sapanı alıyoruz*" dedi. Ben o "*işe yaramaz*" bilgimle hiç tereddütsüz "*o sapanı orada çalıştıramazsınız*" dedim. Benim çok kesin ve negatif tavrım karşısında şaşırды, kekeleydi ve "*zaten biz onu kredi ile alıyoruz*" dedi. Sonra başka konulara geçtik. O sapanı **Alman** uzmanların nezaretinde, **Üzülmaz** bölgesinde bir sene kadar çalıştırdılar. İyi sonuç alamamış olacaklar ki, kağıt üzerinde jeolojik açıdan çok daha düzgün olan **Çayırhan** bölgesine yolladılar. Ben bunu duyunca ilgililere "*orada da çalıştıramazsınız*" dedim. Zira bu bölgenin kömürleri hem sert idi hem de bazı silis oluşumları ihtiva ediyordu. Nitekim kısa bir denemeden sonra zincir kırılmaları ve keski körlenmeleri ile baş edemeyerek hurdaya atıldılar.

-- Beş yıl boyunca **Zonguldak**'a gidip gelerek ve yeraltında ölçme ve incelemeler yaparak, galeri sürmelerin mekanize edilemeyeceğini araştırdım. **Alman** ocaklarındaki delme patlatma ile olan uygulamalar ile karşılaştırdığımda, 3-4 kat performans düşüklüğü tespit ettim. **EKİ** de galeri

sürmelerde ölü zaman % 55 civarında idi. Bunu **Zonguldak**'a gelen o günün **TKİ** Genel Müdürü'ne söylediğimde, beni hayretten donduran şu cevabı vermişti : "*o normal, onu geç. Başka ne buldun?*".

--Büyük bir mücadeleyle ve bu yönde hazırladığımız projeyi de kabul ettirerek, Laboratuvarında bir "**mekanik kazı deney seti**" yapmak üzere **NATO**' dan **700 000** dolarlık bir fon temin ettik.O parayla da söz konusu deney setini kurduk.Her yıl **Brüksel**'den gelerek yaptığımız işi denetlediler.Son gelişlerinde ( 5 yılın sonunda) şöyle bir şey oldu : Ülkenin en büyük müteahhitlik firmalarının birinde çalışan makina mühendisi bir arkadaş,bizim sette deneyler yaparak **İstanbul**'da kullandıkları bir **TBM**' in keski masraflarında muazzam bir düşüş elde etmiş.Bunu gelip **Nato** toplantısında söyledi.**Nato**'lu uzmanlar çok memnun kaldılar.Akşam **Tübitak**'ta verilen yemekte bundan bahsetmişler.Ertesi günü zamanın başbakan yardımcısının danışmanları geldi ve benden,başbakan yardımcısına sunulmak üzere kısa bir rapor istediler.Bundan sonra devlet eliyle yapılacak tünel-metro ihalelerinde,ihale şartlarını (keski masrafları,günlük ilerleme vs gibi) belirlemek için bu setten yararlanmayı düşündüklerini söylediler.Ben o kısa raporu hazırlamadan hükümet istifa etti ve bu teşebbüs te gerçekleşmedi.Ama aynı toplantıda bulunan (üniversiteden de tanıdığım) **İSKİ** genel müdürü telefon ederek bizim seti görmek istediğini söyledi.Geldi,gezdi ve çok beğendi "*Bunu ihale verdiğimiz müteahhitlere anlatalım*" dedi.Tanıtımın **İSKİ** binasında yapılması ve yazılı davetiyelerin de onlar tarafından hazırlanıp yollanması hususlarında mutabık kaldık.Nitekim kendi müdürlüğüne döner dönmez ilgili daire başkanı beni aradı ve konuşup gün ve saati tespit ettik.Belirlenen tarihte 4 arkadaş olarak **İSKİ**'ye gittik,daire başkanının odasına çıktık.Kısa bir hoş beşten sonra daire başkanı niçin geldiğimizi sordu. Biz şoke olduk.Toplantı için geldiğimizi söyledik."**O bu gün müydü?**" diye sordu ve hızla masasının üzerindeki takvim yapraklarını karıştırmaya başladı.Sonunda buldu.Toplantı bu gündü.Bir iki saniye düşündü.Kurban olayım memleketimin insanların pratik zekasına.Hemen kendisine bağlı ne kadar birim varsa oralara telefon ederek sekreterlerin ellerindeki işi bırakıp toplantı salonuna gitmesini söyledi.Ayrıca muhasebeye telefon ederek,müteahhit firmalarından para almaya gelen ne kadar insan varsa,onların da toplantı salonuna yollanmasını istedi.Arkadaşlar bana "*ne yapacağız?*" diye baktılar.Ben de "*gidip konuşmamızı yapacağız*" dedim.Gittik,maksimum 30-35 kişiyi bulan ve konuşmamızın zerresini anlayamayacak olan bu nezih (!) topluluk karşısında iki saat kadar konuşarak onları tam bir engizisyon işkencesine maruz bıraktık ve oradan ayrıldık.Ertesi gün olayı Genel müdüre aktardığımda özür diledi ve başka bir gün tekrar etmemizi istedi.Onu da biz kabul etmedik.

--**Türkiye**'nin, uluslararası şöhrete de sahip bir büyük müteahhitlik firmasından iki mühendis geldi. **İSKİ** 'ye ait bir tüneli makina ile açmak isterken problemle karşılaşmışlar ve makinenin modelini de söyleyerek bizden yardım istediler. Arkadaşları da yanıma alarak olay yerine gittik.Tünelin ağzında bazı kayaç yığınları duruyordu."*Makine ile bu kayaçları mı kazıyordunuz?*" diye sordum "*Evet*" cevabı alınca da,o "*hiçbir işe yaramaz*" bilgim sayesinde,herhangi bir deneye bile gerek görmeden "*bu kayacı bu makine ile kazamazsınız ki*" dedim.İşin en hayret ettiğim tarafı da şu oldu :bunlar **Almnaya**'da bu makineyi alırken,Firma yetkilileri.ellerinde kayaçlara ait hiç bir veri olmadan,bakkaldan limon alır gibi yapılan bu alışveriş karşısında (bizi ve deney setimizi de yakından bildikleri için) hayrete düşmüşler ve isimlerimizi de vererek,oraya gitmeden önce bizimle temas edip etmediklerini sormuşlar.Onlar da "*gerek görmedik*" diye cevap vermişler.Adamlar da ayaklarına kadar gelen müşteriye kaçırarak değiller ya ! makineyi bizimkilere satmışlar.

-- Bundan 35 sene kadar önceydi. Bir kredi verilmesi olayı dolayısıyla **İngiltere**'den maden makinaları konusunda uzman bir kişi gelmiş **Türkiye**'de incelemeler yapıyordu. **Zonguldak** seyahatinden sonra Üniversitemize uğradı ve bana *"Zonguldak'ta gördüğü Merkez Atelyesine hayran olduğunu, Avrupanın değme maden makinaları fabrikalarından daha geniş ve daha büyük potansiyele sahip olduğunu"* söyledi. Doğrusu ya ben Merkez Atelyesine bu gözle bakmamıştım.Bir kongrede bu konuda bir tebliğ verdim.Çok beğenildi ama o kadar.Kimse kılını bile kıpırdatmadı.O arada **TKİ** Genel Müdürü **Celalettin Dursun** bey ile, bir saatlik bir konuşma imkanı buldum ve bu fikrimi açtım.Kurulacak fabrikanın hem maden hem de inşaat sektörü tarafından ortaklaşa kullanılan makinaları üretmekle işe başlayacağını söyledim.Aklı yattı.Nitekim,hatırladığım kadarıyla **Zonguldak**'ta bu fabrika (kağıt üzerinde de olsa) kuruldu hatta müdürü bile tayin oldu.Ama sonradan,**Celalettin** beyin Genel Müdürlükten ayrılması ve diğer bazı başka sebeplerden dolayı.bu teşebbüsün de arkası gelmedi.

Konuşulacak daha başka hususlar da var ama, isterseniz bu seferlik burada keselim. Beni dinlemek nezaketini gösterdiğiniz için hepinize teşekkür ederim

**From conveyor element to intelligent, interlinked operating assistant  
Chains – smarter and more reliable with sensors**

Prof. Dr. Günther Philipp

**SUMMARY**

Developments in mining chain technology over the years have led to a massive increase in the transmittable forces, along with a corresponding rise in production performance (> 5000 t/h), and have helped extend the length of the winning face by a least a factor of 10 (> 450 m). At the same time, the potential offered by the available materials has been largely exhausted. In the same way, the space restrictions imposed on underground chain conveyors (height clearance in the return strand and limited diameter of the drivereturn) have seen developments taken to their limits with the introduction of geometrically more compact chain links. Given the power density of today's face conveyor installations it is now standard practice to spread the forces over two conveyor chain strands.

From the current perspective, ongoing improvements and further increases in performance can be achieved by introducing real-time monitoring of the chain forces and status conditions. Such measures have the capacity to accurately record and evaluate loads and stresses whose nature and intensity have previously only been based on estimations. Developing a method for successfully transferring data to the other parts of the winning installation, with corresponding reactive feedback, will mean that lifetime extensions and possibly even smaller dimensioning of the chain system will be both conceivable and feasible.

Bridge pieces with measurement ports, which are specially inserted into instrumented chain links, now provide scope for sensor modules – which may contain several different types of sensor – to be incorporated along with an energy source. Admittedly, without an external energy supply or some other form of internal energy generation the battery capacity will impose limits on the range and duration of the measuring process.

The promising attempts made in this area to date certainly provide motivation for the further development of chain monitoring technology.

## 1 INTRODUCTION

The ongoing mechanisation of winning operations in the coal, lignite and potash industries would not have been possible without accompanying advances in chain technology. The fundamental cornerstones of this 75-year development history have been as follows:

- Increase in feasible production levels (> 5,000 t/h) and increase in face length (> 450 m) by at least a factor of 10.
- Increase in nominal chain size from 16 to 60 mm with the development of corresponding bending, welding and tempering techniques.
- Doubling of the transmittable forces as a result of an increase in the nominal tensile stress from 0.4 to 0.8 kN/mm<sup>2</sup> and beyond.
- Fourfold increase in conveyor chain speed from about 0.4 m/s to around 1.6 m/s (and as much as 3.6 m/s in the case of plough chains).
- Introduction of parallel twin inboard chains in long strands thanks to force- and path-controlled calibration.
- Effective corrosion protection by means of hot-dip galvanising.

This list does not include the huge efforts made by chain manufacturers over the years to develop geometrically more compact chain links in order to cope with the reduced clearance becoming available in the bottom race of the conveyor. The larger-sized vertical links have for years been produced either by forge-flattening welded links or, in the case of low-height links, by forging from new.

From a purely manufacturing perspective it would be possible to develop chain 'hardware' of even larger dimensions. However, it is questionable whether this would make sense from an application or operational point of view. What ultimately counts at the end of the mining process chain is the yield of mineral material and the associated costs. When it comes to high-performance longwall faces a smart and reliable approach may well be feasible by fitting sensors and interlinking the mechanical core component, namely the chain, with the other machines that comprise the face winning system.

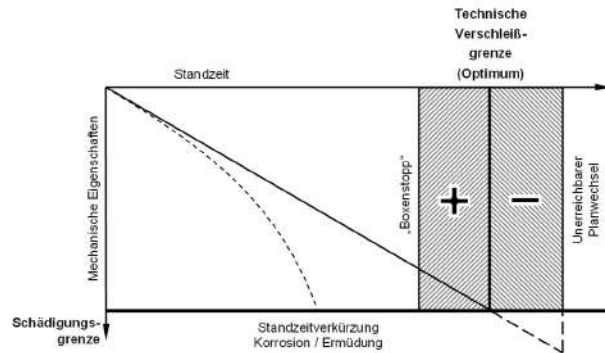
## 2 Damage factors and chain operating life

The operating life of face conveyor chains is affected by three key factors:

- wear
- corrosion
- fatigue.

For a mining conveyor chain the start-up of a new production face also marks the commencement of a degradation process that progressively affects its mechanical properties (breaking strength, ultimate elongation and sustainable load cycles). In the case of chains that are exposed to wear in isolation this ageing process will be a linear one (Figure 1). However, the angle of this ageing line will change as a function of the composition of the material being conveyed (dirt content). Some faces achieve production levels of several million tonnes. In situations of purely abrasive wear a chain may often be replaced as a precautionary measure on reaching the end of a panel, even if the wear status is regarded as 'subcritical' (the pit-stop strategy). This helps ensure a trouble-free chain run in the subsequent panel. However, it also means that the chain has not yet reached its actual technical wear limit. On the other hand, changing over the chain while the face is still in production is a laborious and cost-intensive operation. This is the kind of fate that befalls a mine operator if a winning panel is unable to reach its boundary, or a scheduled operational stoppage for urgent and time-consuming equipment

repairs cannot be made, because of a damaged chain interrupting the production process. The basic rule is: the stability of the system is always more important than the potential service life.



**Figure 1: Simplified depiction of chain service life**

What is much more difficult is to assess is the life-shortening impact of overlapping degradation processes. Many coal faces are affected by aggressive corrosion conditions and here damage is crucially initiated by the seemingly innocuous spray water.[1] This wets the coal that adheres to the gaps between the chain joints and dissolves the mineral content of the fines. If the chain is not protected by galvanisation pitting and cavitation can then develop in these electrochemically active gaps and also at other build-up points. Corrosion cavities and pitting will in turn provide entry points for progressive crack formation deep down. The growth of these cracks will subsequently be promoted by cyclic pulsating stress until fatigue fracture occurs. The crack propagation rate will increase as the load-bearing cross section becomes smaller. Depending on the operating conditions and the fracture toughness of the chain material under corrosion conditions chains may fail after just a few hundred thousand tonnes of mineral production.

Similar damage mechanisms will operate in the case of crack initiation due to wear or as a result of unavoidable friction stress. If cracks develop in chain-link zones that are subject to tensile stress the former will tend to open up and become deeper. (2) Because of the high friction stresses involved this crucially affects plough chains running quickly through narrow guides, though is less frequently a problem for conveyor chains. Damage exacerbating corrosion will also occur in some cases.

In the case of overlapping damage mechanisms the degradation of the chain's mechanical properties will be characterised by a falling curve progression (cf. Figure 1).

Pure fatigue, without significant wear, is only really encountered in the case of highly stressed plough chains, and even then only rarely.

For the sake of completeness it should be noted that a different set of operating conditions apply to the gate conveyors installed downstream of the production unit. As these installations are relatively short (< 60 m) their chains are more frequently deflected in relation to the same production tonnage. This leads to an increase in the pitch of the chain links due to wear and tear beyond critical limits, a phenomenon that develops much more quickly here than is the case with face chains. The effective interaction between chain and sprocket will no longer be present beyond an extension in chain pitch of about 3.5%. It is therefore normal practice to replace gate-conveyor chains on panels that are still being worked.

### 3 Operational stresses

The harsh operating conditions encountered on a longwall face, which are aggravated by unpredictable changes in the geological and geomechanical parameters, create a huge array of stresses and strains. Some of these can be classified as regular (systemic) and some as irregular (event related) (Figure 2).



Figure2: Chain stress model according to [3]

Function-related stress (power and speed transfer) and process-related stress (vertical deflection at the sprocket, vertical and horizontal deviation in synclines and anticlines, and snaking) are unavoidable. These can be recorded by means of sensors that detect and display the forces involved. The same applies to chain blockages, kinking and heavy starting at the chain assembly, all of which are process-related, undesirable and yet situationally unavoidable.

These function- and process-related stresses produce resultant stress levels. Systemic fatigue (concentration of values) and systemic wear (value comparison) are quantifiable. The crack formation that is caused by friction could possibly be detected and evaluated by means of acoustic emission measurements.

If necessary, the temperature resulting from any additional regularly occurring stress could be detected quite simply by using sensors. Corrosion, on the other hand, because of its two-phase progression (starting with pitting and cavitation followed by crack propagation due to stress corrosion) (1), would only be detectable with the aid of sensor technology requiring a level of effort and expense that is currently impossible to assess.

The greatest operational 'evil', namely maladjusted pretension force, could be removed by employing interlinked sensor technology (chain and drive system). This would reduce the wear and energy consumption associated with over-tensioned chains and prevent the chain blockages that can occur when running under-tensioned chains.



#### 4 Integration of measurement technology

Of the stress elements listed above there is always a tensile force present in the system while the installation is in operation. This force never completely disappears, even when the installation is at rest. The tensile force is altered by the chain circulation and loading process. Its tendency to increase linearly is overlaid alternately by dry friction oscillations and it only takes on a zero value for a brief moment at the points where the chain emerges from the drives (hanging chain), when it is free from tension.

The measurement and recording of the chain tensile forces, the comparison of these values for chain strands running alongside or counter to one another in the conveyor, and the mathematical evaluation of the value changes all provide a whole range of conclusions relating to the operating forces and stresses at play. This means that the most important measurement parameter has already been found.

In order to measure forces of this kind the obvious solution here is to employ the type of strain gauge that performs reliably and trouble-free in countless technical measurement and control applications and which is connected to form a Wheatstone bridge circuit. The changes in electrical resistance produced by the gauge's mechanical deformation can readily be converted into mechanical stresses and forces.

The question of finding a suitable mounting space in a chain link, without impairing its real function, requires some preliminary considerations. Even though the leg of the chain link is basically overdimensioned, as it only has to transfer about 50% of the tensile force compared with the crown, the complex nature of the load stresses and internal stresses at work means that geometric changes are only possible to a limited degree. A much simpler solution is to insert a bridge across the centre of the chain link. While this will clearly reinforce the measurement link, a few individual links of this kind distributed over the entire chain will have no measurable impact on the overall tensile behaviour of the chain. As well as creating the additional mounting space needed the central bridge also has the advantage of permitting measurement of the compressive forces arising due to the lateral contraction of the legs when force is applied. The unapparent but measurable deformation of the chain link that occurs in the linear-elastic tensile force range is a reliable measure of the tensile force arising here.

The bridge that is fixed across the centre of the chain link can adapt very well to the three-dimensional curves generated by the bending and deflection kinematics, provided that the function of the chain is not restricted. The bridge itself has no load-bearing function and its walls only have to withstand the small compressive forces arising from the lateral contraction of the chain link and protect the sensitive electronic components from knocks, impacts and dirt. Using previous designs as a reference the usable interior of the bridge  $V_N$  can be determined in approximate terms as a function of the respective nominal chain diameter  $d$  as follows:

$$V_N \approx d^3 \quad (1-1)$$

A chain of nominal size 42 x 146 mm therefore provides a cavity volume of around 74,000 mm<sup>3</sup>. This space can be completely filled with electronic components and power sources. Here the actual sensor

module (sensor and processor) only takes up about 4% of the available volume. Additional miniaturised sensor devices could also be accommodated without any problem (Figure 3).



**Figure 3: Smartphone versus sensor chain**

An integrated energy source, on the other hand, would take up much more space. Moreover, further requirements have to be met when batteries are being used:

- non-flammable electrolyte (intrinsic safety)
- minimum voltage 3.6 V
- voltage stability to be maintained over the entire measurement period
- high capacity (stored electrical charge).

Lithium thionylchloride batteries (Li-SOCl<sub>2</sub>) of size AA and ½ AA were fitted for previous tests (Figure4).

nom. size	dimensions mm x mm	volume mm <sup>3</sup>	capacity mAh	weight g	capacity density mAh/mm <sup>3</sup>
<b>AA</b>	Ø14.55 x 50.30	8363	2600	16.7	0.31
<b>½ AA</b>	Ø14.55 x 25.15	4282	1200	8.9	0.28

**Figure 4: Comparative data for test batteries**

The mountings and connections for the batteries require at least the same amount of space as the battery body itself. For a chain of nominal size 42 this means that about 50% of the measurement space is filled when two parallel connected AA batteries are employed. As the measurement bridge still has to be closed over, very little installation space will remain for any other energy supply elements.

This outlines the real problem created by an integral energy source. The process of continuous measurement and data storage requires a current strength of around 20 mA. Considerable thought was therefore given to the idea of supplying energy from an outside source or making the entire measurement system removable so that quick changeovers could be effected.

## 5 Data logging, processing and storage

The primary and most important detection variable in any conveyor chain operation will be those forces whose values are determined by the strain gauge system. This measurement parameter can be handled in three different ways: [4]

- storage of the entire data as force-time curves
- transmission of the measurement data by radio to external processing units
- preparation (classification and compression) of the data with subsequent storage and/or radio transmission.

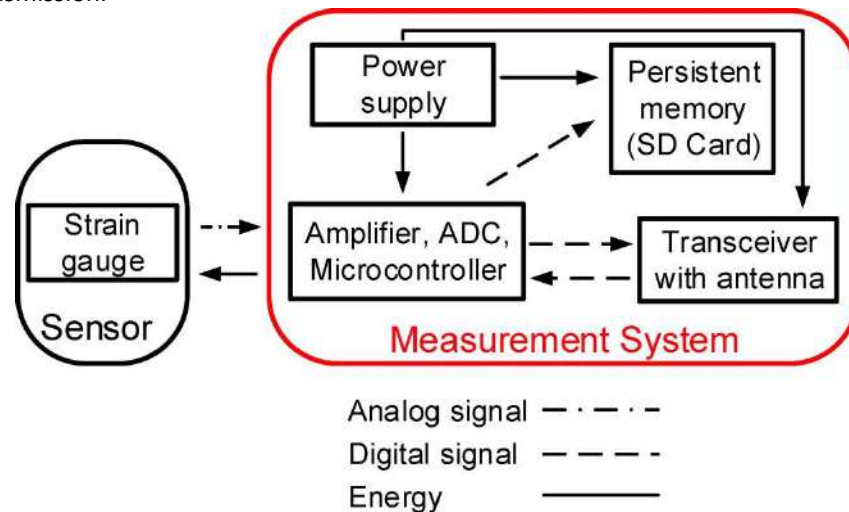


Figure 5: Schematic diagram of the chain-sensor system according to [5]

One of the recognised counting techniques for fatigue life calculation (Markov, Rainflow, etc.) is used for processing the measurement data. This approach, whereby the information is allocated to load classes, reduces the large quantity of data associated with the collective stress factors. The system analyses the magnitude and frequency of the stress amplitude but not the frequency and sequence of the results. The counting method calculates a damage sum, which is obtained by way of a damage accumulation computation based on the stress-cycle (Wöhler) curve of the component. While component failure cannot be predicted, especially when it comes to overlapping damage factors, it can at least be localised in time.

## 6 Chain monitoring

Chain monitoring signifies the systematic recording (measurement and logging) of the stress parameters, their interpretation and transfer into a status assessment, and a near real-time transference to a process-monitoring control centre. The data transferred from the chain play a supporting role in the overall system control process.

### 6.1 Initial application on a longwall face

After numerous trial runs on a test conveyor at the Institute for Mining and Metallurgy Machinery (now Advanced Mining Technologies) the system was deemed to be sufficiently advanced by 2016 for an underground trial on an actual face conveyor. Sobieski colliery in Poland, which is operated by the Tauron Energy Group based in Jaworzno, agreed to host a 10-day test. Sobieski mine, whose take covers an area of some 65 km<sup>2</sup>, is located about 25 km south east of Katowice in the Upper Silesian coalfield region. The colliery's three active faces produce a combined gross output of around

14,500 t/d. A panel in 209 seam was chosen to test the system. The face in question, which measured 300 m in length, had a seam thickness of around 3.9 m and exhibited a dip of about 5 degrees.

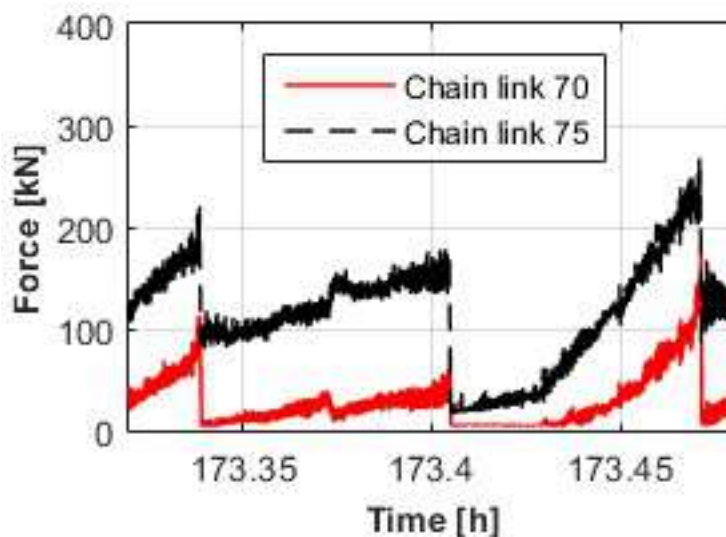
Technical data (coal winning)	
<b>Drum shearer</b>	Joy 7 LS 22
Cutting width	800 mm
Speed of travel	7 – 10 m/min
<b>Face conveyor</b>	Nowomag PSZ 950/ 3 x 500
Drive power (installed)	2 x 500 kW
Hydrodynamic coupling	Voith 562 DTPKWL 2
Chain type	THIELE DMK flat-link chain 42 x 146
Scraper bar spacing	8 links
Chain speed	1.31 m/s

**Figure6: Face and machine data for the trial face at Sobieski mine**

During one of the maintenance shifts two instrumented chains, each comprising five links of which two contained measuring devices, were fitted to the coal-face chain. The chain assembly in question had already been in service for some time. Immediately after fitting the measurement links were activated by radio and the measurement cycle begun. As calculated, the battery energy supply became exhausted after ten days and the instrumented chains were recovered for examination.

The interpretation of the measurement traces produced the following summary findings (LIT):

- The expected upward trend in the force lines between the drives was superimposed by force amplitudes caused by dry friction oscillations.
- Due to the higher rate of wear (greater elongation) on the coal-face side the chain forces prevailing here were higher than on the goaf side.
- Evidence of heavy start-up of the conveyor with chain forces of around 700 kN (about 70% above the fatigue limit).The conveyor was run to empty section by section, interrupted by six thermal motor shutdowns.
- Chain speed is load dependent and falls by 0.03 m/s per 100 kN of chain force.

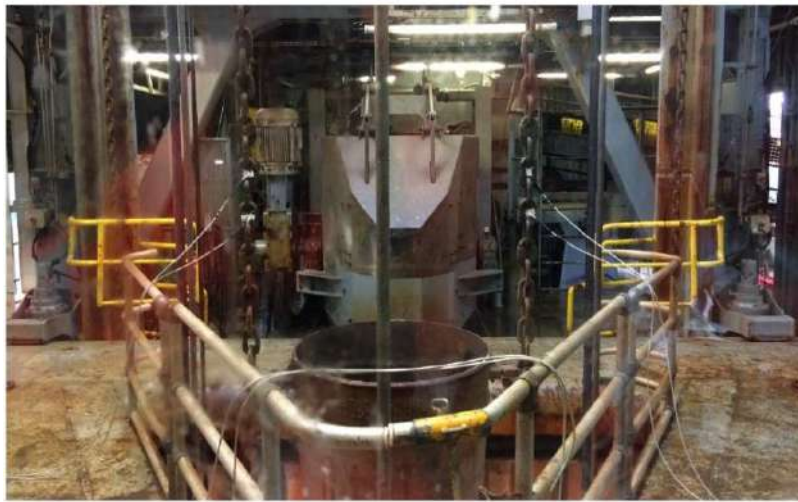


**Figure7: Extract from chain force graph**

## 6.2 Initial deployment for offshore rockfill operations

A somewhat different application for sensor-supported chain monitoring technology involves the offshore placing of rockfill for sub-sea pipe laying. In order to prepare the route of the proposed pipeline the sea floor is rendered level, where necessary, with a layer of crushed stone. After laying the pipeline is then covered with more stone material in order to protect it from movement by the sea currents.

The support vessels that carry out marine operations of this kind are loaded with up to 25,000 t of stone. The fill material is drawn up from the ship's bunkers and delivered to a downpipe. The latter consists of pipe segments inserted one inside the other that are held in place by two mining-grade chains of 30 x 108 mm nominal size. At the end of the downpipe, which may be as much as 1,200 m in length, a video-monitored ROV discharge head (remotely operated vehicle) ensures that the fill material is released on to exactly the right spot. The greatest risk during this operation lies in failing to detect a blockage in the downpipe, with the result that the latter cannot be salvaged.



**Figure8: Measurement chain at the mouth of the downpipe (own photo)**

The initial monitoring method was based on measuring the forces arising at the bearing bushes of the downpipe. A 24-hour measurement trial carried out in the summer of 2015 was then able to demonstrate that by taking direct measurements at the chains it was possible to detect force changes, and hence impending blockages, some two and a half minutes earlier than the indirect measurement technique (Figure 9). It was also shown that the chain forces measured by direct means were about 40% below those determined at the bearings.

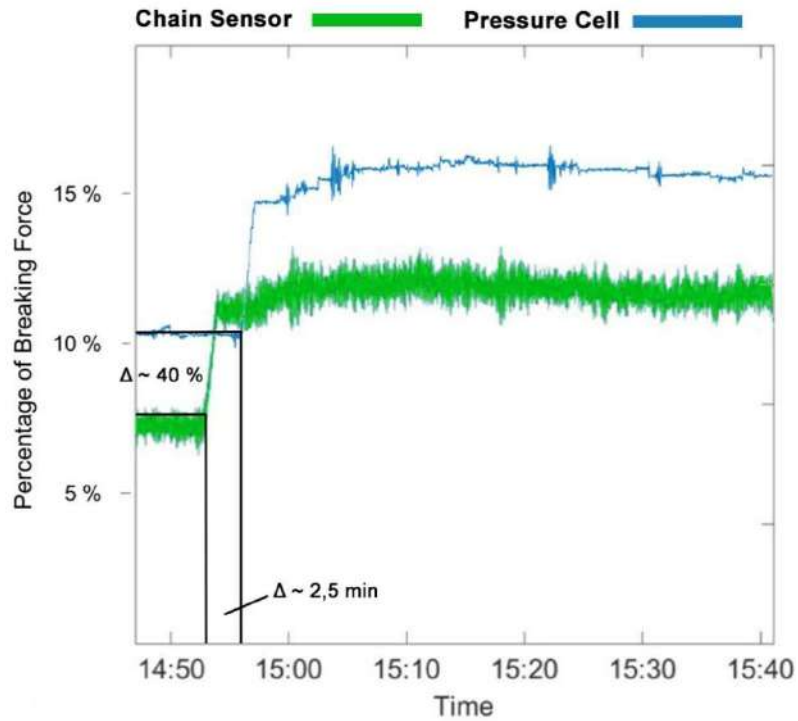


Figure9: Comparison of force plots from chain and bearing readings

A long-term deployment is now being planned. By using an external energy source, with the data being transferred directly in real-time to a control station on board the vessel, the conditions are significantly less complex than those encountered on a coal face.

## 7 Development prospects

A comprehensive chain monitoring regime should at least be capable of meeting continuous load monitoring and status monitoring requirements. Another desirable feature would include the possibility of communication between the chain monitoring system and other sub-systems associated with an automated mineral winning installation (winning machine and conveyor drives), so that the data generated by the chain monitoring regime could support the overall system control process (Figure 10).



**Figure 10: Schematic diagram of a comprehensive chain monitoring system**

It has hitherto been common practice to measure the loads and load characteristics (forces and force changes, differences in forces arising in parallel chain strands, speeds etc.) of longwall chain systems. The analysis and interpretation process would then be carried out in retrospect. The industry is now working hard on a more timely transfer of the data by way of regular communication with the measurement modules, by direct cable-linked transmission (stone filling) or by remote radio technology. Being able to transfer data in real-time is also a prerequisite for creating a status monitoring regime and providing support to the overall system control process. The basic feasibility of a remote radio-based data transmission system, even in the difficult operating environment that a chain conveyor has to contend with, has already been established. [6] For a long-term measurement regime, storage-compatible data compression also presents a workable solution based on recognised counting techniques for fatigue life calculation.

**Bibliography:**

[1] Philipp, G. and A. Gerth: Assessing the corrosion risk to coal-face chains. Mining Report 152 (2016), no.2, pp. 138 – 148.

[2] Philipp, G. and F. Calik: The future development potential of chain conveying technology in longwall mining and assessment of application limits. Mining Report 159 (2014), no. 1/2, pp. 14-33.

[3] Kaci, V. and M. Wölfle: Stress on chains in operational use. Glückauf 129 (1993), pp. 420 – 424.

[4] Philipp, G., M. Schütz and K. Nienhaus: Determination of chain forces on a longwall face using miniaturised measurement systems. World of Mining 2/17, pp. 98 – 108.

[5] Schütz, M: Concept design and testing of a measurement system for the improved determination of the discard status of round steel chains. Dissertation RWTH Aachen (2016).

[6] Pierburg, L.: Development of a lifespan sensor. Dissertation RWTH Aachen (2009).

## FMSL & BULK SORTING SYSTEMS

Ali Benbia

MMD Design and Consultancy Ltd, England  
Ali.benbia@mmdsizers.com

### ABSTRACT:

In a world where everyone is trying to achieve more with less, MMD have two innovative solutions to make existing equipment operate more efficiently and mine operations more cost effective.

### INTRODUCTION

MMD are world leader in Sizer, feeders and in-pit sizing and conveying (IPSC) and innovators in mining technology for over 40 years. Our latest offerings are pushing the capacities and technology boundaries and their impact will significantly change the mining market as we currently know it.

#### *Image - Existing Truck and shovel set-up*



All around the world the Shovel is regarded as an essential investment for mining, that hasn't really changed for well over 100 years. The latest large electric rope shovels are said to achieve around 10,000 tph, however this capacity is difficult to sustain for extended periods.

Traditionally the shovel is paired with a fleet trucks, as a result shovel efficiency and capacity falls drastically, typically achieving less than 6,000 to 7,000 tph. Typically it is the Shovel that is the bottle neck to the system but also underutilised high value equipment

The shovel can only load trucks when one is available to be loaded. Safety being paramount, the shovel is forced to wait while each truck manoeuvres into position. The process of loading raw material directly into the truck is challenging, a fluctuating volume of material in each shovel bucket and the size of rocks, results in a variable fill factor for each truck.

This can lead to truck bed damage or underutilisation. The number of shovel swings, and the time required to fill each truck becomes unpredictable due to the material digging process. The impact of irregular loading wreaks havoc with fleet cycle times, with trucks getting congested or too spread out, leaving the shovel waiting "again". Truck body damage, and associated haul road clean up from poorly loaded trucks further increase associated truck and shovel opex costs.



These issues are repeated time and time again with each truck. Introducing the very latest innovation from MMD, The MMD Fully Mobile Surge Loader (FMSL), combats these issues by decoupling the relationship between the truck and Shovel.

**Image – FMSL**



The FMSL is a mobile feeder designed to tackle intermittent loading in truck & shovel operations. Maximising the shovel utilisation and capabilities and whilst also loading trucks faster than with the shovel directly, with more accurate payload control, in a safer operation whilst reducing wear on the truck fleet.

The FMSL sits between the face shovel and trucks, carrying a volume of material in the hopper which creates a surge or buffer volume in the event that no trucks are available to be loaded.

The shovel operator continues loading, unrestricted, while the hopper stockpiles material ready for delivery to the trucks. Maximising shovel utilisation to nearly 95%, increasing shovel production capabilities combined with consistently maximising truck payload accuracy to 95%+.

Implementing the Surge Loader can yield positive results in a combination of ways... The FMSL can offer increased production utilising the same truck fleet, or maintain existing production levels operating less trucks and OpEx costs. Studies have found production improvements in the region of 40% on single side loading, and 20% improvements on dual side loading scenarios. Typical truck fleet reduction is on average two trucks per shovel truck setup, however this is haulage distance dependant.

Compared to a traditional setup, MMD's simulations have demonstrated more material could be moved with the same number of Trucks, or less Trucks were needed to maintain the same level of production required. A clear OPEX benefit, with favourable ROI figures. Mining companies have interrogated our simulations and agree with our findings.

With the shovel working continuously and the trucks spotting and loading faster – the system efficiency increases.

The FMSL can be supplied either fully electric or diesel driven for operations that do not have electrical infrastructure, and either manual control or fully autonomous to suit fully autonomous truck fleets. The equipment is available in a range of sizes, D4 to D11 to capture a wide range of capacities (in excess of 15,000 TPH) and variety of truck and shovel fleet sizes.

The answer to truck and shovel inefficiencies is here – The MMD Fully Mobile Surge Loader.

### **Bulk Sorting:**

Ore analysers have been available in the market for many years already and widely used on overland conveyors to verify ore grades to process plants.

This most recent use for this technology is in Bulk Sorting concepts to split Ore from waste. Ore bodies mined are heterogeneous which means that the levels of minerals and metals are concentrated are variable. The new aim to reduce cost and make operations more efficient is to separate the materials as close to the working face as possible so not to dilute materials unnecessary, reduce transportation costs, and reduce downstream costs in the grinding and processing of uneconomic materials

A range of Ore analysing sensors can be used to determine the ore grades, these can be XRF (X-Ray Fluorescence), PGNA (Prompt Gamma Neutron Activation Analysis) & PFTNA (Pulsed Fast Thermal Neutron Activation) units whereby neutrons in the ore are excited releasing gamma rays that give off a distinct energy association with the atom from which it was released, essentially an 'element fingerprint'.

It is also possible to not only separate the ore from waste but upgrade the ore through fines / high grade recovery.

Data analysis and machine learning can also be combined to further improve optimisation of the system.

The system typically comprises of 7 Modules. Feeder Module, Sizer Module, Intermediate conveyor module, elevating conveyor module, Grizzly diverter module, Ore and Waste radial stackers.

### **Image - Bulk Sorting system:**



The system first receives materials from the loading device, loaded into the feeder hopper, the apron plate feeder controls the flow of material at the required capacity into the sizer.

The ore analysers require a consistent flow and material bed depth across the sensor, cross-belt analysers also require the material to be sized to a product size that can pass through the sensing aperture.

Material is loaded from the feeder module into the sizer chamber and crushed to the required cubical product size. Material is then transferred onto the intermediate conveyor module that houses the ore analysers. Material is analysed by the ore sensors, the acquisition time varies between a just a few seconds to 30-40 seconds (Ore analyser dependant). The material is loaded onto the elevating conveyor which has two purposes; it one provides the acquisition buffer required to grade the materials and two elevates the materials to the grizzly diverter module.

The grizzly diverter module is where ore and waste is separated based on the acquisition results from the ore analyser, and where it is possible to by-pass high grade fines to upgrade the ore recovery. Beyond the grizzly diverter materials are chuted onto either Ore or Waste radial stackers and either stockpiled or waste sent to the dump and ore to the process plant

The systems are completely scalable from low capacity proof of concept to full scale high capacity systems in excess of 6,000 TPH.

In the mining and processing circuits of a typical mine approximately 37.5% of mine direct costs are associated with loading and hauling, and a further 50% in the Mill, float and filter process. With the implementation of Bulk Sorting systems it is expected to reduce decrease water and energy intensity by over 10%, plus the added benefit of improved feed and sized product to SAG mills further adds to the cost savings.

In a recent public article Anglo American claimed they were anticipating a 5-7% uplift in head grade of materials at the El Soldado proof of Concept operation, Chile. They have “in fact seen about 20% uplift”, this is a very significant improvement.

Image - Quote

“What we have seen in early results has surprised us on the upside. We thought we would see a 5% uplift in head grade, but in fact we have seen about 20%”

Source: International Mining Magazine: Interview with Tony O’Neil – FututreSmart Mining Overcoming hurdles

A recent spotlight in the mining industry are tailings and the disaster that happened in Brazil. A major benefit in bulk sorting systems is the reduction of water in the circuit which will take steps towards lowering the demand on tailings especially in operations where storage capacity is limited.

Benefits to this technology also include:

Improved mining recovery by lowering mining cut-off grades: higher ore production per unit mined, lower strip ratio mining cost, potential reduction in mining fleet

De-bottlenecking and reduction in processing costs of existing systems

Allows lower cut off grades giving possible Life of Mine extensions

Unlocks production capabilities

Capital Costs: decreasing project / expansions as a result of more efficient mining and improved equipment utilisation.

Eliminate unnecessary haulage of waste

Less waste to concentrator

**Closure:**

The two mentioned technologies are here now. The first FMSL is due for commissioning in October in Salt Lake, Utah, and the Bulk Sorting technologies are already proving results with immediate benefits & downstream savings.

MMD are no slow in going forward and we are already active in seeing how these technologies can be further improved to realise what the true opportunities are, and the value proposition MMD equipment offers in reducing the operational cost per T.

The possibilities are in your hands.

Please do not hesitate to contact me for information in relation to the wider MMD equipment portfolio or solutions.

## EFFECT OF OXIDIZING AND REDUCING AGENTS ON QUARTZ BLEACHING

M.M.A Mohammed<sup>1\*</sup>, T. Güler<sup>1</sup>, M. Issah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Mining Engineering  
(Corresponding author: mumohammed@mu.edu.tr)*

### ABSTRACT

Association of dark Metallic minerals with quartz decrease the purity of the quartz ore. Physical methods like sorting, magnetic separation and flotation are used to separate these minerals with a limited level of purity. Chemical bleaching is used to obtain high purity ore used in the high-tech industry by dissolving the impurity minerals using different acids. Some of the minerals are dissolved in oxidizing environment and others need reducing environment to be dissolved. This work was conducted to test sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), oxalic acid (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), trichloroacetic acid (C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and ozone gas (O<sub>3</sub>) on the purity of quartz ore. Column leaching was the method used with feeding against the gravity at different flow rates varies between 25.4 ml/h and 45.5 ml/h at room temperature, in addition to process duration varies from 14 to 60 days. Experimental results reveal that reducing environments affect quartz bleaching more than oxidizing environment. The purity level of the sample is increased by increasing the feeding flow rate and leaching duration. The using of both oxidizing and reduction reagents obtain the highest purity level. the obtained results could not reach the market needs for high purity quartz.

**Keywords:** Purity of quartz, trichloroacetic acid, hydrogen peroxide, ozone, oxalic acid, flow rate

## INTRODUCTION

Being one of the most abundant minerals in the earth crust, quartz is an important demanded industrial mineral as it is the main raw material in the production of ceramic, glass and different refractory materials along the history (Blankenburg et al; 1994). The need of producing extra pure quartz has increased in the past decades with the technological revolution starting at the mid-20<sup>th</sup> century due to the necessity of ultra-pure quartz for the production of electronic devices, electrical battery, solar panels, optical devices and other technological products (Haus, 2005, 2010; Morre, 2005; Dal Martello et al, 2010).

All quartz reserves could not directly be evaluated as source of ultra-pure one due to the association of dark minerals such as hematite, biotite, rutile, titanite and ilmenite (Yan et al, 1987). Physical concentration methods are applied to beneficiate those reserves for preparation of final product satisfying specifications for electronic industry (Porat, 2006). However, in most cases, highly pure quartz could not be obtained by physical beneficiation methods. Then, chemical bleaching was involved in the purification process of quartz. During bleaching, different organic and inorganic acids are exploited (Akçil & Tuncuk, 2006; Banza et al, 2005; Huang et al., 2013; Tuncuk & Akçil, 2016; Vegliò et al, 1996; Zhang et al, 2012). Banza et al (2005), tested quartz bleaching using sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) and, declared that Fe concentration decreased from 448 ppm down to 84 ppm after leaching for two days using percolation leaching method. Vegliò et al (1996) studied the effect of oxalic ( $H_2C_2O_4$ ) and ascorbic ( $H_8C_6O_6$ ) acids in sulfuric acid solution. They tested the concentration of acids at different temperatures. Their results demonstrated a direct relationship between temperature and dissolution rate of metallic impurities. They focused on the effect of reducing environment on the dissolution rate of coloring metallic impurities in the presence of oxalic and sulfuric acids.

Bleaching is the same as leaching process where the dissolved liquor is the unwanted impurity, and the remaining material is the concentrate. In order to dissolve the impurities from the surface of the particles, chemicals must penetrate through the material and be in contact with whole surface. Heap leaching is one of the most commonly applied method in the gold ore processing where ore is placed in a heap shape on an impermeable layer, and then chemicals are spread from the top. In heap leaching, the efficiency is not so high due to several operating parameters such as open atmosphere, particle size distribution, liberation size, reagent concentration etc. (Petersen et al, 2002; Bouffard & Dixon, 2001). Agitation leaching is also a type of leaching process where ground ore is put into tanks with the chemicals and with the help of an impeller, target elements are dissolved by agitation. Efficiency of this process is high as compared to heap leaching, and the cost is also high due to mechanical agitation action. This method is applied on ore that liberates at micron sizes (Büyükkıncı & Topkaya, 2009; Agatzini-Leonardou & Zafiratos, 2004). Percolation or column leaching is another leaching method where ground ore is fed into columns and chemicals are added in aqueous form from the top. The chemicals penetrate through the ground ore particles, and dissolve the target metallic values from the surface of particles. Then, dissolved electrolyte loaded leach liquor is filtered and collected from the bottom of the column with the help of gravitational force. In column leaching, the barriers of the columns prevent the chemicals from dilution and interacting with the atmosphere.

In this study, the effects of oxalic acid ( $H_2C_2O_4$ ), sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ), trichloroacetic acid ( $C_2HCl_3O_2$ ), hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and ozone gas ( $O_3$ ) on the bleaching of quartz sample were investigated to clarify the effect of oxidizing and reducing agents on the dissolution of coloring impurities of quartz. The bleaching tests were performed by applying column leaching method, where leach liquor was collected from the top of the column and feeding point was from the bottom in contrast to conventional application. Reverse feeding direction was applied to satisfy complete washing of surfaces of quartz particles.

## MATERIALS AND METHODS

The quartz sample was provided by Mikroman Mining company located in Yatağan region in Muğla, Turkey. Size distribution of test sample was determined by sieving method as given in Figure 1. Coloring index values - "L" and "b"-of ore sample were 81.49 and 16.87, respectively. Mineralogical characterization of test sample, conducted by XRD, demonstrated that main impurity minerals were hematite, magnetite, albite, mica, ilmenite and rutile (Güler, 2015).

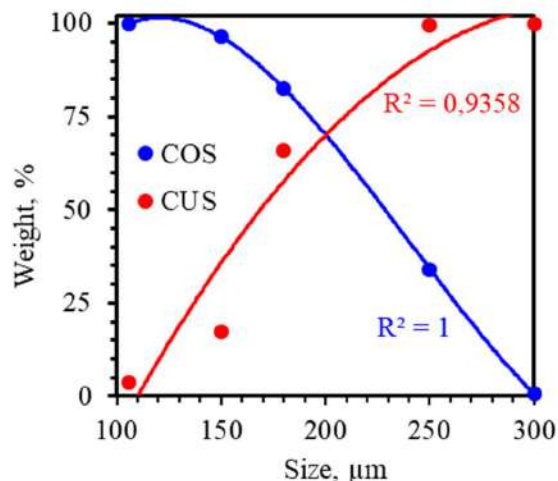


Figure 1. Size distribution of quartz sample (COS: cumulative oversize; CUS: cumulative undersize)

Bleaching tests were performed using 24 cm long plastic tubes. Sample was placed in the tube up to 18<sup>th</sup> cm height. Reagent feeding was made from bottom of the tube by a pipe. Leaching tank height was adjusted as 19.5 cm by opening a hole for free flow of electrolyte loaded leach liquor from top. Leaching system was sealed from atmosphere by using parafilm. The process continued for different periods ranges from 15 to 60 days.

Bleaching test was made by using oxalic acid ( $H_2C_2O_4$ ), trichloroacetic acid ( $C_2HCl_3O_2$ ), sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) and hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ). Effects of ozone ( $O_3$ ) was also tested by intensive purging of the gas into solution. Gas-saturated solution was fed into bleaching tubes. Ozone was used to created oxidizing environment. Ozone was obtained using an ozone generator (YL-S3500). Leaching solution was fed from stock solution tank containing gas saturated solution and/or 0.1 M reagent. Feeding rate of the prepared solution was adjusted between 25.4 ml/h and 45.5 ml/h.

During bleaching, sample was taken from the system to control the bleaching process at predetermined time periods. These samples were washed, and then dried using Memert- UNB400 furnace at 50°C. Coloring index test was made regularly on the dried sample along the process using a CHN SPEC CN-10 colorimeter, and "L" and "b" values were recorded.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

Bleaching process was conducted in columns by feeding the reagent containing leaching solution from bottom, and taking the pregnant solution from top of the column. This design was applied for perfect washing of all particles in the reactor. Figure 2 shows the effect of sulfuric acid as an inorganic leaching acid on the bleaching rate of quartz sample. Bleaching was applied at pH 0 for 2 months at the flow rate of 30.6 ml/h sulfuric acid solution (Figure 2.a). Color index values approached to the equilibrium values in a few days. Extended bleaching could not considerable improve the whiteness of quartz. Therefore, effect of flow rate of leaching agent was also tested (Figure 2.b). Slight improvement was observed at higher flow rates. Added inorganic acid was thought to dissolve coloring

impurities according to reaction(1) (Casas et al;2005). Acceptable improvement was obtained for L value, but sulfuric acid could not reduce the yellowness index (b value) below 4, which is market specification.

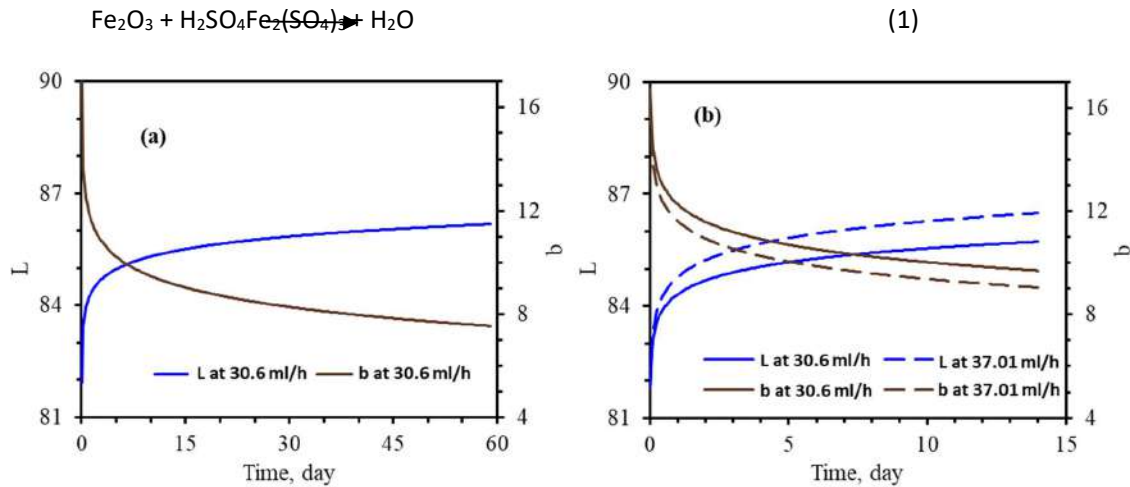


Figure 2. Effect of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bleaching on the color response of bleached quartz at pH 0

Some of the impurity minerals were observed to be affected more by oxidizing environment to be dissolved (Cepriá et al., 2003; Chiarizia & Hortwiz, 1991; Lee et al., 2007; Veglió et al., 1998). Therefore, stock solutions of 0.1 M trichloroacetic acid (TCAA-C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>) and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in addition to saturated ozone (O<sub>3</sub>) solution were tested as oxidizing reagents for 14 days. Figure 3 shows the comparative effects of those oxidizing agents, sulfuric acid and synergic effect of them with sulfuric acid on the color response of quartz sample. TCAA could not be so effective individually on the bleaching of quartz as compared with sulfuric acid leaching (Figure 3.a). On the other hand, they improved the whiteness from about 84-85 to 87 as a result of their synergic effect. The results of O<sub>3</sub> showed no response on the quartz sample where it was clearly adjusted with the addition of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The results were almost overlapping as shown in Figure 3.c. Similar results were observed with the addition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> to sulfuric acid with slight improvement of "b" value as it descended from 10.5 to 9.7 but, such a value can be negligible as H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> did not affect the "b" value directly as shown in Figure 3.b.

Oxalic acid (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) has been proved to be a good reagent in the quartz bleaching process (Tuncuk & Akçil, 2016; Ubaldini et al 1995). Ubaldini et al (1995) declared that oxalic acid was more efficient on quartz bleaching at high temperatures (higher than 70°C) than inorganic acids, like sulfuric acid. Figure 4 shows the effect of 0.1 M oxalic acid at room temperature at different flow rates. The increase in the purity of quartz ore was observed as the feeding flow rate increased from 30.6 ml/h to 37.01 for 45 days. The effect was similar to both "L" and "b" values as they improved slightly. The "L" value increased from 88.03 to 89.5, where "b" value decreased down to 4.3 at the high flow rate. Oxalic acid showed an obvious influence on the quartz ore at room temperature as it dissolves iron oxides both by non-reductive and reductive pathways. The dissolving of iron in oxalic acid results in bivalent and trivalent complex iron ions [Fe<sup>2+</sup>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]<sup>2-</sup> and [Fe<sup>3+</sup>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]<sup>3-</sup> (Panias et al., 1996). Leaching mechanism of iron impurities by oxalic acid was proposed as given in the reactions (2)-(4) by Ubaldini et al (1995):



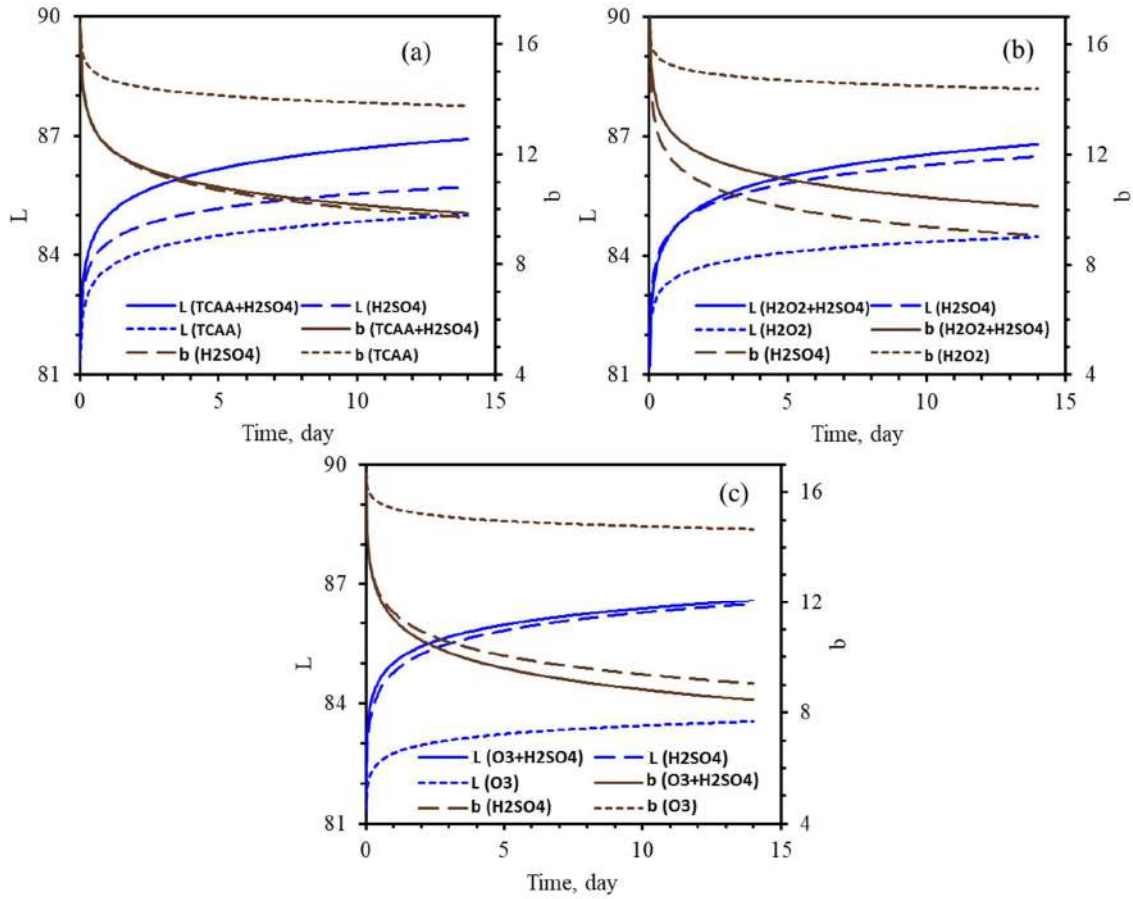


Figure 3. Effect of (a) trichloroacetic acid-TCAA ( $C_2HCl_3O_2$ ), (b) hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and (c) ozone gas ( $O_3$ ) on color response.

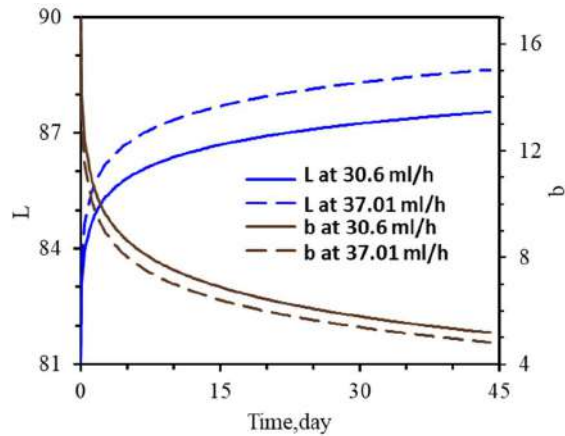
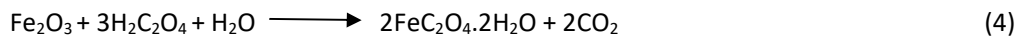
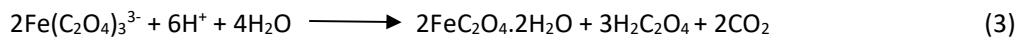
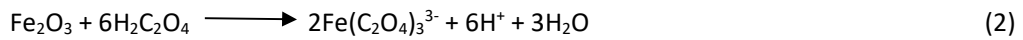


Figure 4. Effect of different feeding flow rate of oxalic acid-OA ( $H_2C_2O_4$ ) solution on quartz bleaching



With its slight effect on the quartz ore as oxidizing reagent, TCAA was tested along with OA to obtain highest level of purity both in the absence and presence of sulfuric acid (Figure 5). Figure 5.a shows the purity degree of quartz by using 0.1 M TCAA for 14 days, then using 0.1 M OA for 30 days. Same procedure was applied in the presence of sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) as shown in Figure 5.b.

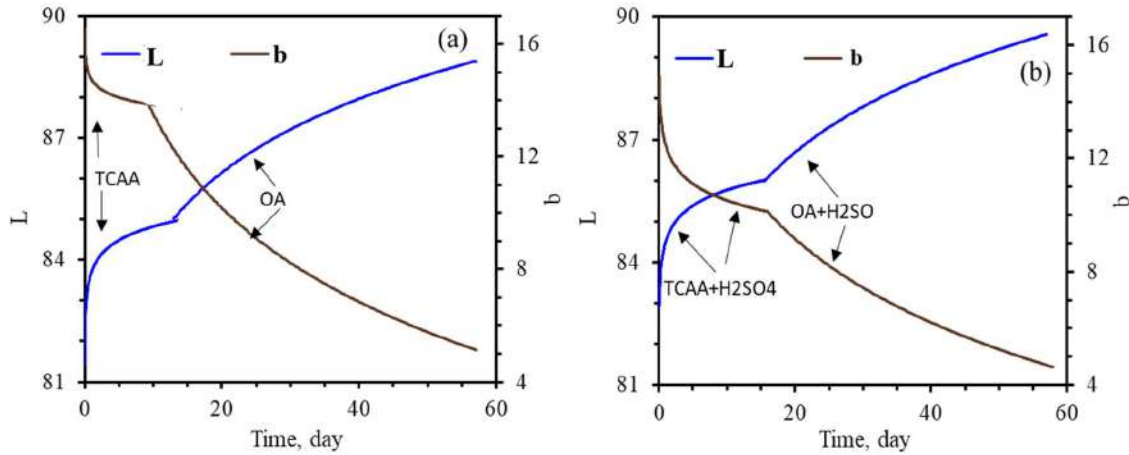


Figure 5. Effects of trichloroacetic acid-TCAA ( $C_2HCl_3O_2$ ) and oxalic acid-OA ( $H_2C_2O_4$ ) on quartz bleaching both in (a) the absence and (b) presence of sulfuric acid at 30.6 ml/h.

In the 14<sup>th</sup> day, TCAA feeding was ceased, and then OA was started to be fed into the leaching column due to the limited effect of TCAA in the first 14 days of bleaching (Figure 5). The improvement effect delayed in the addition of sulfuric acid (Figure 5b) for almost a day. Although sulfuric acid affected the purity of the sample when added to TCAA solution, this impact did almost not appear with OA. A slightly improvement was recorded in the “L” value as it increased to 89.7 with sulfuric acid and this value was 88.5 without it. The “b” value was almost the same in both cases as 4.77 in the presence of sulfuric acid and 5.01 for the absence case.

## CONCLUSIONS

Bleaching of the quartz by column leaching was investigated to determine the impact of various oxidizing and reducing reagents on the purity level of quartz. From experimental works, conclusions were taken as following:

- Increasing the feeding flow rate affect the process slightly in a way that can be negligible.
- The created oxidizing environment by hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and ozone ( $O_3$ ) did not affect the quartz bleaching although slight improvement was observed with trichloroacetic acid (TCAA- $C_2HCl_3O_2$ ).
- Usage of hydrogen peroxide and ozone together with pH 0 sulfuric acid solution could not exhibit synergic effect. Quartz bleaching was improved considerably by the synergic effect of TCAA and sulfuric acid. However, market specifications could not be satisfied.
- Oxalic acid can be used in quartz bleaching at room temperature with higher efficiency than other tested reagents.
- Optimum condition was determined as the usage of TCAA as oxidizing agent with sulfuric acid in the first 14 days and then the usage of oxalic acid as reducing agent with sulfuric acid for the next 30 days.

## REFERENCES

- Agatzini-Leonardou, S. & Zafiratos, I.G. (2004). Beneficiation of a Greek serpentinitic nickeliferous ore Part II. Sulphuric acid heap and agitation leaching. *Hydrometallurgy*, 74(3-4), 267-275.
- Akcil, A., & Tuncuk, A. (2006). An overview of chemical and biological methods in the purification of kaolins. *Journal of Clay Science and Technology*, 2, 59-69.
- Alvarez, M., Rueda, E.H., & Sileo, E.E. (2006). Structural characterization and chemical reactivity of synthetic Mn-goethites and hematites. *Chemical Geology*, 231, 288-299.
- Banza, A.N., Quindt, J., & Gock, E. (2006). Improvement of the quartz sand processing at Hohenbocka. *International Journal of Mineral Processing*, 79(1), 76-82.
- Blankenburg H-J, Götze J & Schulz H. (1994). Quarz Rohstoffe. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 296 (in German)
- Bouffard, S.C. & Dixon, D.G. (2001). Investigative study into the hydrodynamics of heap leaching processes. *Metallurgical and Materials Transactions*, 32(5), 763-776.
- Büyükkinci, E. & Topkaya, Y.A. (2009). Extraction of nickel from lateritic ores at atmospheric pressure with agitation leaching. *Hydrometallurgy*, 97(1-2), 33-38.
- Casas, J.M., Crisóstomo, G. & Cifuentes, L. (2005). Speciation of the Fe (II)-Fe (III)-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O system at 25 and 50° C. *Hydrometallurgy*, 80(4), 254-264.
- Cepriá, G., Usón, A., Pérez-Arantegui, J. & Castillo, J.R., (2003). Identification of iron (III) oxides and hydroxy-oxides by voltammetry of immobilized microparticles. *Analytica Chimica Acta*, 477(1), 157-168.
- Chiarizia, R., & Hortwiz, E.P. (1991). New formulations for iron oxides dissolution. *Hydrometallurgy*, 27, 339-360.
- Dal Martello, E., Tranell, G., Gaal, S., Raaness, O.S., Tang, K. & Arnberg, L. (2011). Study of pellets and lumps as raw materials in silicon production from quartz and silicon carbide. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 42(5), 939.
- Güler, T. (2015). Report on the chemical and mineralogical characterization of quartz samples supplied by Mikroman Mining. Muğla: Muğla Sıtkı Koçman University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering.
- Haus, R. (2005). High demands on high purity – processing high purity quartz and diatomite. *Industrial Minerals Magazine*, 10, 62-67.
- Haus, R. (2010). High-purity quartz resources. Photon's eighth solar silicon conference. 29-51. Stuttgart.
- Huang, H., Li, J., Li, X., & Zhang, Z. (2013). Iron removal from extremely fine quartz and its kinetics, *Separation and Purification Technology*, 108, 45-50.
- Lee, S.O., Tran, T., Jung, B.H., Kim, S.J. and Kim, M.J. (2007). Dissolution of iron oxide using oxalic acid. *Hydrometallurgy*, 87(3-4), 91-99.
- Moore P. 2005. High purity quartz. *Industrial Minerals*, 8, 54-57.
- Panias, D., Taxiarchou, M., Douni, I., Paspaliaris, I. & Kontopoulos, A. (1996). Thermodynamic analysis of the reactions of iron oxides: dissolution in oxalic acid. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 35(4), 363-373.
- Petersen, J. & Dixon, D.G. (2002). Thermophilic heap leaching of a chalcopyrite concentrate. *Minerals engineering*, 15(11), 777-785.
- Porat, N. (2006). Use of magnetic separation for purifying quartz for luminescence dating. *Ancient TL*, 24(2), 33-36.
- Tuncuk, A. & Akcil, A. (2014). Removal of iron from quartz ore using different acids: a laboratory-scale reactor study. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 35(4), 217-228.
- Ubal dini, S., Piga, L., Fornari, P., & Massidda, R. (1996). Removal of iron from quartz sands: A study by column leaching using a complete factorial design. *Hydrometallurgy*, 40(3), 369-379.
- Veglio, F., Passariello, B., Barbaro, M., Plescia, P., & Marabini, A.M. (1998). Drum leaching tests in iron removal from quartz using oxalic and sulphuric acids. *International Journal Mineral Processing*, 54(3-4), 183-200.

- Vegliò, F., Passariello, B., Toro, L., & Marabini, A.M. (1996). Development of a bleaching process for a kaolin of industrial interest by oxalic, ascorbic, and sulfuric acids: preliminary study using statistical methods of experimental design. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35(5), 1680-1687.
- Yan, L.G., Yu, Y.J., Song, S.S., Nan, H.L., Cheng, Y.L., Li, X.M., Kong, Q.W., & Dai, Y.M. (1987). Development of superconducting high gradient magnetic separator for beneficiation of kaolin clay. *In Proceedings of the Second World Congress on Non-Metallic Minerals*. 17-2.
- Zhang, Z., Li, J., Li, X., Huang, H., Zhou, L., & Xiong, T. (2012). High efficiency iron removal from quartz sand using phosphoric acid. *International Journal of Mineral Processing*, 114, 30-34.

## Digital Transformation of Mining Enterprise

**Mikhail Makeev**

International Business Director  
Russian Federation

### Digital mine

Digital transformation is a process of changing the ways of managing an enterprise at all stages of creating value in the course of its core business through the use of modern information technologies.

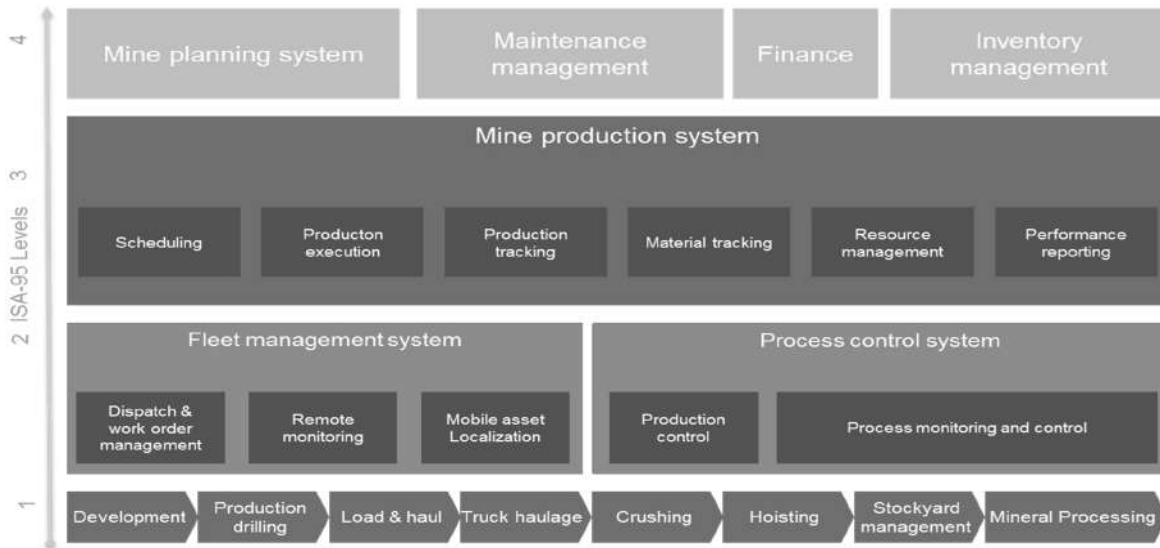
Directions of digital transformation of a production:

- Optimization of production processes;
- Reducing operating costs;
- Enhance work safety.

The digital transformation of any mining industry is the automation and optimization of all the processes of formation of the cost starting from the drilling process to the output of finished products at the processing plant. A prerequisite for building a digital enterprise is a zero level, which includes the installation of sensors, controllers, diagnostic systems that collect and store telemetry from key equipment and production and technological systems.



The cost of each ton of mineral produced consists of the costs of drilling, blasting, excavation, transportation and enrichment. The use of digital technologies to improve the efficiency of the entire sequence of the above processes allows not only optimizing the financial and time costs of the enterprise, but also significantly improving the safety of mining operations.

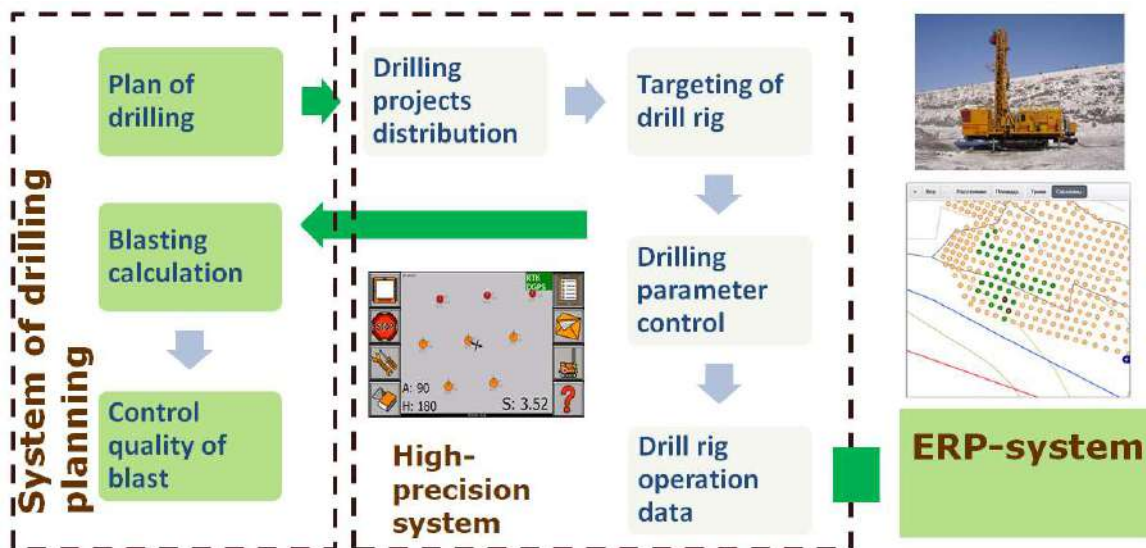


Complex approach of digitalization covers the complete value-added chain, from your mine to the product you market. The use of a single information platform provides an integrated approach to end-to-end digitalization of mining production.

### OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES

#### 1. High-precision guidance of drilling

The optimization of the mining process chain begins with the optimization of drilling operations. The Drilling Management System is integrated with any of the existing mining planning systems. The data on the planned location and depth of the holes are automatically transmitted to the drilling rig, and thanks to the subsystems of high-precision navigation and quality control of drilling, the actual location, and depth of each well coincide with the design with an accuracy of 10 cm. The drilling results are automatically transmitted to the server and fed into the planning system. Thus, the cost of the enterprise for such processes as the "callout" of the project, the measurement of the actual depth and coordinates of holes, the drilling of additional wells are minimized.



In addition, due to the high-precision guidance of the drilling machine, the hole grid can be expanded without losing the quality of the explosion, and the control of the drilling depth provides the most

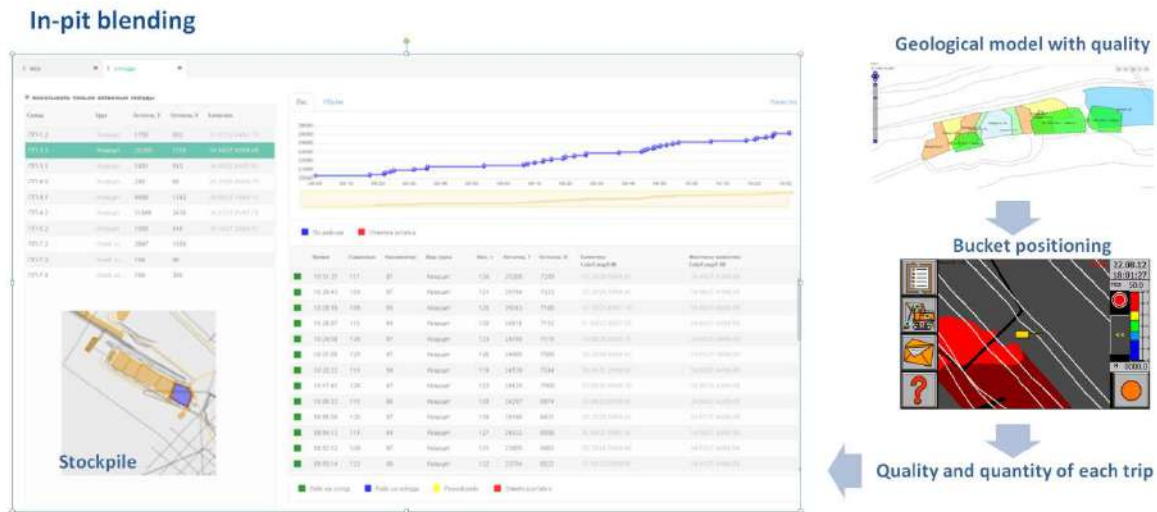
even surface for further excavation. Thanks to the Drilling Management System, the efficiency of using drilling machines is increased by 10–15%.

## 2. High-precision guidance of blasting

The next step in the mining cost chain is blasting. The obtained automatic data on the actual drilling parameters and coordinates are automatically transmitted to the explosive calculation and switching system. After designing the charge of each hole, the electronic passport of the explosive is transmitted to the blasting control system based on the high-precision navigation and is fed to the tablet PC by the operator of the explosive charging machine. When approaching the hole, the hole number is determined by the high-precision navigation system and the charge passport is loaded onto the tablet computer, and the plug-in telemetry system from the mixing and charging machine controls the correctness of charging and maintains automatic records of the charged and ready for charging wells.

## 3. Optimization of rock mass excavation

The geological model and the operation plan of the excavator, based on actual drilling results, are automatically transmitted to the excavator. The subsystem of high-precision navigation and control of work cycles provides not only the control of the bottom of the face but also the analysis of the quality characteristics of the loading material. In addition, each element of the cycle (scooping, turning, unloading) is fixed automatically and allows to analyze the quality of the explosion, the qualification of the operator, which serves as a tool to optimize the use of an excavator.



Using information about the quality and quantity of the loaded material, the system automatically determines dumping point for the truck. The system of automatic optimization and operational management automatically reroute dump trucks taking into account such factors as:

- Load and priority of the excavator
- Qualitative characteristics of coal/ore
- Optimal route
- Current fuel level in the tank
- Time until the end of the shift
- etc.



Thus, the mine fleet management system is not only ensured the stable quality of the mineral that meets the production requirements but also increases the productivity of the dump-excavator complex by up to 20%.

#### 4. Processing automation and optimization

Mines and processing plants need integrated process control systems that can improve plant wide efficiency and productivity. Process control solutions should provide easy access to the process, production, quality and business information – from the most remote locations to corporate headquarters.

Conveyor solutions featuring integrated systems for a variety of conveyors and their respective geometric configurations within the mining industry:

- Conveyor drive systems
- Conveyor interlocking, automation and production optimization solutions
- Conveyor material tracking solutions
- Conveyor instrumentation
- Containerized drive and control systems
- Conveyor scanning solutions
- Solutions to increase energy efficiency and reduce your carbon footprint

In normal operation, conveyor system will run in an interlocked mode via central control. This ensures that conveyor system starts with each individual flight being coordinated with the conveyor belt next to it. The idea is to control the effects of both belt slip detection and operation at torque or load limit on the interlocking behavior of the conveyor belts. Variable-speed drives allow operation at any speed. This helps to maintain a constant filling level of the material being transported on the conveyor belts so as to match upstream volumes and other relevant process requirements.

Material tracking is vital to both material quality and conveyor load tracking as it provides input data for stockyard management and optimum conveyor load control. Fully integration with Fleet Management System allows getting maximum effect from Plant Management.

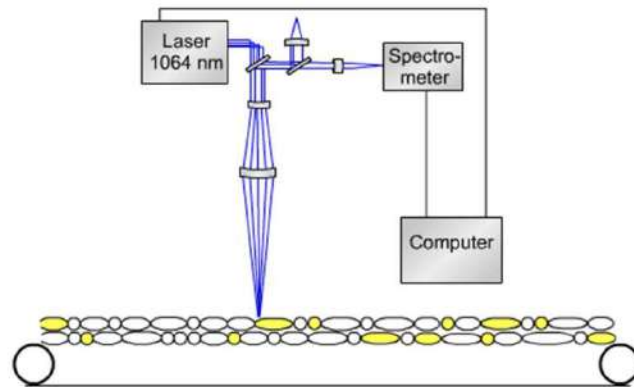
##### **Processing quality control**

To ensure ore quality control on each processing stage using industrial online analyzers:

- ✓ continuous process control
- ✓ real-time analysis without sampling
- ✓ absolutely safe laser spectroscopy

Method of the analysis – LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) online analysis, which provides data on chemical composition of the material in real time for prompt process control and doesn't require sampling and authority certification, using no radioactive sources and being absolutely safe.





#### Process of analyzing

1. Pulsed laser beam is focused on the material surface
2. Solid / liquid material transforms to plasma around the focus point
3. When cooling, plasma emits light
4. Spectrometer collects this light and produce wavelength-based spectrum
5. This process repeats with frequency up to 100 Hz

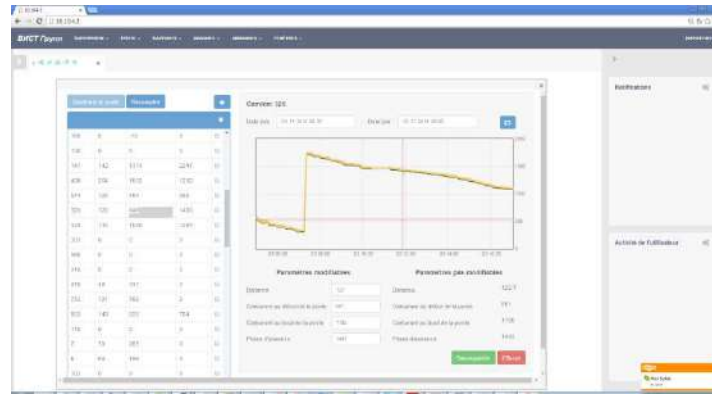
#### ***Stockpiles and shipment management***

Using data from conveyors, analyzers and fleet management system Mine Management System allows:

- Control of the movement of ore on redistribution with the calculation of the balance of metal at the entrance and exit of the redistribution.
- Intermediate stages of storage (mining, dump trucks, conveyors, etc.) are treated as intermediate storage depots with the calculation of the input-output balance.
- Integration with geological model by% of metal

Accounting by balance:

- volume / mass of incoming / outgoing ore flow,
  - % of metal in the ore flow, the volume of the remainder (ore outflow, intermediate storage ...) with correction for mine survey
  - Railway shipment management
  - Tippers shipment management

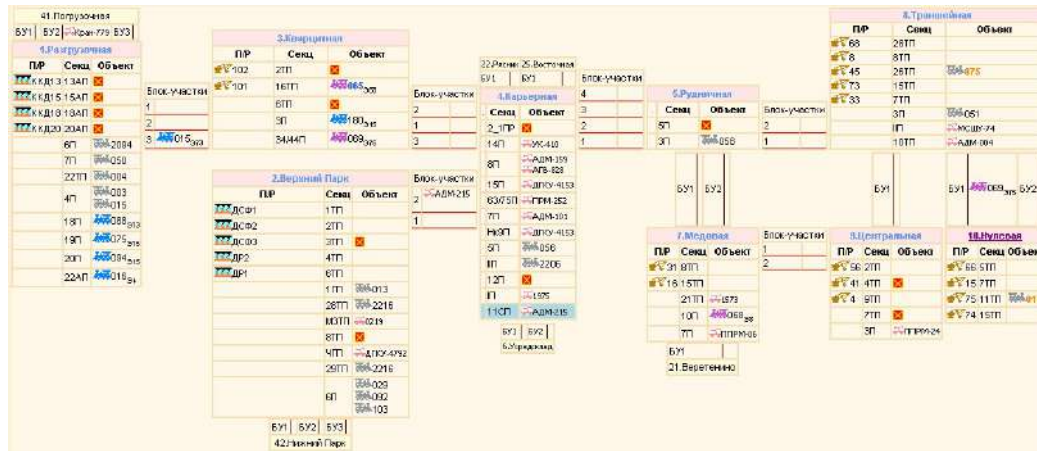


For understand ore balance Mine Management System include following parts:

### ***Railway management***

The subsystem covers following functionality:

- Section Status (free, busy, closed in the route, captured in route);
- State of arrows (position, control lost);
- indications of shunting, train traffic lights;
- technological alarm status (technological traffic lights, entry traffic lights);
- State of crossings (closed/open);
- the position of transport units on the stretches, sections, stations;
- setting of warnings
- indicating closed for movement ways
- visualization on the transport scheme of information on the status of rolling stock, loading facilities and bunkers



The system allows you to receive operational and periodic reporting on the main indicators of the railway complex:

- Schedule of the executed movement
- Comparison of regulatory and actual rolling stock production indicators for different periods of time to assess the performance of the complex
- Periodic reporting on the work of the complex: the volume of work performed, the fulfillment of planned tasks, the detailing of working time (start / end of work, loading and unloading time, time in motion, duration of production and unproductive downtime), fuel consumption.
- It is possible to create a database of rolling stock repairs with an indication of the repair crew, time spent on repairs, operations performed, and the turnover of components and assemblies.

**Tipper management**

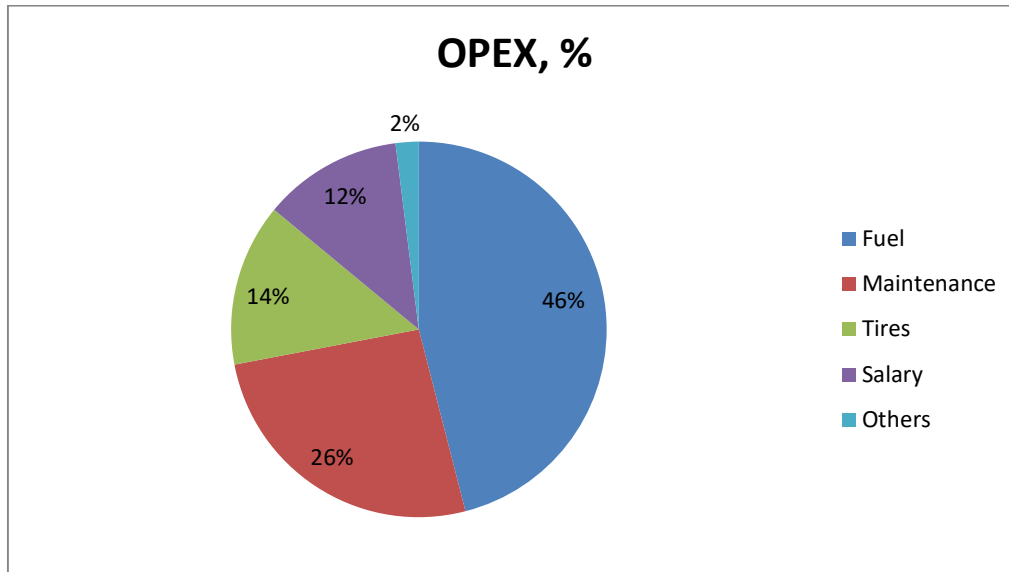
Equipping each of tippers by RFID-tags and integration with weight bridges allow provide tippers management, based on following parameters:

- Number of trips
- Weight each of trip
- Loading point
- Loading material
- Loading stockpile
- Loading time
- And other

**The Mine Management System covers all of the processes from drilling to shipment and allows the managing mining process as single.**

**Reducing operating costs.**

The average structure of operating costs of the mining enterprise is as follows:



The use of digital technology allows you to maximize the above costs due to the following factors:

- Control of operating modes of equipment
- Fullresource management cycle
- Predictive repairs and maintenance

## Control of operating modes of equipment

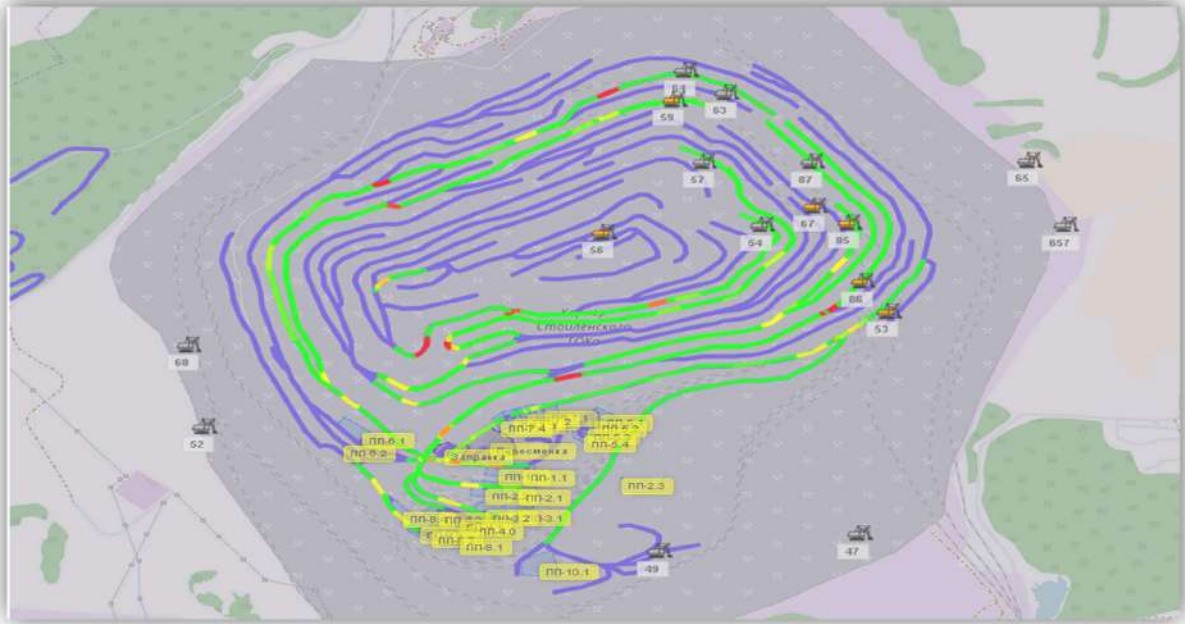
### Mining equipment

In modern conditions of mining industry, each unit of mining equipment must ensure its maximum performance. Despite this, each unit of equipment must operate within operating modes, taking into account qualitative timely maintenance. The diagnostic system of component and assemblies integrated in mine fleet management system provides maximum control over operation of equipment.

Thanks to the system of diagnostics of components and assemblies, the responsible departments of the enterprise receive notifications on failures in time, such as engine temperature exceeding, low oil level, errors generated by the standard diagnostics system, etc. In addition, in the absence of an OEM system on equipment, a part of diagnostic parameters is obtained by the system due to additionally installed sensors. For example, the oil pressure in the engine, pressure and temperature in the tires, the condition of the dump truck suspensions and others.

Control of operating modes is not only the timely detection of equipment malfunctions but also the control of the work of equipment operators. Due to the system of operators KPI, such violations as overloads, overspeeding and other work with violation of operating conditions allows assessing the qualifications and motivating a particular employee. Thus, promptly informing drivers and machinists about the negative and positive factors affecting their KPIs, allows achieving maximum performance with minimal disruptions of operating conditions. For example, an excavator operator can see the payload of the last five dump trucks and promptly adjust own work in case of underload or overload.

An integrated approach to the assessment of operating conditions of equipment involves the assessment of not only internal but also external factors. Even the smallest violations of the technology of mining operations cause significant damage to the state of technology. The mine management system includes various modules for evaluating the technology of operation of equipment. One of the key such modules is the road quality control module, which not only indicates the problem sections of roads in the mine, but also generates a map of the slopes for each of the routes.



### **Conveyers**

Remote access to the conveyor control system is crucial for keeping maintenance costs low, reducing process downtime and using “pro-active” service. Conveyor supervision combines conventional conveyor monitoring with asset monitoring for failure prediction and reduced stress loads on your conveyor belt system by providing important alarm functions for the operator or control system.

### **Full resource management cycle**

As can be seen from the chart of operating costs, more than 80% are resources. The digital transformation of a mining enterprise implies a full cycle of control over the use of resources from entering the warehouse to the actual decommissioning. The greatest effect can be achieved with the deep integration of the mining management system with the ERP-system of the enterprise.

### **Fuel management**

The digitalization of the fuel metering process includes the automation of metering when it arrives at the warehouse, is dispensed to a fuel-bowser and refuels the final consumers of fuel. Integration of this process with the ERP system allows achieving 95% of fuel write-off based on automatically obtained data (experience of SUEK JSC). In addition, the system automatically performs a comparison of instantaneous and relative fuel consumption on the same routes and units of equipment, which allows you to quickly identify the largest consumers and take measures to optimize fuel consumption.

### **Maintenance management**

The maintenance and repair planning module is one of the most important controls of Digital Mining Enterprise. The use of digital technologies for the planning and accounting of maintenance and repairs allows not only to control the fact that maintenance is carried out in accordance with the regulations, but also to plan maintenance taking into account the characteristics of each individual unit. For example, in the case of engine repair, a full oil change is carried out, which means that this operation may not be performed at the nearest maintenance.

This module becomes a logical addition to the accounting of all operational factors of the equipment and allows you to objectively calculate the operating time of the equipment until the next MRO, building chains of the frequency of technical impacts on technical objects by hour, mileage, or time.

### **Tires management**

Equally important is the digitization of tire management. The life cycle of each tire is data on the date and position of installation, mileage, pressure and temperature, speed, truck loading, driver names, and so on. Using a single system to take into account all the listed parameters allows increasing the life of each tire up to 10%, which is 1.4% of all operating expenses of the enterprise.

### **Predictive repairs and maintenance**

The use of a single platform for managing production and operational KPIs of an enterprise allows you to build a predictive model of the failure of a unit. On the basis of statistical data on the operation and breakdowns of equipment, the system identifies the most significant factors affecting the failure of each of the units. Thus, the continuous collection of statistical data makes it possible at the initial stage to predict a breakdown and point out possible causes for its occurrence. Eliminating these causes even before the occurrence of a malfunction can significantly reduce not only the cost of equipment repair, but also its downtime.

### **Enhance work safety.**

The industrial safety management system is an integral part of the mining management system and cannot be considered separately since the concept of production efficiency and safety is closely related. Failure to ensure an adequate level of safety, in all its manifestations, leads to a loss of economic efficiency of mining operations.

The basis of the management system, which is able to provide the required level of safety and efficiency at the mining enterprise, is reliable and timely information at all management levels.

The management system of industrial safety of digital mining production includes the following subsystems:

- The subsystem work with staff
- Standalone-safety systems on equipment
- Warning and alert monitoring systems

### **The subsystem work with staff**

The implementation of industrial safety management systems allows implementing a scheme of work in which all identified violations/deviations are entered into a single database, where they are automatically ranked by significance, which allows to adequately choose the way you work with them

(advanced training, discipline, etc). Violations that must be eliminated are automatically included in the list of orders for next shift. Measures to eliminate violations of the long term are divided into stages and are also included in the work orders for elimination in subsequent shifts. Violations/deviations that do not require execution through an outfit are taken under control. For each violation/rejection monitored execution with authorization revealed, eliminated, removed from control.

### **Standalone-safety systems on equipment**

Such systems include operator fatigue monitoring systems, collision avoidance systems, and fire extinguishing systems. Since these systems are part of the mining enterprise management system, the efficiency of their use increases significantly due to remote diagnostics of these systems, taking into account individual operator parameters and working conditions. The safety of work becomes predictable.

### **Warning and alert monitoring systems**

Timely notification of personnel about abnormal situations is one of the key tasks of industrial safety systems. Sometimes, work is carried out under conditions of possible collapse of the rock mass, the occurrence of smoke or fire. Solutions of VIST Group JSC include the use of reliable equipment for detecting emergency situations at the initial stage. In conjunction with the mine management system, promptly notifying the staff of the occurrence of abnormal situations allows you to save not only expensive equipment but also the lives of people.

### **Integration with ERP**

One of the important tasks of complex automation is to combine all of the data into a single system-level ERP. This should always observe the rules of a single point of data entry in the same system and the inability to change the data in other systems.

#### **For business owners**

1. Pass-through and clear in terms of the origin of performance, production reporting
2. A unified approach to the calculation of performance and KPI in all enterprises
3. Reliable database for the calculation and allocation of production costs associated to mining and processing

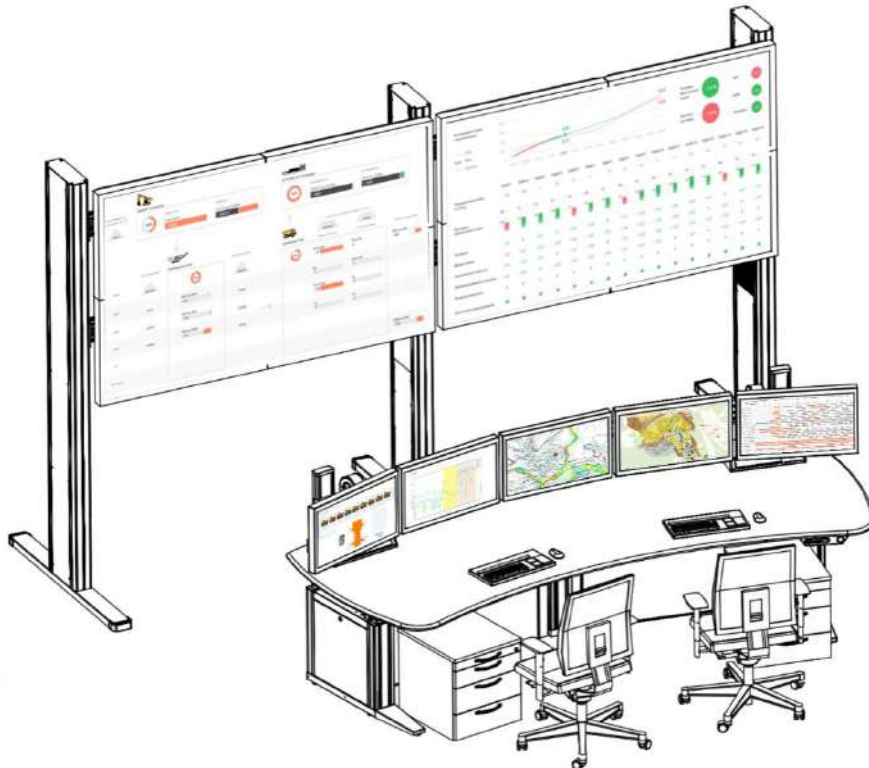
### **For heads the production units**

1. Avoidance of duplication data input - single point of registration / information source
2. Reducing labor costs to obtain information on the status of production and increase the efficiency of its formation (automatic reporting to the director's meetings)
3. Reducing labor costs to record information in the ERP-system
4. Integrated accounting system idle of production equipment and unambiguous understanding of the impact on production idle. Unambiguous understanding of the work that was performed to eliminate downtime.
5. Tool for analyzing and improving the efficiency of manufacturing business processes

### **Control room**

All information about the work of the mine comes to the control room. The Mine Management System can have both a centralized and a distributed architecture.

Through the control room, the system allows to control aspects of mining production and allows, if necessary, to apply the necessary measures to ensure the effective operation of the enterprise in the on-line mode. All observations are conducted in real time.



***Mine management system should be a unified platform for improving the efficiency and safety of mining production.***



**OPERASYONEL PARAMETRELERİN VE KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN DELME VERİMİNE OLAN ETKİSİ**  
**THE EFFECT OF OPE OPERASYONEL PARAMETRELERİN VE KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN DELME VERİMİNE**  
**OLAN ETKİSİ**

*THE EFFECT OF OPERATIONAL PARAMETERS AND ROCK PROPERTIES ON DRILLING EFFICIENCY*

U. SAKIZ<sup>1\*</sup>, H. AYDIN<sup>1</sup>, O. YARALI<sup>1</sup>, N.A. AKÇIN<sup>1</sup>, H. DURU<sup>1</sup>  
*ATIONAL PARAMETERS AND ROCK PROPERTIES ON DRILLING EFFICIENCY*

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü  
(\*Sorumlu Yazar: [utku.sakiz@beun.edu.tr](mailto:utku.sakiz@beun.edu.tr))

**ÖZET**

Bu çalışmanın amacı, operasyonel parametrelerin ve kayaç özelliklerinin, delme performans parametreleri (Spesifik Delme Enerjisi ve İlerleme Hızı) üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, karot alma esnasında delme performans ölçümlerinin yapılabildiği yeniden tasarımılandırılan döner delik delme deney seti kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, magmatik kökenli dört kayaç türü üzerinde yapılan delme deneyleri, makinanın operasyonel parametreleri olarak belirlenen 4 farklı baskı yükü (50, 70, 90 ve 110 kg) ve 3 farklı dönme hızı/devir (210, 330 ve 470 dev/dk) koşullarında gerçekleştirilmiştir. Delme sırasındakayaç ile delici ucun etkileşimine bağlı olarak oluşan dönme torku, fiili dönme hızı, yapılan ilerleme miktarı ve makinanın çektiği güç değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, deney sonrası alınan karot örnekleri kullanılarak kayaçların fiziksel, mekanik ve indeks özellikleri belirlenmiştir. Böylece, ilk olarak, operasyonel makine parametrelerinin spesifik delme enerjisi (SDE) ve ilerleme hızı (PR) üzerindeki etkileri araştırılmış ve daha sonra kayaç özelliklerinin delme performansına olan etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Spesifik delme enerjisi, ilerleme hızı, delme performansı

**ABSTRACT**

The aim of this study is to investigate the effect of operational parameters and rock properties on drilling performance parameters (Specific Drilling Energy and Penetration Rate). For this purpose, a modified rotary core drilling test machine was used to perform drilling performance measurements during core drilling. In the scope of the study, drilling experiments on four types of igneous rocks were carried out under 4 different pressure loads (50, 70, 90 and 110 kg) and 3 different rotational speeds / revolutions (210, 330 and 470 rpm), which were determined as operational parameters of the machine. Rotation torque, actual rotational speed, amount of advancement and power output of the machine were measured during drilling. In addition, physical, mechanical and index properties of the rocks were determined by using core samples taken after the experiment. Thus, first of all, the effects of operational machine parameters on specific drilling energy (SDE) and penetration rate (PR) were investigated and then the effect of rock properties on drilling performance was investigated.

**Keywords:** Specific drilling energy, penetration rate, delme performansı

## GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada, madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü yerüstü ve yeraltı yapılarında delme – patlatma ve mekanize kazı sistemleri ayrı ayrı ya da kombine olarak uygulanmaktadır. Son yıllarda mekanize kazı sistemlerindeki gelişmeler paralelinde klasik kazı yöntemi olarak eskiden beri kullanılan, önemli bir kullanım alanına sahip delme – patlatma uygulamalarında, su, petrol ya da doğal gaz gibi doğal kaynakların belirlenmesi ve çıkarılması üzerine yürütülen çalışmalarda, zemin etüdü, enjeksiyon, zemin sağlamlaştırma, drenaj, baraj, tünel vb. pek çok alanda yaygın olarak delici makinalar kullanılmaktadır.

Tamrock (1987) kayaçların delinebilirliğini, bir delici ucun kayaç içinde ilerleme hızı şeklinde tanımlamıştır. Delinebilirlik ile ilgili olarak bir başka tanım ise, uygulanan delme yöntemine bağlı olarak, ilerleme sırasında kayacın gösterdiği dirençtir ya da verdiği karşılıktır (Kramadibrata vd., 2001; Adebayo vd., 2010). Genel olarak bakıldığında delinebilirlik, delici ucun kayaç dayanımı yenmesi ile sağlanan ilerleme olarak da tanımlanabilmektedir.

Delinebilirlik performans değerlendirmelerinde en çok kullanılan iki parametre, delme anında yapılan ilerleme hızı ve ilerlemenin sağlanabilmesi için gerekli olan enerji miktarıdır. Delik delme sistemlerinden beklenen yararları ulaşılabilmek için, bu makinaların kazılacak olan kayaç özelliklerine uygun olarak seçilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle de delinebilirlik performans değerlendirmelerinde formasyonun özelliklerinin iyi bir şekilde analiz edilmesi oldukça önemlidir.

Delinebilirlik kavramı makine performansı açısından incelendiğinde, hızlı ve ekonomik delme işlemi için delinecek kayacın özelliklerinden delici ekipmanının seçimine kadar pek çok etkenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, kayaçların delinebilirliği üzerinde etkin olan etkenler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen etkenler olmak üzere başlıca iki grupta incelemek mümkündür. Kontrol edilebilen etkenleri delici ucun tipi ve çapı, darbe, dönüş hızı gibi makinaya bağlı olan değişkenler oluştururken, kontrol edilemeyen etkenleri ise kayaç özelliklerine bağlı değişkenler oluşturmaktadır (Yaralı ve Kahraman, 2011). Ek olarak, iş organizasyonunun yani çalışma kalitesinin de delinebilirlik çalışmalarına olumlu ya da olumsuz nasıl bir katkı sağlayacağına da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle, kazı esnasında delinebilirlik üzerinde etkin olan etkenleri üç grupta incelemek daha doğru olacaktır (Şekil 1).



Şekil 1 Delinebilirliği etkileyen etkenler (Thuro ve Spaun, 1996'dan değiştirilerek).

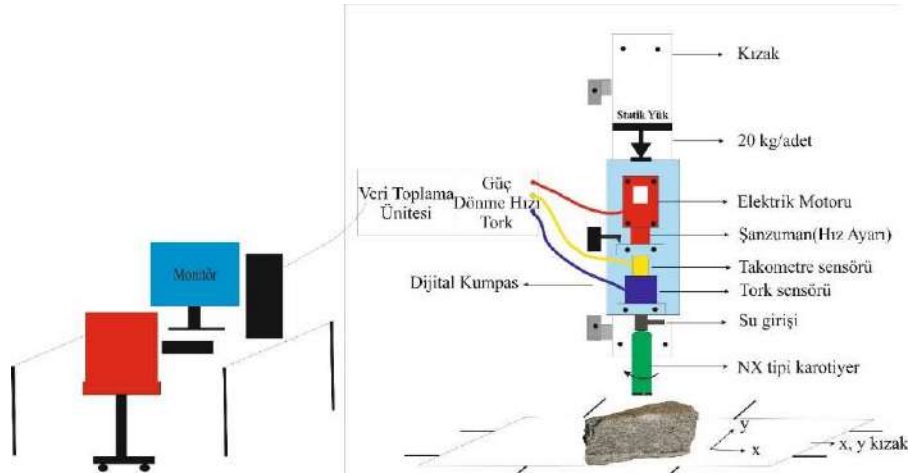
Döner delicilerde kayacın yenilmesi dönme torku ve aksel yük yani delici uç üzerindeki baskıya bağlı gerçekleşmektedir. Delici uç üzerindeki baskı, ucun kayaç içinde ilerlemesini sağlarken dönme torku da kesme bölgesi yaratarak delik arının üst yüzeylerinden kayaç parçalarının ayrılmasını sağlamaktadır (Junhyeok, 2016). Darbeli delicilerde kayacın yenilmesi ise delici uca darbe verilmesi esasına dayanmaktadır. Delme işlemi sırasında delici uç ile kayacın yenilme mekanizması; kesme, parçalanma ve öğütme şeklinde gerçekleşmektedir. Elmas tanelerinin, kayaç yüzeyinden koparmış olduğu parçacıklar, malzemenin öğütülmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, delme işlemleri sırasında kayaçta oluşan yenilme mekanizmasının özünde öğütme işlemi yer almaktadır (Özçelik, 1999).

Bu çalışmada, ilk olarak, karot alma sırasında delme performans ölçümlerinin yapılabildiği döner delik delme deney seti kullanılarak magmatik kökenli kayaçlar üzerinde delme deneyleri yapılmıştır. Deneyler, operasyonel parametreler olarak belirlenen dört farklı baskı yükü ve üç farklı dönme hızı/devir koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, literatürde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar göz önünde bulundurularak delme performans parametreleri olan spesifik delme enerjisi ve ilerleme hızı değerleri her bir kayaç için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca, delme deneylerinden elde edilen karot örnekleri kullanılarak kayaçların fiziksel, mekanik ve indeks özellikleri belirlenmiştir. Böylece delme performansı üzerinde kontrol edilebilen (operasyonel parametreler) ve kontrol edilemeyen (kayaç özellikleri) faktörlerin etkisi irdelenmiştir.

## DENEY DÜZENEGİ

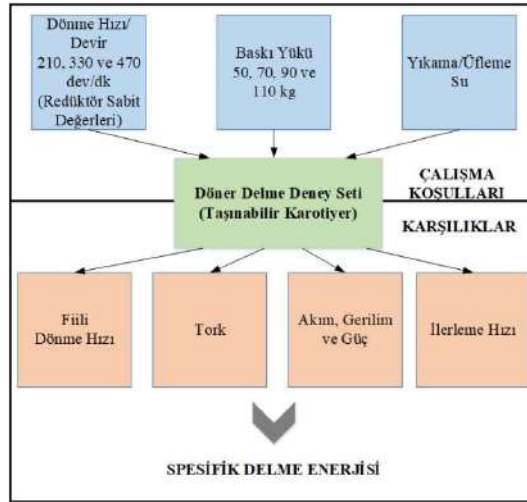
Delinebilirlik üzerine çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde, ilerleme hızı ve spesifik delme enerji parametrelerinin en önemli iki parametre olarak ele alındığı görülmektedir. Özellikle spesifik enerjinin belirlenmesi amacıyla; büyük ve küçük ölçekli kazı setleri, görgül (ampirik) yaklaşımlar, arazide gerçek bir makine kullanılarak yapılan çalışmalar olmak üzere pek çok yöntemden yararlanılmaktadır. Kazılabilirlik ölçütü olarak spesifik enerji, kayaçtan belirli bir hacim koparabilmek için gerekli olan enerji olarak tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında spesifik enerji, uygulanan kazı yöntemi ve uç şekli göz önüne alındığında spesifik delme enerjisi (SDE) şeklinde ifade edilmiştir.

Delik delme uygulamalarında; ilerleme hızı, dönme hızı/devir, uygulanan baskı yükü ve tork en önemli parametreler olarak bilinmektedir. Özellikle döner delik delme uygulamaları, kesici uç üzerine belirli bir baskı yükü ve dönüş için yeterli miktarda tork kuvvetinin uygulanması ile gerçekleşmektedir. Bu kapsamda, makine parametrelerinin ölçülebileceği, döner delik delme uygulaması ile uyumlu olarak yeniden tasarımılandırılan döner delik delme deney seti kullanılarak delme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



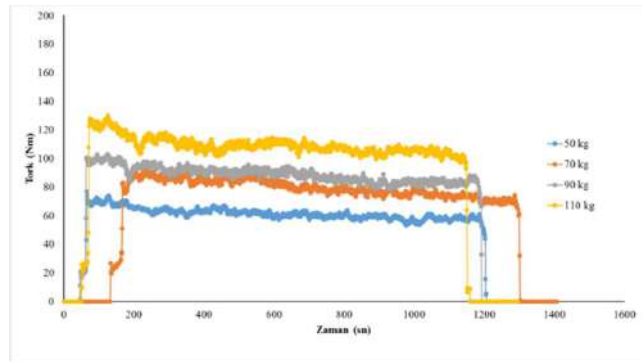
Şekil 2 Döner delik delme deney setinin şematik gösterimi (Sakız, 2019).

Delme deney setininin mevcut çalışma koşulları belirlenerek yürütülen delme deneyleri sırasında dönme hızı, tork, akım, gerilim ve güç parametreleri ölçülerek makinadan elde edilen karşılıklar olarak alınmıştır (Şekil 3). Bu çalışma kapsamında delinebilirlik ile ilgili olan yöntemler göz önünde bulundurularak tasarımılandırılan döner delik delme setinde, SDE'nin elde edilmesi için gereken parametreler dikkate alınmıştır. Yapılan delme çalışmaları, 4 farklı baskı yükü (50, 70, 90 ve 110 kg) ve 3 farklı dönme hızı/devir (I. Devir=210 dev/dk, II. Devir=330 dev/dk ve III. devir=470 dev/dk) koşullarında uygulanmıştır. Böylece, operasyonel parametrelerin delme performansı üzerine etkisi incelenmiştir.

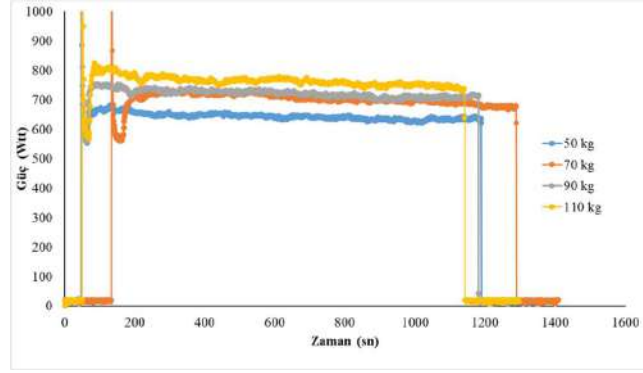


Şekil 3 Deney setinde uygulanan girdi ve çıktı parametreleri.

Şekil 4 ve 5'te, M2 (andezit) örneği göz önünde bulundurulmuş ve dönme hızı/devir sabit tutularak baskı yükünün değişimine bağlı olarak kesme torkunun ve makine gücü değerlerinin değişimi incelenmiştir. Yapılan deneyler bir karot boyu boyunca sürdürülmüş ve değerler kaydedilmiştir.



Şekil 4 Devir sabit tutulduğunda, baskı yükündeki değişime bağlı olarak kesme torku değerlerinin değişimi.



Şekil 5 Devir sabit tutulduğunda, baskı yükündeki değişime bağlı olarak makine gücü değerlerinin değişimi.

Delme deneyleri sırasında kayacın parçalanma mekanizması öğütme şeklinde olmaktadır. Bu nedenle, laboratuvarda yürütülen delme deneylerinden elde edilen spesifik delme enerjisi değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Ayrıca bu durum, yumuşak kayaç türlerine nazaran daha sağlam kayaç türleri üzerinde çalışılmasından da kaynaklanmaktadır.

### ARAZİ ÇALIŞMALARI

Laboratuvar çalışmaları için öncelikle, ülkemizin çeşitli yerlerinden alınan 4 adet magmatik kayaç türü üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; 1 adet granit, 1 adet bazalt, 2 adet bazaltik andezit kayaçları bulunmaktadır. Kayaçların isimleri ve çalışma süresince tanımlanan kodlandırmaları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kayaç örnekleri.

Kayaç Kodu	Kayaç Adı	Alındığı Yer	Kayaç Türü
M1	PorfirikBazaltik Andezit	Ankara	Magmatik
M2	PorfirikBazaltik Andezit	Ereğli, Zonguldak	Magmatik
M3	Bazalt	Kızılcahamam, Ankara	Magmatik
M4	Granit	Bergama, İzmir	Magmatik

### LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

#### Spesifik Delme Enerjisi (SDE) ve İlerleme Hızının (PR) Belirlenmesi

Çalışma kapsamında, her bir kayaç için değişen makine parametrelerine (baskı yükü ve dönme hızı/devir) bağlı olarak mekanik ve elektriksel spesifik delme enerjisi (SDE) ile ilerleme hızı (PR) değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deney sırasında anlık olarak alınan dönme hızı, tork, akım, gerilim ve güç değerleri kayıt edilmiştir. Böylece, delme deneylerinden elde edilen verilerin önerilen görgül yaklaşımlarda kullanılmasıyla spesifik delme enerjisi (SDE) değerleri mekanik ve elektriksel olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 2). Bu amaçla, SDE’nin belirlenmesinde, döner deliciler için en yaygın kullanılan yaklaşımlar göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda SDE mekanik enerji cinsinden, Teale (1965) ve Rabia (1982, 1985) tarafından önerilen yaklaşımlar (Bkz. Eş. 1 ve 2) kullanılarak belirlenmiş ve sırasıyla  $SDE_T$  ve  $SDE_R$  olarak tanımlanmıştır. SDE elektriksel enerji olarak ise, makinanın çalışma sırasında çektiği güç göz önünde bulundurularak hesaplanmış ve  $SDE_E$  olarak tanımlanmıştır.

Teale (1965) deliciler üzerinde yürütmüş olduğu çalışmalar ile SDE’nin hesaplanmasına yönelik ilk ciddi çalışmaları yürütmüş ve Eşitlik 1’de ki bağıntıyı önermiştir.

$$SDE_T = \frac{F}{\frac{\pi*(D^2-D_c^2)}{2}} + \frac{2\pi NT}{\frac{\pi*(D^2-D_c^2)}{2} PR} \quad (1)$$

Burada;

F: baskı yükü (N),  
 D: delik çapı (m) ve D<sub>c</sub>: ucun çapı (m),  
 N: devir/dönme hızı (dev/dk),  
 T: tork (Nm)

Rabia (1982, 1985) kayaçtan bir parça koparmak ya da yeni bir yüzey alanı oluşturmak için tanımlanan SDE'nin, kayacın başlıca bir özelliği olmayıp doğrudan delme işlemlerinden etkilediğini ortaya koymuştur. Rabia (1982, 1985) Eşitlik 2'de, döner deliciler için SDE'nin elde edildiği yeni bir bağıntı önermiştir.

$$SDE_R = 2.35 \frac{F * N}{(D - D_c) * PR} \quad (2)$$

Burada;

F: delici uç üzerindeki baskı (kg),  
 PR: ilerleme hızı (m/h) olarak tanımlanmıştır.

Rostami vd. (1994), Balcı (2004) SE'yi; birim zamanda (h) kazılan malzeme miktarı (m<sup>3</sup>) ve bu hacimdeki malzemenin kazılmasında harcanan güçten (kW) yola çıkarak belirlemiştir (Eşitlik 3 – 5).

$$P = V * I \quad (3)$$

$$ICR = \frac{\text{Kazılacak malzemenin hacim cinsinden miktarı (m<sup>3</sup>)}}{\text{Kazı Süresi (h)}} \quad (4)$$

$$SDE_E = \frac{P}{ICR} \quad (5)$$

Burada;

SDE<sub>E</sub>: elektriksel spesifik delme enerjisi (Mj/m<sup>3</sup>)  
 ICR: kesici makinanın anlık ilerleme miktarı (m<sup>3</sup>/h),  
 P: ise makinanın harcadığı güçtür (w),  
 I: makinanın çalışırken çektiği akım (amp) ve  
 V: makinanın çalışırken çektiği voltaj (V)

Çizelge 2 Magmatik kayalar için SDE ve PR değerleri.

Kayaç Kodu	SDE <sub>T</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )											
	210 dev/dk				330 dev/dk				470 dev/dk			
	50 kg	70 kg	90 kg	110 kg	50 kg	70 kg	90 kg	110 kg	50 kg	70 kg	90 kg	110 kg
M1	10,786	10,453	7,776	8,879	13,338	11,395	11,841	10,110	14,288	10,999	11,415	11,742
M2	4,927	4,634	5,155	5,301	6,576	6,928	5,860	5,343	6,339	5,853	6,170	5,980
M3	46,303	42,846	31,782	29,403	54,187	44,474	32,431	19,746	65,535	51,416	41,234	34,506
M4	37,525	31,436	31,745	32,814	89,877	65,425	41,342	28,620	56,958	28,423	27,726	29,375
SDE <sub>R</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )												
M1	5,662	4,536	4,662	4,804	4,205	4,785	5,031	4,766	5,371	4,850	4,938	5,318
M2	2,522	3,378	3,593	3,557	3,547	3,804	4,138	3,060	3,039	3,173	3,646	3,713
M3	10,760	11,691	8,954	8,315	12,592	10,935	9,689	6,401	15,229	14,497	12,252	11,466
M4	9,069	8,577	8,420	9,481	18,101	17,851	10,966	9,057	17,206	7,755	9,137	10,552
SDE <sub>E</sub> (MJ/m <sup>3</sup> )												
M1	5,219	3,102	2,625	2,318	2,823	2,426	2,064	1,741	2,891	1,986	1,684	1,639
M2	2,423	2,365	2,042	1,784	2,279	1,940	1,687	1,258	1,666	1,389	1,336	1,159
M3	13,798	10,887	7,102	5,802	12,162	8,162	6,103	3,494	11,938	8,815	6,611	5,334
M4	11,556	8,112	6,512	6,516	17,683	13,338	6,719	4,549	12,741	5,072	4,500	4,468
PR (m/h)												
M1	0.44	0.73	0.92	1.06	0.86	1.01	1.25	1.51	0.87	1.41	1.70	1.94
M2	1.13	1.17	1.41	1.70	1.22	1.54	1.79	2.75	1.90	2.45	2.68	3.22
M3	0.23	0.30	0.49	0.63	0.29	0.46	0.65	1.20	0.33	0.48	0.68	0.90
M4	0.28	0.41	0.52	0.55	0.21	0.29	0.58	0.83	0.30	0.86	0.95	0.98

## Kayaç Özelliklerinin Belirlenmesi

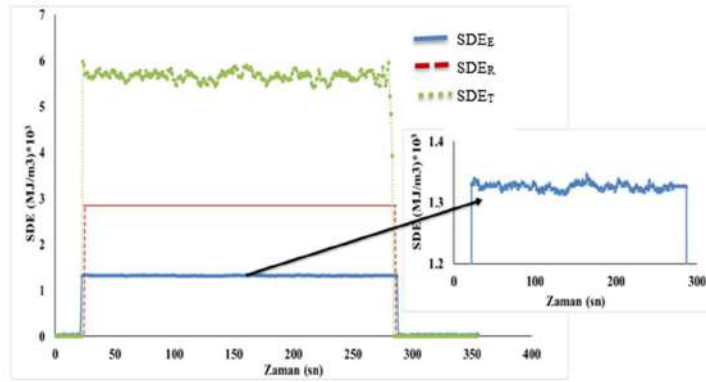
Çalışmada kullanılan kayaçların fiziksel, mekanik ve indeks özellikleri ISRM (2007) ve (2014)'e göre ayrı ayrı belirlenmiştir (Çizelge 3). Kayaçların, DRI indeks özelliği ise Dahl (2003)'e göre elde edilmiştir.

Çizelge 3 Çalışmada kullanılan kayaç özellikleri (Sakız, 2019).

KK	D (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	SJ	S20	DRI	CAI	ESD
M1	23.5	74±17	9.4±0.90	100.6±4	44	56	3.09±0.24	613±84
M2	22.3	90±13	7.7±1.39	64±3.6	51	61	1.61±0.47	640±45
M3	28.3	139±40	10.7±1.84	3.6±1.1	41	35	2.50±0.10	818±27
M4	26.0	98.5±10	8.4±1.3	6.90±1.4	55	52	3.78±0.11	805±38

SDE<sub>E</sub>: elektriksel spesifik delme enerjisi, PR: ilerleme hızı, d: yoğunluk,  $\sigma_c$ : tek eksenli basınç dayanımı,  $\sigma_t$ : dolaylı çekme dayanımı, S20: kırılgenlik, SJ : sievers minyatür delme, DRI: delme oranı indeksi, ESD : Equotip sertlik değeri, CAI: Cerchar aşınma indeksi

Mekanik SDE değerleri için kesme torku, dönme hızı ve baskı yükü değerleri ön plana çıkmaktadır, elektriksel SDE değerleri için ise makinanın gücü oldukça önemli olmaktadır. Delme sırasında elde edilen veriler, önerilen yaklaşımlarda değerlendirildiğinde, SDE değerleri arasında ciddi farklar olduğu görülmektedir (Şekil 6).

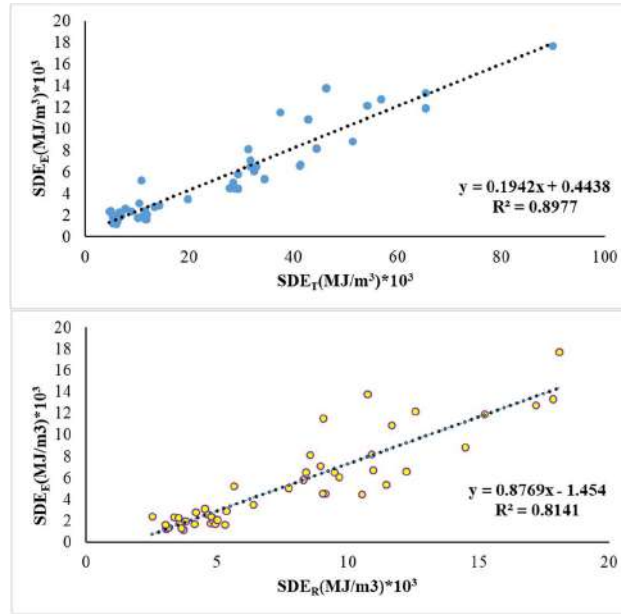


Şekil 6 Farklı spesifik delme enerjisi değerleri arasındaki ilişki (Sakız, 2019).

Çalışma süresince SDE üzerine yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde, daha tutarlı sonuçların elde edildiği SDE<sub>E</sub> değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, geliştirilen deney seti için, elektriksel olarak elde edilen enerji değerleri diğer yöntemlere nazaran daha ucuz ve uygun ekipmanlar kullanarak belirlenebilmektedir. Bu nedenle, çalışma sırasında elde edilen mekanik ve elektriksel SDE arasındaki ilişki incelenmiş ve Şekil 7'de sunulmuştur. Buna göre, SDE<sub>T</sub> ve SDE<sub>R</sub> ile SDE<sub>E</sub> arasında sırasıyla %89 ve 81'lik doğrusal pozitif anlamlı bir ilişkinin olduğu görülmektedir.

Spesifik enerji kayacı parçalayabilmek ve ondan belirli bir hacim koparabilmek için gerekli olan enerji miktarıdır. Bu nedenle de en iyi spesifik enerji koşulu, delme işlemi sırasında herhangi bir problem oluşturmadan en yüksek ilerleme hızı değerlerinin elde edildiği koşullarda gerçekleşir. SDE değerleri ile operasyonel makine parametreleri arasında ilişki incelendiğinde, özellikle delici uç üzerindeki baskı yükü arttıkça delik delmenin kolaylaştığı ve delme veriminin arttığı belirlenmiştir (Şekil 8).



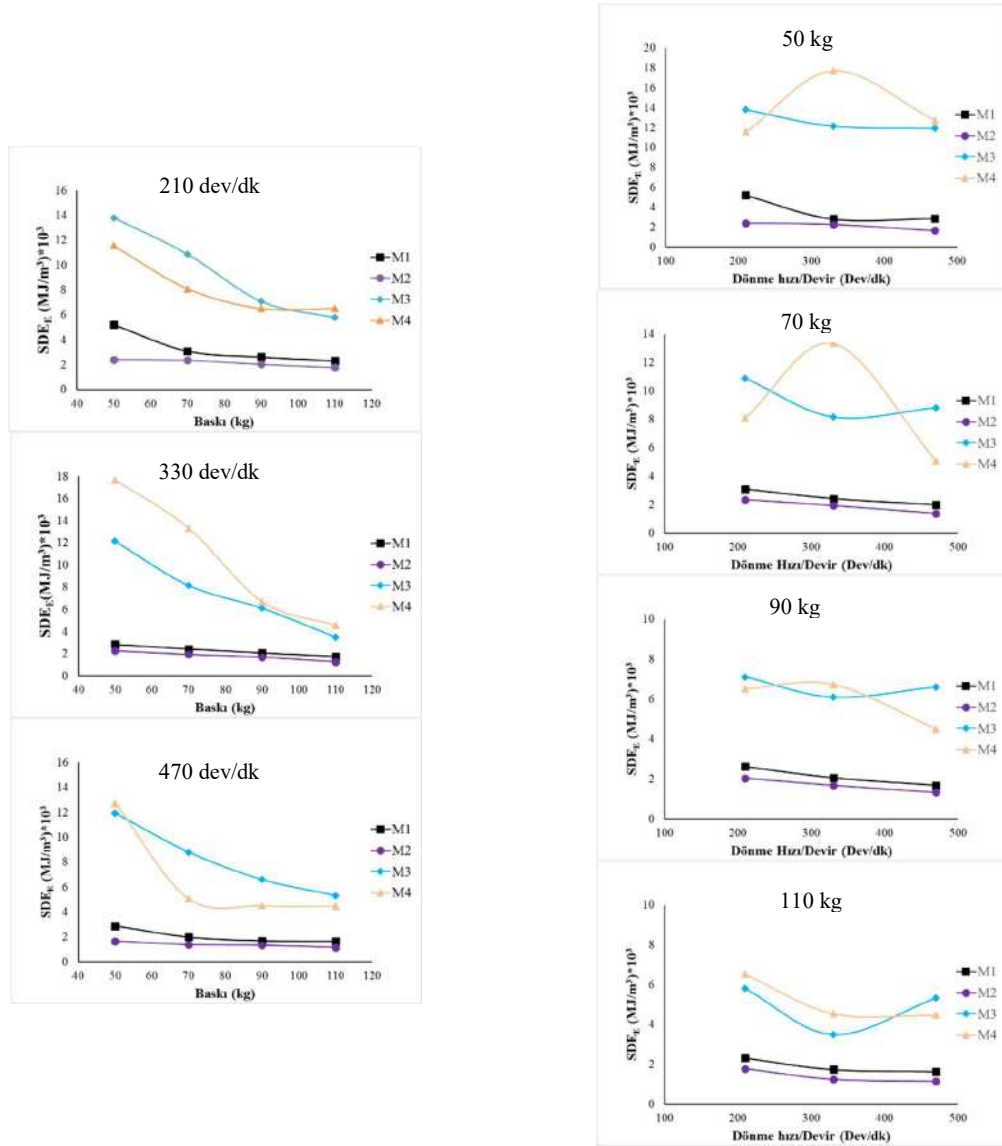


Şekil 7 Elektriksel spesifik delme enerjisi ile mekanik spesifik delme enerjisi (Teale 1965 ve Rabia 1982, 1985) arasındaki ilişki.

Bu kapsamda, delme performansının tanımlanmasında kullanılan en önemli iki ölçüt spesifik delme enerjisi ve ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 9'da incelenmiştir. Sonuç olarak, elektriksel enerji  $SDE_E$  ile PR arasında üssel ( $R^2=0.93$ ) bir ilişkinin olduğu ve çalışmada kullanılan tüm kayalar için optimum  $SDE_E$  değerlerine 1 m/h'lik PR değerlerinde ulaşabileceği belirlenmiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere, magmatik kayalar grubu ise kendi içinde andezitler (M1 ve M2) ve bazalt – granit (M3 ve M4) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. M1 ve M2 (andezitler) üzerinde gerçekleştirilen delme deneylerinde düşük spesifik delme enerjisi ve yüksek ilerleme hızları elde edilirken, M3 (bazalt) ve M4 (granit) örneklerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde yüksek spesifik delme enerjisi ve düşük ilerleme hızı değerleri belirlenmiştir.

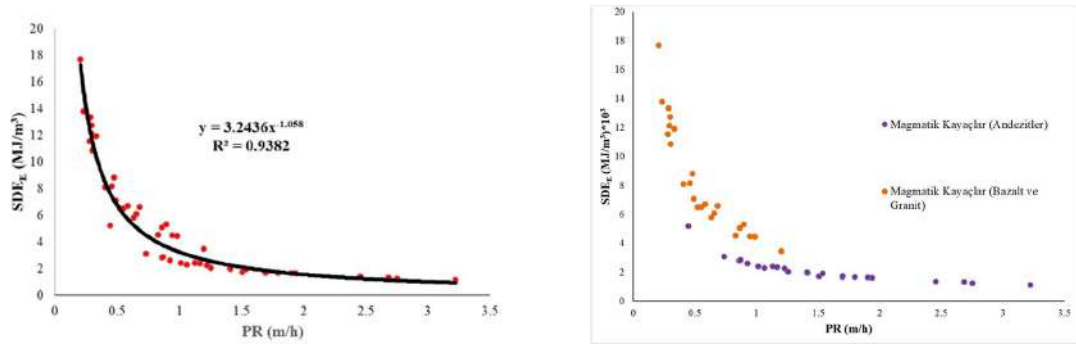
Yapılan çalışmalarda  $SDE_E$  ve PR değerlerinin dönme hızı/devir ve baskı yüküne bağlı olarak değişimi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.  $SDE_E$  ve PR değerlerinin elde edilmesi için sabit çalışma koşulları olarak 470 dev/dk ve 70 kg'lık baskı yükü belirlenmiştir. Bu koşullarda elde edilen  $SDE_E$  ve PR değerleri ile kayaların özellikleri arasındaki ilişki Şekil 10'da gösterilmiştir.

Uygun delme tekniğinin (döner, darbeli vs.) yanında seçilen yöntemin daha verimli ve ekonomik bir şekilde sürdürülebilir olması için ilk yatırım maliyeti oldukça yüksek olan delici makinenin performans analizlerinin önceden yapılması delinebilirlik üzerine yürütülen çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda, sabit çalışma parametrelerinde (470 dev/dk ve 70 kg baskı yükü) yapılan delme deneylerinden elde edilen spesifik delme enerjisi ve ilerleme hızı değerleri ile kayaların özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kurulan istatistiksel analizlerde; çalışmada kullanılan 4 kayaya ait  $SDE_E$  ve PR değerleri bağımlı değişken, diğer fiziksel, indeks ve mekanik özellikler ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır (Çizelge 3). Geliştirilen modellerin, mevcut çalışma şartları ile uyumlu olacağı göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, çalışmada kullanılan örnek sayısı artırılmalı ve delici makinelerin yerinde performans ölçümleri yapılarak laboratuvar çalışması ile arazide alınan ölçümler arasındaki ilişkiler irdelenmelidir.

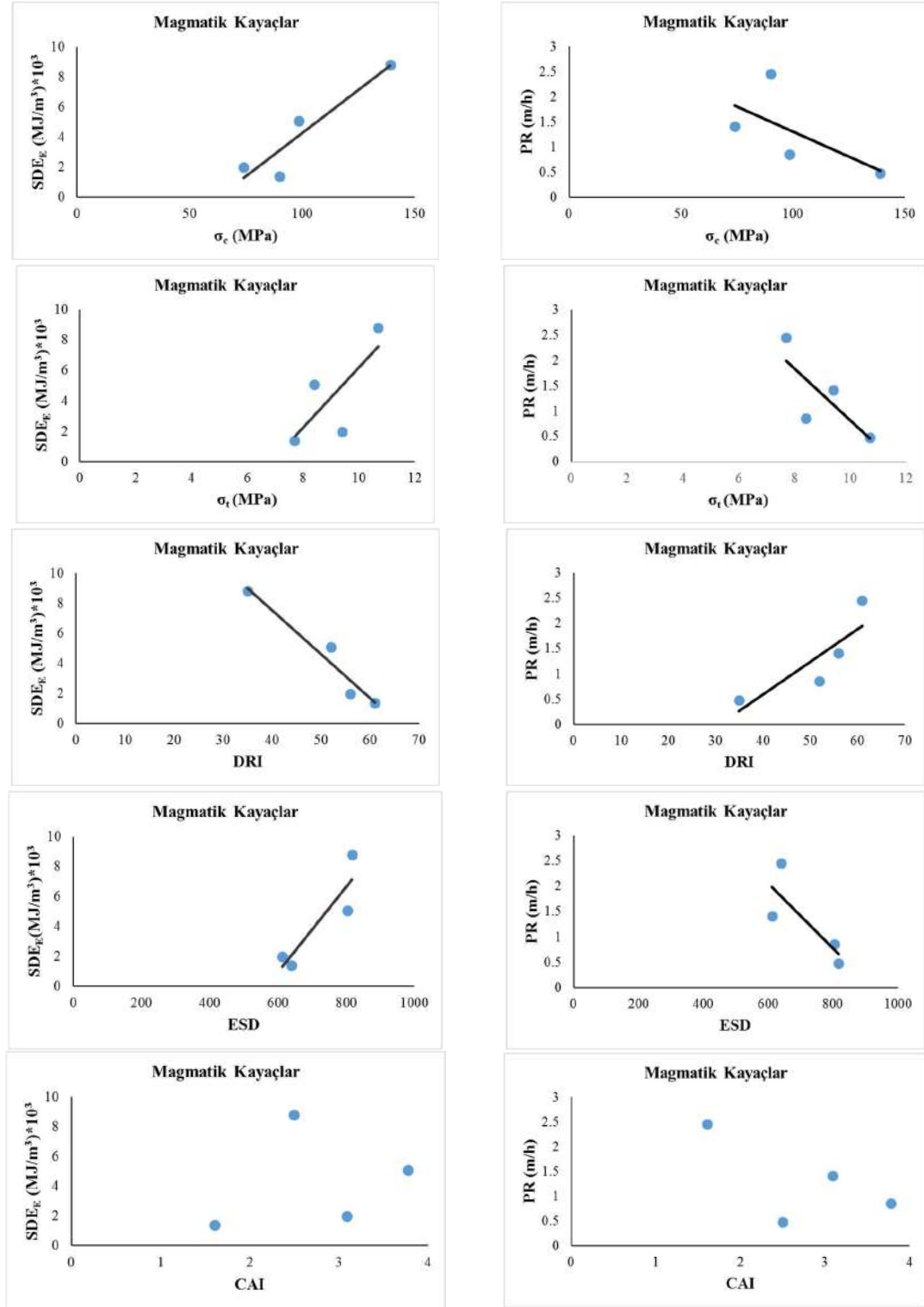


(M1 ve M2 andezit, M3 bazalt ve M4 granit)

Şekil 8 Magmatik kayalar için, dönme hızı/devir ve baskı yükü parametreleri sabit tutulduğunda elektriksel spesifik delme enerjisi değişimi.



Şekil 9 Magmatik kayalar için elektriksel spesifik delme enerjisi değerleri ile ilerleme hızı arasındaki ilişki.



Şekil 10 Delme performans parametre değerleri ile kayaç özellikleri arasındaki ilişki  
Çizelge 3 Magmatik kayaçlarda spesifik delme enerjisi için önerilen tahmin modelleri.

Eşitlik	r	R <sup>2</sup>	Standart Hata
$SDE_E = 115\sigma_c - 7221$	0.93	0.87	1492
$SDE_E = 1978\sigma_t - 13586$	0.76	0.57	2729
$SDE_E = -294DRI + 19289$	0.97	0.95	971
$SDE_E = 28.5ESD - 16187$	0.90	0.81	1819

SDE<sub>E</sub>: elektriksel spesifik delme enerjisi,  $\sigma_c$ : tek eksenli basınç dayanımı,  $\sigma_t$ : dolaylı çekme dayanımı, DRI: delme oranı indeksi, ESD: Equotip sertlik değeri,

## SONUÇLAR

Bu kapsamda ilk olarak operasyonelmakine parametrelerinin spesifik delme enerjisi (SDE) ve ilerleme hızı (PR) üzerindeki etkileri incelenmiş daha sonra ise kayaçların fiziksel, mekanikve indeks özelliklerinin SDE ve PR üzerindeki etkileri özetlenmiştir.

1. Çalışmada elde edilen mekanik (SDE<sub>T</sub> ve SDE<sub>R</sub>) ve elektriksel (SDE<sub>E</sub>) SDE değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmada kullanılan kayaçlar birlikte incelendiğinde, elektriksel SDE<sub>E</sub> değerleri ile mekanik SDE (SDE<sub>T</sub> ve SDE<sub>R</sub>) değerleri arasında sırasıyla %89 ve 81'luk anlamlı ilişkiler elde edilmiştir.
2. Tüm operasyonel parametreler (dönme hızı, baskı vb.) birlikte değerlendirildiğinde, delici ucun üzerinde uygulanan baskı yükünün en önemli parametre olduğu belirlenmiştir.
3. Çalışmada kullanılan magmatik kayaç türleri üzerinde yapılan delme deneylerinde, baskı yükündeki artış ile kesme torku artmakta ve SDE<sub>E</sub>değerleri azalmaktadır.
4. Dönme hızı ve delici uç üzerindeki baskı yükü birlikte artırıldığında daha yüksek ilerleme hızı değerleri elde edilmektedir.
5. Delik delme uygulaması sırasında oluşan yenilme mekanizması öğütme şeklinde olmaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışma koşullarında gerçekleştirilen delme deneylerinde çok yüksek enerji değerlerine ulaşılmıştır.
6. Kayaç özellikleri incelendiğinde; tek eksenli basınç dayanımı, delme oranı indeksi ve Equotip sertlik değerleri ile delme performans parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Tek kayaç özelliğinin dikkate alınarak bir değerlendirme ya da bir delme performans analizi yapılması yanlış sonuçlara neden olabileceğinden, tüm özelliklerin birlikte değerlendirilmesi oldukça önemli olmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2015-98150330-01 No.'lu BAP ve 2015-98150330-03 No.'lu Alt Yapı Projeleri ile çalışmaya maddi destek sağlayan ZBEÜ Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü'ne çok teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Balcı, C. (2004).Mekanize Kazı Makinalarının Seçiminde Küçük Boyutlu Kazı İle Tam Boyutlu Kazı Deneylerinin Karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 269 s.
- Dahl, F. (2003). DRI Standards, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim. 21 pp.
- ISRM, (2007).Thecomplete ISRM suggestedmethodsforrockcharacterization,testingandmonitoring: 1974–2006. In: UlusayR,Hudson JA (eds) Kozan Ofset, Ankara, p 628
- ISRM, (2014).Thecomplete ISRM suggestedmethodsforrockcharacterization,testingandmonitoring: 2007–2014.In: Ulusay R (eds), Springer, p 293.
- Junhyeok, P. (2016).Estimation of RockComminutionCharacteristicsby Using DrillPenetrationRates. *Master Thesis*, Department of Mining and Geological Engineering, The University of Arizona, Arizona, USA, 165 pp.
- Rabia, H. (1982).Specificenergy as a criterionfordrillingperformanceprediction, *International Journal of RockMechanicsandMiningSciences*, 19, 39-42.
- Rabia, H. (1985). A unifiedprediction model forpercussiveandrotarydrilling. *Mining Scienceand Technology*, 2, 207–16.
- Rostami, J.,Ozdemir, L.andNeil, D.M. (1994).Performanceprediction: a keyissue in mechanical hard rockmining, *Mining Engineering*, 1263–1267.
- Tamrock,(1987).*Handbook of Underground Drilling*, TamrockDrills SF-33310 Tampere, Finland, 327 pp.
- Teale, R. (1965).Theconcept of specificenergy in rockdrilling. *International Journal of RockMechanicsandMiningSciences*, 2, 57-71

- Thuro, K.andSpaun, G.(1996).Introducingthe 'detructionwork' as a to new rock property of toughness refering to drillability in conventional drilland blast tunnelling. ed. M. Barla, *Eurock'96 PredictionandPerformance in RockMechanicsandRockEnginnering*, 2-5 September, Turin, Italy, 2, 707-13.
- Sakız, U. (2019). Kayaç Delinebilirliğinin Ve Mekanik Özelliklerinin Spesifik Delme Enerjisine Olan Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 181 s.
- Yaralı, O.and Kahraman, S. (2011).Thedrillabilityassessment of rocksusingthedifferentbrittlenessvalues. *Tunnelingand Underground Space Technology*, 26, 406 – 414.

**ORTA AĞIRLIKTA BİR KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNASI ARAZİ PERFORMANSININ FARKLI KAZILABİLİRLİK KRİTERLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ: AMASRA SAHASI UYGULAMASI**

*ASSESSMENT OF FIELD PERFORMANCE OF A MEDIUM WEIGHT ROADHEADER IN TERMS OF DIFFERENT CUTTABILITYCRITERIA: A CASE STUDY FROM AMASRA COALFIELD*

M. Akkaş<sup>1,\*</sup>, O. Su<sup>2</sup>, G. Bacak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hattat Enerji ve Maden Tic.A.Ş., Bartın

(\*Sorumlu yazar: muhammetakkas@gmail.com)

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak

<sup>3</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

**ÖZET**

Bu çalışmada, 2015 yılında Amasra Bölgesinde galeri kazılarında kullanılmak üzere Hattat Enerji ve Maden Tic.A.Ş. tarafından satın alınan 79 ton ağırlığında ve 200 kW kesici kafa gücündeki DH R75T model kollu galeri açma makinasının performansı değerlendirilmiştir. Bu amaçla makinanın 13 aylık süre zarfındaki ilerleme miktarı, net kazı hacmi, keski tüketimleri, makinadan faydalanma oranları ve spesifik enerji değerleri gibi çeşitli kazılabilirlik (performans tahmin) parametreleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen arazi verileri sonucunda, makine performansının oldukça yüksek olduğu ve yapılan kazı işlerinin ekonomik sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Amasra kömür sahasındaki benzer kayaç koşullarına sahip olan Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki ana galerilerde de orta ağırlıkta bir makinanın kullanılabileceği öngörülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Galeri açma makinası, İlerleme hızı, Keski tüketimi, Spesifik enerji

**ABSTRACT**

In this study, the performance of a DH R75T model roadheader, which has the weight of 79 tons with the cutting power of 200 kW, purchased by Hattat Energy and Mining Co. and driven in Amasra coalfield was evaluated. For this purpose, various excavation (performance prediction) parameters such as the advance rate of the machine over 13 months, instantaneous cutting rate, pick consumption, machine utilization ratio, and specific energy values were recorded. As a results of the field data collected, it was determined that the performance of the machine was very good and the excavation works were within the economic limits. In addition, it is foreseen that a medium-weight roadheader can also be suitable for driving the main galleries in the Zonguldak Hardcoal Basin which has similar rock environment of Amasra coalfield.

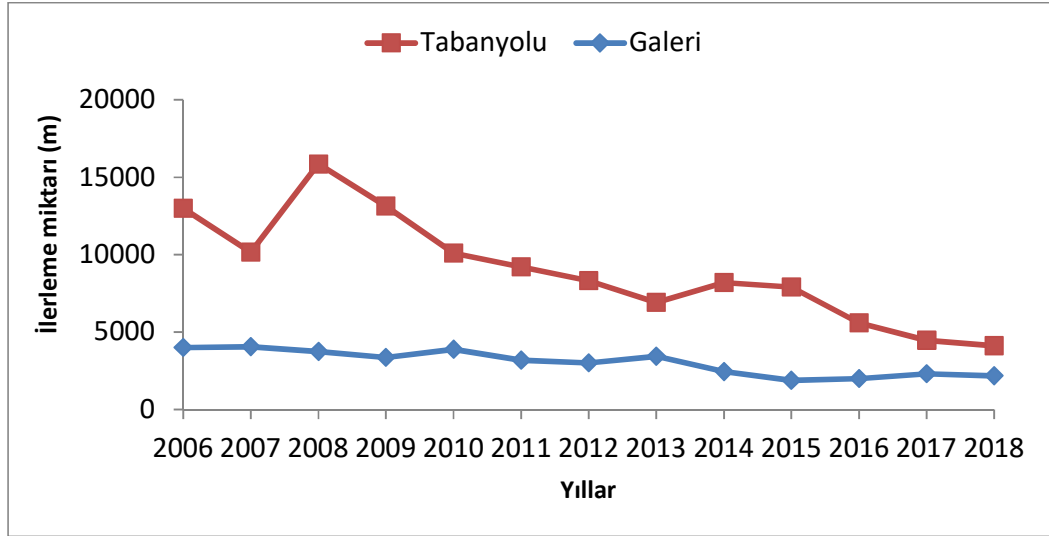
**Keywords:** Roadheader, Advance rate, Pick Consumption, Specific Energy

## GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde hazırlık çalışmaları kapsamında farklı kesitlerde galeriler, rekap galerileri ve taban yolları açılmaktadır. Üretime bir an önce geçebilmek için hazırlık faaliyetlerinin en kısa zamanda, güvenli ve ekonomik olarak açılması hedeflenir. Ancak kayaç yapısı, jeolojik ve hidrojeolojik koşullar gerek kazı yöntemini gerekse de ilerleme hızını etkiler.

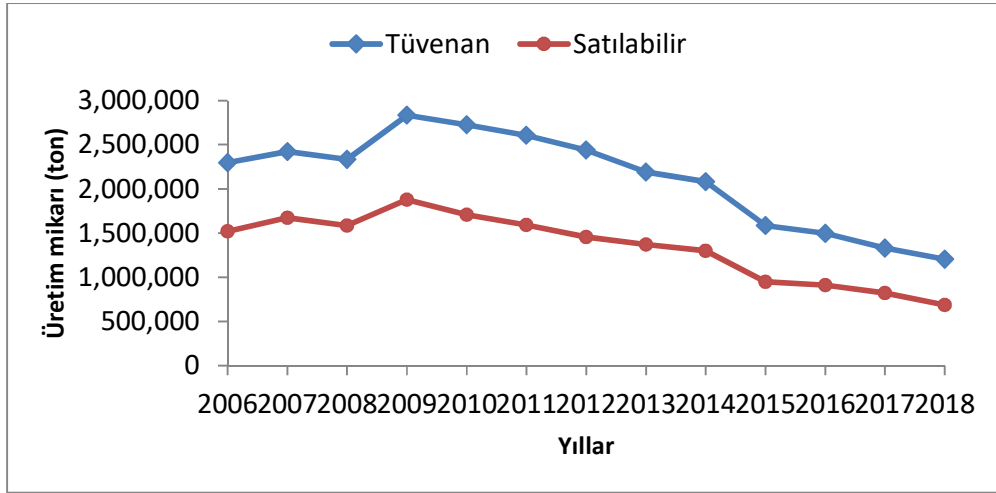
Kazı makineleri genel olarak üretim hızını artırır ve uzun vadede çok yüksek randımanlar elde edilebilir. Yüksek üretimin verimli bir şekilde gerçekleşmesi için başta yeraltında kazı olmak üzere, nakliyat ve tahkimatta kullanılan tüm ekipmanların kesintisiz çalışmalarının sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla tüm sistemin aksamadan yüksek kapasiteyle ilerlemesi işletme maliyetlerini de düşürür. Su ve Akkaş (2019) tarafından Amasra bölgesinde yapılan bir çalışmaya göre; delme-patlatma ve kollu galeri açma makinasının ilk yatırım, işçilik, enerji, bakım ve onarım, yağ, su, keski tüketimleri, patlayıcı madde giderleri göz önünde bulundurularak yapılan maliyet karşılaştırmasına göre, 2 km'lik ilerlemede kollu galeri açma makinası işletme maliyetinin, delme-patlatma maliyetine göre %47 daha karlı olduğu belirlenmiştir.

Hazırlık işlerinin sürekliliği mekanize kazı makineleri ile sağlanabilir. Bu bağlamda üretim miktarları da artar. Zonguldak havzasının jeolojik koşullarının oldukça zor olması kazı makinası kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle ancak yarı mekanize kazı yöntemleri uygulanabilmekte, galeriler genellikle delme-patlatma yöntemiyle ilerletilmektedir. Uzun yıllardır yapılmayan yatırımlar, halen kullanılmakta olan delici, yükleyici, sondaj vb. makinelerin ömürlerini tamamlaması, işçi sayılarındaki azalmalar vb. birçok nedenden dolayı ilerleme oranları azalmış ve bu eğilim her yıl daha da düşmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. TTK'da yıllara göre toplam galeri ve tabanyolu ilerlemelerindeki değişim.

Hazırlık galerisi ilerlemelerinin düşmesine paralel olarak tüvenan ve satılabilir kömür üretim miktarları da azalmaktadır (Şekil 2). Bu çerçevede ocakların giderek derinleşmesi ve yaygınlaşmasının önemli bir etkisi olduğunu belirtmek yerinde olur (Akçın vd. 2009).



Şekil 2. TTK tarafından üretilen tüvenan ve satılabilir kömür miktarları (TTK 2016).

Türkiye Taşkömürü Kurumu, galeri ilerlemelerindeki düşme eğilimini tekrar yükseltebilmek adına 2000'li yılların başlarında havzada ilk defa bir galeri açma makinası kullanmak istemiştir. Bu amaçla Karadon Yeni Servis Kuyusu -540 kat bağlantı galerisini sürme işini özel bir firmaya vermiştir. 18 m<sup>2</sup> kesitli galeride basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) 100 MPa üzerindeki kumtaşı içerisinde, 160 kW kesici kafa gücüne sahip KSP – 42 model eksenel tip kollu galeri açma makinesi ile kazı yapılmıştır. Ancak yerinde yapılan kazı testleri sonucunda 2 günde 2 m ilerleme yapılmış ve 540 adet keski tüketimi olmuştur. 1 m<sup>3</sup> kayaç kazısı için 15 adet keski harcanmıştır. Dolayısı ile elde edilen bu başarısızlıktan dolayı makine sökülmüş ve ocak dışına çıkarılmıştır (Akçın ve Akkaş, 2011). Hiçbir laboratuvar deneyi yapılmaksızın, tamamen ön görümlere dayalı olarak yapılan yanlış makine seçimi kurumun gelecek vizyonunu da olumsuz yönde etkilemiş ve yıllarca delme-patlatma ile kazıya devam edilmiştir.

Ancak bu çalışmada elde edilen bulgular, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda 2000'li yılların başından günümüze dek oluşan tüm olumsuz vaka ve senaryoların bir nebze olsun kırılmasına sebep olacak ve geleceğe de önemli bir ışık tutacak niteliktedir. Bu yönüyle havzada yapılan hazırlık çalışmalarının hızlandırılmasına da çok önemli katkı koyacaktır.

### AMASRA TAŞKÖMÜRÜ SAHASINDA KULLANILAN GALERİ AÇMA MAKİNALARI

Amasra Taşkömürü Bölgesi B sahası projesinde galeriler Westfaliyen C sahası içinde açılmış olup genel olarak kömür, şiferton, kıltaşı, siltaşı, kumtaşı ve konglomera gibi kayaçlardan oluşmaktadır. Bu sahada günümüze dek 4 adet galeri açma makinası başarıyla kullanılmıştır. Sahanın B bölgesinde kullanılan makinelerden bir tanesi DH R75T model kollu galeri açma makinesidir. Bu makine -510 kotunda 3704 no'lu ana galeri ve EC300 – 103 üst taban yolu galerisinde kullanılmıştır. Galeri açma makinasına ait genel görünüm Şekil 3'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 1'de sunulmuştur.



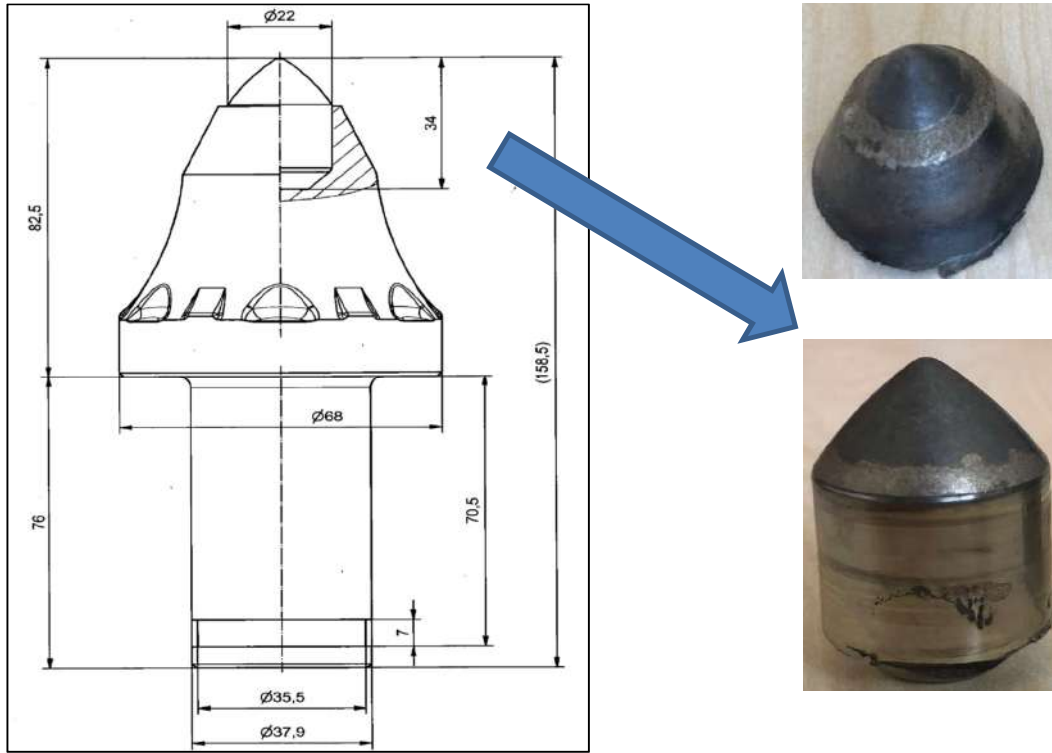
Şekil 3. Galeri açma makinası genel görünümü.



Çizelge 1. Galeri açma makinası teknik özellikleri.

Makine ağırlığı	79 ton
Kazı kesiti	14 -38 m <sup>2</sup>
Maks. kesebileceği dayanım	120 MPa
Kesici kafa tipi	Travers
Çalışma eğimi	Enine: ±8° , Boyuna: ±18°
Kesici kafa gücü	200 kW (AC)
Toplam güç	355 kW
Kesici kafa devri	52,4 dev/dk
Kesici kafa kesme hızı	3,1 m/s
Keski sayısı	2 x 55 =110 adet
Kesici kafa çapı	1,14 m

Makinada kullanılan konik keskinin geometrik özellikleri Şekil 4'de verilmiştir. Keskinin tungsten karpit kısmını incelemek üzere konik kısım ana gövdesinden kesilerek ayrılmıştır. Daha sonra özel bir CNC tezgâhta tungsten karbür kısmı çıkarılmıştır. Tungsten karbür yapıdaki konik kısım; 22 mm genişliğe ve 34 mm yüksekliğe sahiptir. Ucun metalürjik özellikleri XRF (x-ray fluorescence) elemental analiz cihazında incelenmiştir. Buna göre yapısında % 7,3 oranında kobaltve % 83,57 oranında da volfram (tungsten) olduğu görülmüştür.



Şekil 4. R75T kollu galeri açma makinasında kullanılan konik keski.

#### ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Amasra sahasında kayaçların çeşitli özelliklerinin belirlenmesine yönelik karotlu sondajlar yapılmıştır. Çapı 63,4 mm ve boyları yaklaşık 3 m uzunluğunda olan karotlardan RQD değerleri hesaplanmıştır. Buna göre kumtaşı, silttaşı ve kömürün RQD değerleri sırasıyla 70, 45 ve 35 olarak belirlenmiş, ortalama RQD değerininise 55,76 olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, H-110 numaralı sondaj ile EC300-400/500 ve 600 no'lu damarların tavan ve taban taşlarından numuneler alınarak jeomekanik deneyleri yapılmıştır. Kullanılan DH R75T model kollu galeri açma makinası ise sondajın yapıldığı bölgedeki kotlarda çalışmaktadır. Buna göre elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur. Ayrıca; ağırlıklı olarak kumtaşı ve silttaşı kayaçlarından oluşan bu formasyonların kazı verimi üzerindeki etkisini incelemek üzere

ince kesitleri hazırlanmış ve LEICA DM750P model polarizan mikroskopta 4X10 ve 10X10 büyültmelerde, polarize ışıkta mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir (Şekil 5). Bu özellikler Çizelge 3’de sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre yüksek oranda kuvars, plajioklas ve biyotit içeren kumtaşının eşdeğer kuvars içeriğinin %69, silttaşının ise %63 olduğu hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu kayaçların aşındırıcı oldukları doğrulanmıştır.

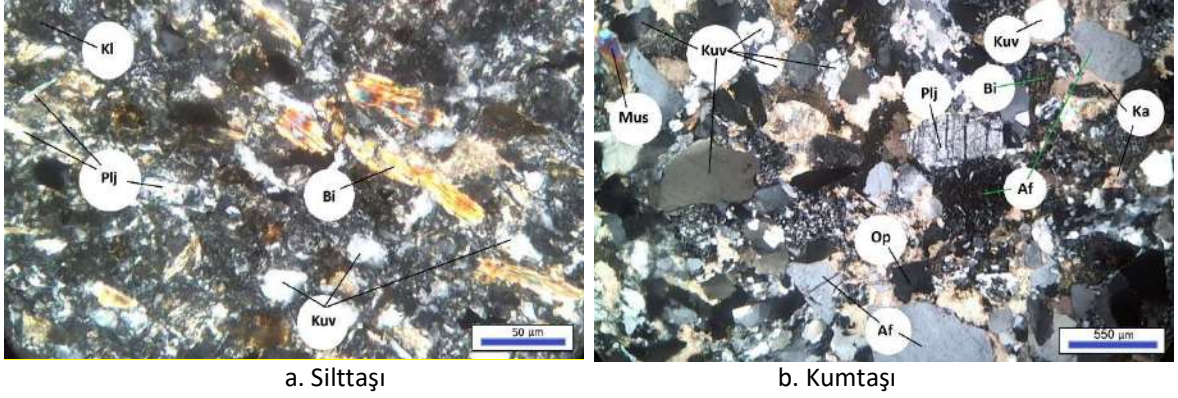
Çizelge 2. H-110 sondajı jeomekanik test sonuçları (HEMA, 2017).

Yer	Derinlik (m)	Litolojik Tanım	UCS (MPa)	BTS (MPa)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
EC-300 Tb.Taşı	702,15 - 702,85	İnce Taneli Kumtaşı	63,4	5,1	2,62
EC-300 Tv.Taşı	696,95 - 697,15	Konglomera	39,9		2,51
EC-300 Tv.Taşı	694,15 - 694,35	Orta-İri taneli Kumtaşı	46,4	5,3	2,47
EC-300 Tv.Taşı	694,45 - 694,66	Konglomera-Kumtaşı	20,6		2,53
EC-300 Tv.Taşı	694,70 - 694,85	Silttaşı		2,3	2,52
EC-300 Tb.Taşı	694,85 - 695,00	Kumlu silttaşı	63,6		2,56
EC-400/500 Tb.Taşı	730,15 - 730,76	Silttaşı	49,1	2,8	2,66
EC-400/500 Tv.Taşı	721,15 - 721,45	Kumtaşı - Silttaşı	84,2		2,61
EC-400/500 Tv.Taşı	718,60 - 721,45	İnce Taneli Kumtaşı		2,8	2,57
EC-600 Tb.Taşı	740,80 - 740,10	Kömür bandlı Silttaşı	28,6		2,61
EC-600 Tb.Taşı	740,80 - 741,10	Kumtaşı- Silttaşı	54		2,59
EC-600 Tv.Taşı	736,05 - 736,26	Kumtaşı		2,2	2,52
EC-600 Tv.Taşı	735,15 - 735,31	İnce Taneli Kumtaşı	80,8		3,01
EC-600 Tv.Taşı	735,15 - 735,31	Kumtaşı-silttaşı		2	2,82

Çizelge 3. Kumtaşı ve silttaşı örneklerinin mineralojik analiz sonuçları.

Kayaç	Mineral içeriği	Tane boyutu (mm)	EQC (%)			
Kumtaşı (İnce taneli)	Kuvars (Köşeli-Yarı köşeli)	0.125-0.30	50			
		0.025-0.05				
	Feldispat (Alkali Feldispat, Plajioklas) (Yarı köşeli)	0.05-0.08	3.2			
				Kloritleşmiş Biyotit (Yarı köşeli)	13.75	
						Serisit
				Opak mineral (Manyetit-Pirit)	0.125-0.25	
Silttaşı (İri taneli)	Kuvars (Yarı köşeli)	0.75-1.20	50			
		0.25-0.35				
		0.05-0.20				
	Feldispat (Alkali Feldispat, Plajioklas) (Yarı köşeli)	0.25-0.50	6.4			
				Kloritleşmiş Biyotit (Köşeli)	0.10-0.50	5.5
Opak mineral (Manyetit, Pirit)	0.20-0.30	1.12				
			Opak mineral (Manyetit, Pirit)	0.125-0.25	0.03	

Burada EQC, Eşdeğer kuvars içeriğidir.



Şekil 5. İnce kesit görüntüleri (Kuv: Kuvars, Plj: Plajoklas, Mus: Muskovit, Bi: Biyotit, Kl: Klorit, Op: Opak mineral, X Nikol).

Ersoy (2014) Amasra bölgesinden alınan numuneler üzerinde kesme deneyleri yaparak spesifik enerji değerlerini ve mekanik özellikleri ile Cerchar aşınma indeksini belirlemiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kesme deneyi sonuçları ve diğer özellikler (Ersoy 2016).

Numuneler	Ort. SE (MJ/m <sup>3</sup> )	Ort. SE (kWh/m <sup>3</sup> )	UCS (MPa)	BTS (MPa)	Ort. CAI	E (GPa)
Kumtaşı (Karot)	16,19	4,5	42,9	3,3	2,1	7,64
Kumtaşı (Blok)	20,65	5,74	37,7	2,4	2	7,89
	7,49	2,08				
Kömür (Blok)	6,34	1,76	4,7	0,8	0,5	-
	2,53	0,7				
Silttaşı (Karot)	22,2	6,17	59,7	3,8	1,5	14,3
Silttaşı (Blok)	16,96	4,71	25	1,6	1,6	6,72

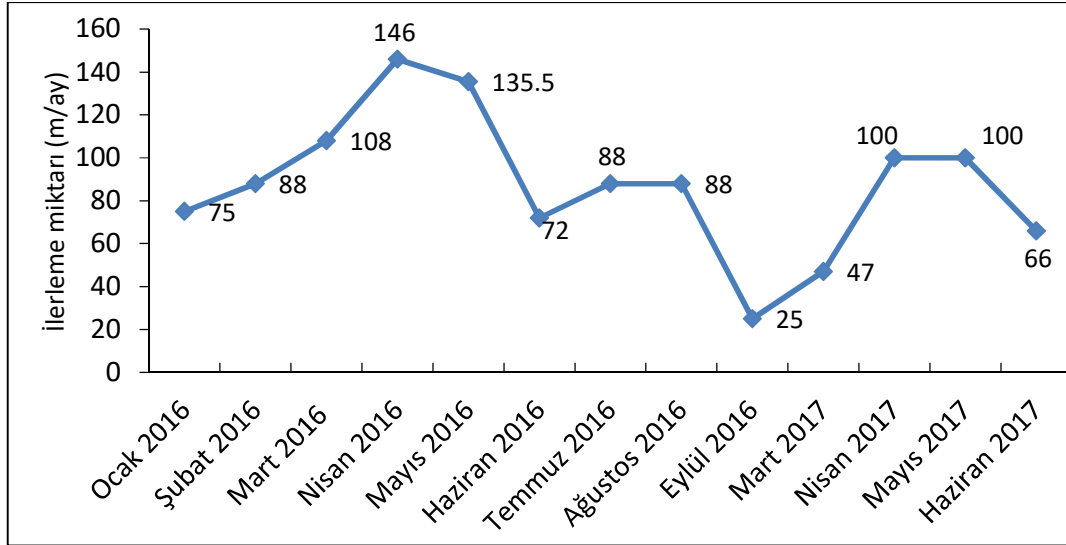
Burada; SE, Spesifik enerji; UCS, Tek eksenli basınç dayanımı; BTS, Dolaylı çekme dayanımı; CAI, Cerchar aşınma indeksi; E, Statik elastisite modülü.

### DH R75T GALERİ AÇMA MAKİNASI PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın Amasra bölgesinde Hattat Enerji ve Maden Tic. A.Ş tarafından -410 ve -510 kotlarında B24 faydalı kesitli galeri sürmek amacıyla 2015 yılında alınan 1 adet DH R60T ve 2 adet DH R75T model kollu galeri açma makinaları faaliyetlerine başlamıştır. Bu çalışma kapsamında R75T makinelerinden bir tanesinin performans sonuçları irdelenmiştir.

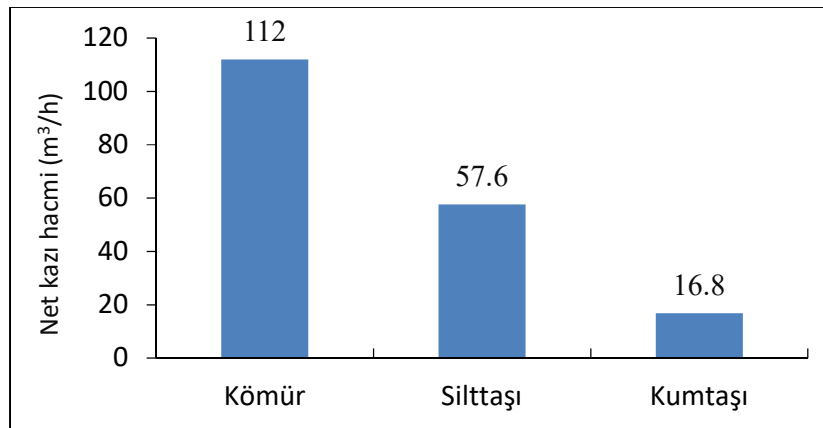
Galeri açma makineleri 2015 yılından bu yana 41 ayda toplam 3182 m ilerleme kaydederek ayda ortalama 78 m/ay ilerleme gerçekleştirmiştir. Üç makinenin toplam keski tüketimi ise 9563 adet olup, aylık ortalama keski tüketimi 233 adet/ay ve birim keski tüketimi ise 0,1 adet/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Ancak, bu süre zarfında zaman zaman karşılaşılan yüksek dayanımdaki çok aşındırıcı formasyonlar ise koşullar gereğince delme-patlatma ile geçilmiştir.

R75T modelin kollu galeri açma makinası 2016-2017 yılları arasında B24 kesitli galeride 13 ay boyunca kazı yapmıştır. Buna göre aylara bağlı olarak yapılan ilerlemeler Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu şekle göre en yüksek ilerleme 146 m/ay olmuştur. Bu değer Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda günümüze kadar yapılmış en yüksek rekor ilerleme hızıdır. Makinanın aylık ortalama ilerlemesi ise 88 m/ay olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6. 3704 no'lu galeride R75T galeri açma makinasının aylık ilerlemeleri (Akkaş 2019).

Buna ek olarak Şekil 7'de gösterildiği üzere kayaç türüne bağlı olarak makinanın net kazı hacimleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre en zor kazı kumtaşında gerçekleştirilmiştir. Silttaş kazısında yaklaşık 3,5 kat, kömürde ise 6,5 kat daha fazla kazı hacmi yada daha yüksek kazı performansı elde edilmiştir.



Şekil 7. Kayaç türlerine göre ortalama net kazı hacimleri (Akkaş 2019).

Diğer taraftan galeri açma makinesinin kazısı sırasında net kazı hızlarına göre kesici kafanın bilgisayar ekranından akım değerleri düzenli olarak kayıt altına alınmıştır. Galeri açma makinası 550 V ile

çalışmaktadır. Makinanın kesici kafa motoru alternatif akım özelliğe sahip olduğu için güç hesabı Eşitlik 1'den yapılmıştır.

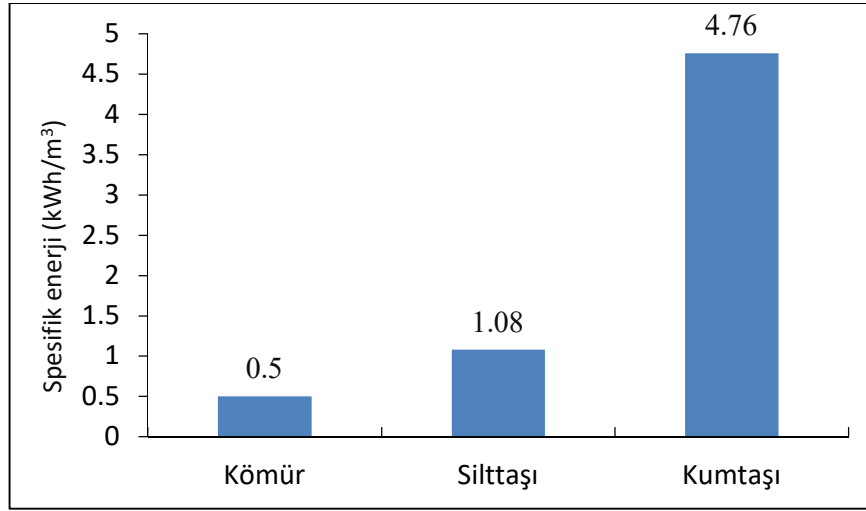
$$P = \sqrt{3} I V \cos \phi \quad (1)$$

Burada, P,Güç (kW); I, Akım (A); V, Gerilim (V) ve  $\phi$ ,Gerilim ve akım arasındaki faz farkı (0,80-0,85).

Makinanın bilgisayar ekranı üzerinden okunan akım değerleri ve sabit gerilim değerlerinden yararlanarak Eşitlik 1'de anlık gücü hesaplanmıştır. Net kazı hacimleri ise yerinde ölçümlerle belirlenmiştir.Elde edilen tüm bu değerlerden Eşitlik 2'deki spesifik enerji hesaplanmıştır.Buna göre makinanın ayrı ayrı kayaç türlerine göre ortalama spesifik enerji değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

$$SE = k \frac{P}{ICR} \quad (2)$$

Burada; SE, Spesifik enerji (kWh/m<sup>3</sup>); ICR,Net kazı hacmi (m<sup>3</sup>/h); k, Enerji transfer oranı katsayısıdır.

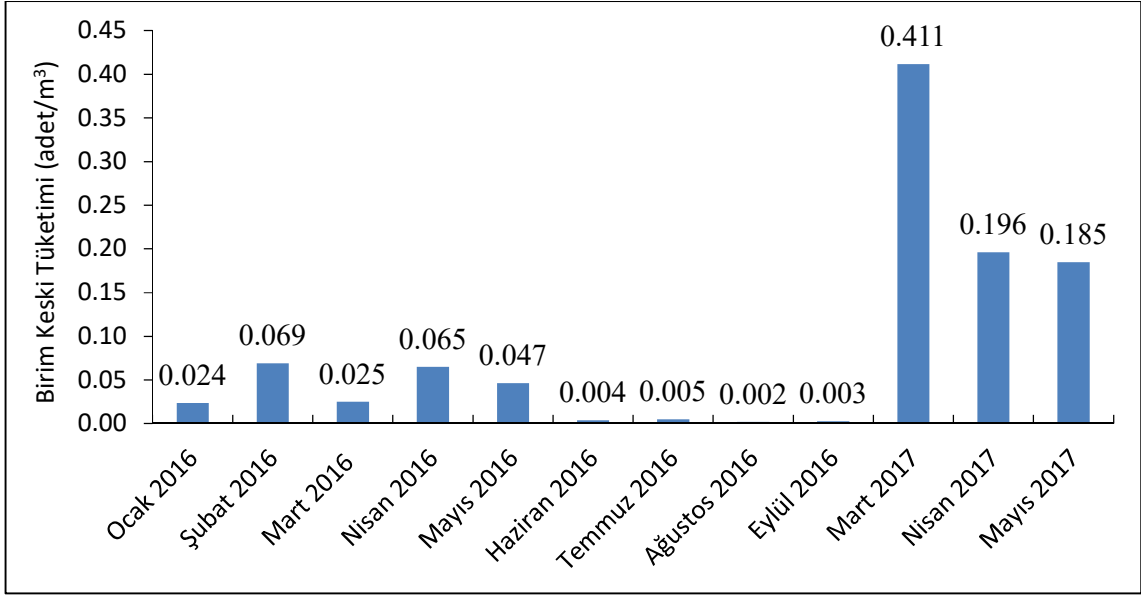


Şekil 8. Kayaç türlerine göre spesifik enerji değerleri (Akkaş 2019).

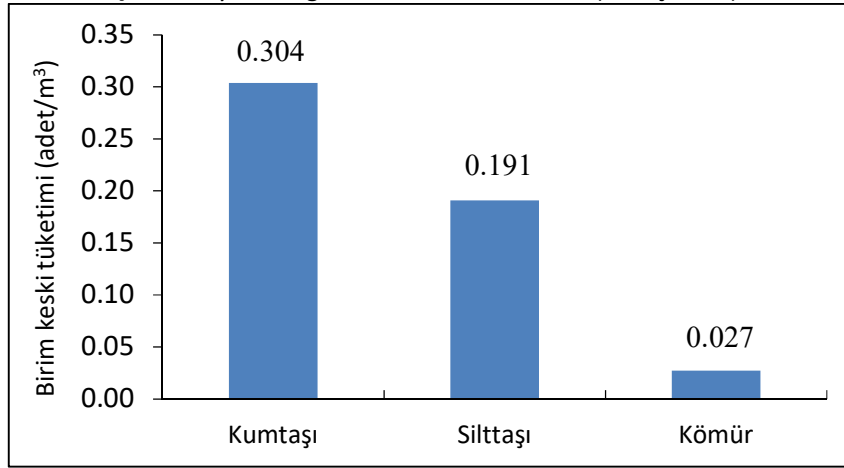
Şekil 8'deki spesifik enerji değerleri incelendiğinde -510 kotundaki kumtaşı gibi sert kayaç birimleri içerisinde 4,76 kWh/m<sup>3</sup> değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler kotlar arasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Örneğin, -410 kotunda çalışan bu galeri açma makinasında kumtaşı kayaç birimi içerisinde 5-7 kWh/m<sup>3</sup> değerlerine ulaşılmıştır.Kömür ve siltaşında ise spesifik enerji değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Diğer taraftan galeri açma makinası keski tüketim değerleri de her vardiya kayıt altına alınmıştır. Galeri açma makinası 13 ayda 1138 m ilerleme yaparak toplamda 2411 adet keski tüketmiştir. Bu bağlamda birim keski tüketimi ise 0,076 adet/m<sup>3</sup> olarak hesaplanır. Galeri açma makinasının aylara göre keski tüketimi Şekil 9'daverilmiştir.Ayrıca, genel olarak ortalama 185 adet/ay keski tüketimi gerçekleşmiştir. Keski tüketimleri kayaç türlerine göre ele alındığında ortaya çıkan grafik Şekil 10'daverilmiştir.

Bu şekle göre kumtaşı kayacında kazı yapılırken keski tüketimleri diğer kayaçlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Keski tüketimi 0,304 adet/m<sup>3</sup> olmasına rağmen bazı kumtaşı birimleri içerisinde 0,5 adet/m<sup>3</sup>'ü aşan tüketimler de gerçekleşmiştir. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi de kumtaşlarındaki süreksizlikler, yapraklanmalar, minerallerin tane boyutu, RQD ve sürekli değişen basınç ve aşınma indeksi değerleridir.



Şekil 9. Aylara bağlı birim keski tüketimleri (Akkaş 2019).



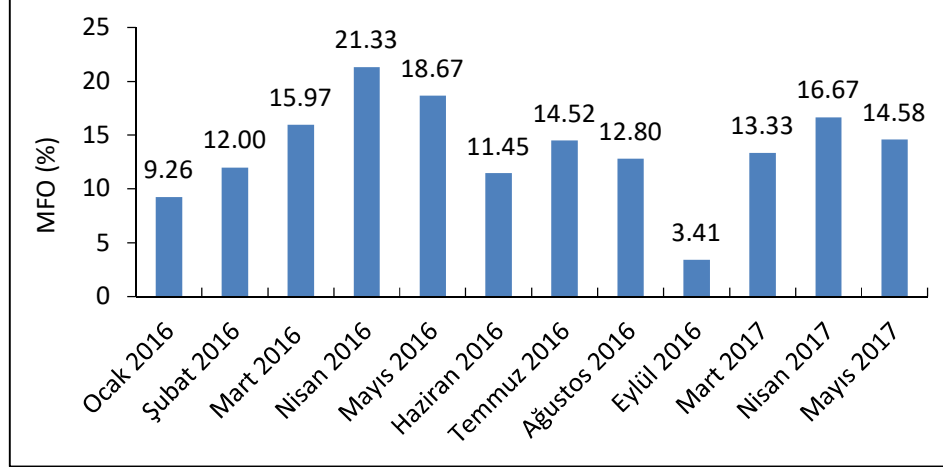
Şekil 10. Kayaç türlerine göre ortalama birim keski tüketimleri (Akkaş 2019).

Galeri açma makinasının performansının değerlendirilmesindeki en önemli faktörlerden biri de makinadan faydalanma oranıdır. Galeride açma makinesinin çalışma süresi boyunca karşılaşılan arızalar, bakım süreleri, halat saplama, kaya saplama, çelik hasır montajı, TH bağ tahkimatları makinadan faydalanma oranını etkilemiştir. Kazı süresince tüm bu işler için harcanan süreler kaydedilmiştir. Bu bağlamda Şekil 11’de galeride açma makinasının aylık ortalama makinadan faydalanma oranları gösterilmiştir.

Bilgin vd. (2013) makinadan faydalanma oranı madencilik faaliyetlerinde %20-%35 arasında ve tahkimat süreleri çıkarıldığında ise %30-%50 arasında değişebileceğini belirtmişlerdir. Şekil 12’de galeride açma makinasının mart ve nisan ayında yapılan tahkimat, arıza ve bakım süreleri yüzdeleri gösterilmiştir. Bu şekillerde makinadan faydalanma oranı % 3,41 - %21,33 arasında değişkenlik göstermiştir. Ortalama makinadan faydalanma oranı ise %13,67 olarak bulunmuştur.

Şekil 12’de görüldüğü gibi kazıya harcanan süre toplam sürenin ortalama %15’ini, arıza ve bakım %10’unu ve tahkimat ise %75’ini oluşturmaktadır. Tahkimata harcanan süre kazıya harcanan süreden %60 daha fazladır. Tahkimat içerisindeki en yüksek yüzdeyi sırasıyla TH montajı, halat saplama, kaya saplama ve çelik hasır montajı almaktadır. Bu döngüdeki en önemli faktör kayacın RQD değeridir. Bu değer azaldıkça kazı süresi kısalmakta ve tahkimata harcanan sürede artmaktadır. Yapılan çalışmada RQD değeri düşük kayaç birimleri içerisinde bağ araları düşürülmüş ve halat saplama sayısı artırılmıştır. Arıza ve bakım

sürelerine bakıldığında galeri açma makinasına her vardiya, günlük ve aylık bakım prosedürlerine uyularak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Genel olarak arızalar küçük çaplı olmakla birlikte su ve hava yetersizliği, zincir kırılmaları, yağ kaçaqları ve valf arızaları gibi arıza türleri gerçekleşmiştir. En uzun arıza süresi ise makinanın kumandasında meydana gelen yazılım sistemi arızasıdır. Yazılım arızası tedarikçi firmanın uzman kişiler getirilerek giderilmiştir.



Şekil 11. Aylara göre makinadan faydalanma oranları (Akkaş 2019).

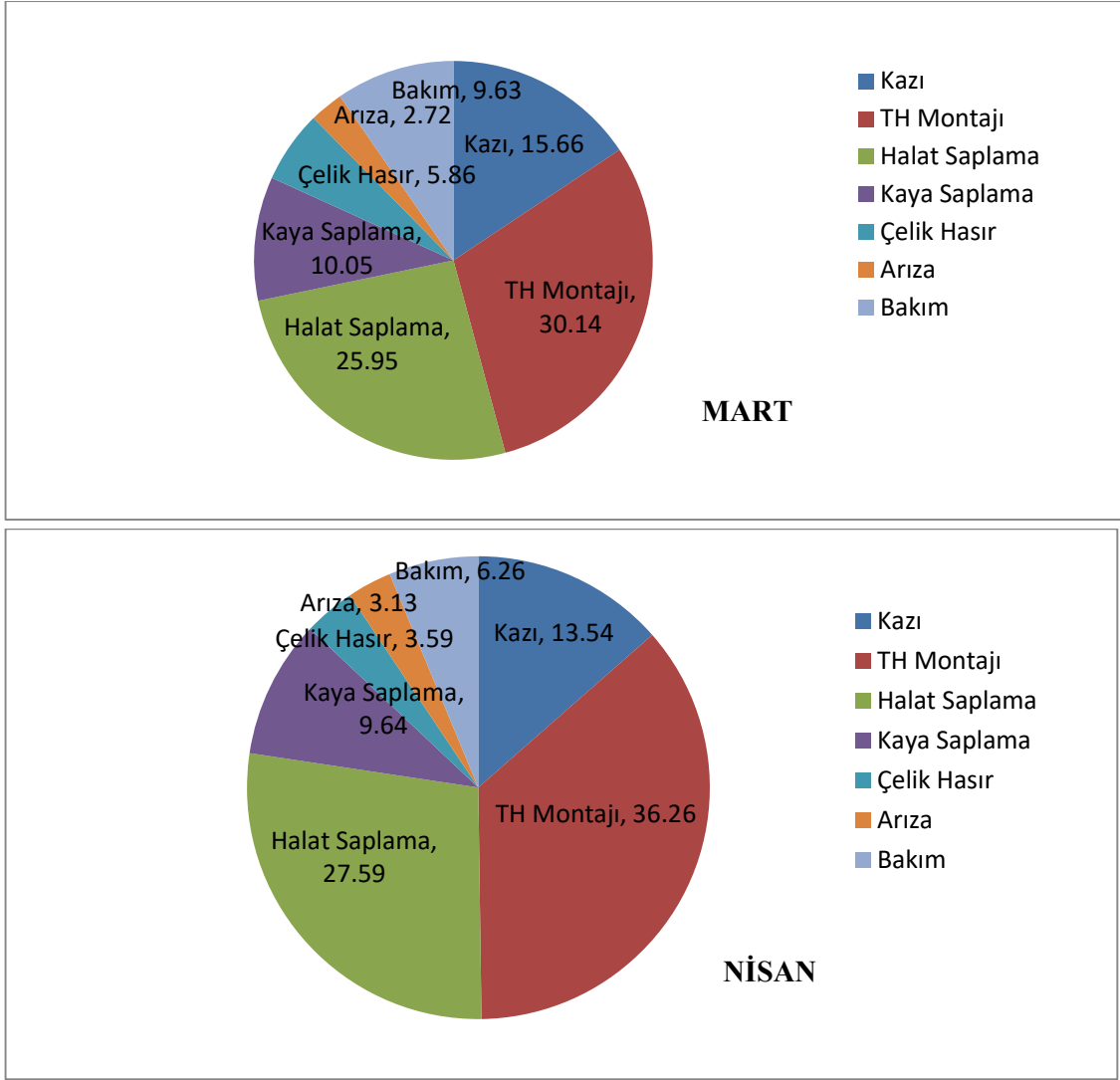
### PERFORMANS DEĞERLERİNİN TARTIŞILMASI

Yukarıda sunulan teknik sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde galeri açma makinasının Amasra sahasında kazı performansının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 3'te de verildiği üzere kayaçların genel olarak silis içeriklerinin fazla olması keski tüketimini arttırmakta, buna bağlı olarak enerji, arıza ve bakım süreleri de artış göstermektedir. Bu gibi durumlarda delme-patlatma ile kayaç gevşetilerek kazıya devam edilmektedir

Amasra bölgesinde DH R75T galeri açma makinası ile yapılan çalışmalarda kumtaşı, silttaşı ve kömür kayaç birimleri içerisindeki kazı sırasında ortalama değer olarak net kazı hacmi  $62,1 \text{ m}^3/\text{h}$ , spesifik enerji değeri  $2,1 \text{ kWh}/\text{m}^3$ , keski tüketimi  $0,174 \text{ adet}/\text{m}^3$  ve makinadan faydalanma oranı ise % 13,6 olarak belirlenmiştir.

- R75T kolla galeri açma makinasında en iyi ilerleme 2016 Nisan ayında 146 m olarak kayıt edilmiştir. Bu değer Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda bugüne kadar görülen en yüksek aylık ilerleme miktarıdır. Makinanın ortalama ilerleme hızı ise 88 m/ay olarak gerçekleşmiştir.
- Anlık (net) kazı miktarı ise en düşük kumtaşında  $16,8 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer Çizelge 5'de verilmiş olan çeşitli araştırmacıların geliştirdiği görgül bağıntılarla da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5'te görüldüğü gibi kollu galeri açma makinaları performans tahmini için öngörülen görgül yaklaşımlar Çizelge 2'de belirtilen kayaçların jeomekanik test sonuçlarına göre değerlendirilerek Amasra bölgesinde kullanılan DH R75T model galeri açma makinasının yerinde performans değerleri ile karşılaştırıldığında Şekil 13'deki sonuçlar elde edilmiştir. Makina genellikle kumtaşı ve silttaşı kayaçlarında çalıştığı için kömürdeki yapılan değerlendirme göz önüne alınmamıştır.



Şekil 12.Yeraltında yapılan işlerin mart ve nisan aylarına ait zaman yüzdeleri (Akkaş 2019).

Çizelge 5. Çeşitli araştırmacılara göre performans tahminleri

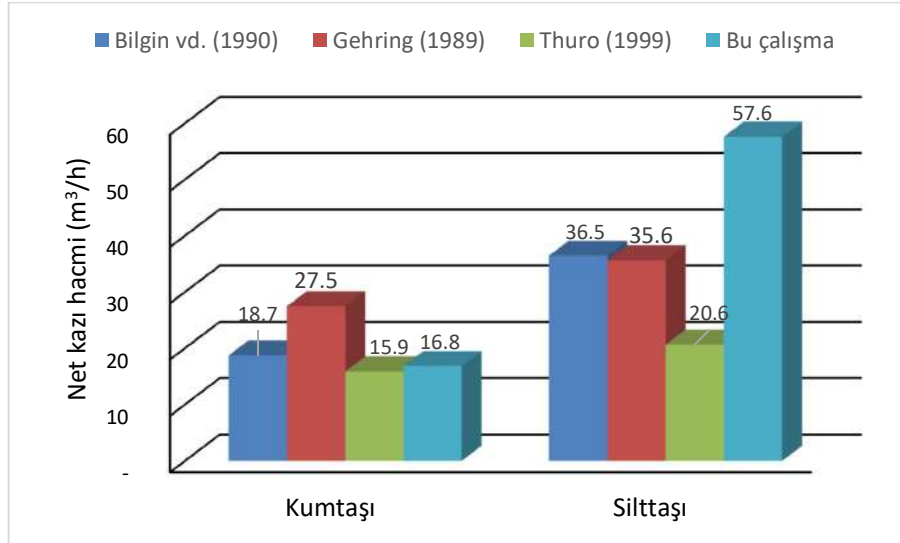
Referans	Tahmin Yöntemi
Bilgin vd. (1990)	$ICR = 0,28 \times P \times (0,974)^{RMCI}$ $RMCI = UCS \times \left(\frac{RQD}{100}\right)^{2/3}$
Gehring (1989)	$ICR = \left(\frac{719}{UCS^{0,78}}\right)$
Thuro (1999)	$ICR = 75,7 - 14,3 \times \ln(UCS)$

Burada, ICR,net kazı hacmi (m<sup>3</sup>/h); P,kesici kafa gücü (HP/kW); UCS,tek eksenli basınç dayanımı (MPa); RQD,kayaç kalite göstergesi (%) dir.

- Elde edilen sonuçlara göre makine performans kestiriminde kullanılan görgül bağıntılardan en iyi tahmin Bilgin vd. (1990) tarafından sağlanmıştır. Bunun en temel sebebi kazı üzerinde çok büyük etkisi olan arındaki süreksizliklerin göz önüne alınmasıdır ki bu da Bilgin eşitliğindeki RQD değeri ile açıklanmıştır. Bu çalışmada RQD değeri yüzeyden yapılan sondajlardan alınan karot numuneleri



üzerinden değerlendirilmiştir. Galerideki arın durumuna bağlı olarak kullanılacak RQD değerleri ile yapılan tahmin biraz daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Diğer araştırmacıların bağıntıları ise sadece tek eksenli basınç dayanımı gibi tek bir parametreye bağlı olarak geliştirilmiştir. Bu durum da sonuçlarda sapmalara sebep olabilmektedir.



Şekil 13. Net kazı hızına göre makine performans tahminlerinin karşılaştırılması.

- Diğer taraftan arazide yapılan tespitler sonucunda kömürde  $1,8 \text{ MJ/m}^3$  (yada  $\text{MN/m}^2$ ), siltaşında  $3,9 \text{ MJ/m}^3$  ve kumtaşında ise  $17 \text{ MJ/m}^3$  lük spesifik enerji değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Arazi çalışmalarından ölçülen makinanın spesifik enerji değerlerinin Çizelge 4’de verilen laboratuvar sonuçları ile de uyumlu olduğu görülmüştür. Sadece siltaşında bazı değişkenlikler gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de zaman zaman kömürlü formasyonların da beraberinde kesilmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 4’de gösterilen 34 mm uzunluğundaki konik keskinin 10 mm’si kayaca batmaktadır. Kullanılan konik keskinin keski (uç) açısı  $85^\circ$  olduğu için, sökölme açısının da yaklaşık  $45^\circ$  olduğu varsayılmıştır. Bu bağlamda 10 mm kesme derinliğinde ki kazı alanı Eşitlik 3’den  $0,0001 \text{ m}^2$  hesaplanır.

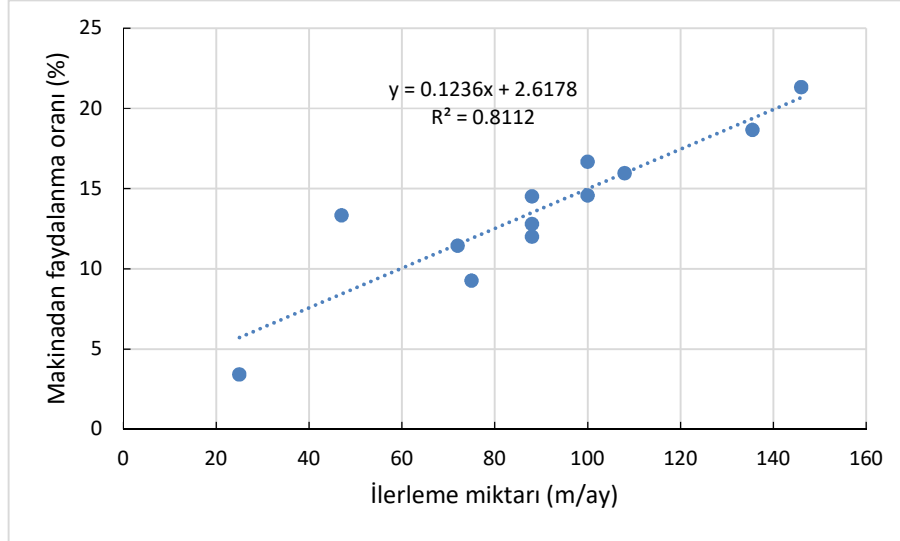
$$A = d^2 \tan \theta \quad (3)$$

Burada A, kazı alanı ( $\text{m}^2$ ); d, kesme derinliği (m);  $\theta$ , sökölme açısı ( $^\circ$ ) dir.

Spesifik enerji ( $\text{MJ/m}^3$ ) değerleri kazı alanı ile çarpıldığında ortalama kesme kuvveti (FC) değerlerinin kömürde yaklaşık 0,18 kN, siltaşında 0,39 kN ve kumtaşında ise 1,7 kN olduğu bulunmuştur.

- R75T galeri açma makinası 13 aylık kazı süresince 1138 m ilerlemede toplam 2411 adet keski tüketmiştir. Buna göre ortalama 185 adet/ay tüketim olmuştur. Genel bir değerlendirme yapıldığında ise kumtaşında ekonomik kazı sınırları ( $< 0,5 \text{ adet/m}^3$ ) içerisinde, siltaşı ve kömürde ise daha iyi kazı koşullarının olduğu söylenebilir. Ancak, petrografik özelliklerden de görüldüğü üzere, aşındırıcı mineral oranı yüksek olduğundan ötürü özellikle kumtaşlarındaki keski tüketimleri yüksek olmuş ve bu nedenle galeri ilerlemeleri sırasında bazen delme patlatma, bazen de galeri açma makinası ile kazı işleri yürütülmüştür.
- Kazı süresince arında karşılaşılan küçük atımlı fay ve süreksizlikler tahkimat işleri (çelik hasır, kaya saplama, halat saplama) için fazla zaman harcanmasına sebep olmuş ve bu durum makinadan faydalanma oranını (%13,67) düşürmüştür. Bununla birlikte kazı sırasında makine ve çevre

ünitelerinde karşılaşılan arızalar ve bunların bakım süreleri de performans üzerinde etkili olmuştur. Şekil 14'den görüleceği üzere makineden faydalanma oranı ile galeri ilerlemeleri arasında pozitif bir lineer ilişki görülmektedir. Buna göre tahkimat ve bakım-onarım için harcanan zaman dilimleri hem MFO'yu hem de ilerleme miktarlarını düşürmektedir.



Şekil 14. Makinadan faydalanma oranı ile ilerleme miktarı arasındaki ilişki.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak Amasra taşkömürü sahasında yerinde yapılan ölçüm ve tespitler sonucunda kullanılan kollu galeri açma makinasının kazı performansının iyi olduğu görülmüştür. Elde edilen bu tecrübelerle göre Zonguldak Taşkömürü Havzasında kullanılacak olan bir galeri açma makinasının kesici kafa gücünün en az 200 kW olabileceği ve tabanyolu kazıları için alternatif olarak 160 kW kesici kafa gücüne sahip bir galeri açma makinası kullanılması uygun olabileceği söylenebilir. Kesici kafa tipinin ise çift tamburlu (travers tip) olması kumtaşı gibi sert kayaların kazısı için daha çok avantaj sağlayacaktır.

Bunun yanında kesici kafa kullanılacak keskinin tungsten karbür uç genişliği en az 22 mm ve uzunluğu 34 mm olmalıdır. Taban yollarında sürülecek olan makina için ise en az 19 mm genişlik ve 28 mm uzunluk olması kesici uç maliyetlerinde azalmalar meydana gelecektir.

Havzada kullanılacak olan makina en az 70 ile 90 ton arasında orta ağırlıkta olmalıdır. Hafif bir tür makina kullanımı havzadaki kumtaşları kazısında yetersiz olup fazla titreşimden dolayı sık sık arızalar meydana gelecektir.

Zonguldak Taşkömürü havzası Amasra sahasında kullanılan galeri açma makinalarında 28 m<sup>2</sup> kazı kesitinde bir galeride 146 m/ay ilerleme yapılmış olup bu ilerleme havza tarihindeki en yüksek galeri ilerlemesi olmuştur. Bu ilerleme miktarı da geleceğe ışık tutacak bir değerdir.

Havzada daha hızlı üretime geçebilmek için galeri ilerlemelerinde kollu galeri açma makinesi kullanımı artırılması ve ilk yatırım maliyetleri yüksek olan bu makinaların alımında teşviklerin sağlanması çok önemlidir. Son yıllarda ki kömür üretimindeki düşüşleri arttırmak için bir an önce mekanize kazı sistemleri kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akçın, N.A., Akkaş, E. (2011). *Gelik İşletmesi'nde kullanılan kollu galeri açma makinasının performansının incelenmesi, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, s. 171-180, Ankara.
- Akkaş, E.(2010). *Gelik İşletmesi'nde Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinasının Performansına Etki Eden Etkenlerin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 75 s.
- Akkaş, M.(2019). *Amasra Bölgesinde Kullanılan Orta Ağırlıktaki Galeri Açma Makinalarının Performans ve Uç Tüketimlerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 223 s.
- Bilgin, N., Çopur, H., Balcı, C. (2013). *Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries*. 1st Edition, CRC press, 388 p.
- Bilgin, N., Seyrek, T., Erding, E., Shahriar, K. (1990). Roadheaders glean valuable tips for Istanbul Metro, *Tunnels and Tunnelling International*, 22, 10, pp. 29-32.
- Ersoy, C. (2014). *Kollu galeri açma makinasının seçim kriterleri ve Amasra Havzası'na uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 135 s.
- Gehring, K.H. (1989). Cutting comparison, *Tunnels and Tunnelling International*, 21, 11, pp. 27-30.
- Hema (2017). Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi H-110 sondajı jeoteknik test raporları, Bartın, 16 s.
- Su, O. and Akkaş, M. (2019). Cost analysis of mine roadways driven by drilling and blasting method and a roadheader, *26<sup>th</sup> International Mining and Congress and Exhibition of Turkey*, 16-19 April, pp. 1458-1464, Antalya, Turkey.
- Thuro, K. (1999). Roadheader excavation performance – geological and geotechnical influences. In: The 9th ISRM Congress, Theme 3: Rock Dynamics and Tectonophysics/Rock Cutting and Drilling, Paris, pp. 1241–1244.
- TTK (2016). TTK Üretim ve Hazırlık Faaliyetleri Tabloları, Türkiye Taşkömürü Kurumu, (<http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=152>) (06.01.2016).

**MEKANİK KAZICILARDA KESKİ DİZİLİM TASARIMLARININ İRDELENMESİ**  
*AN EVALUATION OF TOOL LACING DESIGN EMPLOYED FOR MECHANICAL EXCAVATORS*  
Osman Zeki HEKİMOĞLU

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Maden Mühendisliği Bölümü,  
Kötekli, 48000 Muğla  
[ozhekimoğlu@gmail.com](mailto:ozhekimoğlu@gmail.com)*

**ÖZET**

Bu bildiride yeraltı ve yerüstü kazılarında kullanılan kazı makinelerinde önemli yeri olan keski dizilim tasarım yöntemlerinin genel bir irdelenmesi yapılmıştır. Özellikle kama ve konik uçlu keskinin kullanıldığı kazı makinelerinde uygulanan tasarım yöntemlerindeki eksiklikler ortaya konmuş ve bunlara getirilecek uygun çözümler tartışılmıştır. Ayrıca uygulamada bu alanda kullanılan bilgisayar yazılımlarının bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Mekanik kazı, Keski dizilim tasarımı, Kesici uçlar, Kesici kafa tasarımı.

**ABSTRACT**

This paper describes a general evaluation of the methods used for tool lacing of mechanical excavators employed for underground and surface excavations. Drawbacks encountered with tool lacing, in particular with the drag tool types, were exhibited, and possible solutions were, then, discussed. Furthermore, a brief assessment of computer software adopted in practice was also made.

**Keywords:** Mechanical excavation, tool lacing design, drag tools, cutting head design.

## GİRİŞ

Mekanik yöntem ile kazı yapan makineler madencilik ve inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makinelerde kesme işlemi iki tür keski tipi ile gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birincisi çok aşındırıcı olmayan yumuşak ve orta sertlikteki kayalar için kullanılan kama ve konik uçlu keski (drag tools) dir. Diğer tür ise daha çok sert formasyonlar için tasarlanan ve yuvarlanma hareketi ile kesme gerçekleştiren (Rolling cutters) disk v.b. tipteki keskilere aittir. Bu keski türünün tümü bir arada ve birbirleriyle yardımlaşarak kesme hareketini gerçekleştirmek için makinenin kesici birimi (kesici kafa, kesici tambur, döner çark, v.d.) üzerinde uygun bir düzen içerisinde yerleştirilirler. Kazı mekaniğinde bu işleme keski dizilimi (tool lacing) yada kesici kafa tasarımı (cutting head design) denir. Uygun bir keski dizilimine sahip kazı makinelerinin yüksek performans sergilediği belirtilmiştir (Hurt ve Morris, 1985). Keski dizilim tasarımında birbirleriyle bağlantılı olan birçok dinamik, kinematik ve enerji ilişkili temel parametreler bulunmaktadır. Etkin ve verimli bir keski dizilim tasarımı için bu parametreler arasında dengeli ilişkilerin kurulması gerekmektedir.

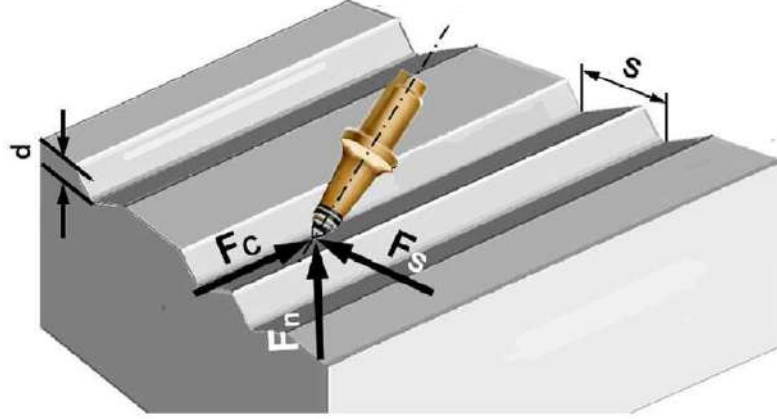
Keski dizilim tasarımında ilk aşamada keskilere etkiyen kuvvetlerin büyüklüğü, etkime yönü ve makinenin kesici birimi üzerindeki dağılımlarının bilinmesi gerekir. Laboratuvar koşullarında yapılan temel araştırmalar keski türünün kesme derinliği (d) ve keski türü arasındaki uzaklık (s) gibi etmenlerin keski kuvvetleri ve kesme veriminin saptanmasında belirleyici faktörler olduğu belirtilmiştir (Barker, 1964; Evans ve Pomeroy, 1966; Roxborough ve Rispin, 1973). Makine özellikleri göz önüne alındığında ise bu değerlerin yalnız başına tayin edici faktörler olmadığı ve mutlaka diğer faktörlerle birlikte gözlemlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu faktörler genel olarak toplam keski ve spiral sayısı, kesme hattı üzerindeki keski sayısı, çevresel açı ve eğim açısı şeklinde verilebilir (Hurt, 1980; Hekimoğlu, 1984). Keski dizilim tasarımının ikinci aşamasında tork ve makineye etkiyen tepkime kuvvetleri değerleri ile bunlardan kaynaklanan titreşimler saptanarak genel bir değerlendirme yapılır. Burada en etkin olan faktörlerin başında kesici birimin geometrik şekli gelir. Bütün bu değerlendirmeler, karmaşık ve zaman alıcı olduğundan genel olarak bilgisayar yardımıyla yapılır.

Keski dizilim parametrelerindeki bu karmaşık yapı, uygulamada çelişkili yöntem ve farklı yaklaşımların göz önüne alınmasına neden olmakta ve bunun sonucunda makine performanslarında önemli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu bildiride kama ve konik uçlu (drag tools) keski türüyle donatılmış kazı makinelerinde keski dizilim tasarımının temel ilkeleri ve bu konuda uygulamada karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri anlatılmaktadır. Bunların yanı sıra, günümüzde bu alanda kullanılan bilgisayar programlarının yeterlilik düzeyi tartışılmıştır.

## KESKİ DİZİLİM TASARIMI

### Keski Dizilim Tasarımındaki Temel Parametreler

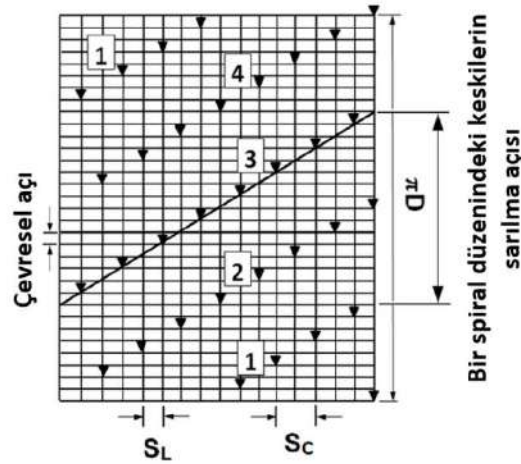
Laboratuvar koşullarında yapılan kesme deneyleri düzleştirilmiş kaya yüzeyinde, yatay düzlem boyunca birbirine paralel olan ve doğrusal yönde açılan kesme olukları şeklinde gerçekleştirilir (Şekil 1). Bu oluklar arasındaki uzaklık (s) ve kesme derinliğinin (d) burada en önemli parametreler olduğu ve en yüksek kesme veriminin keski ve kaya özelliğine bağlı olarak belli 's/d' oranlarında elde edildiği belirtilmiştir (Barker, 1964; Evans ve Pomeroy, 1966; Roxborough ve Rispin, 1973). Ancak düz kaya yüzeyinde yapılan araştırmalardan çok önemli bulgular elde edilmesine karşın, burada uygulanan kesme yöntemi (çok küçük istisnalar dışında) kazı makinelerinin gerçek kesme hareketini temsil etmemektedir.



Şekil 1. Laboratuvar koşullarında düz kaya yüzeyi üzerinde konik uçlu bir keski ile yapılan kesme deneylerinde derinlik (d) ve uzaklık (s) kavramları.

Uygulamada, kazı makinesini yüksek kesme titreşimlerinden korumak için keskinin ardışıklı olarak kesme yapmaları istenir. Bu amaçla keskinin makinenin kesici kafa ya da tamburu üzerinde helisler oluşturacak şekilde dizilirler. Bu durumda keskinin bireysel ve grupsal özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bireysel anlamda keskinin arası uzaklık ( $S_L$ ), bir keski ile konumuna bakılmaksızın en yakın komşu keski arasındaki açıklıktır. Grupsal anlamda ise bir keskinin aynı spiralde bulunan en yakın komşu keski arasındaki uzaklık ( $S_C$ ) olarak tanımlanır. Benzer sıralama ölçüsü keskinin kesici tambur ya da kesici kafanın dönme eksenine dik olan dairesel düzlem üzerinde birbirlerine göre olan konumları içinde söz konusudur. Bunlar 'çevresel uzaklık (circumferential spacing)' şeklinde tanımlanmaktadır. Anılan bu parametreler Şekil 2 de gösterilmiştir.

Spiral sayısı kazı makinelerinin tipine göre değişir. Galeri açma makinelerinde (roadheaders) ve tamburlu kesicilerde (drum shearers) genel olarak 2 ile 4 arasında değişir. Çapraz tipli galeri açma



Şekil 2. Tekli kesme hattına göre tasarlanmış dört spiralli bir tambur üzerinde keskinin dizilimi.

makinelerinde bu sayı 6 adete kadar çıkmaktadır. Zincirli kollu kesicilerde 8 ile 12 arasında değişebilmektedir. Aynı kesme hattındaki ardışıklı keski sayısı spiral sayısından tamamen bağımsız olup 'tekli (single tracking)' ya da 'çoklu (multi-tracking)' şeklinde tanımlanırlar. Bu durumda keskinin arası uzaklık kavramı da farklı olmaktadır. Çoklu sistemde her koşulda  $S_C$  ve  $S_L$  değerleri her zaman birbirine eşittir. Ancak tekli sistemde 2 spiral ilkesine göre  $S_C = 2S_L$  iken, 3 spiral ilkesine göre ise  $S_C = 3S_L$  olmaktadır.

Verimli bir kesme işlemi için genelde bir kesme hattında 'tekli' dizilim önerilmektedir (Roxborough ve Rispin, 1973; Hekimoglu v.d, 2003). Tekli ve çoklu kesme hattı kavramında çoğu kez çelişkiler yaşanmaktadır. Örneğin, 2 ve 3 spiralli tekli tasarımda bir kesme hattında yalnızca bir keski bulunurken, 2 spiralli çoklu tasarımda bir kesme hattında 2 keski, 3 spiralli çoklu tasarımda ise bir kesme hattında 3 keski bulunur. 2 spiral ilkesine göre düzenlenmiş 4 spiralli tekli tasarımda bir kesme hattında 2 keski bulunurken (Şekil. 2), bunun çoklu tasarımındaki değeri ise 4 olur. Yine 3 spiral ilkesine göre düzenlenmiş 6 spiralli tekli tasarımda bir kesme hattında 2 keski bulunurken, bunun çoklu tasarımındaki değeri ise 6 olur.

Keski eğim açısı her tür kazı makinesi için mutlaka göz önüne alınması gereken bir öge olup kesici kafanın geometrik şeklini belirler. Bu açının değeri köşe kesici (corner cutting pick) ve eksenleri birbirlerine paralel olmayan keski (gauge tools) için farklıdır. Keski eğim açısı daha önceki araştırmalarda geniş kapsamlı olarak incelendiği için burada ayrıca söz edilmeyecektir (Hekimoglu, 2018).

Kesme derinliği kazı mekaniğinde önemli bir parametre olup laboratuvar koşullarında Şekil 1 de gösterildiği gibi tanımlanır. Ancak spiraller üzerine dizilmiş keskinlerin gerçek kesme konumu gözetildiği zaman bu tanım değişik şekilde ortaya çıkmaktadır. Dönel ve doğrusal hareketi aynı anda yapan kazı makineleri için kesme derinliği genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Hurt, 1980):

$$d = A / n \quad (1)$$

Dönel ve doğrusal hareketi aynı anda yapan kazı makinelerinde, dönel eksen doğrusal harekete paralel (axial motion) olduğunda helisel kesme söz konusu olup burada kesme derinliği sabittir. Dönel eksenin doğrusal harekete dik (transverse motion) olduğu konumdaki kesme hareketi ise sikloidal (cycloidal) kesme olarak adlandırılır. Bu kazı hareketinde kesme derinliği keskinin dönme konumuna bağlı olarak sürekli değişir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Hurt, 1980):

$$d = d_{\max} \sin \theta \quad (2)$$

Burada;

$d_{\max}$  = Keskinin 90° açısal konumdaki kesme derinliği (mm),  
 $\theta$  = Keskinin anlık açısal konumu (derece).

Ancak keskinlerin spiral düzendeki konumları çok değişken olduğu için gerçek kesme derinliği ve buna bağlı olarak keskinler arasındaki gerçek uzaklık değerleri de değişmektedir. Silindirik yada konik gövdeli bir kesici ünite üzerinde düzenli dağılım gösteren paralel eksenli keskinler için kesme derinliği tanımı Şekil 3 de verilmiştir. Buna göre gerçek kesme derinliği, keskinler arasındaki uzaklık (S) ve çevresel uzaklık gibi değerlerin sabit olması koşuluyla aşağıdaki gibi verilmektedir (Hekimoglu, 2018):

$$\theta = \tan^{-1} (d_r / S) \quad (3)$$

$$d_r = n (A/T) \quad (4)$$

$$d_t = (A/n) \cos(\theta) \quad (5)$$

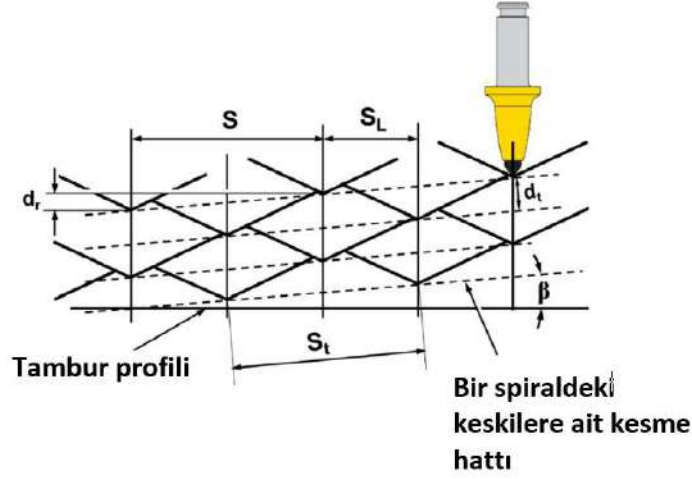
$$S_t = S/\cos(\theta) \quad (6)$$

Burada;

$\theta$  = Bir spiral üzerine sıralanmış keskinlerin oluşturduğu doğru parçasının eğimi (derece),  
 $d_r$  = Aynı spiraldaki keskinlerin birbirlerine göre ilerleme oranı (mm),  
 $d_t$  = Gerçek kesme derinliği (mm).  
 $S_t$  = Gerçek kesme uzaklığı (mm).

Mekanik kesme ile kazı yapan tüm makinelerde kesici ünitenin en ön kısmındaki keskinler, köşe kesme koşullarını sağlamak için birbirlerine göre kademeli olarak farklı eğim açısı ile sıralanırlar. Bu durumda

kesme derinliği, bir keskinin sağ ve sol tarafındaki komşu keski için farklılık gösterir. Bu kesme derinliklerinin ayrıntıları daha önce yapılan kapsamlı çalışmalarla incelendiği için burada söz edilmemiştir.



Şekil 3. Tekli kesme hattına göre tasarlanmış iki spiralli bir tambur üzerinde Gerçek derinlik ( $d_t$ ) ve gerçek uzaklık ( $s_t$ ) kavramları.

### Keski Dizilim Tasarımında Performans Analizi ve Bilgisayar Destekli Yazılımlar

Keski dizilim tasarımında temel amaç makineden en iyi kazı performansı elde etmektir. Bir tasarımın ne ölçüde etkin ve verimli olduğunun anlaşılması için aşağıdaki ana faktörlerin analiz edilmesi gereklidir:

1. Makineye etkileyen tork değerleri: Tork, bireysel keski kuvvetleri ve buna karşı gelen yarıçap değerlerinin çarpımı ile elde edilen değer tüm keski için toplamıdır. Verilen bir tasarım koşullarında en düşük tork için keski kuvvetlerinin olabildiğince az olması gerekir.
2. Makineye etkileyen tepkime kuvvetleri: Tepkime kuvvetlerinin kazı makinesine olan etkiye göre keski ünitenin dönüş eksenine göre kesme doğrultusunun birbirlerine göre olan konumlarına göre değişir. Net tepkime yönü yatay, dikey ve bunların yer aldığı düzleme dik olan aksel yönde ortaya çıkar. Bunların konumu kazı makinesinin tipine göre değişir. Verilen bir tasarım koşullarında en düşük tepkime kuvvetleri için keski kuvvetlerinin de olabildiğince düşük olması gerekir.
3. Tork ve tepkime kuvvetlerinden kaynaklanan titreşimler: Bu tür titreşimler önce kesme ünitesine daha sonrada tüm makineye ciddi hasarlar verirler. Tambur gibi silindirik gövdeli keski ünitelerde bu titreşimler daha az olurken, konik ve küresel geometriye sahip keski ünitelerde nispeten daha yüksektir. Titreşim değerlerinin en aza indirilmesinde keski kuvvetlerinin yanı sıra keskiünitelerin birbirlerine göre olan bağıl konumları çok önemlidir. Titreşim konusu daha önceki çalışmalarda ayrıntılı olarak verilmiştir (Hekimoğlu 1984; Hurt ve MacAndrew, 1988).
4. Kesme için harcanan enerji: Birim hacimdeki malzemeyi kesmek için harcanan enerji olarak tanımlanan özgül enerji (specific energy) değerlerinin en az düzeye indirilmesi gerekir. Verilen tasarım koşullarında keski kuvvetleri azaldıkça özgül enerji değerleri de o ölçüde düşer.
5. Keski ünitenin imalat yeterliliği (manufacturing feasibility): Konik ve küresel geometriye sahip keski ünitelerin en ön kısmında keski tutucuların yerleşeceği alan genellikle çok küçük olduğundan keski tutucuların bu hassas bölgede istenilen konumlara getirilmesi zor olmaktadır. Bu durum özellikle köşe keski ve buna komşu olan kesicilerin kesme konumunda değişikliklere neden olmaktadır. Keski dizilim tasarımında bu konu ayrı bir önem taşımaktadır.



Yukarıda sözü edilen performans analizlerinin yapılabilmesi için kazı mekaniğinde dinamik, kinematik ve enerji ilişkili parametrelerin bir arada gözetilmeleri gerekmektedir. Dinamik parametrelerin analizi için bireysel keski kuvvetlerine ait değerlerin mutlaka bilinmesi gerekir. Keski kuvvetleri belirli bir kayaç için laboratuvar koşullarında tam ölçekli deneylerle elde edilebilir. Ancak bu yöntem pahalıdır. Bunun için bu analizler genel olarak deneye dayalı (ampirik) yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Bireysel keski kuvvetleri belirlendikten sonra kesme hareketinin doğası itibarıyla keskinin kesme konumundaki değişiklikleri konu alan kinematik parametreler gözetilir. Burada en önemli ve muhtemelen analizin sonuçlarını etkileyen en önemli konu keski kuvvetlerinin kesme hareketi boyunca nasıl değiştiğinin anlaşılmasıdır. Kazı mekaniğinde keski kuvvetlerinin verilen koşullar için kesme derinliğine bağlı olarak değiştiği çok iyi bilinmektedir. Ancak laboratuvar koşullarında saptanan bu değişim kavramını keskinin uygulamadaki gerçek hareketi ile doğrudan bağdaştırmak her zaman olası değildir. Bunun en önemli nedeni laboratuvar koşullarındaki yapılan derinlik kavramı tanımının gerçek kesme koşulları kapsamında belirsiz hale gelmesidir. Örneğin eğim açısına sahip ve eksenleri birbirlerine paralel olmayan keskinde, bir keskinin her iki yanında bulunan komşu keskilere göre etkin kesme derinliği ve kesme uzaklığı farklı olmaktadır. Bu karmaşıklığın giderilmesi için kesme derinliği yerine, keskinin süpürdüğü alan dikkate alınmaktadır. Bu konuda ilk çalışmalar İngiltere’de yapılmış ve orta sertlikteki bir kireçtaşı üzerine yapılan kesme deneyleri sonucu, kesme kuvveti ( $F_C$ ) ve normal kuvvet ( $F_N$ ) ile süpürülen alan ( $A$ ) arasında aşağıdaki ampirik bağıntı önerilmiştir (Hurt ve MacAndrew, 1988):

$$F_C = 2.4 + 0.0064 A \quad (7)$$

$$F_N = 1.5 F_C \quad (8)$$

Ancak keski kuvvetleri ile kesilen alan arasındaki ilişki her koşulda geçerli değildir. Keski dizilim tasarım türüne bağlı olarak, aynı kesme alanını süpürmek için farklı kesme kuvvetlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Örneğin aynı kesme alanını süpürmek için:

1. Tekli kesme hattına göre tasarlanmış keskilere etkiyen kesme kuvvetleri, çoklu kesme hattına göre tasarlanmış olanlara göre daha düşüktür.
2. Bir spiral üzerine sıralanmış keskinin oluşturduğu doğru parçasının eğimi ( $\beta$ ) değiştikçe keski kuvvetleri de değişmektedir.
3. Eğim açısına göre kademeli olarak sıralanmış keskinde; kesme hareketi makine tarafından köşe tarafına yapıldığında oluşan kesme kuvvetleri, köşe tarafından makineye doğru yani ters yönde göre oluşan kesme kuvvetlerine göre daha düşüktür.

Bu durum keskinin kayaca göre olan kesme konumlarındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Aynı koşullarda bir keski dizilim tasarımında elde edilen düşük kuvvet değerleri, o keskinin diğer tasarıma göre daha rahat kesme (unconfined) konumunda olmalarından ileri gelmektedir (Hekimoğlu, 2017). Bunun için keski kuvvetleri ile kesilen alan arasında kurulan ilişkilerde keskinin rahat yada zorlanmış konumlarının da mutlaka göz önüne alınması gerekir. Yukarıda verilen (7) ve (8) bağıntıların da bu durum bir seri varsayımlarla tanımlanmıştır. Yani bir keskinin komşu keski ile olan uzaklığı, aralarındaki yüksekliği, köşe kesme konumu, tekli yada çoklu kesme hattında olup olmadığı, v.b. gibi tanımlara ne ölçüde uygun olduğu ayrı ayrı belirtilmiştir. Ancak varsayımlara dayanan bu yöntem karmaşık ve zaman alıcıdır. Ayrıca, makine performansını önemli ölçüde etkileyen ve eğim açısına göre kademeli olarak sıralanmış keskinin konusu burada etkin olarak gözetilmemiştir.

Bu eksiklikleri gidermek için, tek eksenli basma dayanımı yaklaşık 44 MPa olan homojen yapılı bir kumtaşının konik uçlu keskinle laboratuvar koşullarında yapılan bir seri kesme deneyleri sonucunda, keskinin rahat yada zorlanmış konumlarının tümünü bir arada içeren basit ve kullanışlı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde keskinin süpürdüğü tüm alan dikkate alınmayıp, yalnızca bu alan içerisinde belli sınırlar içerisinde belirlenmiş bir ‘etkin alan’ gözetilmektedir. Kesme hattındaki keski sayısı, spiral düzeninin eğim açısı ve keski eğim açısı gibi parametrelerin tümü bir arada gözetildiğinde kesme kuvvetleri ile bu ‘etkin alan’ arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir. Keskinin karmaşık

konumlarının daha duyarlılıkla dikkate alındığı bu yöntem, keski dizilim tasarımlarında en önemli faktör olan keski kuvvetlerinin hesaplanmasında güvenilir olarak kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Anılan bu performans analizleri sayısız rutin hesaplamalar gerektirdiği için çok zaman alıcı özelliktedirler. Bu nedenle bu tür analizler kaçınılmaz olarak bilgisayar programları yardımıyla yapılmaktadır. Keski dizilim tasarımları konusunda kapsamlı olarak yapılan ve literatürde bilinen ilk bilgisayar destekli uygulamalar İngiltere’de yapılmıştır (Hurt ve Morris, 1985). Dünyanın kimi yerlerinde halen de kullanıldığı bilinen bu yazılım paketi, kama ve konik uçlu keski ile donatılan kazı makinelerinin keski dizilim tasarımında kullanılmaktadır. Keski dizilim tasarımının performans analizlerinin yanı sıra, keski tutucularının kesici kafa yada tambur üzerindeki imalat yeterliliği konuları da 3 boyutlu çizimlerle verilerek istenilen koşullara göre en uygun dizilim tasarımı önerilmektedir. Bu bilgisayar yazılımı ile başarılı makine performanslarının elde edildiği bildirilmiştir (Hurt ve Morris, 1985). Bu yazılım, keski kuvvetlerinin süpürülen alanın büyüklüğüne göre ampirik olarak hesaplandığı tek bilgisayar programıdır. Keski dizilimi konusunda bu ilk programdan sonra başka yazılımlarda üretilmiştir. Ancak sonraki yazılımlarda keski kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntem ve yaklaşımlar sözü edilen ilk programdan daha değişik olduğu görülmüştür. Bu konunun ayrıntıları daha önceki çalışmalarda verildiğinden burada ayrıca söz edilmeyecektir (Hekimoglu, 2017).

### TARTIŞMA

Kama ve konik uçlu keski dizilim tasarımları kazı makinesinin performansını etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Uygun bir tasarım elde etmek için özellikle kazı mekaniğinde dinamik ve kinematik konusunda geniş bilgi ve deneyim birikimi gerekmektedir. Ancak bu kavramları uygulamadaki koşullara uyarlamak her zaman kolay olmamaktadır. Bazı makine imalatçıların kazı mekaniğinde verimsiz olarak nitelendirilen tasarım yöntemlerini kullanmaları bu alanda bilgi eksikliği olduğunu işaret etmektedir.

Uygulamada çoklu kesme hattının bazı makine üreticileri tarafından halen yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Çoklu kesme hattı tasarımı genel anlamda gereksiz güç çekişi ve yüksek keski sarfiyatı açısından sakıncalıdır. Bunun yanı sıra solunabilir toz ve ince malzeme oluşumuna neden olmalarından ötürü, kömür üretiminde iş sağlığı ve güvenliği konusunda risk oluştururlar. Örneğin, ocak havasındaki metan miktarının ve yangın riskinin, malzemenin inceliği ile arttığı göz önüne alındığında çoklu kesme hattı tasarım yönteminin ne ölçüde sakıncalı olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. Kesme hattında tek keski olan bir dizilimin tasarlanması, çoklu olan dizilime göre genel anlamda daha zor ve karmaşıktır. Bu durum muhtemelen makine imalatçıların bu tasarımına yönelten nedenlerden birisi olduğu düşünülmektedir.

Keski dizilim tasarımında kullanılan bilgisayar yazılımlarında, kesme verimliliğini etkileyen bazı önemli farklılıkların bulunduğu görülmektedir. Burada tartışılması gereken en önemli konu, keski kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerin farklılığıdır. Bu yazılımlarda keski kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerin farklı olması bu konuda bilgi eksikliğini olduğunu göstermektedir.

Keski kuvvetlerinin süpürülen alan ile orantılı olduğu bilinmektedir. Ancak yukarıda da vurgulandığı gibi keskinin bu alan içerisindeki kesme konumu dikkate alınmadığında yöntemden doğru sonuç alınmaz. Bu durumda teorik yöntemler ve kesme derinliğinin kullanıldığı yöntemler güvenli olmaktan çıkarlar. Tekli hat ve çoklu hat’ın söz konusu olduğu dizilim tasarımlarında, keski kuvvetlerinin hesaplama yöntemi daha önceki çalışmalarda anlatılmıştır. Bu çalışmada tekli hat tasarımında keski kuvvetlerinin, çoklu tasarıma göre daha az olduğu vurgulanmış ve bununla ilgili bağlantılar verilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları tamburlu kesici birime sahip olan makineler için örneğin uzun ayak madencilikteki tamburlu kesiciler, açık işletmelerde ve asfalt yol kazılarında kullanılan yüzey kesme makineleri (surface miner) için makul ölçüde güvenilir olarak kullanılabilir. Ancak özellikle eğim açısına sahip keski söz konusu olduğu tasarım koşullarında genel anlamda yetersiz kalabilmektedirler. Kama ve konik uçlu keski ile kazı yapan makinelerin laboratuvarında yapılan tam ölçekli benzetişim (simulasyon) deneyleri sonucunda, keski kuvvetlerinin süpürülen alanın tamamından çok keskinin bu alan kapsamındaki var olan etkin alanı ile

orantılı olduğu belirtilmiştir. Buna göre, verilen herhangi bir keski dizilim tasarımındaki değişik kesme konumuna sahip olan tüm keski için geçerli olabilecek aşağıdaki bağıntılar önerilmiştir (Hekimoğlu, 2018):

$$F_c = 0,0124 A + 0,3942 \quad (8)$$

$$F_N = 1,5 F_c \quad (9)$$

Yukarıdaki açıklamalar optimum bir keski dizilim tasarımı için keski kuvvetlerinin en doğru bir şekilde hesaplanmasının gerekli olduğunu belirtmektedir. Keski kuvvetlerinin hesaplanması için bir keskinin süpürdüğü alan içerisindeki kesme konumunun mutlaka en doğru bir şekilde tanımlanması gerekir.

## SONUÇLAR

Kazı mekaniğinde etkin ve verimli bir kesme için keski dizilim tasarımının iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu tasarımda gerekli olan dinamik ve kinematik parametrelerin uygulanma yöntemi kullanılan kazı makinesinin özelliklerine göre değişmektedir. Buna karşın keski dizilim tasarımındaki analizlerin temelini oluşturan bireysel keski kuvvetlerinin hesaplanması, kazı makinesinin özelliklerinden çok bütünüyle keskinin kesme konumu ile ilgilidir. Kesme derinliği ve keski arasındaki uzaklık bu anlamda yetersiz kalmaktadır. Keski kuvvetlerinin hesaplanması için bir keskinin genel kesme konumunun mutlaka en güvenilir bir şekilde belirlenmesi gerekir. Günümüzde keski dizilim tasarımı için kullanılan bilgisayar yazılımlarında ne yazık keskinin kesme konumunun belirlenmesinde önemli eksiklikler olduğu görülmektedir. Keskinin süpürdüğü alan kapsamında tanımlanan 'etkin alan' kavramının dikkate alınmasının bu anlamda çok yararlı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca uygulamada halen çoklu kesme hattı tasarımının sık olarak kullanıldığı görülmektedir. Verimli kesmenin yanı sıra iş güvenliği ve iş sağlığı açısından tekli kesme hattı tasarımının kullanılması çok daha yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Barker JS. (1964). A Laboratory Investigation of Rock Cutting Using Large Picks. *Int J Rock Mech Min Sci.* 1: 468–76.
- Evans I. and Pomeroy CD. (1966). *The Strength, Fracture and Workability of Coal.* Oxford: Pergamon Press. 1966.
- Hekimoğlu OZ. (1984). *Studies in the excavation of selected rock materials with mechanical tools.* Ph. Thesis (unpublished). 1984. The University of Newcastle Upon Tyne, England.
- Hekimoğlu OZ, Ayhan, M, Tiryaki B. (2003). Laboratory and in-situ investigations of tracking cutters for computer- aided design of shearer drums. *CIM Bulletin.* Sept 2003. Vol. 96 (1073), pp 72-75.
- Hekimoğlu, O.Z., (2017). A pick force calculation method suggested for tool lacing of mechanical excavators employing drag tools. *Int. J. Min., Reclam. Environ.* 31, 1–21.
- Hekimoğlu OZ, (2018). Investigations into tilt angles and order of cutting sequences for cutting head design of roadheaders *Tunnelling and Underground Space Technology* 76 (2018) 160–171.
- Hurt KG. (1980). Roadheader cutting heads: A study of the layout of cutting tools and a rational procedure for design. *NCB MRDE Report.* No: 90. England. 1980. 28 pp.
- Hurt KG, Morris CJ. (1985). Computer designed cutting heads improve roadheader performance. *Tunnels Tunnelling.* 1985; March: 37–38.
- Hurt KG, MacAndrew KM, Morris CJ. (1988). Boom roadheader cutting vibration : measurement and prediction. In: *Proceedings of the conference on applied rock engineering, Newcastle Upon Tyne;* 1988. p.89–97.
- Roxborough FF and Rispin A. (1973). The mechanical cutting characteristics of the lower chalk. *Tunnels Tunnelling.* 1973; 5:45–67.

**MODİFİYE CERCHAR AŞINMA İNDEKS (CAI) DENEY ALETİ İLE KAYAÇLARIN SPESİFİK ÇİZME ENERJİLERİNİN BELİRLENMESİ**

*DETERMINATION OF SPESIFIC ENERGIES OF ROCKS BY USING MODIFIED CAI TEST DEVICE*

H. Duru\*, N.A. Akçın, O. Yaralı, H. Aydın, U. Sakız,  
Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak  
(*hasimduru@beun.edu.tr*)

**ÖZET**

Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi, kayaçların aşındırıcılıklarına bağlı olarak kazı uygulamalarında kullanılan makinalardaki keski ömrünün ve tüketim miktarının tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir. Mekanize kazıda makinaların kazı hızlarının belirlenmesinde ise tam ve küçük boyutlu kaya kesme setleri kullanılarak elde edilen Spesifik Enerji (SE) değerlerinden faydalanılmaktadır. Ancak bu deney setleri sınırlı sayıda laboratuvarlarda mevcuttur.

Bu çalışmada sedimanter kökenli 4 farklı kayaçtan alınan örnekler üzerinde HRC55 sertliğindeki çelik uçlarla modifiye CAI deney aleti kullanılarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sırasında ucun örnek üzerindeki hareketi ve uca uygulanan kuvvetler izlenmiştir. Böylece tek bir deney aleti ile aşınma belirlenirken spesifik çizme enerjileri (SÇE) de elde edilmiştir. Bu SÇE değerleri ise diğer deney yöntemlerinden ve yaklaşımlardan elde edilen SE değerleri ile karşılaştırılmış.

**Anahtar Sözcükler:** Cerchar, aşınma, spesifik çizme enerjisi, keski aşınması.

**ABSTRACT**

Cerchar Abrasivity index (CAI) test is a widely used test method for estimating bit life of machines used in excavation applications due to the abrasiveness of rocks. In the mechanized excavation, the specific energy (SE) values used to determine the excavation speeds of the machines obtained by using full and small size rock cutting sets. However, these sets are available in a limited number of laboratories.

In this study, abrasion tests were carried out on samples, taken from 4 different sedimentary rocks, by using modified CAI test device with steel stylus have HRC55. During these experiments the applied forces and the movements of the pins on the samples were monitored. Thus, while determining the abrasiveness of rocks, Specific Scratch Energies (SSE) were also obtained by using only one test device. These SCE values were compared with the SE values obtained from other experimental methods and approaches.

**Keywords:** Cerchar, abrasion, specific scratch energy, wear of tools.

## GİRİŞ VE AMAÇ

Mekanize kazı; en az enerjiyi kullanarak çok fazla miktardaki kayayı kesmeyi hedeflediğinden, günümüzde yüksek yatırımlar gerektiren madencilik ve tünelcilik sektörünün her aşamasında, en uygun verimlilik düzeyini yakalamak ve işletme maliyetlerini düşürmek için kazı makinalarından faydalanmak kaçınılmaz bir durumdur.

Mekanize kazıda spesifik enerji (SE), seçilen kazı yöntemine göre, kazı makinasının kayaç iç bağlarını yenerek parçalayabilmesi için ihtiyaç duyduğu enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır (Atıcı ve Ersoy 2009). Teale (1965) SE'yi, kayaçtan belirli bir hacim koparmak için gereken enerji miktarı olarak tanımlamıştır. Pathinkar ve Misra (1980) ise SE'yi, kazı arınında yeni bir yüzey alanı oluşturmak için harcanan enerji miktarı olarak açıklamışlardır. Atıcı ve Ersoy (2009) SE'nin metre başı ilerleme maliyetleri ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

SE, her kayaç türü için kazı çeşidi ve keski türüne göre değiştiğinden fiziksel bir özellik olarak değerlendirilememektedir. Ancak, farklı kökenlerdeki kayaçlar benzer şartlarda kazıldığında elde edilen SE değerleri kayaçların kazılabilirliğinin bir ölçütü olarak tanımlanabilmektedir. Kazı koşulları sabit tutulduğunda SE'nin sadece kayaç özelliklerinin bir fonksiyonu olacağı açıktır (Kel 2003). SE; kesme, delme, kazma, kırma ve öğütme gibi işlemlerin verimliliklerinin değerlendirmesinde kullanılmaktadır. SE mekanize kazı makinalarının kazı veriminin (üretim miktarı) tahmininde, karşılaştırmasında ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesinde kullanılan en önemli etken olmakla birlikte makina performans değerlendirmelerinde de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Rostami vd. 1994, Tiryaki 2008).

Optimum kazı performansı için kazı yapılacak formasyona ve kazı amacına uygun makina seçimi oldukça önemlidir. Bunun için kayaçların aşındırıcılık, kazılabilirlik ve delinebilirlik gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekir (Yaralı ve Akçın 2005).

Kayaç kazılabilirliğinin tahmininde günümüzde uluslararası alanda kabul görmüş tam boyutlu doğrusal kazı seti ve küçük boyutlu doğrusal kazı seti ile kesme deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerle, elde edilen kesme kuvvetleri ve kesme hattı boyunca çıkan pasa hacmi ile birim hacimdeki kayayı kesmek için harcanan enerji (spesifik enerji) hesaplanır. Kesme kuvvetleri ve spesifik enerji kullanılarak, mevcut bir makine için kazılan formasyondaki optimum çalışma parametreleri veya kazılacak formasyon için optimum kesici kafa dizaynı ve çalışma parametrelerini bulmak mümkündür (Tumaç 2010).

Bazı araştırmacılar laboratuvarında yapılan gerilme birim deformasyon eğrilerinden kayacın elastisite modülüne bağlı olan Eşitlik 1'deki "Destruction Work" olarak da adlandırılan spesifik enerji formülünü kullanarak performans tahmini çalışmaları yapmışlardır (Hughes 1972; Mellor 1979; Farmer ve Garritty 1987; Rostami ve Özdemir 1994; Copur vd. 2001).

$$SE = \frac{\sigma_c^2}{2E} \quad (1)$$

Burada;

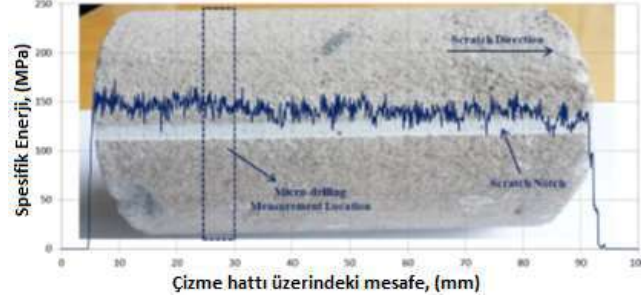
$\sigma_c$  : Tek eksenli basınç dayanımı (MPa),

E : Elastik modülüdür (N/m<sup>2</sup>).

Yaşar ve Yılmaz (2017) kesme kuvveti yardımıyla spesifik enerjiyi hesaplayabilmek için yeni bir deney aleti geliştirmiş ve bu deney aletini Düşey Kayaç Kesme Seti (DKKS) olarak tanıtmışlardır Munoz et al. (2016) çalışmalarında PDC (polycrystalline diamond compact) uçlu keskiçler kullanarak laboratuvarında kesme deneyleri yapmışlar ve spesifik enerji değerlerini belirlemişlerdir. Chen et al. (2017) çalışmalarında Çin'in kuzeyinde petrolce zengin olan Songnan sahasından aldıkları karot örnekleri üzerinde çizme deneyleri ve mikro delme deneyleri (micro-drill test) yapmışlar ve bu çalışma neticesinde kayaçlar için sürekli delinme ölçümleri (continuous drillability measurement) için çizme deneyine dayanan yeni bir

teknik geliştirmişlerdir. Araştırmacıların bu çalışmasında çizme deneyi ile elde edilen spesifik enerji profili Şekil 1’de verilmiştir.

Balcı (2004) 5 mm kesme derinliğinde küçük ve tam boyutlu kazı setlerinde yardımsız kazı deneyleri yapmış ve bu deney sonuçlarını kullanarak SE’yi tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) ile ilişkilendirmiştir (Eşitlik 2 ve 3).



Şekil 1. Çizme deneyi ile elde edilen spesifik enerji profili (Chen et al. 2017).

$$SE1 = 0.30 \times \sigma_c^{0.78} \quad (2)$$

$$SE2 = 0.06 \times \sigma_c + 11.20 \quad (3)$$

Burada;

SE1 : Küçük boyutlu kazı setinden elde edilen SE (MJ/m<sup>3</sup>)

SE2 : Tam boyutlu kazı setinden elde edilen SE (MJ/m<sup>3</sup>)

$\sigma_c$  : Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)

Balcı ve Bilgin (2007) farklı kayaç örnekleri üzerinde yaptıkları benzer çalışmalarda, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı yine küçük ölçekte ve büyük ölçekte kesme setlerinden elde edilen spesifik enerji değerleri arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu kapsamda Eşitlik4’ü önermişlerdir.

$$SE = 2.04 \times \sigma_c^{0.72} \quad (4)$$

Burada;

SE : Spesifik Enerji (MJ/m<sup>3</sup>)

$\sigma_c$  : Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$  : Dolaylı Çekme Dayanımı (kg/cm<sup>2</sup>)

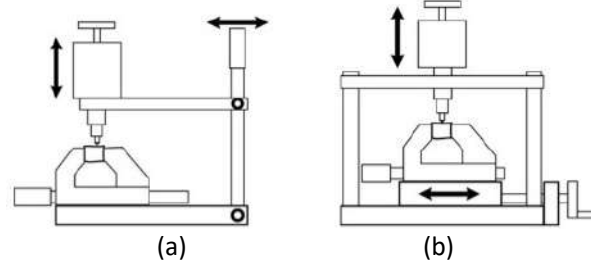
Laboratuvar ortamında kayaçların aşındırıcılık ve delinebilirlik özellikleri de indeks deneyleri ile belirlenebilmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler ve bu amaçla geliştirilen modellerden faydalanarak projenin uygulanacağı kayaç formasyonuna uygun mekanik kazı makinası tipi ve kullanılacak keski sayısı ve türü seçilebilmektedir (Yaralı 2007).

Cerchar Aşınma İndeks (CAI) deneyi özellikle tam cephe (TBM) ve kollu galeri açma makinaları (Roadheader) için kullanılan tahmin modellerinde önemli bir rol oynamaktadır (Wijik 1992, Özdemir and Nilson 1999, Kasling and Thuro 2010, Yaralı 2010).

Bu deney kömür madenciliği uygulamaları için ilk olarak Fransa’da Cerchar Araştırma Enstitüsü (Research Institute Cerchar of the Charbonnages de France)’nde 1971 yılında geliştirilmiş ve kullanılmış, deney sonuçları da Valantin (1973) tarafından yayınlanmıştır (ISRM, 2015).

CAI deneyi, literatürde bu amaçla geliştirilen çalışma mekanizması biraz farklılık içeren iki aletten (Klasik veya West) biri ile yapılmaktadır (Şekil 2). Deneyde, 2000 MPa çekme dayanımına sahip HRC54-56 sertliğinde 90° konikliğe sahip kalem ucu şeklinde çelik uç kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan örnek ise

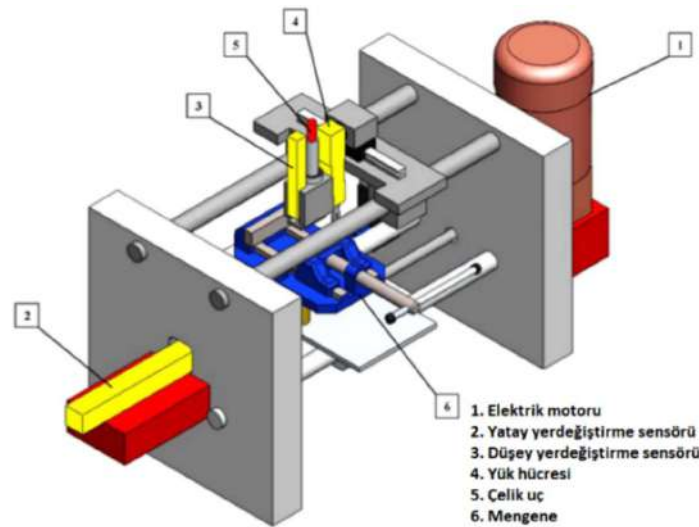
şekilsiz veya disk şeklinde olabilmektedir. Çelik uç, mengeneye sıkıştırılan bu örnek yüzeyi üzerine dikkatli bir şekilde indirilmekte ve 70 Newton normal kuvvet altında örnek yüzeyinde 10 mm mesafe boyunca hareket ettirilmektedir. Deney sonucu çelik uçta oluşan aşınma yüzeyinin çapı minimum 25x büyültmeye sahip mikroskop altında 0,01 mm'lik bir hassasiyette ölçülmektedir. CAI, boyutsuz bir birim değer olup ölçülen aşınma yüzeyi değerinin 10 ile çarpılması sonucu elde edilmektedir (ISRM, 2015).



Şekil 2. CAI için kullanılan temel iki deney aletinin mekanizma ve örnek görünüşleri.  
(a) Klasik deney aleti, (b) West deney aleti, (ISRM, 2015).

Birçok araştırmacı, çeşitli parametrelerin (kayacı oluşturan minerallerin sertliği, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, P dalgı hızı, uç sertliği vb.) CAI sonuçları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ancak, CAI deneyi ile ilgili önceki çalışmaların bulgularına rağmen laboratuvarlarda bu deneyin yapılmasında bazı eksiklikler mevcuttur. Çizme mesafesi ve çizme hızı gibi etkin parametrelerin kontrolü operatör tarafından sağlanmaktadır. Hassasiyet ve deneyim, bu parametrelerin kontrolünde ve hatta elde edilen deney sonuçları üzerinde önemli etkilere sahiptir. Deney sonuçları sadece deney sonunda çelik uçta oluşan aşınma miktarına bağlı olarak rapor edilmektedir. Uçta oluşan aşınmanın ve ucun örnek yüzeyine batma miktarının deney sürecindeki ilerleyişi ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Dolayısıyla, CAI deneyi sonucuna yansıtılan tek parametre çizme işlemi sonunda çelik uçta oluşan aşınma miktarıdır ve deney esnasında örnek yüzeyinde açılan yarığa veya şekline dikkat edilmemektedir (Hamzaban et. al. 2018).

Bu nedenle Hamzaban et al. (2014, 2018) CAI deney aletini modifiye ederek (Şekil 3) çizme mesafesine bağlı olarak uca uygulanan yatay kuvveti ve ucun örnek yüzeyine batma miktarını ölçmüşlerdir. Çalışma sonunda ise Eşitlik 5'de verilen bağıntıdaki gibi yapılan işi, açılan yarığın hacmine oranlayarak kayalar için Spesifik Çizme Enerji (SÇE) değerlerini hesaplamışlardır. Eşitlik 6'daki ifadelerden bazıları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Deney aletinin bileşenleri ve şematik gösterimi (Hamzaban et al. 2014, 2018).

$$SE_i = \frac{W}{V} = \frac{\int_0^{10} T(x) dx}{\int_0^{10} P(x)[CAI(x)+P(x)] dx} \quad (5)$$

Burada;

$SE_i$  : Spesifik çizme enerji indeksi,

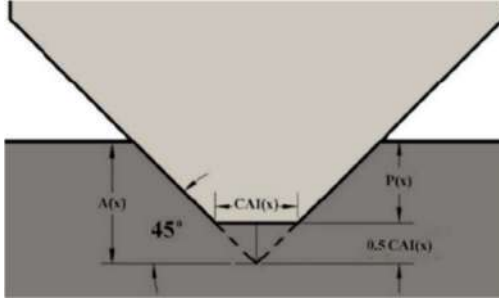
$W$  : Yapılan iş,

$V$  : Açılan yarığın hacmi,

$T(x)$  :  $x$  mesafesinde uca uygulanan yatay kuvvet,

$P(x)$  :  $x$  mesafesinde ucun kayaç yüzeyine penetrasyon miktarı,

$CAI(x)$  :  $x$  mesafesinde uçta oluşan aşınmanın CAI değeri.



Şekil 4. Uçtaki aşınma miktarı  $CAI(x)$ , ucun kayaç örneğine batma miktarı  $P(x)$  ve düşey yerdeğiştirme sensöründen elde edilen değer  $A(x)$  arasındaki geometrik ilişki (ölçsüz) (Hamzaban et. al. 2014).

Aynı araştırmacılar dört farklı örnek üzerinde iki farklı sertlikteki uçlarla (HRC43 ve HRC55) 0.5, 1, 2, 5 ve 10 mm çizme mesafelerinde deneyler yapmışlar ve Eşitlik 5'deki bağıntıyı kullanarak elde etmiş oldukları verilerden Eşitlik 6 ve Eşitlik 7'deki görgül bağıntıları geliştirmişlerdir.

$$SE_{i43} = 0.9534e^{0.7270CAI_{43}} R^2 = 0.649 \quad (6)$$

$$SE_{i55} = 0.4641e^{0.9505CAI_{55}} R^2 = 0.8299 \quad (7)$$

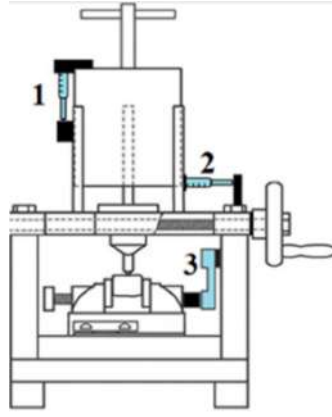
Bu çalışmanın amacı, Cerchar aşınma indeks deneyi ile kayaçların aşındırıcılıkları belirlenirken aynı zamanda gerekli spesifik enerji miktarını da belirlemektir. Bunun için spesifik çizme enerjisinin laboratuvar koşullarında belirlenmesi için bir deney seti geliştirilmiştir.

#### LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu çalışma, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nde 2017-98150330-04 nolu bilimsel araştırma projesi ve doktora tezi çalışması kapsamında yapılmıştır. CAI deney aleti üzerine yatay ve düşey konumdaki yer değiştirmeleri ölçen 2 ayrı sensör ve çizme esnasında uygulanan yatay kuvveti ölçmemizi sağlayan bir yükölçer yerleştirilmiştir. Veri toplama ünitesinde kullanılan bir girdi modülü yardımıyla da çizme sırasında yatay ve düşey yer değiştirmeler ile örneğe uygulanan yatay kuvvetin bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmıştır. Geliştirilen modifiye CAI deney aleti Şekil 5'te şematik olarak verilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen bu modifiye Cerchar Aşınma İndeks (CAI) deney aleti ile kayaçların spesifik çizme enerjilerinin (SÇE) belirlenmesi için sedimanter kökenli 4 farklı kumtaşı örneği üzerinde her kayaç için 5'er tane olmak üzere toplam 20 kez CAI deneyi yapılmıştır.

CAI deneylerinde 55 HRC sertliğinde çelik uç kullanılmış olup her bir kayaçtan alınan 54 mm çapındaki karotlardan elde edilen minimum 30 mm kalınlığında disk şeklindeki örnekler kullanılmıştır. Geliştirilen CAI deney aleti ile yapılan deneylerde deney süresi boyunca çizme mesafesine bağlı olarak uca uygulanan yatay kuvvet ve ucun örnek yüzeyine batma miktarı ölçülmüştür. Her kayaç için yoğunluklar belirlenmiş ve her deney sırasında kayaç örneğindeki ağırlık kaybı 0.001 gram hassasiyette ölçülmüştür. Böylece ağırlık kaybının ve yoğunluğun bilinmesiyle yarığın hacmi dolaylı olarak hesaplanmıştır. Çalışmada incelenen kayaçların isimleri, alındığı yerler ve örneklere ait yoğunluklar Çizelge 1'de verilmiştir. Elde edilen SÇE değerleri ise Eşitlik 8'deki bağıntıdan hesaplanmıştır.





Şekil 5. Çalışma kapsamında kullanılacak modifiye Cechar deney aletinin şematik bir görünümü.

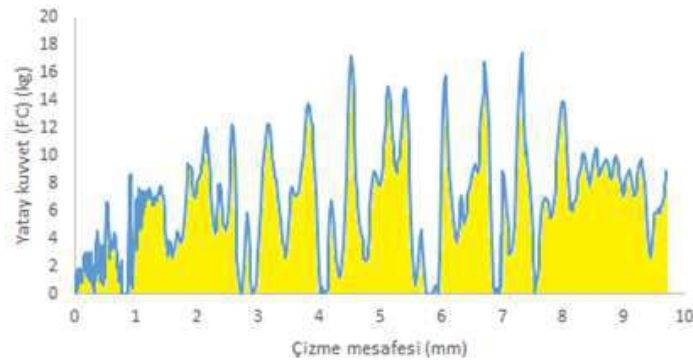
Çizelge 1. İncelenen kayaçların isimleri ve alındığı yerler.

KOD	KAYAÇ ADI	ALINDIĞI YER	Yoğunluk (d) (g/cm <sup>3</sup> )
S-1	Kuvarslı Kumtaşı	Velibey, Borcam	2.22
S-3	Kumtaşı	Üzülmaz Müessesesi	2.61
S-4	Kumtaşı	Bağlık, Aslantürk Mad.	2.48
S-5	Kumtaşı	Üzülmaz Müessesesi	2.57

$$S\check{C}E = \frac{W}{V} = \frac{(\int_0^{10} F d(x)) \times (9,81 \times 10^{-3})}{\frac{m}{d}} \times 10^6 \quad (8)$$

Burada;

- SÇE : Spesifik çizme enerjisi (MJ/m<sup>3</sup>)  
W : Deney sırasında yapılan iş (Şekil 6'da verilen grafiğin altında kalan alan)(joule)  
V: : Deney sırasında örnek yüzeyinde kazılan hacim (oluşan yarığın hacmi) (cm<sup>3</sup>)  
F : Çizme mesafesine bağlı elde edilen yatay kuvvet (kg)  
x : Çizme mesafesi (mm)  
m : Deney sırasında oluşan ağırlık kaybı (gr)  
d : Örneğin yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)



Şekil 6. Çizme mesafesine bağlı elde edilen yatay kuvvet ve bunlara bağlı yapılan işin grafiksel gösterimi.

Çalışma kapsamında; İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ndeki Kazı Mekaniği Laboratuvarında aynı kayaç örnekleri üzerinde taşınabilir doğrusal kesme setinde (PLCM) standart keski kullanılarak 5 mm derinliğinde kesme deneyleri gerçekleştirilerek kesmeye bağlı spesifik enerji değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2 Taşınabilir doğrusal kesme setinden elde edilen spesifik enerji değerleri.

Kayaç No	KayaçAdı	SE <sub>PLCM</sub> (MPa=MJ/m <sup>3</sup> )
S1	Kuvarslı Kumtaşı	35
S3	İri Taneli Kumtaşı	91.39
S4	İri Taneli Kumtaşı	62.4
S5	Orta Taneli Kumtaşı	79.73

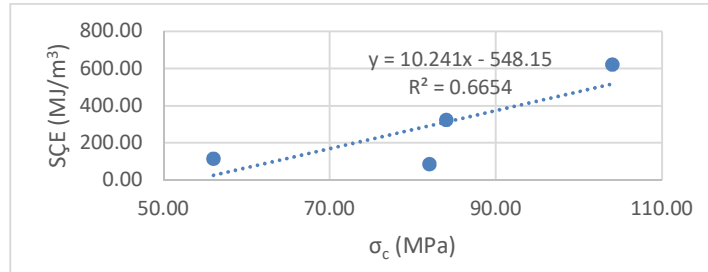
Laboratuvarda yapılan gerilme birim deformasyon eğrilerinden kayacın elastisite modülüne bağlı olan Eşitlik 1'deki "Destruction Work" olarak da adlandırılan SE formülünü kullanarak her kayaç için SE değerleri hesaplanmıştır. Yine laboratuvarda her bir kayacın tek eksenli basınç dayanım değerleri belirlenmiş ve literatürde araştırmacıların geliştirmiş olduğu Eşitlik 2, 3 ve 4 teki bağıntılar kullanılarak her kayaç için ayrı ayrı SE değerleri elde edilmiştir

Ayrıca CAI değerleri kullanılarak Eşitlik 7'deki Hamzaban et. al. (2018)'in geliştirmiş olduğu yaklaşım ile her kayaç için SE değerleri hesaplanmıştır

Böylece literatürdeki yaklaşımlar kullanılarak her kayaç için 5 farklı SE değeri elde edilmiştir. Bu değerler ve İTÜ'deki taşınabilir doğrusal kesme setinden elde edilen SE değerleri, bu çalışma kapsamında hesaplanan SÇE değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte elde edilen SÇE değerleri ile kayalara ait tek eksenli basınç dayanımı ve CAI değerleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

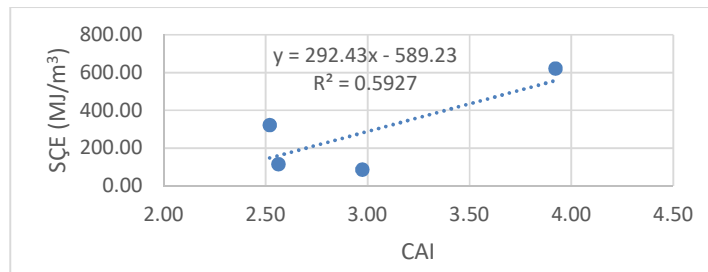
### DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma modifiye CAI deney aleti kullanılarak elde edilen SÇE değerleri ile diğer yöntemlerle elde edilen Spesifik Enerji değerlerinin karşılaştırıldığı ilk çalışmalardan biridir. Çalışma kapsamında SÇE ile tek eksenli basınç dayanımı arasında pozitif doğrusal ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 7). Bu durum literatürdeki benzer çalışmalara uyum göstermektedir. Çünkü genel olarak kayacın dayanımının artması kazılabilirliği negatif yönde etkileyerek SE değerini yükseltmektedir.



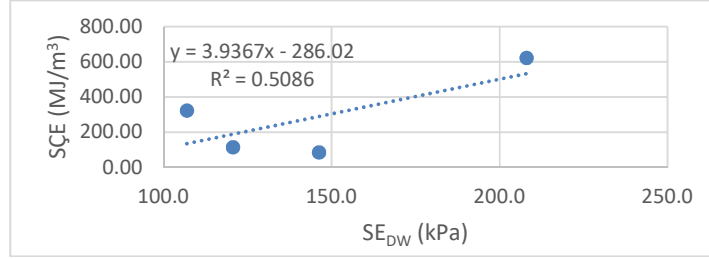
Şekil 7. SÇE ile  $\sigma_c$  arasındaki ilişki.

SÇE ile CAI arasında yine pozitif doğrusal bir ilişkinin olduğu Şekil 8'de görülmektedir. Bu durum kayaç aşındırıcılığının artmasının yine kayaç kazılabilirliğini genel olarak negatif yönde etkilediğini, aşındırıcı kayaların daha zor kazıldığını ve buna bağlı olarak daha yüksek SE değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

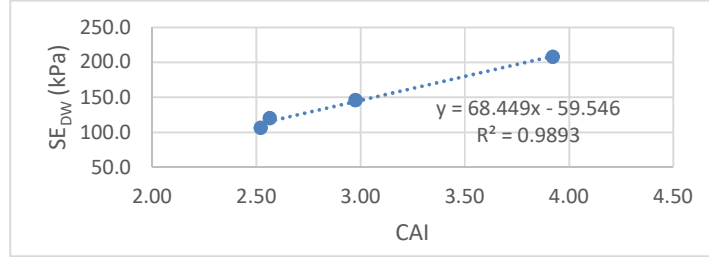


Şekil 8. SÇE ile CAI arasındaki ilişki.

Bu duruma çok benzer şekilde SÇE ile Eşitlik 1’den elde edilen ve “Destruction Work” olarak da adlandırılan SE değeri ( $SE_{DW}$ ) arasında da pozitif yönde lineer bir ilişkinin olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 9). Bu benzerlikten dolayı  $SE_{DW}$  ile CAI arasındaki ilişki merak edilecek olursa Şekil 10’da bu ilişkinin determinasyon katsayısının neredeyse 1’e yaklaştığı görülmektedir.

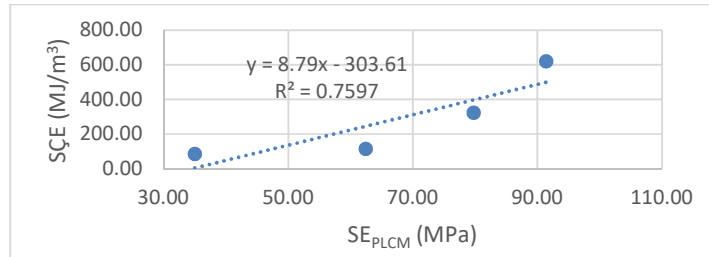


Şekil 9. SÇE ile  $SE_{DW}$  arasındaki ilişki.



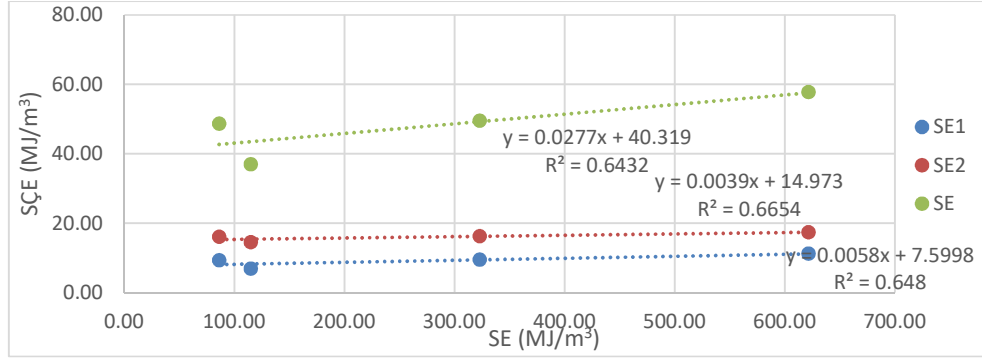
Şekil 10.  $SE_{DW}$  ile CAI arasındaki ilişki.

SÇE ile taşınabilir doğrusal kesme setinden (PLCM) elde edilen SE değerleri karşılaştırıldığında aralarında pozitif yönlü doğrusal bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin determinasyon katsayısının 0.76 olduğu Şekil 11’de görülmektedir. Bu durum her iki deney aletinde yapılan deneylerin birbiri ile yakın ilişkide sonuç vereceğini göstermektedir. Yani modifiye CAI deney aleti ile elde edilen SÇE değeri yüksek ise aynı kayaç için PLCM’de yapılan deney sonucu elde edilen SE değerinin de yüksek olacağı anlaşılmaktadır.



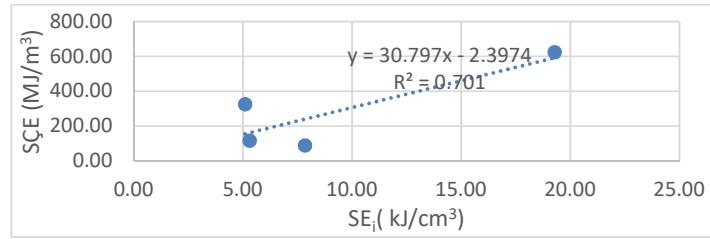
Şekil 11. SÇE ile taşınabilir doğrusal kesme setinden (PLCM) elde edilen SE değerleri arasındaki ilişki.

SÇE ile Eşitlik 2 ( $SE_1$ ), Eşitlik 3 ( $SE_2$ ) ve Eşitlik 4’ten ( $SE$ ) elde edilen SE değerleri arasındaki ilişkilerise Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 12’ye bakıldığında SÇE ile diğer 3 farklı SE değerleri arasında benzer şekilde pozitif doğrusal ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 12. SÇE ile Eşitlik 2, 3 ve 4'ten elde edilen SE1, SE2 ve SE değerleri arasındaki ilişki.

SÇE ile literatürde bu çalışmaya benzer tek çalışma olan ve CAI değerleri kullanılarak Eşitlik 7'deki Hamzaban et. al. (2018)'in geliştirmiş olduğu yaklaşım ile elde edilen SE değerleri karşılaştırıldığında ise çalışma kapsamında ele alınan tüm ilişkiler gibi bu iki parametre arasında da pozitif yönlü doğrusal bir ilişki söz konusudur (Şekil 13).



Şekil 13. SÇE ile Hamzaban et. al. (2018)'in geliştirmiş olduğu yaklaşım ile elde edilen SE değerleri arasındaki ilişki

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında geliştirilen modifiye CAI deney aleti ile 4 farklı kumtaşı örneği üzerinde CAI deneyleri yapılmış ve bu esnada da kayalara ait SÇE değerleri belirlenmiştir.

Laboratuvar ortamında  $\sigma_c$  değerlerinin belirlendiği aynı kayalar için taşınabilir doğrusal kesme seti kullanılarak SE değerleri de elde edilmiştir. Ayrıca bu kayalar için literatürdeki bazı yaklaşımlar kullanılarak 4 farklı SE değerleri hesaplanmıştır.

Elde edilen SÇE değerleri ile  $\sigma_c$ , CAI, doğrusal kesme setinden elde edilen SE değerleri ve literatürdeki yaklaşımlardan elde edilen 4 farklı SE değerleri arasında pozitif yönde lineer bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

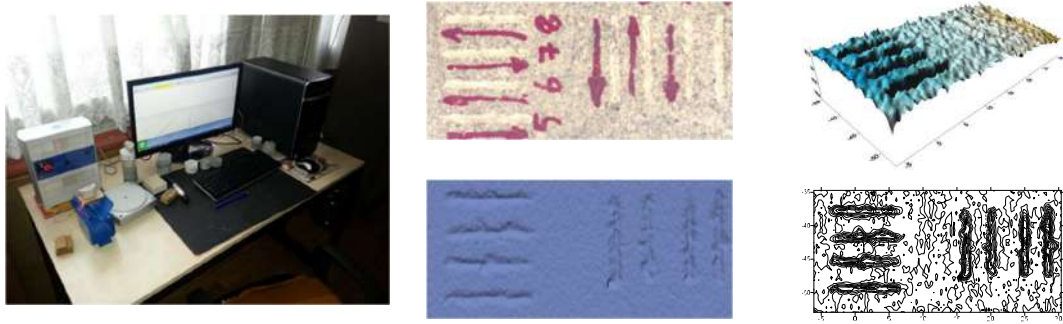
Literatüre bakıldığında SE değerinin belirlenmesinde kullanılan deney aleti açısından bu çalışmaya benzerlik gösteren tek çalışma Hamzaban et al. 2014a, 2014b ve 2018'in çalışmasıdır. Araştırmacılar bu çalışmalarda deney sırasında oluşan yarığın hacmini geometrik ilişki kullanarak yorumlamış ve değerlendirmiştir. Bilindiği üzere herhangi bir SE değeri hesaplanırken harcanan enerjinin kazılan hacme oranı esas alınmaktadır. Bu nedenle SÇE indeksini doğrudan etkileyen bir parametre olan, deney sırasında oluşan yarığın hacminin geometrik ilişki ile modellenmesinin gerçeği yansıtmadığı kesin olarak araştırılmalıdır. Çünkü Şekil 14'te verilen Hamzaban et al. 2014a'nın yapmış olduğu çalışmada dikkat edecek olursak çelik uç deney süresi boyunca tek bir doğrultuda hareket edememekte, bazı (kayacı oluşturan tane boyu vb) nedenlerden ötürü eksenden sapmaktadır. Bu durum ise açılan yarığın hacmini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 14. Deney sonrası bazı örneklere ait örnek yüzey fotoğrafları (Hamzaban et al. 2014b)

Bunun yanı sıra, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi laboratuvarında yapılan çalışmalarda deney sonrası elde edilen örnek yüzeyleri 3 boyutlu lazer tarayıcı (Şekil 15a) ile taranmış ve örnek yüzeylerine ait 2 boyutlu (Şekil 15b) ve 3 boyutlu görüntüler (Şekil 15c) bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Şekil 15'e bakıldığında bazı deney sonrası elde edilen yarığın hacminin matematiksel olarak kurgulanandan daha farklı oluştuğu görülmektedir. Ayrıca yarığın hacminin hesaplanmasında bilgisayar ortamındaki bu verilerin kullanılmasının daha doğru bir yöntem olacağı düşünülmektedir.



a) 3D lazer tarayıcı.

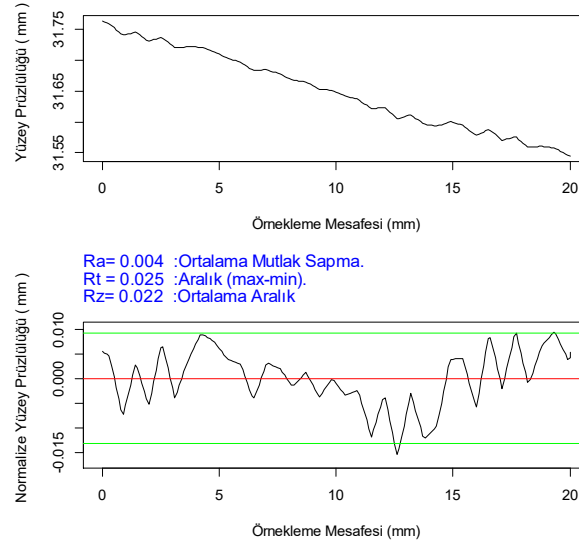
b) 3D tarayıcı ile 2 boyutlu yüzey taraması örneği.

c) Taranan yüzeylerin Surfer programına işlenmesi sonrası elde edilen yüzey haritaları.

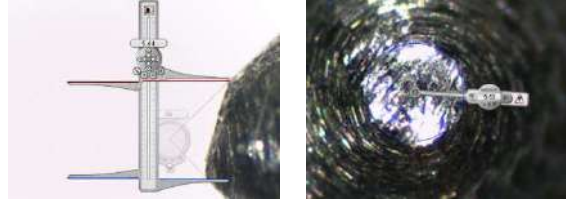
Şekil 15. 3D lazer tarayıcı ve elde edilen 2 boyutlu yüzey taraması ve Surfer çıktısı örneği.

Yine Hamzaban et al. (2018)'e göre yapılan çalışmada çizme işleminin tamamen düz bir yüzeyde gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Ancak gerçekte bazen düzlemsellikten çok küçük de olsa sapmaların olabildiği ve bu durumda çizme işleminin aşağı ya da yukarı yönlü bir eğik düzlemde yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle deney sırasında ucun örnek yüzeyine batma miktarının bilgisayar ortamına doğru bir şekilde aktarılmadığı ve bu veriler doğrultusunda matematiksel olarak hacim hesabının yapılmasının deney sonuçlarının yanlış hesaplanmasına neden olacağı düşünülmektedir.

Bu durumun önüne geçmek için ise Rgui programı yardımı ile profilleri çizilen hattın olası eğimleri sıfırlanıp gerçek profiller oluşturulabilmekte ve hacim hesabındaki eğim faktörünün etkisi giderilebilmektedir. Bu durum ise Şekil 16'da görülmektedir. Ayrıca yine Hamzaban et al. (2018) açılan yarığın hacmini ucun düzgün bir şekilde aşındığını düşünerek uç geometrisiyle ilişkilendirmiştir. Ancak Şekil 17'de aşınma yüzeyinin her zaman düzgün bir şekilde oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 16. Örnek yüzey eğiminin sıfırlanması için kullanılan Rgui programının çıktısına ait bir görüntü.



Şekil 17. CAI deneyi sonrası çelik uçta oluşan aşınma yüzeyi için örnek bir görüntü.

Tüm bunlardan dolayı çizme işleminin gerçekleştirilmesi için harcanan spesifik enerjinin (SÇE) belirlenmesinde hacim hesabının geometriyle ilişkilendirilmesinin yerine örnek üzerinde oluşan ağırlık kaybı ve örneğe ait yoğunluk bilgilerinden faydalanılarak yapılmasının daha doğru sonuç vereceği düşünülmektedir.

Ayrıca çalışmada ele alınan ilişkiler için deney ve örnek sayılarını arttırarak aynı deneylerin farklı kökenli diğer kayaçlar için de tekrarlanması önerilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Atıcı, Ü. and Ersoy, A. (2009) Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 2602 – 2612.
- Balcı, C. (2004) Mekanize Kazı Makinalarının Seçiminde Küçük Boyutlu Kazı İle Tam Boyutlu Kazı Deneylerinin Karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 269 s.
- Balcı, C. and Bilgin, N. (2007) Correlative study of linear small and full scale rock cutting tests of select mechanized excavation machines, Technical Note, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44: 468 - 476
- Chen, J., Feng, Y., Zeng, Y., Han, Y., Wang, Y. and Niu, C. (2017) Continuous rock drillability measurements using scratch tests, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 159:783-790.
- Copur, H., Tunçdemir, H., Bilgin, N. ve Dinçer, T. (2001) Specific energy as a criterion for the use of rapid excavation systems in Turkish mines, *Institution of Mining and Metallurgy, Transactions, Mining Technology*, 110(A): 149-157.

- Farmer, I. W. and Garrity, P. (1987) Prediction of roadheader cutting performance from fracture toughness considerations, *In: Proceedings of the 6th International Congress on Rock Mechanics*, Montreal, Canada, 1 : 621–624.
- Hamzaban, T. M., Memerian, H., Rostami, J. and Monfared, H.G. (2014a) Study of rock-pin interaction in cerchar abrasivity test, *Int. Journal of Rock Mech. and Mining Science* 72:100-108
- Hamzaban, T. M., Memerian, H. and Rostami, J. (2014b) Continuous monitoring of pin tip wear and penetration into rock surface using a new cerchar abrasivity test, *Rock Mech. Rock Eng.* 47:689-701
- Hamzaban, T. M., Memerian, H. and Rostami, J. (2018) Determination of scratching energy index for cerchar abrasion test, *Journal of Mining and Environment*, 29 August.
- Hughes, H. (1972) Some aspects of rock machining, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9: 205-211
- ISRM, 2015. Suggested method for determining the abrasivity of rock by the Cerchar abrasivity test. The ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, R. Ulusay [edt], Springer, USA, p.101-106.
- Käsling, H. and Thuro, K. (2010) "Determining Rock Abrasivity in the Laboratory", In: Zhao, Labiouse, Dudt, Mathier (eds) *Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering -Proc EUROCK 2010* Taylor & Francis, London, p.425-428.
- Kel, K. (2003) Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Müh. Anabilim Dalı, Zonguldak, 181 s.
- Mellor, M. (1972) Normalization of specific energy values, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9: 661-663.
- Munoz, H., Taheri, A. and Chanda, E. K. (2016) Rock Drilling Performance Evaluation by an Energy Dissipation Based Rock Brittleness Index, *Rock Mech Rock Eng.* pp. 3343-3355.
- Özdemir, L. and Nilsen, B. (1999) Recommended laboratory rock testing for TBM projects, *AUA News*, 14 (2): 21-35.
- Pathinkar, A. G. and Misra, G. B. (1980) Drillability of rocks in percussive drilling from energy per unit volume as determined with a micro bit. *Mining Engineering.*, 32: 1407–10.
- Rostami, J. and Özdemir, L. (1994) Roadheader performance optimization for mining and civil construction, *13th Annual Technical Conference*, Institute of Shaft Drilling Technology, pp. 1-17.
- Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil, D. M. (1994) Performance prediction: a key issue in mechanical hard rock mining, *Mining Engineering*, 1263–1267.
- Teale, R. (1965) The concept of specific energy in rock drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2: 57-71
- Tiryaki, B. (2008) Application of artificial neural Networks for predicting the cuttability of rocks by drag tools. *Tunneling and Underground SpaceTech*, 23: 273-280.
- Tumaç, D. (2010) Değişik Kayaç ve Disk Keskinin Kayaç Kazılabilirliği Üzerine Etkisinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Programı, İstanbul, 322 s.
- Yaralı, O. ve Akçın, N.A. (2005) Yeraltı Madencilğinde Kazı Makinaları II Kollu Galeri Açma Makinaları, *Global Makine ve Ekipmanları Dergisi*, Eylül, Sayı 2, s. 48-49.
- Yaralı, O. (2007) Kayaç Kırılabilirliği ile Delme Oranı İndeksi Arasındaki İlişkilerin Araştırılması, *Türkiye 20. Uluslararası Madencilik Kongresi*, Ankara, 6-8 Haziran 2007, TMMOB
- Yaralı, O. (2010) Zonguldak bölgesi kayaçlarının aşındırıcılık özelliklerinin belirlenmesi, *Türkiye 17. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Zonguldak, s. 203-215.
- Yaşar, S. ve Yılmaz, A.O. (2017) Düşey kayaç kesme seti ile kollu galeri açma makinası performans Tahmini: Bir örnek uygulama, *Proceedings of 6th International Congress of Mining Machinery and Technologies*, 18-21 October, İzmir, Turkey.
- Wijik, G. (1992) A model of tunnel boring machine performance. *Geotechnical and Geological Engineering*. Chapman & Hall. 10: 19-21.

**ÇELİK TAHKİMAT PROFİLLERİNDE ÜLKE STANDARTLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**  
*EVALUATION OF COUNTRY STANDARDS IN STEEL SUPPORT PROFILES*

O. Yılmaz<sup>1</sup>, S. Demirci<sup>2</sup>, T. Dikici<sup>3\*</sup>, M. F. Ebeoğlugil<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

(\*Sorumlu yazar: tuncay.dikici@deu.edu.tr)

**ÖZET**

Ülkemiz ve dünyada iş güvenliği açısından diğer iş kollarına nazaran daha fazla risk teşkil eden maden ve tünellerde alınması gerekli güvenlik tedbirlerinden en önemlisi kullanılan çelik profil ve bağlantı elemanlarının standartlara uygunluğudur. Mevcut ve olası problemler dikkate alınarak, belirli bir konuda ortak ve tekrar eden kullanımlar için en uygun düzeyde bir düzen gerçekleştirilmesi amacıyla gerekli hükümlerin oluşturulması faaliyetine standardizasyon adı verilmektedir. Maden ve tünellerde kullanılmak üzere yurt içi veya yurt dışından tedarik edilen çelik tahkimat profilleri ve bağlantı elemanlarının standartlara uygunluğu bu riske karşı alınacak önemli tedbirlerden biridir. Türk Standardları Enstitüsü tarafından 2018 yılında yayımlanan “TS 13840-Maden ve tünellerde kullanılan tahkimat profilleri ve bağlantı elemanları” standardı bu alanda atılan önemli adımlardan biri olmuştur. Bu standart, kalite ve güvenlik seviyesine sağlanan katkının yanı sıra, ürünlerin birbiri ile uyumlu olmaları, ürün farklılıklarının ortadan kaldırılması ile maliyet etkinliğinin iyileştirilmesi, zaman tasarrufu ve öngörülebilirlik gibi ekonomik katkılara yol açması açısından oldukça önemlidir.

**Anahtar sözcükler:** Maden, tünel, çelik profil, standart

**ABSTRACT**

One of the most important safety measures to be taken in the mines and tunnels, which constitute more risk in terms of occupational safety in our country and in the world than other business lines, is conformity of utilization of the profiles and fasteners in accordance with the standards. Standardization is the activity of creating the necessary provisions in order to establish an order at the most appropriate level for common and repetitive uses in a particular subject by considering current and potential problems. One of the important measures against the risk is conformity of steel supported profiles and fasteners which are supplied from domestic and abroad for use in mines and tunnels to standards. TS 13840 Standard for profiles and fasteners used in mines and tunnels published by Turkish Standards Institute in 2018 has been one of the important steps in this field. This standard contributes to the level of quality and safety, as well as the compatibility of each other, the diversity of products approaching, the distance away from the clean and effective ones, as you prefer to lead to economic environments such as near-time and predictability.

**Keywords:** Mine, tunnel, steel profile, standard



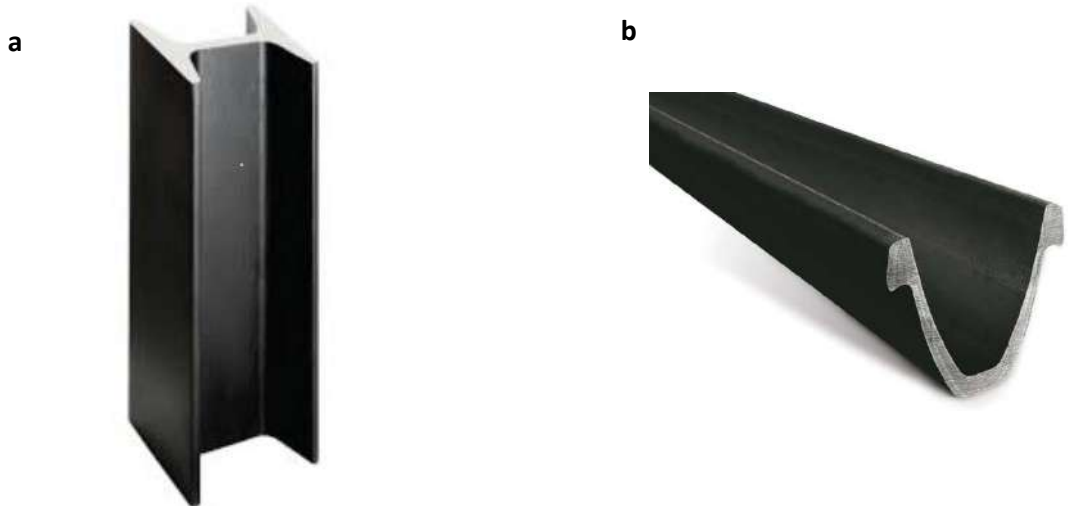
## GİRİŞ

Yer kabuğunda doğal etkenlerle oluşan ve ekonomik yönden değer taşıyan minerallerin çıkarıldığı madenler ve demiryolu, metro, karayolu, yaya yolu gibi çeşitli yapıların bir kısmının veya tamamının yer altından geçmesi için yapılan tünellerde gerekli güvenlik önlemleri alınmadığı zaman telafisi güç zararlar ve can kayıpları oluşabilir. Özellikle bu yapıların inşasında kullanılan malzemelerin standartlara uygunluğu oldukça kritik öneme sahiptir. Bugün dünyada madencilik sektöründe yaklaşık 30 milyon insanın çalıştığı tahmin edilmektedir(Mallı vd., 2014; Lüy, 2016).Madencilik, iş koşullarının zor olmasından dolayı kaza ve ölüm olaylarının en fazla olduğu sektördür. Dünyada, çalışan nüfusun %1'i maden ocaklarında çalışmasına rağmen önemli kazaların %8'i madenlerde olmaktadır. Türkiye ise madenlerde oluşan iş kazaları açısından Avrupa'da ilk, dünyada ise üçüncü sıradadır (Mallı vd., 2014; Lüy, 2016).

Maden ve tünel güvenliğini daimi hale getirebilmek ve söz konusu riskleri en aza indirebilmek için dünyada çeşitli yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Bu yasal düzenlemeler kanun, tüzük, yönetmelik ve standart şeklinde olmaktadır. Böylece kazalar azaltılmaya çalışılmaktadır. Maden ve tünellerde oluşacak kazaları önlemek adına bu yapılarda kullanılan çelik tahkimat profillerinin standartlara uygunluğu önemlidir. Maden ve tünel güvenliğini konusunda ülkemizde son yıllarda atılan önemli adımlardan biriside maden ve tünellerde kullanılacak çelik tahkimat profillerinin standartlara uygunluğunu kontrol edebileceğimiz ulusal standardımızın (TS 13840) hazırlanmış ve yayınlanmış olmasıdır. Söz konusu standart içeriğindeki kimyasal ve mekanik değerlerin DIN 21530standartı ile benzerlik taşıdığı ve bu standarttan yararlanıldığı görülmektedir.

### Maden ve Tünellerde Kullanılan Çelik Tahkimat Profillerive Bağlantı Elemanları

Maden ve tünellerde kullanılan çelik tahkimatlar; rijit tahkimat (rigid steel supports) ve kayar tahkimat (yielding steel supports) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 1). Rijit ve kayar tahkimat profilleri sıcak haddeleme, rijit ve kayar tahkimat bağlantı elemanları da sıcak dövme metodu ile üretilmektedir. Rijit ve kayar tahkimatlar; profil ve bağlantı elemanları olmak üzere aynı şekilde iki parçadan oluşmaktadır.



Şekil 1. (a)Rijit tahkimat profili(b) Kayar tahkimat profili

### Standartda uygunluk parametreleri

#### Kimyasal analiz

Tahkimatlarda kullanılan profil ve bağlantı elemanlarının malzeme kalitesi (31Mn4, 17MnV7, S235JR, S355J2) ve potakimyasal bileşimi önemli parametrelerden biridir. Her bir kalitenin kimyasal

bileşiminde; karbon (C), silisyum (Si), mangan (Mn), bakır (Cu), fosfor (P), kükürt (S) ve alüminyum (Al) gibi elementler yer almaktadır ve bunlar belirli yüzde oranlara sahiptir. Bu elementler için pota analizinde  $\pm$  sınır değerler söz konusudur.

#### Mekanik özellikler

Tahkimatlarda kullanılan profil ve bağlantı elemanları için bir diğer önemli parametre ise mekanik özelliklerdir. Her bir kalitenin (31Mn4, 17MnV7, S235JR, S355J2) akma dayanımı ( $N/mm^2$ ), çekme dayanımı ( $N/mm^2$ ), uzama (%) ve darbe dayanımı (J) gibi mekanik özellikleri standartlarda belirtilen minimum değerleri taşımak zorundadır. Maden ve tüneller için yapılan mühendislik hesaplamalarında çelik profillerin bu değerleri oldukça önemlidir.

Kuvvet ve şekil değiştirme arasındaki bağlantıların incelenmesi amacıyla yapılan çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının (mekanik özelliklerinin) belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Şekil değiştirme ve bu şekil değiştirmeyi veren kuvvet arasındaki bağlantı, malzemenin hangi koşullarda çalışabileceği bilgisinin yanı sıra, mekanik özelliklere göre sınıflandırma imkanı verir.

Aşırı yükleme ve farklı sıcaklıklardaki darbelere karşı profilin sergileyeceği davranış güvenlik riskini doğrudan etkiler. Çünkü malzeme, farklı ortam sıcaklıklarında ve yük türüne bağlı olarak hasara uğrayabilir. Mühendisler, malzeme seçimi yaparken malzemenin hangi sıcaklıklarda sünek mi, gevrek mi kırılacağını, kırılırken ne kadarlık bir enerji absorbe edebileceği veya kırılma enerji miktarının ne kadar olabileceği hakkında malzemenin davranışı ile ilgili bilgi sahibi olmak istenir. Bu sebepten dolayı çentik darbe deneyi yapılır.

#### Numune alma, muayene ve deneyler

Tahkimat profil ve bağlantı elemanlarının kimyasal bileşim ve mekanik özelliklerinin tespitinde her bir partiden standartta belirtilen şekil ve sayıda numune alınır. Yüzey muayenesi, ilgili standarda göre yapılır. Daha sonra aynı şekilde standartlara uygun olarak kimyasal bileşim tayini, çekme deneyi ve çentik darbe deneyi gerçekleştirilir. Böylece standartlara uygunluk durumu tespit edilir.

### **GENEL DEĞERLENDİRME**

Madencilik, kaza ve ölüm risklerinin en yüksek olduğu sektörlerden biridir. Aynı şekilde tünellerde de, her ne kadar jeolojik etüt yapılmış olsa da zemin koşullarının ani değişimleri ile iş güvenliği ve işçi sağlığına yönelik kazalar, yüksek oranda iş kazası görülen inşaat sektöründe önemli bir paya sahiptir. Maliyetleri düşürme çabası ile kontrolsüz ve standartlara uygun olmayan malzeme kullanımı bu riskleri doğrudan artırır. Standartlarda belirtilen aralıkta kimyasal kompozisyona ve mekanik özelliklere sahip olmayan çelikler istenilen performansı sergileyememenin ötesinde beklenmedik can ve mal kayıplarına yol açan kazalarında sebebi olabilir. Bu açıdan maden ve tünellerde kullanılan çelik tahkimat profillerinin standartlara uygunluğu; üreticiye, tüketiciye, milli ekonomi ve topluma doğrudan faydası olan bir uygulamadır.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] Mallı, T., Kun, M. and Köse H., (2014). Yeraltı Kömür İşletmelerinde Gaz İzleme Ve Erken Uyarı Sistem Teknolojisinin İş Kazalarının Önlenmesindeki Önemi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 16,59-67.
- [2] Lüy, H.İ. (2016). Maden Ocaklarında Madenciler İçin Yer Tespiti Uygulaması, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

## An alternative spontaneous combustion experiment set-up by employing an old version Gas Chromatograph

**Mehmet Bilen, Erdoğan Kaymakçı, Serdar Yılmaz, Alaaddin Çakır**  
*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

### Özet

Bu çalışmada eski model bir gaz kromatograf cihazının ayarlanabilir fırın sıcaklığı ile kendiliğinden yanma deneyleri için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla yapısında kolonu bulunmayan GC HP 5890 cihazı kullanılmıştır. Kromatograf cihazlarında bilindiği üzere kolon gazların ayrılmasında ve gaz kompozisyonlarının belirlenmesinde en kritik role sahip öğedir. Kolonu bulunmayan ya da kolonu arızalı bir kromatograf cihazını fırın olarak kullanmak mümkündür. Bunun için yapılması gerekenler bu çalışmada ele alınmıştır. Kendiliğinden yanma deneyleri belirlenen bir ilk sıcaklık ile başlamakta ve belli bir rampa (fırın içi sıcaklık artışı) belirlenen son sıcaklığa kadar artışla eş zamanlı olarak reaktör içine konulan örneğin sıcaklık artışının izlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemle kömür örneklerinin kendiliğinden yanma yatkinlikleri belirlenmektedir. Bu yöntemle oluşturulan deney düzenekleri için, fırın (sıcaklığı zamanla bağlı ayarlanabilir), reaktör (hava giriş ve çıkışı olan) ve hava debisi ölçme araçları gereklidir. Mevcut kromatograf cihazı bahsi geçen fırın özelliklerine sahiptir. Reaktör olarak özel yapım cam reaktör kullanılmıştır. Hava debisi ölçme cihazları ise deney koşullarının tekrarlanabilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada reaktör içine konulan örnek sızdırmaz bir şekilde hava bağlantıları yapıldıktan sonra fırında sıcaklık artışına maruz bırakılmış ve örneğin keşişme sıcaklığı (crossingpoint)ve kendiliğinden yanma indeksi belirlenmiştir. Yeni setle yapılan deney laboratuvarımızda mevcut deney setinde de tekrarlanmış ve yeni deney setiyle de aynı örneğe ait aynı değerlerin (keşişme noktası, kendiliğinden yanma indeksi değeri) elde edildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**-Kendiliğinden Yanma, Fırın, Gaz Kromatograf, Reaktör

### Abstract

In this study, potential for the employment of an old version of gas chromatograph with an adjustable oven temperature for the self-oxidation test was investigated. For this purpose, an old version GC (Gas Chromatograph) (GC HP 5890) equipped with no column inside was employed. Column in GC is the main part which actually has a significant role to separate the gas molecules and it is a prerequisite for gas composition determination. However a GC with a malfunctioning column or no column can be employed for just furnace purposes. Requirements in order to employ an old version GC as a furnace for previously determined experiment set up are taken into consideration in this study. Spontaneous combustion experimental procedure consists of a furnace with initial temperature and a ramp to final temperature in addition the sample temperature rise should be watched over simultaneously. Coal samples are characterized in terms of their liabilities to spontaneous combustion as regards to this abovementioned method. In order have this method implemented in a laboratory, one needs a furnace, a reactor and a flowmeter. GC (with no column) is available instead of furnace in this experimental set up. Reactor is a handmade quartz tube with air in and out channels embedded. Flowmeter has a key role to have the same experiment conditions, i.e. same flowrate of air in. In this study, sample which already placed into reactor (air in and out connections made with no air leakages) is objected to temperature rise and crossing point temperature along with its index value (Spontaneous combustion index, FCC) was determined. This newly available experiment set up was tested with an already available experiment set up, and it was observed that results obtained are same for both set ups.

**Keywords:**-Spontaneous combustion, Furnace, Gas Chromatograph, Reactor.

## Introduction

Self-oxidation of coals result in spontaneous combustion and this process is generally defined as the slow heating and oxidation initiated by the adsorbed oxygen at low temperature (URL-1 2019). Coal since it consists of carbonaceous material more than 70 % by volume and more than 50 % by weight, it is ready for combustion (Onifade and Genc 2018). According to same authors (Onifade and Genc 2018), required constituents of self-heating are the external active structures of coal particles, heat, oxygen and chemical reactions in between oxygen and these active structures (Oliveira et al. 2017, Oliveira et al. 2018, Sehn et al. 2016). Experimental investigations on spontaneous combustion of bulk coal samples have been studied by many researchers (Stott 1980, Monazam et al. 1988, Akgun and Arisoy 1994, Cliff et al. 1998, Smith et al. 1991, Chen 1991, Beamish et al. 2001) and they have carried out these investigations under a medium –large scale experimental set-up including a hearing system to initiate the self-heating process. In addition some researchs (Fierro et al. 1999, Fierro et al. 2001, Sensogut and Ozdeniz 2005, Ozdeniz and Yilmaz 2009, Ozdeniz et al. 2015) on spontaneous combustion of coal stockpiles under the influence of atmospheric conditions have been reported. According to Onifade et al. (2018), no previous study with experimental methodology without an applied heating system considered the effect of atmospheric conditions on spontaneous combustion. In the study of Onifade et al. (2018) a testing apparatus to characterize the spontaneous combustion liability of coals is described and detailed information about Wits-Ehac test method is provided. Referring back and forth to the study of Onifade et al. (2018), they have provided a new experimental set up called “Wits-CT” which characterize the spontaneous combustion liability of carbonaceous materials under the influence of airflow without any heating system.

Spontaneous combustion liability of coals are being tested and characterized mostly with crossing point temperature determinations. Authors (Chen and Chong 1998, Sensogut and Cinar 2000, Qi et al 2013, Xu et al. 2012, Wang et al. 2009) proposed Crossing Pint Temperature (CPT) method within various experimental systems to investigate heating and oxidation characteristics leading to spontaneous combustion of different kinds of coal (Xu et al. 2017). In the study of Xu et al. (2017) in order to evaluate heating and oxidation of coal placed inside a container, a temperature programmed system (TPS) is used under various flow and oxidation conditions for temperatures ranging from 40 to 250 °C.

In this study, an old version Gas Chromatograph (GC HP 5890) was employed as a temperature programmed oven and spontaneous combustion liability of a coal was determined in this new experimental set up. The chromatograph has no column and it was not in use. Some manipulations were carried out and air in and out flow connections were made in this chromatograph. In addition a thermocouple was placed into a sample reactor. Traditional system already available in the laboratory was duplicated with this new set up. New set up has all elements of the old and traditional one, and in addition it has a dry gas volume counter. The abovementioned counter was employed as regards to air flow measurements along with a flowmeter. More details about this new set up are described and provided in experimental section. Some results obtained by both systems (old and new one) are compared and discussed in the context of this study.

## Experimental Studies

In this section, description of the new experimental set up for spontaneous combustion experiment set up along with an already available one is provided. At first, the available experiment set up in the laboratory is given in detail (Figure 1)

The main elements of the experiment set (schematical overview is given in Figure 1) which are designed specifically for this research are as following:

- A heated environment under controlled conditions (oven)
- Test tube with coal in it
- Temperature measurement and recording units (thermocouples and recorders) used to measure sample and ambient temperatures
- A mini compressor for supplying oxygen, nitrogen or air to the test set
- A drying and cleaning unit for gas or gases supplied to the system

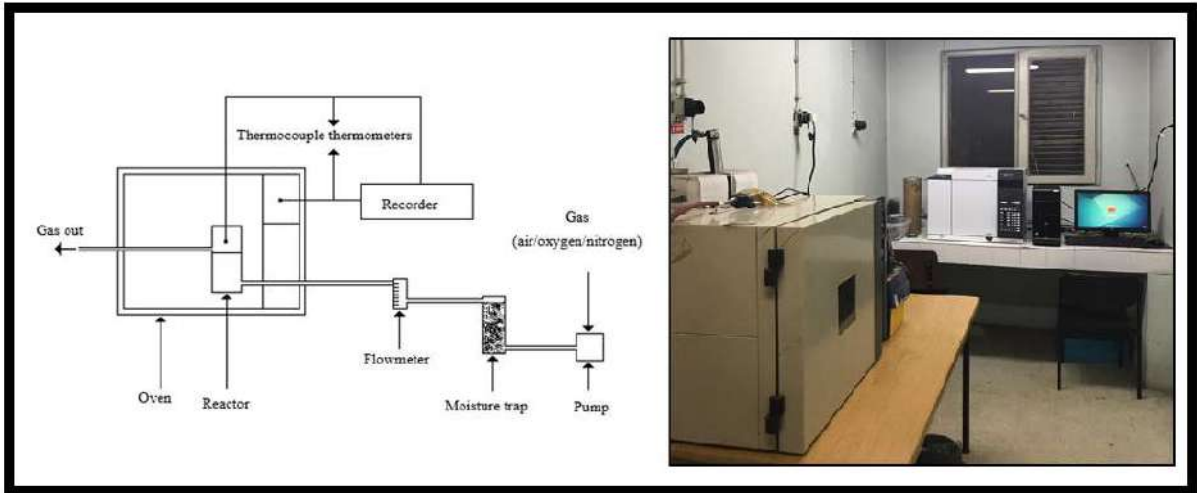


Figure 1. Schematic representation (left) and an image (right) of the available experimental set up for spontaneous combustion tests.

Referring to Figure 1, it is the experimental set up already available in the laboratory. However as described earlier, a new experimental set up (alternative one) was developed by employing an old version non-use Gas Chromatograph (GC HP 5890). Schematic representation of this new system (similar to some degree) is provided in Figure 2.

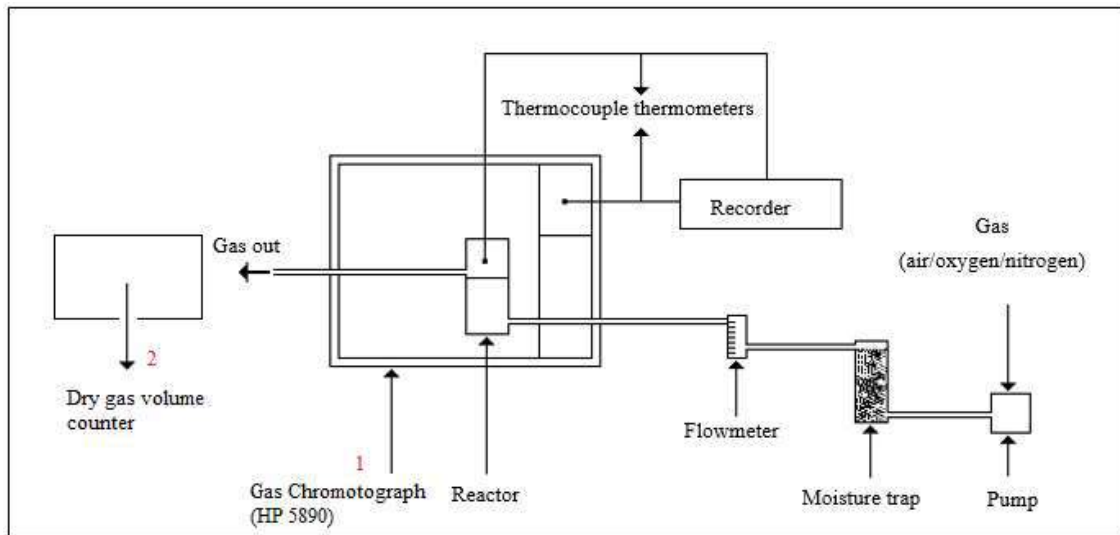


Figure 2. Schematic representation of the new (alternative) experimental set up for spontaneous combustion tests.

As it can be noticed from Figure 1 and Figure 2, schematical representations are same for both traditional and the new experimental set ups for spontaneous combustion tests. However, instead of oven in Figure 1, a non-use GC (an old version) was placed and a gas out from the reactor is being measured in volume by dry gas volume counter.

Employing an old version GC as an oven for spontaneous combustion includes few steps to be taken. Firstly, the oven temperature of GC should be programmed and this should be in the order of the previously determined temperature ranges and ramps. Since it was aimed to have an alternative

spontaneous combustion test set up, the old available experiment set up was duplicated in terms of temperature program. However with employing an old version chromatograph, the temperature program could be arranged whatever it is desired. Some photos (Figure 3) are provided in terms of temperature programming of the oven in the body of GC.



Figure 3. Temperature programming of the oven in the body of GC.

As it can be seen from Figure 3, temperature program of the oven in the body of GC can be programmed as any temperature steps desired (initial, final, rate and the duration). The advantage of using an oven from an old version GC is actually not only the adjustable temperature program for the oven but also the less temperature fluctuations. The only condition employing an old GC as an oven for the spontaneous combustion tests is the properly working oven in the body.

Latter, second step is the reactor and the air flow connections for the experiment set up. A quartz modified (Figure 4) reactor was used for this purpose. Reactor has one air in and one air out channel and a porous medium within its body. However air in and air out channels are made from glass. That is why, in order to connect air channels (copper pipe) and in order to fix the joints, hand made quartz reactor was modified. Modification of the quartz reactor included some metal fixing glue agglutination for the air channels. That is how screw joints of the copper wires could be fixed to the reactor (Figure 5) and impermeable environment for the air in and out channels was ensured.



Figure 4. Quartz modified reactor for the experimental set up (new) of spontaneous combustion tests (a: before modification, b: after modification).



Figure 5. Copper pipes connected to the reactor.

As it can be seen from Figure 5, reactor is placed in oven of GC and the air in and out connections were made. The copper pipe for air in channel is scrolled as presented in Figure 5 and this was purposely performed. The purpose of the scrolling is the warming up the air inside to the reactor and pre-conditioning. And additionally presented in Figure 5, there is a lid on the reactor and this lid includes thermocouple embedded. This thermocouple is used in the order of observing the temperature of the sample. The experimental set up is completed with air pump, flowmeter and the termocouple (Figure 6).

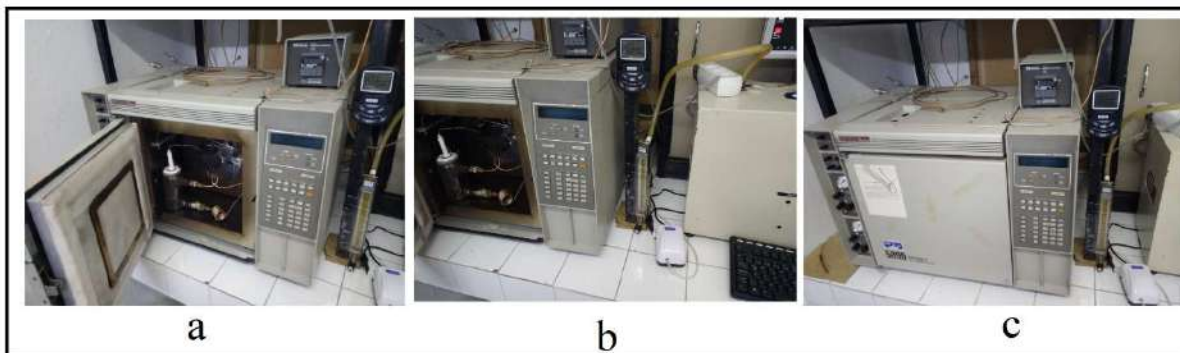


Figure 6. Complete experimental set up for spontaneous combustion tests (a: door open flow meter is shown on the right side, b: door open flow meter and air pump is shown on the right, c: door closed flowmeter, air pump and dry gas volume counter is shown on the right).

Referring to Figure 6, an illustration for the complete experiment set up (new, alternative and employing an old version GC) is provided. As seen from the Figure 6, a flow meter is (Cole and Parmer) is utilized and it is connected to air in channel. However in order to just to make sure about the air flowrate to the reactor, a dry gas volume counter was also employed. This abovementioned dry gas volume counter can also be employed for the reactor exit air flowrate as presented earlier in the schematical representation (Figure 2) of the new experiment set up. After all these connections and arrangements were carried out, a sample was placed into reactor and the new set up was run. A recorder for the oven temperature and sample temperature was placed right in front of the set up and online measurements were recorded. An example of this recording is provided in Figure 7.



Figure 7. An example of new experiment set up recording of oven and sample temperature.



### Results and Discussion

By employing an old version Gas Chromatograph, reasonable and repeatable results were obtained. Corresponding results (temperature curves for oven and sample) from each set up (either old one or the new one) are provided in Figure 8 and Figure 9.

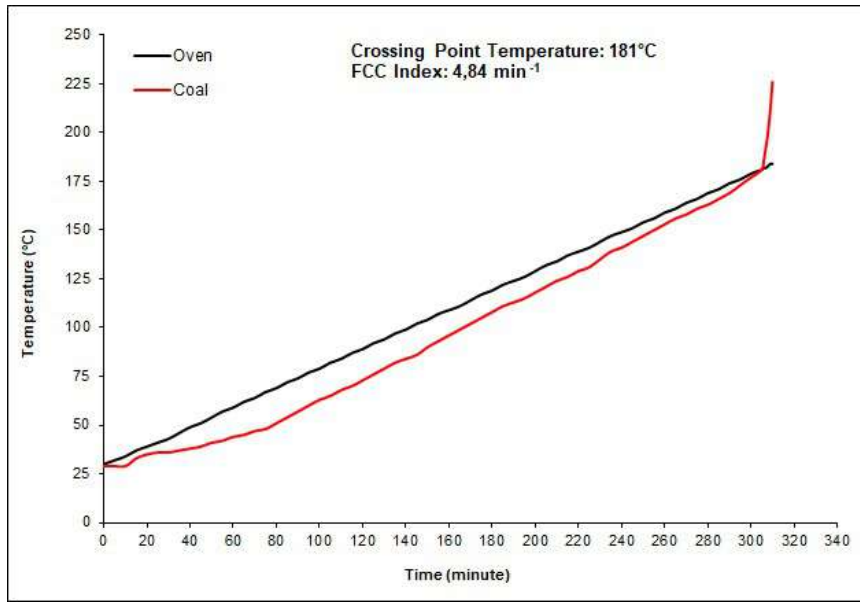


Figure 8. Temperature curves for oven and sample obtained from the traditional old experiment set up.

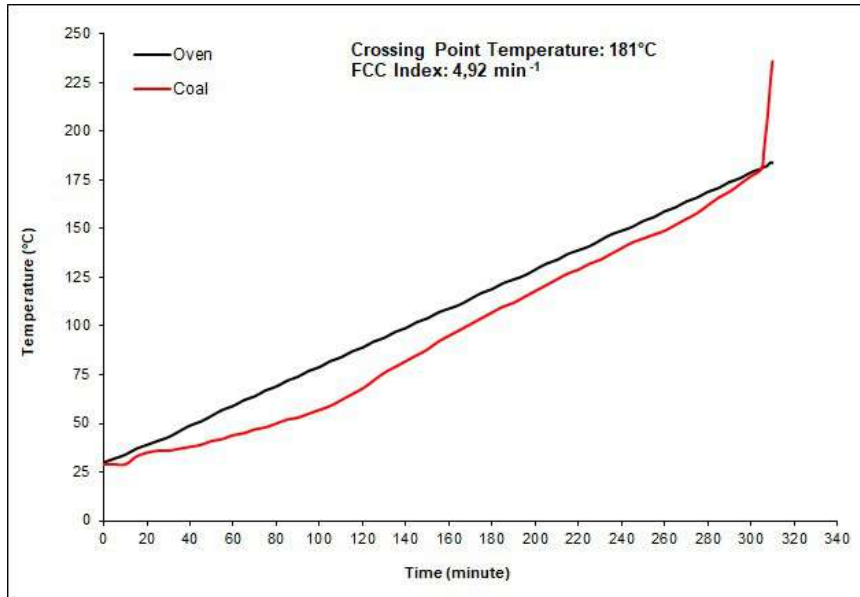


Figure 9. Temperature curves for oven and sample obtained from the new experiment set up.

As it can be observed from Figure 8 and Figure 9, there is a little difference between each experimental set up. Results obtained can be regarded as similar in terms of FCC and crossing point temperatures. By the way FCC index calculation is performed in the equation (Equation 1).

$$\begin{aligned}
 & \text{FCC Index} \\
 & = \frac{\text{average temperature increase between } 110 - 220 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{crossing point temperature } ^\circ\text{C}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

It can be noted that, coal sample is not heated up so fast in the beginning in the new experimental set up. This might be because of the air flowrate in to the reactor is 80 ml/min in the new experimental set up while it is 100 ml/min in the old experimental set up. However corresponding FCC index value is 4.92 and 4.84 for the new and old experimental set up, respectively. This can be regarded as negligible error in the new experimental set up since it has less than 2% difference. Considering these variations it can be claimed that this newly built experimental set up can be employed to characterize the spontaneous combustion liabilities of coal samples. In addition, in terms of spontaneous combustion and low temperature oxidation further investigations can be carried out by analyzing the flue gas composition at any time and temperature. In this context, gas product from the reactor should be analyzed in terms of its composition. This abovementioned gas composition analysis should be carried out since combustion products is either carbon monoxide or carbon dioxide. For spontaneous combustion liable coals corresponding gas composition analysis should result in higher carbon monoxide concentrations than for the ones less spontaneous combustion liable. This was also considered in the laboratory (newly built set up) and a GC HP 6890 was employed for this purpose. A photograph of the spontaneous combustion experiment set up and a GC (HP 6890) is presented in Figure 10.

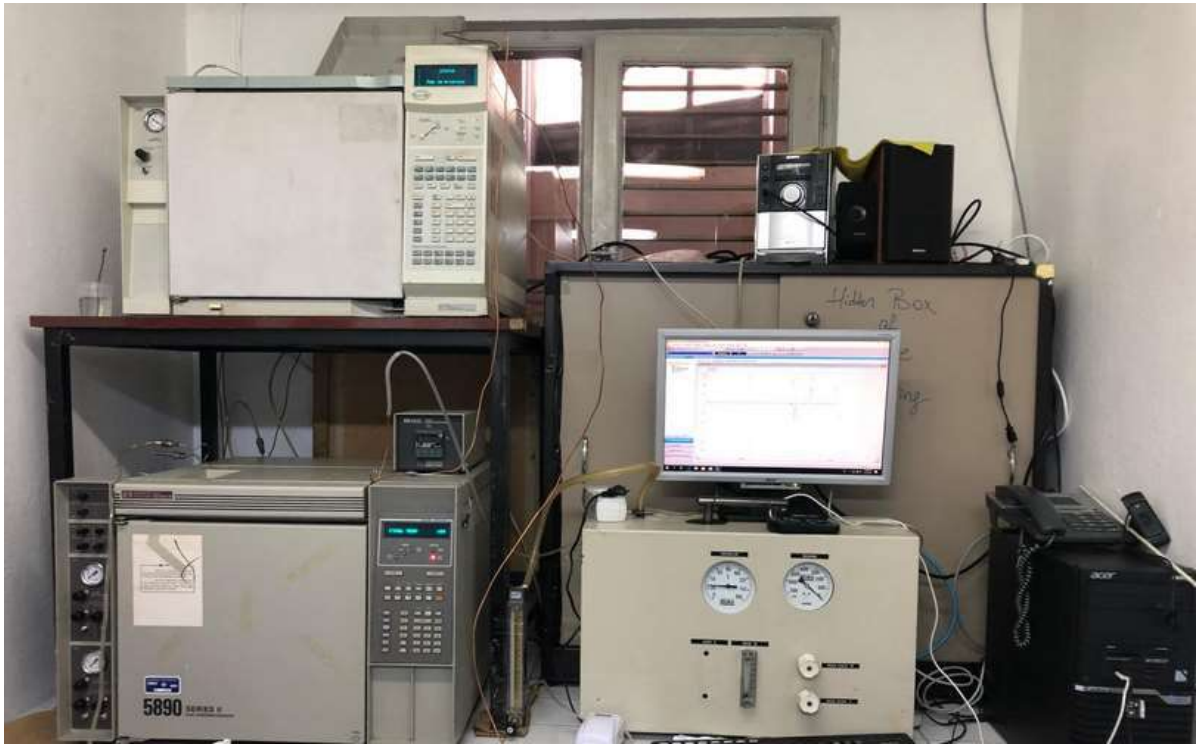


Figure 10. A photograph from spontaneous combustion experiment set up, HP 5890 (employed only as an oven, left bottom) and HP 6890 (employed as Gas Chromatograph, left up).

### Conclusion

In this study, spontaneous combustion and its experimental methodology i.e. crossing point temperature was investigated in details. An alternative way for spontaneous combustion test with employing and old version GC (HP5890) was proposed and the steps required to have this experimental set up worked out is provided. In this context, an old version GC was employed as an oven and required temperature program arrangements were performed and corresponding details are given in the body of this paper. Reactor specifications and connection as regards to air flow in and out were explained in detail. In this paper, it was observed that an old version gas chromatograph with only an oven working properly is enough for the experimental set up of spontaneous combustion tests. Oven temperature can be arranged to have pre-determined ramps and initial/final temperatures. After this oven arrangements and

after air channel connections with copper pipes the newly built experimental set up was tested. Placing a same sample in to both experimental set up (old and new), experiments were conducted. Results obtained from each set up are similar and this was regarded as the new set up working properly. In order to characterize the spontaneous combustion liabilities for the coal samples, this newly built system can work out properly. Having a GC (old version, HP 5890) as an oven has advantages in terms of less fluctuations of the temperature and it also has an adjustable temperature program. This could be a good alternative for the laboratory equipment re-evaluation and the old version chromatographs can be worked out as ovens, i.e. more clearly a heating environment for the spontaneous combustion tests". In this paper spontaneous combustion experimental set up was mentioned in detail with an old version GC employment. Not only spontaneous combustion was pointed out in terms of crossing point determinations in this paper but also a GC (HP6890) combination of this test set up was taken into consideration.

## References

- [1] URL-1 (2019) [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/aae5e04a259d09a\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/aae5e04a259d09a_ek.pdf) Webpage visited August 2019, Author: Richards M. J.
- [2] Onifade M. and Genc B. (2018) Spontaneous combustion of coals and coal-shales, International Journal of Mining Science and Technology Volume 28, Issue 6, November 2018, Pages 933-940.
- [3] M.OnifadeB.GencA.Carpede A new apparatus to establish the spontaneous combustion propensity of coals and coal-shales International Journal of Mining Science and Technology Volume 28, Issue 4, July 2018, Pages 649-655
- [4]. M.L. Oliveira, O.G. Navarro, T.J. Crissien, B.F. Tutikian, K. da Boit, E.C. Teixeira, *et al.* **Coal emissions adverse human health effects associated with ultrafine/nano-particles role and resultant engineering controls** Environ Res, 158 (2017), pp. 450-455
- [5]. M.L.S. Oliveira, K. da Boit, F. Pacheco, E.C. Teixeira, I.L. Schneider, T.J. Crissien, *et al.* **Multifaceted processes controlling the distribution of hazardous compounds in the spontaneous combustion of coal and the effect of these compounds on human health** Environ Res, 160 (2018), pp. 562-567
- [6] Stott JB. The spontaneous heating of coal and the role of moisture transfer, Final Report, US Bureau of Mines, Contract No. JO; 1980. p. 395–146.
- [7] E.R. Monazam, L.J. Shaddle, A. Shamsi Spontaneous combustion of char stockpiles Energy Fuels, 12 (6) (1988), pp. 1305-1312
- [8] F. Akgun, A. Arisoy Effect of particle size on the spontaneous heating of a coal stockpile Combust Flame, 99 (1994), pp. 137-146
- [9] D. Cliff, R. Davis, A. Bennett, G. Galvin, F. Clarkson Large-scale laboratory testing of the spontaneous combustibility of Australian coals Proceedings of Queensland mining industry health & safety conference, Queensland Mining Council, Brisbane (1998), pp. 175-179
- [10] Smith AC, Miron Y, Lazzara CP. Large-scale studies of spontaneous combustion of coal. Report of Investigations 9346. U.S. Bureau of Mines (USBM), Washington, D.C., U.S.A.; 1991.
- [11] Chen XD. The spontaneous heating of coal-Large-scale laboratory assessment supporting the theory. Ph.D. Thesis, Department of Chemical Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand; 1991.
- [12] B.B. Beamish, A.G. Lau, A.L. Moodie, T.A. Vallance Assessing the self-heating behaviour of Callide coal using a 2-metre column J Loss Prev Process Ind, 15 (5) (2001), pp. 385-390
- [13] V. Fierro, J.L. Miranda, C. Romero, J.M. Andres, A. Arriaga, D. Schmal Prevention of spontaneous combustion in coal stockpiles: experimental results in coal storage yard Fuel Process Technol, 59 (1999), pp. 23-34

- [14] V. Fierro, J.L. Miranda, C. Romero, J.M. Andres, A. Arriaga, D. Schmal Model predictions and experimental results on self-heating prevention of stockpiled coals *Fuel*, 80 (2001), pp. 125-134
- [15] C. Sensogut, A.H. Ozdeniz Statistical modelling of stockpile behaviour under different atmospheric conditions, Western Lignite Corporation (WLC) case *Fuel*, 84 (2005), pp. 1858-1863
- [16] A.H. Ozdeniz, N. Yilmaz Artificial Neural Network modeling of the spontaneous combustion occurring in the industrial scale coal stockpiles with 10-18mm coal grain sizes *Energy Sources, Part A*, 31 (2009), pp. 1425-1435
- [17] A.H. Ozdeniz, O. Sivrikaya, S. Kelebek Statistical modeling of spontaneous coal combustion due to the effect of the sunrays *Energy Sources Part A*, 37 (2015), pp. 2114-2122
- [18] X.D. Chen, L.V. Chong Several Important Issues Related to the Crossing-Point Temperature (CPT) Method for Measuring Self-Ignition Kinetics of Combustible Solids *Process Saf. Environ. Prot.*, 76 (2) (1998), pp. 90-93, 10.1205/095758298529380
- [19] C. Sensogut, I. Cinar A research on the Spontaneous Combustion Tendency of Turkish Coals-Ilgın Lignite's Case *Mineral. Resour. Eng.*, 09 (04) (2000), pp. 9-14, 10.1142/S0950609800000342
- [20] X. Qi, H. Xin, D. Wang, G. Qi A rapid method for determining the R70 self-heating rate of coal *Thermochim. Acta*, 571 (2013), pp. 21-27, 10.1016/j.tca.2013.08.008
- [21] Y.L. Xu, D.M. Wang, L.Y. Wang, X.X. Zhong, T.X. Chu Experimental research on inhibition performances of the sand-suspended colloid for coal spontaneous combustion *Saf. Sci.*, 50 (4) (2012), pp. 822-827, 10.1016/j.ssci.2011.08.026
- [22] D.M. Wang, X.Y. Qi, X.X. Zhong, J.J. Gu Test method for the propensity of coal to spontaneous combustion *Procedia Earth Planet. Sci.*, 1 (1) (2009), pp. 20-26, 10.1016/j.proeps.2009.09.006

## YERALTI KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE ENJEKSİYON/KÖPÜK POMPASININ ÖNEMİ

C. Tuz<sup>1\*</sup>, T. Çağlayan<sup>1</sup>, E. Kahraman<sup>2</sup> ve A. Erel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Weber Madencilik

(\*Sorumlu yazar: [caner.tuz@weber-madencilik.com](mailto:caner.tuz@weber-madencilik.com))

<sup>2</sup>Polyak Eynez Enerji Üretim Madencilik San. ve Tic. A.Ş.

### ÖZET

Tam mekanize yeraltı kömür madenciliği üretim yönteminde tavan-taban koşulları, formasyonların su içeriği, vb. parametrelere bağlı olarak tavan duraylılık sorunlarının çözülmesi, kazı yapılan yüzeyin susuzlaştırılması, yalıtılması, vb. gereksinimleri ortaya çıkarmaktadır.

Çalışma kapsamında, yeraltında kimyasal enjeksiyon ve köpük uygulamalarının kullanım alanları ve bu uygulamaların yapılmasında kullanılan enjeksiyon makineleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinden uygulamaya yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Enjeksiyon pompaları, Kimyasal Enjeksiyon, Kimyasal Köpük, Yangınla Mücadele, Boşluk Doldurma, Sağlamaştırma ve Su Yalıtımı

### ABSTRACT

In full mechanized underground coal mining production method, some parameters such as hangingwall and footwall conditions, water content of formations, etc. result in stabilization of ground problems, dewatering the excavation face, water sealing, and so on requirements.

In this study, the application areas of chemical resin injection and foam in underground and injection pumps used in making these applications are examined. The evaluations were carried out based on the results obtained from these applications.

**Keywords:** Injection pumps, Resin injection, Chemical foams, Fire preventing, Cavity filling, Consolidation and Water sealing

## 1.GİRİŞ

Yeraltından tam mekanize kazı yöntemi ile kömür üretimi hem operasyon güvenliği hem de üretim miktarlarındaki fazlalıklar nedeniyle ciddi önem taşımaktadır. Tam mekanize kazıda ayaklarda ve taban yollarında yangın olayları, ayak içi tavan akmaları, yeraltı suyuna bağlı sorunlar, galerilerdeki formasyon değişimlerinde bozuk zeminlerden kaynaklı güvenlik sorunları gibi kritik süreçler yer almaktadır. Bu süreçlerin güvenli ve operasyonel olarak doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu tür süreçlerin doğru bir şekilde yönetilebilmesi için basınçlı hava ile çalışan enjeksiyon makineleri kullanılarak köpükle boşlukların doldurulması, enjeksiyon uygulamaları ile yerinde bozuk formasyonların sağlamlaştırılması, enjeksiyon uygulaması ile su yönünden yalıtımın sağlanması, hava yalıtım operasyonları ve enjeksiyonlu tam dolgulu kaya saplamaları, vb. uygulamalar yapılmaktadır. Özel durumlarda hidrolik direklerin kullanılması ve yürüyen tahkimatların hareket ettirilmesinde de enjeksiyon pompaları kullanılabilir.

Pnömatik motorlu-pistonlu enjeksiyon pompaları madencilik operasyonları için geliştirilmiş, kullanımı kolay ve taşınabilir pompalardır. Bu pompalarla temel olarak kimyasal enjeksiyon ve köpük uygulamaları olmak üzere iki temel faaliyet yapılabilmektedir.

Çalışma kapsamında, pnömatik motorlu pistonlu enjeksiyon pompaları genel özellikleri ile irdelenmiş ve bu pompalarla yapılan madencilik uygulamaları genel hatları ile sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, uygulamalara önerilerde bulunulmuştur.

## 2.ENJEKSİYON POMPALARI

Tam mekanize madencilikte pnömatik motorlu pistonlu kimyasal enjeksiyon pompaları kullanılmaktadır. Bu pompalar 2-7 bar arasında bir giriş basıncı ile çalışmaktadır. Çıkış basıncı pompa türüne göre farklılıklar göstermektedir. Enjeksiyon pompası ile sıvı malzemelerin basımı sağlanabilmektedir. Genel olarak, yeraltında kimyasal sıvıların karıştırılarak uygulanmasında kullanılmaktadır. Uygulanan yöntemler genel olarak enjeksiyon ve köpük uygulamaları olarak iki başlık altında değerlendirilebilir.

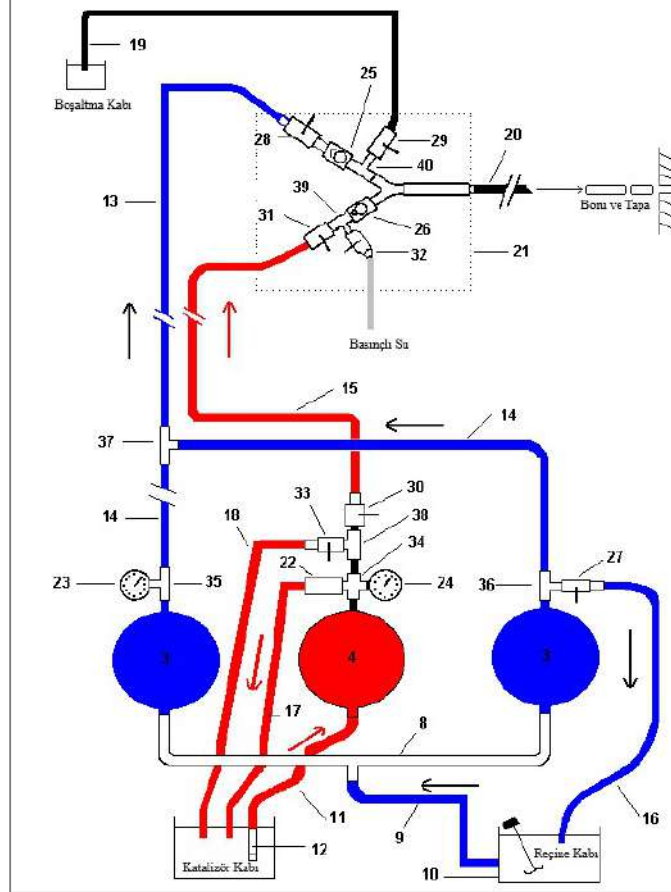
Çok fonksiyonlu ölçekli pompalar pnömatik motor ve pistonlardan oluşmaktadır. Reçine ve katalizörün istenilen oranda karıştırma tabancası yardımı ile karıştırılmasıyla köpük veya enjeksiyon ürünü elde edilir. Problemleri bölgeye malzemenin iletimi hortum ile uzaktan sağlanmaktadır. (Xiang-ming Hu,2014)



Şekil 1. Enjeksiyon pompası (Xiang-ming Hu,2014)

## 2.1. Enjeksiyon Makinesi ile Kimyasal Köpük Uygulaması

Kimyasal köpük uygulaması katalizör ve reçine adı verilen malzemelerin belli oranlarda karıştırılması ile gerçekleştirilen bir uygulamadır. Bu oran genellikle 4-1 olarak belirlenmektedir. 2 birim hacimli iki piston ile reçine ve 1 birim hacimli piston ile katalizör basımı yapılarak istenilen oran oluşturulmaktadır. Köpük uygulaması genel akış şeması Şekil 2' de ve kimyasal köpük uygulamasında kullanılan ekipmanlar Çizelge 1' de verilmiştir (Weber Pompa Kullanım Kılavuzu, 2012)



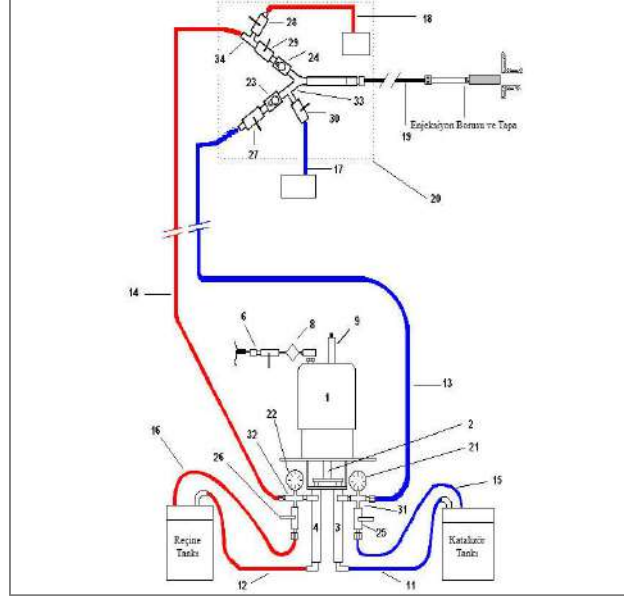
Şekil 2. Enjeksiyon pompası ile köpük uygulaması

Çizelge 1. Köpük uygulamasında kullanılan makine ekipmanları

No	Malzeme Adı
8, 12	Emme borusu
9, 11	Emiş hortumu
10	Reçine beleme tankı
13, 14, 15, 16, 18, 19	Hortum-DN 13
17, 20	Hortum-DN 10
21	Enjeksiyon tabancası (komple)
22	Emniyet valfi – DN 13
23, 24	Manometre - ¼" M
25, 26	Çekvalf- DN 13
27, 28, 29, 30, 31, 32, 33	Vana – DN 13
34	Çapraz X Manşon - DN 13
35, 36, 37, 38, 39	T-Manşon - DN 13
40	T-Manşon - DN 10
41	Katalizör besleme tankı

## 2.1. Enjeksiyon Makinesi ile Kimyasal Enjeksiyon Uygulaması

Katalizör ve reçine malzemelerinin belli oranda karıştırılması ile yapılan bir operasyondur. Bu oran genellikle 1-1 olarak belirlenmektedir. Enjeksiyon pompasından orta piston (1 birim hacimli) sökülerek enjeksiyon operasyonu için hazır hale getirilir. 2 birim hacimli bir piston ile reçine ve 2 birim hacimli bir piston ile katalizör basımı yapılarak istenilen oran oluşturulur. Kimyasal enjeksiyon uygulaması genel akış şeması Şekil 3' de ve kimyasal enjeksiyon uygulamasın dakullanılan ekipmanlar Çizelge 2' de verilmiştir (Weber Pompa Kullanım Kılavuzu, 2012).



Şekil 3. Enjeksiyon operasyonu pompa kurulum şeması

Çizelge 2. Enjeksiyon uygulamasında kullanılan makine ekipmanları

No	Malzeme Adı
1	Pnömatik motor
2	Motor pistonu
3	Reçine pistonu
4	Katalizör pistonu
5	Piston yatak gövdesi
6, 25, 27, 28, 29, 30	Vana
8	Hava regülatörü
9	Basıncemniyetvalfi
11, 12	Emişhortumu
13, 14, 15, 16, 17, 19	Hortum – DN 13, DN 10
20	Enjeksiyon tabancası (komple)
21, 22	Manometre
23, 24	Çekvalf - DN 13
31, 32	Çapraz X Manşon - DN 13
33	T-Manşon - DN 13

Enjeksiyon ve köpük uygulamalarına göre pompaların teknik özellikleri değişmektedir. Basma mesafesi oldukça önemli bir parametre olup 600 metre uzaklığa kadar çıkarılabilmektedir. Pompaların giriş basıncının çıkış basıncına olan oranı en fazla değeri 27-34 arasında değişmektedir. Bu oran kullanılan hatlara, basılacak olan malzemenin türüne ve oranlarına göre değişkenlik göstermektedir. Enjeksiyon pompasının basma debisi 7 lt/dkile 24 lt/dk olacak şekilde basınca ve malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Pompaların tükettiği basınçlı hava miktarı dakikada 2 m<sup>3</sup> ile 5 m<sup>3</sup> aralığında değişmektedir. Pompaların besleme basıncı çalışma aralığı 2-7 bar arasında değişmektedir.



## ENJEKSİYON POMPASI İLE YAPILAN YERALTI MADENCİLİK OPERASYONLARI

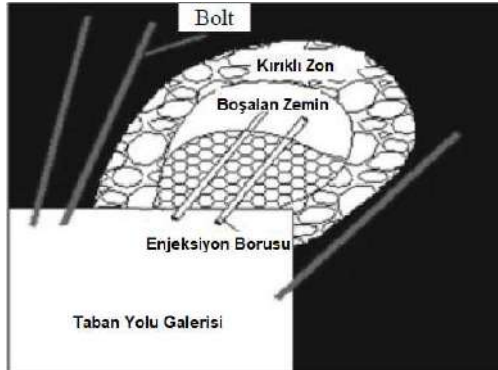
### 3.1. Boşluk Doldurma Operasyonları

Boşluk doldurma operasyonları genellikle ayak içinde gerçekleştirilen bir uygulamadır. Ayak içinde kesici-yükleyicinin gerisinden konveyör arına itilmekte ve yürüyen tahkimat üniteleri konveyöre bitişik olacak şekilde ötelenmektedir. Kesici-yükleyicinin geçmesi ile tahkimatın arına ötelenmesi arasında geçen süreçte yaklaşık 10-15 yürüyen tahkimat ünitesi genişliğinde tahkimatsız bir alan oluşmaktadır. Ayak içinde mekanizasyonda meydana gelebilecek değişik arızalardan (elektrik, hidrolik, mekanik) dolayı, bu süre daha da uzayabilir. Ayağın yeni bir haveye geçip konveyörün ötelenmesinden sonra yürüyentahkimat ünitesi alçaltılır. Daha sonra konveyöre bağlı piston vasıtasıyla şilt yeni haveye çekilir. Ötelenen tahkimat, tavan ve taban arasın asıkılır. Sıkılamanın etkisiyle özellikle zayıf yapıya sahip olan tavan koşullarında çatlaklar ve kırılmalar oluşabilmekte veya mevcut olanlar daha da ilerletilmektedir. Ayrıca, ayak üretim çalışmaları sırasında çıkan faylar da tavan kontrol sorunlarına yol açmaktadır (İbuk, vd, 1996) Bütün bu belirtilen faktörlerden dolayı, yürüyen tahkimatlar çekildiğin detavanı tam kapatamadığı durumlar oluşmaktadır; buna geleneksel olarak "tavanın kesik olması" adılır. Bir de; ayağın meyil yukarı çalıştırıldığı ve/veya kömür yapısının bozuk olduğu durumlarda arından kömür kendi kendine akmaktadır (arının çalışması durumu). Arının çalıştığı ve/veya tavanın kesik olduğu durumlarda, ilave tahkimat çalışmaları ile özel önlemler alınmaz ayak içinde göçükler oluşacaktır (Kahramanvd, 2011). Bu tür durumlarda yürüyen tahkimat üzerinde yalancı tavan oluşturulup, ayağın ilerletilmesi için şilt üzerinde akan/göçen kısma köpük alınması gerekmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Ayak içi yürüyen tahkimat üzeri boşlukların köpük ile doldurulması (Weber Kataloğu, 2019)

Yeraltında kömür içerisinde sürülen taban yollarında bazen anlık olarak açılmalar ve derin boşluklar oluşabilir. Kontrol altına alınmaması durumunda bu boşluklar büyüyerek mevcut riski arttırabilir. Bu geniş çaplı boşluklar kimyasal köpük malzemesi ile rahatlıkla doldurulabilir(Şekil5). Enjeksiyon pompasının basıncı sayesinde bu kimyasal ürünler zeminin kırıklı ve çatlaklı yapısı içerisinde rahat bir şekilde ilerleme sağlayabilir. Bu durum bozuk zemin içerisindeki kayaların birbirine bağlanmasını sağlar. Zemin dayanımı arttırılmış, göçük alanı kontrol altına alınmış ve meydana gelecek olan riskler elimine edilmiş olur (Xiang-ming Hu,2014).



Şekil 5. Taban yolu oluşan galeriboşluğunun köpük ile doldurulması(Xiang-ming Hu, 2014)

### 3.2. Sağlama İşlemleri Operasyonları

Kömür arınında bir fay zonu görüldüğünde veya ilerleme galerisi çatlaklı veya akan bir zemin içerisinde açıldığında, gerekli uygulamalar veya önlemler alınmadığı takdirde operasyonun güvenliği tehlike altındadır. Problemlili yapının sağlama yapılması ve zemin dökümlerinin önlenmesi için enjeksiyon operasyonu uygulanmaktadır (Şekil6).



Şekil 6. Mekanize ayaklarda enjeksiyon uygulaması (Weber Katalog 2019)

### 3.3. Su Yalıtım Operasyonları

Maden ocaklarında yeraltı suyu sorunları ani su baskınları ve su sızıntıları şeklinde görülmektedir. Ani su baskınları, genellikle karstik sahalarda oluşan doygun erime boşluklarında, eklem ve çatlaklarla magmatik kayalarda veya gerilme (çekme) kuvvetleri ile oluşan fay zonlarında görülmektedir. İşletmecilikte son derece önemli olan su baskınları maddi kayıplara ve bazen personel kayıplarına yol açmaktadır. Sızıntı şeklinde gelen yeraltı suları genellikle kayaların geçirimsizlik veya iletkenlik özelliklerine bağlı olarak boşalmasıdır (Doyuran, 1965).

Sızıntı şeklindeki su geliri pompa vasıtasıyla ocak dışına atılabilmektedir. Ancak, fazla miktarda su içeren yeraltı formasyonlarında yapılacak madencilik faaliyetlerinin güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kimyasal enjeksiyon uygulaması ile su yalıtımı yapılmaktadır (Şekil 7). Su yalıtımı için tıkama tekniği ve yalıtma tekniği olmak üzere iki farklı teknikte enjeksiyon uygulaması yapılır. Bu işlemler rahat bir şekilde yapılması için çok fonksiyonlu ölçekli pnömatik enjeksiyon pompalarının kullanılması gereklidir.

Tıkama tekniğinde su geliri olan bölgenin veya delginin kapatılması ile geçici çözüm sağlanır. Bu teknikte amaç tamamıyla yalıtım sağlamak değil, bölgesel olarak su gelirini önlemektir. Bu işlem enjeksiyon pompasının yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Yoğun su geliri olan bölgeye tıpa ve enjeksiyon çubuğu montajı sağlanarak, uygun kimyasalın kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

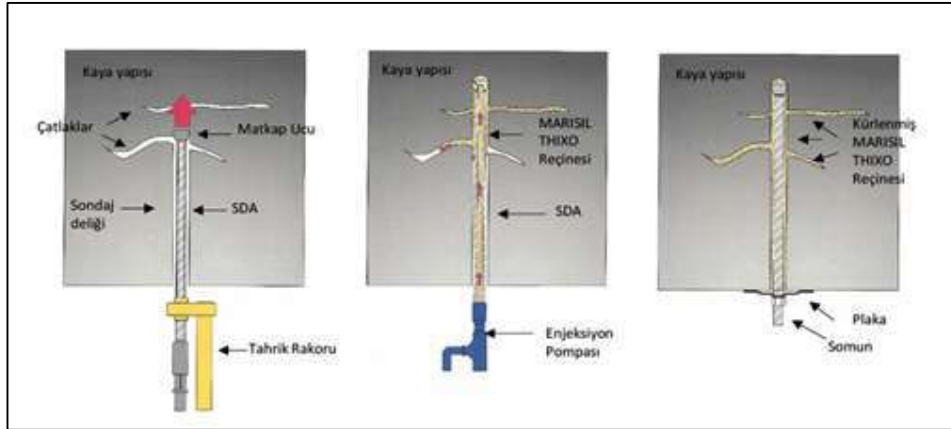
Yalıtma tekniği; suyun akabileceği tüm yarıkları, fissürleri ve diğer jeolojik süreksizlikleri yalıtım için tasarlanmıştır. Söz konusu durumda, amaç su penetrasyonunu tamamen durdurma değildir. Yalıtma işlemi, düşük genleşmeli veya genişlemeyen ürünlerin kullanımını içerir. Enjeksiyondan sonra, iki bileşenli jel ürünleri su geçirmez bir bariyer oluşturarak suyu başka bir yere yönlendirir.



Şekil 7. Enjeksiyönöncesivesonrasıgaleridurumları (Weber Katalog 2019)

### 3.4. Enjeksiyonlu Kaya Saplama Operasyonları

Kaya saplama kalitesi, yer altı çalışmalarında güvenli ve üretken madencilik için önemli bir faktördür. İstenilen sıyrılma ve yırtılma mukavemetlerine ulaşmak için zayıf zeminlerde tam reçine dolgulu kolonlar oluşturmak gereklidir. Tam reçine dolgulu kolonu reçine kartuşları ile oluşturmak operasyonun zorluğunu arttırmakta ve istenmeyen montajlara sebebiyet vermektedir. Uygun sıvı kimyasal reçineler kullanılarak bu işlemi enjeksiyon pompası ile sağlamak oldukça kolay bir işlemdir (Şekil 8). Bu yöntemde yapılan saplama uygulaması kartuş ile yapılan montajlara göre çok daha verimli ve kalitelidir.



Şekil 8. Kaya saplama tam reçine dolgu operasyon aşamaları (www.weber-mining.com)

Enjeksiyon pompasının Jumbo delici ekipmanlara montajı yapılarak ve kombine bir sistem oluşturulabilir (Şekil 9). Bu sistem ile efektif bir şekilde ankrjama işlemi yapılabilir. Sistem süreklilik içerdiğinden zaman tasarrufu ve operasyonel rahatlık sağlamaktadır (Fiscor, 2017).



Şekil 9. Jumbo turuncu hortumlar ile montajlanmış enjeksiyon pompası

### 3.5. Hava Yalıtım Operasyonları

Yer altı kömür ocaklarında meydana gelen yangınlar, hem üretimi engellemekte hem de yangın ürün gazlar ve ortaya çıkan ısı nedeniyle çalışanlar açısından risk taşımaktadır. Bu yüzden, yangınların her sürecinin dikkatli izlenmesi ve yangınlarla mücadelede uygun çalışma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Enjeksiyon pompası yardımı ile uygun kimyasal madde (izolasyonköpüğü) bu bölgelere uygulanarak yangın bölgesinin hava yalıtımı sağlanmakta (Şekil 10) ve bu sayede yangınlı bölgeye hava kaçması önlenmektedir. Aynı zamanda, yangının kontrol altında tutulması da sağlanmaktadır (Kahraman, vd., 2012).



Şekil10. Yangın bölgesine köpük bariyer yapılması temsili resim(www.weber-mining.com)

Kalın kömür damarlarında uygulanan arkadan göçertmeli uzun ayak üretim yönteminde ayak arkasındaki kızışmaların önlenmesi için ayak arkasına (göçük kısmına) azot uygulaması yapılmaktadır. Ayak arkasına uygulan anazotun ayak içerisine kaçmaması için yürüyen tahkimatlar arasında uygun kimyasal maddele rkullanılarak yalıtım yapılması önemlidir. Bu işlemde de enjeksiyon pompası kullanılmaktadır.

### 4.ENJEKSİYON POMPASININ KULLANIMINDA DİKKAT EDİLECEK HUSUSLAR

Enjeksiyon pompaları kimyasal maddelerle birlikte kullanılan ekipmanlardır. Enjeksiyon makineleri ile yüksek basınçta ürün elde edilmektedir. Uygulamalar genellikle sorunlu ocak bölgelerinde gerçekleştirilmektedir. Yüksek basınç ve kimyasal maddelerin kullanımından dolayı enjeksiyon pompalarının kullanımında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- i. Kullanılan enjeksiyon pompası, ekipmanları ve bağlantı elemanları uygun basınç dayanımına sahip olmalıdır.
- ii. Kullanılmadan önce pompa, bağlantı ekipmanları, hortumlar, vb. güvenlik açısından kontrol edilmelidir.
- iii. Enjeksiyon pompası ve ekipmanların her kullanım sonrası ve periyodik olarak kontrolleri yapılmalıdır.
- iv. Uygulamaya başlamadan önce asit gözlüğü, kimyasala dayanıklı eldiven, kimyasal maddeye karşı uygun geçirimsiz özellikte iş tulumu ve solunum koruyucu ve çalışma ortamının gerektirdiği diğer kişisel koruyucu donanımlar (bot, çizme, baret, vb.) giyilmelidir.
- v. Göze kimyasal sıçraması, vb. durumlar için göz duşu uygulamayı yapan personellerin üzerinde hazır bulundurulmalıdır.
- vi. Kimyasal maddeler uygun oranlarda makineye uygulanmalıdır.
- vii. Enjeksiyonun uygulandığı bölgede diğer çalışanların güvenli mesafede bulunması sağlanmalıdır. Tapa atmalarına karşı dikkatli olunmalıdır.
- viii. İçindeki kimyasal madde kullanılmış olan kimyasal madde bidonları ocak dışına çıkarılmalıdır.
- ix. Kimyasal maddenin çalışma ortamına akmamasına dikkat edilmelidir.

- x. Bu tür uygulamalar yeraltında sorunlu bölgelere yapıldığı için uygulamada ocak çalışma ortamı ile ilgili gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Enjeksiyon makineleri hafif olması, taşınabilir özellikte olması, vb. avantajlarından dolayı özellikle yeraltı mekanize kömür madenciliğinde tercih edilen ekipmanlardır. Bu ekipmanlarla kimyasal enjeksiyon ve kimyasal köpük uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalarla yeraltında tahkimatı akmış/defore olmuş bölgelere müdahale (boşluk doldurma), bozuk formasyonların yerinde sağlamlaştırılması, yeraltı suyu ile mücadele çalışmaları, enjeksiyonlu kaya saplaması uygulamaları ve ocak yangınları ile mücadelede hava yalıtımı gibi önemli sorunlar çözüme kavuşturulabilmektedir. Makinede yüksek basınçta ürün elde edilmesi/uygulanması ve kimyasal maddelerin kullanımından dolayı uygulamada iş sağlığı ve güvenliği açısından gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.

### Kaynaklar

- İbuk, A., Özarslan, A., Atlas, M. (1996) Orta Anadolu Linyitlerinde Ayaklarda Tavan Kontrol Sorunları ve Uygulanan Yöntemler, Türkiye 10.KömürKongresi, Zonguldak.
- Kahraman, E., Erdem, H.H. ve Sığırıcı, C. (2011).Park Termik Çayırhan Linyit İşletmesi Kazı Tahkimat Söküm İşleri Eğitim Kitabı, Teknik Not, Ankara.
- Weber Kataloğu (2019).
- Fiscor, Steve. *Engineering & Mining Journal (00958948)*. Jul2017, Vol. 218 Issue 7, p50-53. 4p.  
[www.weber-mining.com](http://www.weber-mining.com)
- Hu, X., Cheng, W. and Wang, D. (2014). Properties and Applications of Novel Composite Foam for Blocking Air Leakage in Coal Mine.
- Weber Multi Standard PompaKullanımKılavuzu, 2019
- Doyuran, V. (1965). YeraltıMadenciliğindeYeraltıSuyuSorunlarıveHidrojeolojikYaklaşım, BilimselMadencilikDergisi, Cilt:5, Sayı:5.
- Kahraman, E., Sığırıcı, C., Tarhan, Ş. veTaşkın, F.B. (2012). ÇayırhanLinyitişletmesi G SahasındaOcakYangınları İle MücadeleYöntemlerininİncelenmesi, Türkiye 18. KömürKongresi, Zonguldak.

**TTK KOZLU TAŞKÖMÜRÜ İŞLETMESİ DİK DAMAR ESNEK YARI MEKANİZE UYGULAMASI (KIRKAYAK)**  
*FLEXIBLE SEMI-MECHANIZED SUPPORT APPLICATION TO A STEEPLY DIPPING COAL SEAM IN TTK KOZLU  
COLLIERY*

İ. Güner<sup>1</sup>, N. Yılmaz<sup>1</sup>, N. Kayabalı<sup>1\*</sup>, H. Oruç<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Türkiye Taşkömürü Kurumu*  
(\*Sorumlu yazar: [nihatkayabali@hotmail.com](mailto:nihatkayabali@hotmail.com))

**ÖZET**

Yeraltı madenciliğinde dik damar kömür üretimi, dünya genelinde karşılaşılan önemli problemlerden birisidir. Bu çalışma, dik damar kömür üretiminde karşılaşılan problemlerin Esnek Yarı Mekanize Tahkimat Sistemleri ile çözülebildiği fiili bir uygulamayı kapsamaktadır. Bu uygulamanın sonuçları itibarıyla Zonguldak havzası ve ülke madenciliğine önemli katkıları olabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Dik damar, esnek yarı mekanize.

**ABSTRACT**

Production of steeply dipping coal seams in underground mining is one of important problems. This study covers a practical application in which problems encountered in producing steeply dipping coal seams can be solved by Flexible Semi-Mechanized Support Systems. It is believed that the results of this application will contribute to Zonguldak Hardcoal Basin as well as mining industry of the country.

**Keywords:** Steeply dipping coal seams, flexible semi-mechanized support.

## GİRİŞ

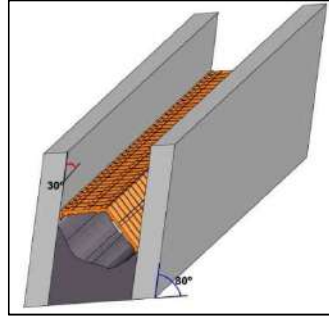
Dik damar üretiminde son 25 yıldır geniş uygulama alanı bulmuş olan Yüksek Basınçlı Hava Patlatmalı Kazı sistemi, üretimin tali havalandırmaya dayalı olması nedeniyle mevzuata aykırı bulunarak durdurulmuştur. Mevcut durumda dik damarlar için tek seçenek Kara Tumba üretim yöntemi kalmıştır. Ancak sistemin iş güvenliği, verimlilik ve çalışma koşulları açısından olumsuzlukları yeni bir sistem arayışını zorunlu kılmıştır.

Kozlu Müessesesi jeolojisi, irili ufaklı faylarla parçalanmış karmaşık bir yapıya sahiptir. Müessese dik damarları, 40-90° arasında farklı eğimlere, farklı kalınlıklara, eğim ve kalınlık değişkenliklerine, yatay ve düşey ondülasyonlara, kısmi arızalara ve genellikle ezik ve akıcı tavan taşına sahiptir.

Esnek Yarı Mekanize Tahkimat Sistemlerinin yapısal özelliklerinin müessese jeolojik koşullarına uygun olduğu değerlendirilmiş, sistem temin edilerek kurulum tamamlanmış ve üretim çalışmalarına başlanmıştır.

### ESNEK YARI MEKANİZE TAHKİMAT SİSTEMİ (KIRKAYAK) TANITIMI VE UYGULAMASI

Esnek Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi, dik damarlarda tali havalandırmaya dayalı tavan göçertmeli toplu sistemler yerine taban kazılı klasik uzun ayak (Diyagonal ayak) üretim yöntemidir (Şekil 1). Yerüstünde eğitim seti ve ocak içinde üretim çalışmaları başlanan tahkimatlar şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Diyagonal ayak

#### Çalışılan Panonun Özellikleri;

Damar adı ve yeri: -490/-560/ 221009/111056355 Büyük Damar

Kalınlık: 220-350cm

Ara kesme: 50cm

Eğim: 65-80°

Diyagonal ayak eğimi: 30°

Ayak Boyu: 120m

Pano Boyu: 400m

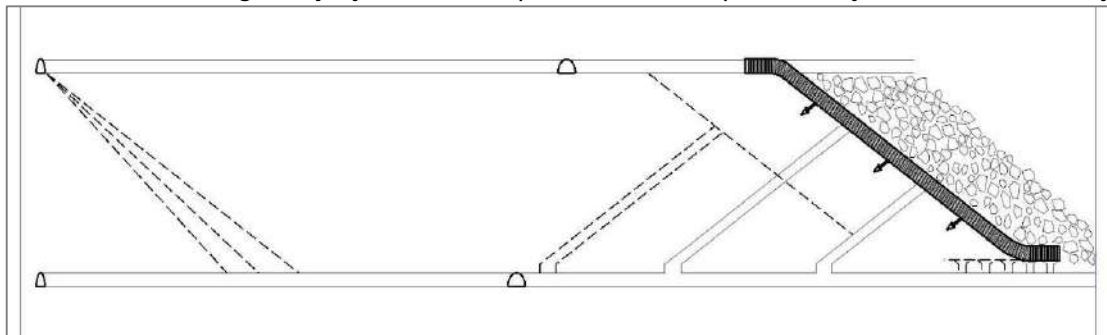
Tavan Taşı: Şeyl- siltardalanmalı yalancı tavan

Taban Taşı: İnce taneli kumtaşı



Şekil 2.Esnek Yarı Mekanize Tahkimatlar

Ayak önü başyukarılarla ortalama 40'ar m'lik paralel ayaklar oluşturulmuştur (Şekil 3). Böylelikle aynı anda birbirinden bağımsız çalışma arınları ile yüksek üretim seviyelerine ulaşılabilmesi hedeflenmiştir.

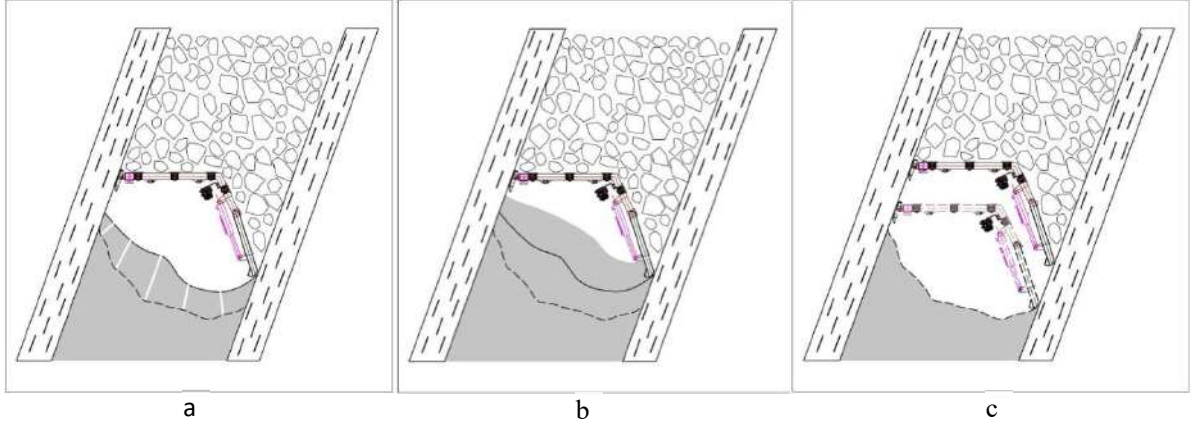


Şekil 3. Pano planı

Çalışma Prensipleri



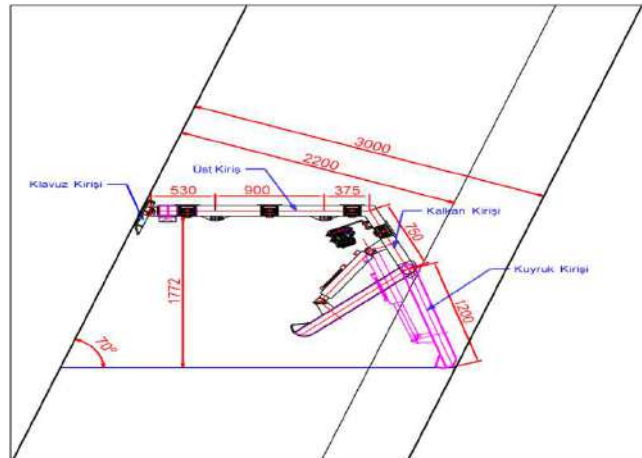
Kömürde taban kazısı için ateşleme düzenine göre delikler delinir ve patlatılır (Şekil 4.a). Patlatma sonrası gevşeyen kömür alınmaya başlanır ve tahkimat göçük baskısı ve kendi ağırlığı ile aşağıya doğru ilerler. Tahkimatta herhangi bir sıkışma söz konusu olursa kuyruk kirişi gevşetilerek ilerleme sağlanır (Şekil 4.b). Bütün kömür alındıktan sonra tahkimat doğru pozisyona getirilir ve çevrim tamamlanır (Şekil 4.c).



Şekil 4. Üretim kademeleri

#### Tahkimatın Yapısal Özellikleri

Tahkimatlar, hafif ve son derece esnek yapıya sahiptir. Parçalar kolaylıkla ayrılabilir, kolay taşınır, kurulum ve sökümü basittir. Bir kılavuz kirişi, bir üst kiriş, bir kalkan kirişi ve bir kuyruk kirişinden oluşmaktadır (Şekil 5).

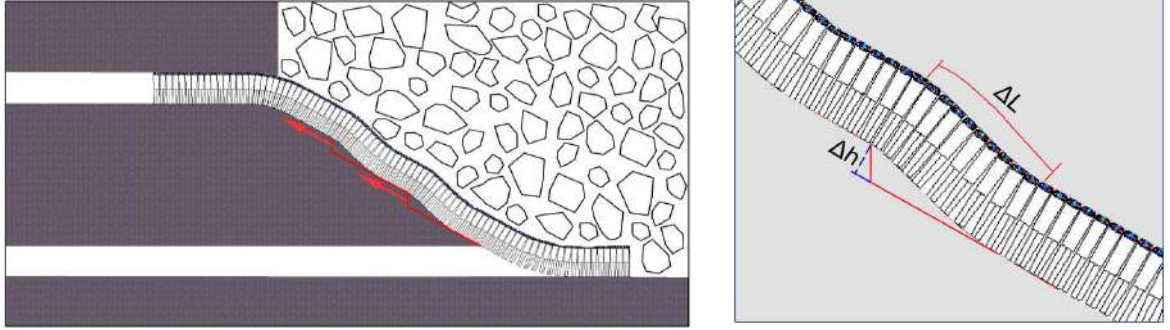


Şekil 5. 70°lik damarda 900 mm lik uzatma kirişi ile tahkimatın yapısal görünümü ve üretim kalınlığı (Zhicai, 2017).

Tahkimatlar damar kalınlığının minimum yüksekliğine göre tasarlanmıştır. Damar kalınlığının tahkimat maksimum kiriş uzunluğundan büyük olduğu noktalarda kuyruk kirişi gevşetilerek arkasındaki kömür göçertilerek alınmaktadır.

Damar kalınlığı tahkimat minimum kiriş uzunluğundan küçük olduğu arızalı bölgelerde taban taşı patlatılıp kırılarak ilerleme yapılmaktadır. Kömür damar açısı büyüdükçe, tahkimat üretim kalınlığı küçülmektedir. Burada 900 mm lik üst kiriş çıkarılarak aynı tahkimat ince damarlar için de kullanılabilir.

Tahkimatlar, zincirle bağlantılı olup esnek hareket imkanına sahiptir. Tavanın % 95' inden fazlası kapatıldığından posta akıntısı söz konusu değildir. Yapısal olarak yukarıdan aşağıya enleri daraldığından açı değişimlerine kolay uyum sağlayabilmekte ve böylelikle tamamen esnek olarak hareket edebilmektedirler. Her 10 tahkimat grubu için 1,2m ondülasyon imkanı vardır(Şekil 6).



Şekil 6. Tahkimatların tavan ve taban ondülasyonlarına uyumu

Her bir tahkimatın yük direnci 1000 KN (100 ton) dur. Her bir metrede 3 adet tahkimat olup bir metreye ait yük direnci 3000KN (300 ton) olarak hesaplanmıştır. İhtiyaç olan bölgelerde her 3-5 şilte bir ilave hidrolik direk kullanarak tahkimatların yük direnci artırılmaktadır. Tahkimatların temel teknik parametreleri çizelge 1 de verilmiştir (Zhicai, 2017).

Çizelge 1. Tahkimatın teknik özellikleri

Eleman	Birim	Ölçüler	Not	
Klavuzkiriş	mm	350*200	Klavuzkiriş üstkirişe, şaft pim ile bağlıdır. Üst kiriş iki parçadan oluşur. Üst kiriş oluşturulan iki parçanın bağlantısı vidalıdır. Üst kirişin kalkan kirişine bağlantısı ise sabit tiptir. Kalkan kiriş ve kuyruk kiriş bağlantısı bir piston ve pimlidir. Komşu tahkimatlar birbirlerine 3 adet zincirle bağlanır.	
Üst kiriş	mm	(530+900) *320		
Kalkan kiriş	mm	(375+750) *(320-300)		
Kuyruk kiriş	mm	1200* (280-260)		
Tahkimat max kiriş uzunluğu	mm	3000		
Tahkimat min kiriş uzunluğu	mm	2200		
Kuyruk kiriş pistonu		φ100-370		Her tahkimatta 1 adet
Tahkimat merkezler arası mesafe	mm	370		Tahkimatlar arası boşluk 50mm
Pompa istasyon basıncı	MPa	20		
Tahkimat ağırlığı	KG	~ 500kg		
Çalışma sıvısı		M10 emulsion		

## SONUÇLAR

- 1.Esnek Yarı Mekanize Tahkimat sistemleri ile dik damarlarda tali havalandırmaya dayalı üretim yerine ana havalandırma akışına bağlı diyagonal ayak üretim yöntemine geçiş sağlanmıştır.
2. Esnek yapılarından dolayı her türlü ocak şartlarına ve jeolojik değişikliklere çok kolay uyum sağlayabilmiştir.
- 3.Metan gazından kaynaklı riskler minimize edilmiştir. Dik damarlarda uygulanan diğer tavan göçertmeli topuklu sistemler yerine taban arını kazılması ile tavan boşluklarında biriken metan gazının ocak açıklıklarına yayılımı engellenmiştir.
- 4.Askıda kömür ve boşluk bırakılmayarak yangınla mücadelede önemli avantajlar sağlanmıştır.
5. Göçüklere karşı emniyetli işyeri koşulları sağlanmıştır.
6. Tozla mücadele daha efektif olmuştur.
7. İş kazaları ve meslek hastalıklarında proaktif bir yaklaşım imkanı yakalanmıştır.
- 8.Taban kazısı ile daha temiz kömür üretme imkanı olmuştur.
- 9.Ayak içinde ahşap kullanımı sıfırdır. Ahşap kullanımı sadece ayak önü bacalarla ve hazırlıklarla sınırlı kalmıştır.
10. Üretimin ilerleme hızına bağlı olarak taban yollarındaki demir bağların tamamı sökülerek geri kazanılmaktadır.
- 11.Üretim randımanları % 100 artmıştır.

## ÖNERİLER

- 1.Sisteme kesici monte edilerek “Esnek Tam Mekanize” ye dönüştürülmesi hususunda gerekli çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Zhikai, C. (2017). TTK esnek yarı mekanize tahkimat tasarımı.

## ZİNCİRLİ KOLLU KESME MAKİNASI ETKİNLİĞİNİN MADEN ÜRETİM ENDEKSİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ ASSESSMENT OF ARMED-CHAIN SAW MACHINE EFFICIENCY BY MINE PRODUCTION INDEX

M. Karaabat Varol<sup>1,\*</sup>, M.S. Saraç<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

(\*Merve Karaabat Varol: [mervevarol@sdu.edu.tr](mailto:mervevarol@sdu.edu.tr))

### ÖZET

Mermer ocaklarındaki blok üretiminde zincirli kollu kesme makinalarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Elmas tel kesme makinasına göre daha maliyetli olmasına rağmen, üretimin daha hızlı ve kolay olması, daha düzgün blok çıkarılabilirliği olması daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Mermer madenciliğinde amaç, minimum çatlaklı bloklar elde etmek, maksimum üretim ve verimlilik sağlamaktır. Bu amaca yönelik olarak araziden elde edilen verileri Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) metodu ile işleyerek performans değerlendirmesi yapmak önemli ipuçları vermektedir. Bu çalışmada, Burdur' daki birmermer ocağında kullanılan zincirli kollu kesme makinalarının etkinliğini soruşturmak amacıyla sahadan gerekli veriler toplanmıştır. Bu veriler; ekipmanın kesime hazırlık süresi, kesim süresi, planlı duruş süresi (yemek, hafta tatili), plansız duruş süresi (arıza, bıçak sıkışma), boşta bekleme süresi, hız kayıpları (bakım-onarım, bıçağın dalma süresi, vb.) gibi süreler olup vardiya boyunca günlük olarak tutulmuştur. Elde edilen sürelerden Kullanılabilirlik, Performans ve Kullanım parametreleri hesaplanmıştır. Önce üç parametre de eşit öneme sahip gibi düşünülerek Maden Üretim Endeksi değerlendirilmiştir. Daha sonra uzman kişilerin görüşlerine başvurularak parametrelerin ağırlıkları belirlenmiş ve Maden Üretim Endeksi hesaplanmıştır. Sonuç olarak zincirli kollu kesme makinasının etkinliğini arttırmak için nelerin yapılabileceği tartışılmış, önem ağırlıklarının parametreleri nasıl etkilediği değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Zincirli kollu kesme makinası, toplam ekipman etkinliği, maden üretim endeksi, verimlilik

### ABSTRACT

In the production of blocks in marble quarries, the usage of armed-chain saw cutting machines is becoming widespread. Although it is more costly than diamond wire cutting machine, it is more preferred as production is faster and easier, block removal is shapely. The aim of marble mining is to produce minimum cracked blocks and to provide maximum production and productivity. For this purpose, performing performance evaluation by processing the data obtained from the field with Overall Equipment Efficiency (OEE) method gives important clues. In this study, essential data were collected from the field in order to investigate the efficiency of the armed-chain cutting machines used in a marble quarry in Burdur. These data, which are preparation time for cutting, cutting time, planned stopping time (meal, week holiday), unplanned stopping time (breakdown, blade jamming), idle time, speed losses (maintenance-repair, dip time of the blade, etc.), kept daily during the shift. Availability, Performance and Utilization parameters were calculated from actual times. First, all three parameters were considered to be of equal importance and the Mineral Production Index was evaluated. Then, weights of the parameters were determined by using the opinions of experts and Mineral Production Index was calculated. As a result, what can be done to increase the efficiency of the armed-chain cutting machine is discussed and how importance weights affect the parameters are evaluated.

**Keywords:** Armed-chain saw machine, overall equipment efficiency, mine production index, productivity

## GİRİŞ

Günümüzde mermer ve doğaltaşa olan talep arttıkça üretimin hızlı ve kaliteli olması önem kazanmıştır. Bu gelişime paralel olarak blok üretiminde zincirli kollu kesme makinalarının kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle, bu makinaların verimliliklerinin incelenmesi uygulayıcılara önemli ipucu sağlayacaktır.

Ekipman verimliliğini değerlendirme teknikleri endüstrinin pek çok alanında sıklıkla kullanılan tekniklerdir. Madencilikte ise şimdiki kadar ekipman verimliliği ile ilgili olarak daha çok performans analizleri üzerinde durulmuştur. Son yıllarda Toplam Ekipman Etkinliği ile ilgili çalışmalara da rastlanmaktadır.

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde mermer ocaklarında kullanılan ekipmanların daha çok kesme performansları üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Birçok araştırmacı saha ve laboratuvar çalışması olarak kesme performanslarının ekipman verimliliğinin etkisini araştırmışlardır. Copur vd. (2006), Yeşilkaya vd. (2009), Sarıısık, A. ve Sarıısık, G. (2010), Hekimoğlu, O.Z. (2014) Zincirli Kollu Kesme makinasının performansı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Eleren, A. ve Ersoy, M. (2011), Sarıısık, G. ve Sarıısık, A. (2012), Çelik vd. (2017) Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesme makinalarının performansını birlikte değerlendirmişlerdir.

Ancak literatürde, mermer ocaklarında kullanılan makineler üzerine Toplam Ekipman Etkinliği ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamaktadır. Toplam Ekipman Etkinliği üzerine yapılan çalışmalarda daha çok açık işletmede ve yeraltında kullanılan ekipmanlar dikkate alınmıştır. Andras vd. (2006), Andras vd. (2007), açık işletmede ekskavatörler üzerine, Brodny vd. (2016), yeraltı kömür ocağında kullanılan makineler üzerine, Stecula, K. ve Brodny, J. (2016), konveyörler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Stecula, K. ve Brodny, J. (2016), dört ekipman üzerinden çalışma yapmışlardır. Paraszczak, J., (2005), Elevli, S. ve Elevli, B. (2010), Mohammadi vd. (2015), Waqas vd. (2015), madencilikte kullanılan makineler üzerine Toplam Ekipman Etkinliğini uygulanmışlardır.

Bu çalışmada Burdur-Karaçal mevkindeki bir mermer ocağında kullanılan zincirli kollu kesme makinasının çalışma parametreleri incelenerek Maden Üretim Endeksi değerlendirilmiştir.

## TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ

Toplam Verimli Bakım (Total Productive Maintenance - TPM), 1971 yılında Japonya'da Japon Fabrika Bakım Enstitüsü (JIMP) tarafından geliştirilen, Toplam Kalite Yönetimi kavramından sıfır üretim hatası düşüncesini alıp bunu, hedefin sıfır arıza ve minimum üretim kayıplarına sahip olmak olduğu anlayışıyla ekipmanlara uygulayan bir kavramdır.

TPM, ekipmanın toplam kullanım süreci içinde maksimum etkinliğinin sağlanmasını hedefler. Nakajima 1988 yılında TPM'ı ekipman performansını yükselten bir metodoloji olarak tanıtmıştır. Nakajima'nın TPM'de kullandığı ölçüt Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness - OEE) olarak adlandırılmaktadır. Nakajima bir ekipmandan %100 yararlanılsa bile OEE değerinin ekipman performansı ya da çıktı kalitesi nedeniyle düşük olabileceğini göstermiştir. TPM uygulamalarının başarısının ölçülmesinde anahtar rol oynayan OEE, makine ve tesislerin hangi etkinlikte kullanıldığını ölçen çok önemli bir parametredir (Temiz vd., 2010).

OEE, herhangi bir makina veya üretim prosesinin etkinliğinin gözlemlenmesinde kullanılan bir ölçüm metodu olup, endüstride sıkça kullanılmaktadır. Amaç; şirketlerin gereksiz satın alımları yerine mevcut eldeki makine ve ekipmanların performanslarının artırılmasına odaklanmaktır.

OEE, Toplam Verimli Bakım için genelde anahtar veri olarak kullanılır ve TPM' in etkinliğini ölçmede büyükyardımlı olur. TPM prosesinin parçası olarak geliştirilmiştir ve birincil performans ölçüm

metodudur. OEE' nin 3 ana bileşeni bulunmaktadır ve bu üç bileşenin bir fonksiyonu olarak OEE aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$OEE(\%) = \text{Kullanılabilirlik oranı} \times \text{Performans oranı} \times \text{Kalite oranı} \quad (1)$$

**Kullanılabilirlik:** Makine çalışma süresinin planlı üretim süresine oranıdır. Nedenleri: Ekipman arızaları, malzeme eksiklikleri, hazırlık süreleri, değişim süreleri.

**Performans:** Gerçekleşen çalışma hızının makine teorik hızına oranıdır. Nedenleri: Standardın altında malzeme kullanımı, yanlış beslemeler, makine aşınması, operatör verimsizliği (kısa süreli duruşlar gibi). Geri kalan süre net operasyon süresidir.

**Kalite:** Toplam sağlam ürünün toplam üretime oranıdır. Nedenleri: Başlangıç Firesi, Hatalı parçalar vb.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışma Sahası Hakkında Bilgi

Çalışma alanı, Burdur il sınırları içerisinde Karaçal mevki olarak adlandırılan bölgededir. 2009 yılından beri faaliyet gösteren firmanın üretim kapasitesi 75.000 m<sup>3</sup>/ay' dır. Zincirli kollu kesme makinalarının ortalama üretimi ise 250.000 m/ay' dır (Şekil 1).



Şekil 1. Ocak genel görünümü

Zincirli kollu kesme makinaları, yaklaşık 50 yıl önce doğal taş endüstrisine girmiştir. Bu makinalar genellikle elmas tel kesme makinaları ile birlikte zaman kaybını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Sistem; kesme kolu (bıçak), ray sistemi ve ana gövde-kumanda panosu olmak üzere üç ana üniteden oluşmaktadır (Şekil 2). Bir örnek olarak, FANTINI 70 SUP-H model bir makinanın teknik özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir. Kolun kesme dilim kalınlığı 42 mm veya 38 mm olabilmektedir (Çopur vd., 2011). Burada bulunan zincirli kollu kesme makinalarının kesme dilim kalınlığı 42 mm' dir.



Şekil 2. Zincirli kollu kesme makinası genel görünüm

Çizelge 1. FANTİNİ 70 SUP-H model zincirli kollu kesme makinasının teknik özellikleri

• Referans veriler		
▪ Ana elektrik beslemesi		400 Volts 50Hz trifaz
▪ Kurulu toplam güç		61 kW
▪ Hidrolik yağ haznesi kapasitesi		300 lt
▪ Kolun dönüşü		360 <sup>0</sup>
▪ Kesme genişliği	38 mm	
▪ Ses gücü düzeyi A ağırlıklı		105 dB(A)
▪ Max. Akım tüketimi		112 A
▪ Yağ haznesi kapasitesi		30 dm <sup>3</sup>
▪ Kesme derinliği	max. 8 m	
▪ Titreşim düzeyi		öngörülen normatif sınırlar dahilinde
• Performans		
▪ Kesme hızı		0-15 cm/dakika
▪ Zincir ilerleme hızı		0-0.7 m/sn

## Yöntem

Bu çalışmada, mermer ocağında kullanılan zincirli kollu kesme makinalarının etkinliğini arttırmak amacıyla sahadan gerekli veriler toplanmıştır. Bu veriler; ekipmanın kesime hazırlık süresi, kesim süresi, planlı duruş süresi (yemek, hafta tatili), plansız duruş süresi (arıza, bıçak sıkışma), boşta bekleme süresi, hız kayıpları (bakım-onarım, bıçağın dalma süresi, vb.) gibi parametrelerdir. Bu süreler vardiya boyunca

günlük olarak tutulmuştur. Elde edilen bu veriler formüle uyarlanarak Maden Üretim Endeksi hesaplanmıştır.

Maden Üretim Endeksi (Mine Production Index – MPI) Amol Lanke tarafından madencilik üzerine geliştirilmiş bir yöntemdir (Lanke vd., 2014). Bu yöntemde Toplam Ekipman Etkinliği formülünde yer alan Kalite Oranı yerine Kullanım parametresi kullanılmıştır. Maden Üretim Endeksiformülü şu şekildedir:

$$MPI = (A)^{w1} \times (P)^{w2} \times (U)^{w3} \quad (2)$$

Burada;

A: Kullanılabilirlik (Availability)

P: Performans (Performance)

U: Kullanım (Utilization)

w1: Kullanılabilirlik ile ilgili ağırlık oranı

w2: Performans ile ilgili ağırlık oranı

w3: Kullanım ile ilgili ağırlık oranı

Bu parametreler ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$A = \frac{TS-PD}{TS} \times 100 \quad (3)$$

TS: Toplam Çalışma Süresi (dakika)

PD: Planlı Duruş (dakika)

$$P = \frac{NOS-HK}{NOS} \times 100(4)$$

NOS: Net Operasyon Süresi (dakika)

$$NOS = Toplam Çalışma Süresi - Planlı Duruş - Plansız Duruş (5)$$

HK: Arıza Dışında Olan Bekleme Süreleri (dakika)

$$U = \frac{TS-PSD-B}{TS-P} \times 100(6)$$

PSD: Plansız Duruş (dakika)

BS: Boşta Beklenen Süre (dakika)

Burada her bir parametrenin etkisi aynı değildir. Etki oranları w1,w2 ve w3 ile ifade edilmekte olup, w1,w2 ve w3 ağırlıklarının toplamı 1' e eşittir. Bu çalışmada bir vardiya üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Planlı duruş süreleri, yemek saatleri ve hafta sonu tatilini, Plansız duruş süreleri, arıza süreleri ve kesintileri göstermektedir. Hız kayıpları ise arıza dışında gerçekleşen vardiya süresi içerisinde makinanın kurulumu, bakımı, bıçağın dalması, ray aktarma, yağ ilavesi/değişimi gibi üretim sırasında gerçekleşebilecek planlı olmayan anlık duraksamaları ifade etmektedir. Boşta beklenen süre ise operatör eksikliği veya üretim dışı planlama olduğu zaman ekipmanın arızalı olmadığı halde bekletildiği süredir.

Sahadan toplanan veriler doğrultusunda Kullanılabilirlik, Performans, Kullanım parametreleri eşit önem seviyesinde hesaplanabilmektedir. Fakat bu parametrelerin etkileri aynı değildir. Bu yüzdensaha tecrübesi olan toplam 17 kişiden(8 mühendis, 9 kalifiye işçi) görüş alınarak bu parametrelerin ağırlıkları değerlendirilmiştir. Bunun için değerlendirmeye alınması düşünülen ve uzmanların görüşüne sunulan 22 adet alt kriter belirlenmiştir. Bu alt kriterler; Kullanılabilirlik, Performans ve Kullanım kriterlerinin alt kriterleridir. Burada etkenlerin önem seviyeleri Çizelge 2' deki gibi derecelendirilmiştir.



Çizelge 2. Etkenlerin önem seviyeleri

Önem seviyesi	Çok Önemli	Önemli	Orta	Az Önemli	Önemli Değil
Etken	9	7	5	3	1

Maden Üretim Endeksindeki ağırlıkları belirlemek için uzmanların değerlendirilmesine sunulmuş olan anketin alt kriterleri şu şekildedir:

- Çevre etkileri (titreşim, gürültü, toz),
- Jeolojik faktörler (süreksizlik, çatlak, parçalı),
- Güvenlik,
- Üretim hızı,
- Verimlilik,
- Hazırlık çalışmaları,
- Kalifiye eleman ihtiyacı,
- Topografik özellikleri,
- Süreklilik,
- Teknik destek,
- Bakım onarım kolaylığı
- Sağlık/tehlike
- Enerji tüketimi
- Sarf malzeme tüketimi (tel, boncuk aşınması, pabuç alınması)
- Amortisman

### Çalışma Alanı

Bu çalışmada iki tane zincirli kollu kesme makinası (ZKK) ile ilgili veriler 4 ay üzerinden değerlendirilmiştir. Sahadan ekipmanın kesime hazırlık süresi, kesim süresi, planlı duruş süresi (yemek, hafta tatili), plansız duruş süresi (arıza, bıçak sıkışma), boşta bekleme süresi, hız kayıpları (bakım-onarım, bıçağın dalma süresi, vb.) gibi süreler vardiya boyunca günlük olarak tutulmuş, aylık değerlendirme yapılmıştır.

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Parametreler eşit öneme sahip olarak düşünüldüğünde Maden Üretim Endeksi formülü sonucu zincirli kollu kesme makinalarına ait hesaplanan değerler şu şekildedir (Çizelge 3 ve Çizelge 4).

Çizelge 3. 1 nolu ZKK makinasına ait MPI değerleri

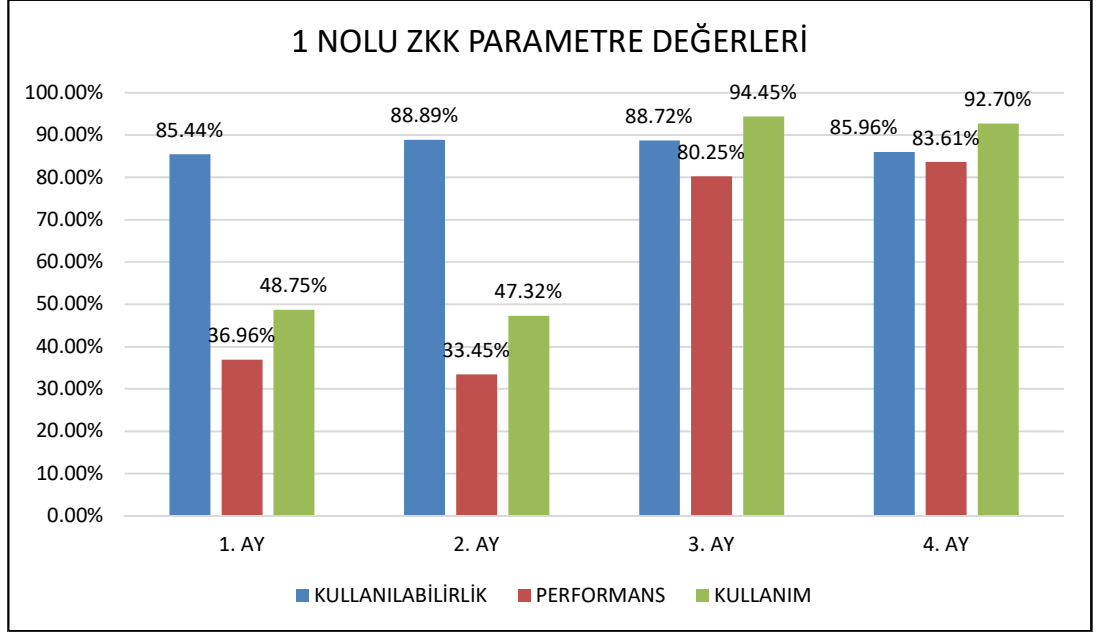
1 NOLU ZKK	Kullanılabilirlik	Performans	Kullanım	MPI
1. Ay	85,44 %	36,96%	48,75%	15,39%
2. Ay	88,89%	33,45%	47,32%	14,07%
3. Ay	88,72%	80,25%	94,45%	67,25%
4. Ay	85,96%	83,61%	92,70%	66,62%

Çizelge 4. 2 nolu ZKK makinasına ait MPI değerleri

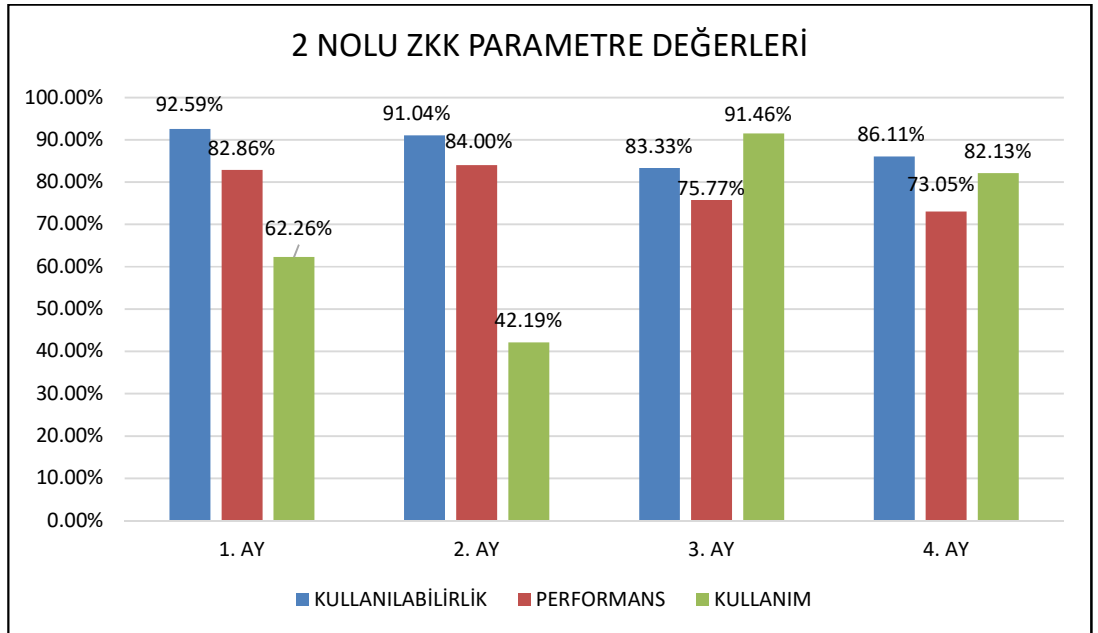
2 NOLU ZKK	Kullanılabilirlik	Performans	Kullanım	MPI
1. Ay	92,59%	82,86%	62,26%	47,77%
2. Ay	91,04%	84,00%	42,19%	32,27%
3. Ay	83,33%	75,77%	91,46%	57,75%

**4. Ay** 86,11% 73,05% 82,13% 51,66%

Zincirli kollar kesme makinaları için hesaplanmış olan Kullanılabilirlik, Performans ve Kullanım değerleri Şekil 3 ve 4' te grafiksel olarak gösterilmiştir.



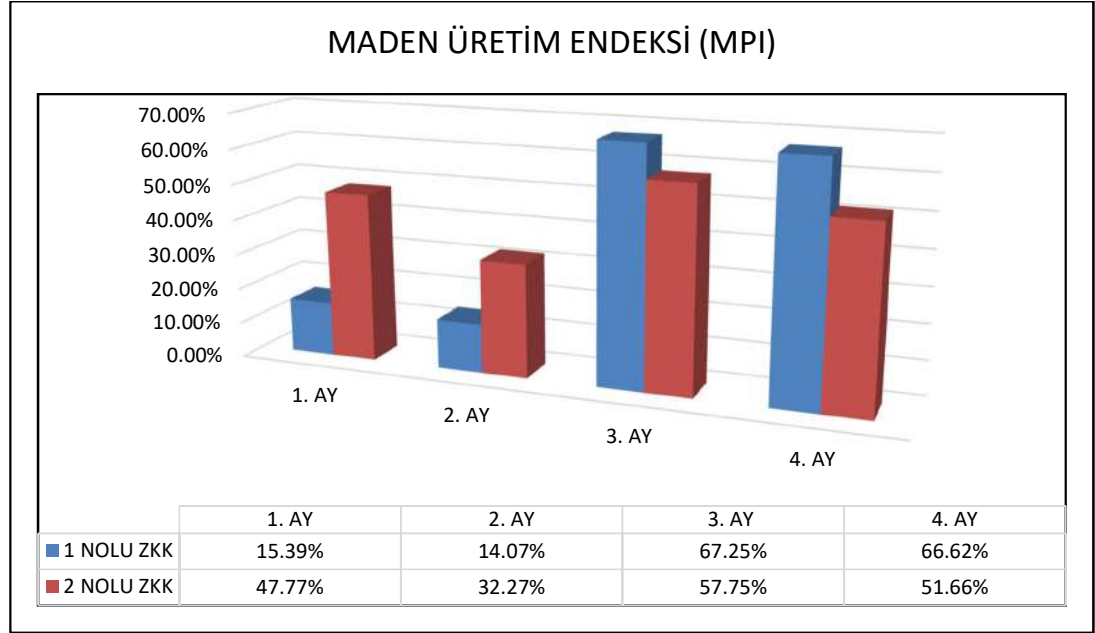
Şekil 3. 1 Nolu ZKK parametre değerleri



Şekil 4. 2 Nolu ZKK parametre değerleri

Şekil 5' te ise her iki zincirli kollar kesme makinası için MPI değerleri karşılaştırılmıştır. 1 nolu ZKK makinasından ilk 2 ay yeterli verim alınamamış, 3. ve 4. aylarda kabul edilebilir bir verim sağlanmıştır. Burada etkinliği arttırmak için hız kayıplarının indirildiği ve ekipmanın üretim planı içerisinde daha çok dahil edildiği gözlemlenmiştir. 2 nolu ZKK makinası için MPI değerlerinin 4 ay boyunca kararlı çalıştığı

gözlemlenmiş, 2. aydaki MPI değerinin azalışının Kullanım parametresindeki düşüşten kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 5. Hesaplanan MPI değerleri

Uzman görüşleri sonucunda yapılan değerlendirme sonucunda parametrelerin ağırlıkları belirlenerek Çizelge 5' de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Zincirli Kollu Kesme Makinası için parametrelerin bulunan ağırlıkları

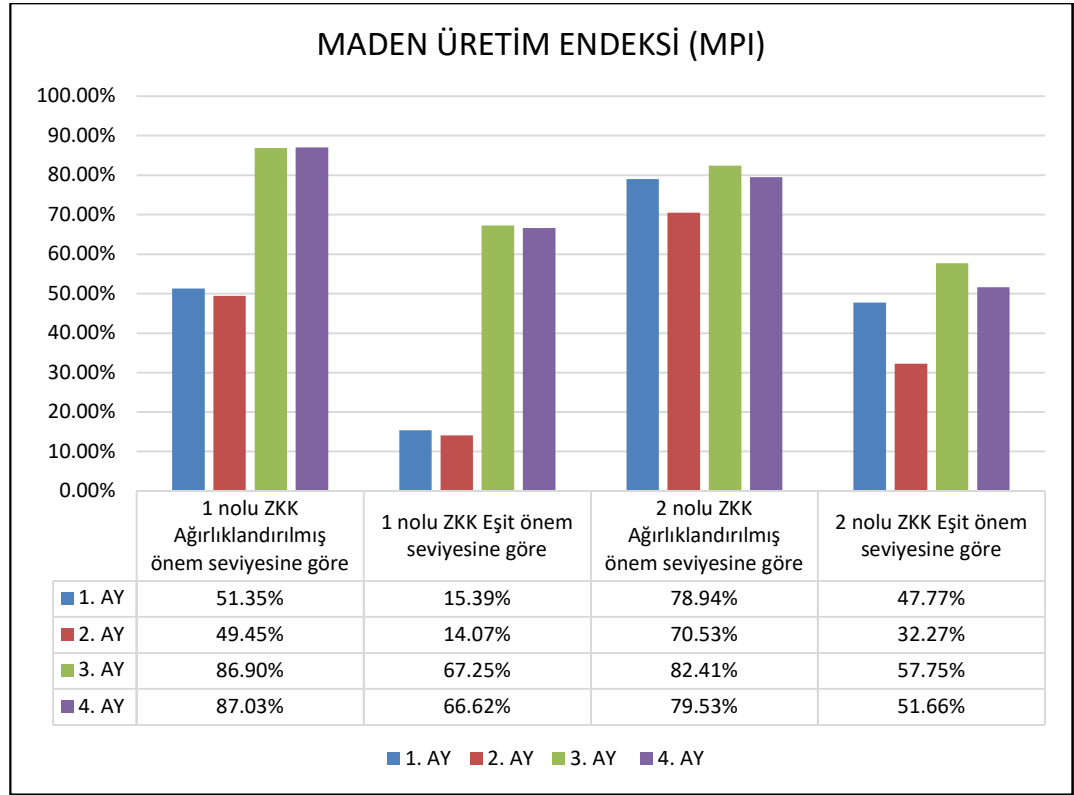
Parametreler	Bulunan Ağırlıklar
▪ Kullanılabilirlik	<b>0,31</b>
▪ Performans	<b>0,40</b>
▪ Kullanım	<b>0,29</b>

İstatistik olarak uzman görüşleri değerlendirildiğinde hesaplanan Maden Üretim Endeksi değerlerinin önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 6)

Çizelge 6. Hesaplanan MPI değerleri

MPI değeri	Eşit önem seviyesine göre		Ağırlıklı önem seviyesine göre	
	1 NOLU ZKK	2 NOLU ZKK	1 NOLU ZKK	2 NOLU ZKK
<b>1. AY</b>	15,39%	47,77%	51,35%	78,94%
<b>2. AY</b>	14,07%	32,27%	49,45%	70,53%
<b>3. AY</b>	67,25%	57,75%	86,90%	82,41%
<b>4. AY</b>	66,62%	51,66%	87,03%	79,53%

İşletmede 2 adet zincirli kollu kesme makinası birlikte değerlendirildiğinde, hesaplanan MPI değerleri arasındaki ilişki Şekil 6' da verilmiştir. Burada, 2 nolu ZKK makinasının 4 ay boyunca istikrarlı olarak daha etkin çalıştığı gözükmemektedir.



Şekil 6. Hesaplanan MPI değerlerinin karşılaştırılması

Sonuç olarak, bu çalışmada zincirli kollar kesme makinalarının çalışma parametreleri incelenmiştir. Burada ekipmanların Kullanım Oranlarının üretim planına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Kullanılabilirlik açısından her iki ekipman da yüksek değerlere sahip, kullanıma hazır bir şekilde bulunmaktadır. Performans açısından 2 nolu ZKK makinasının daha yüksek performansa sahip olduğu gözlemlenmiş, 1 nolu ZKK makinasının performansındaki düşüşlerin hız kayıplarının fazla olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Hız kayıplarının sebepleri araştırılarak 1 nolu ZKK makinası tekrar üretimde kullanılmaya başladığında daha hızlı ve kaliteli kesim yapacağına karar verilmiştir.

Mermer ocaklarında ekipmanların etkinliğini arttırmak için benzer çalışmalar yapılmalı, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek verim düşürücü etkenler belirlenmeli ve daha verimli çalışma ortamları sağlanmalıdır. Bu tür çalışmalar, mermer ocaklarında daha etkin ve verimli üretim sağlanmasının yolunu açacaktır.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi ÖYP-05553-DR-15 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca çalışma sırasında Antalya Mermer A.Ş. firmasına ve yardımlarını esirgemeyen çalışanlarına teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D., Tomescu, L.C., 2006. Research Regarding the OEE (Overall Equipment Effectiveness) Assessment of the Coal Open Pit Mines Production System. Annals of the University of Petroşani Mechanical Engineering, 8, 139-146.
- Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D., Tomescu, L.C., 2007. Overall Equipment Effectiveness Assessment of the Open Pit Coal Mining Production System. 7<sup>th</sup> International Multidisciplinary Conference, Romanya.

- Brodny, J., Stecula, K., Tutak, M., 2016. Application of the TPM Strategy to Analyze the Effectiveness of Using a Set of Mining Machines. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Bulgaria.
- Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N., Tumaç, D., Feridunoglu, C., Dincer, T., Serter, A., 2006. Cutting Performance of Chain Saws in Quarries and Laboratory. M. Cardu, R. Ciccu, E. Lovers and E. Michelotti (Ed.), Proc. the 15th Int. Symp on Mine Planning and Equipment Selection (1324-1329), Turin-Italy.
- Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N., Tumaç, D., Avunduk, E., Demirel, Ş., Şimşek, A., 2011. Zincirli Kesme Makinelerinin Performans Tahmini İçin Görgül Bir Model. 3. Maden Makinaları Sempozyumu, (55-65) İzmir.
- Çelik, M.Y., Ersoy, M., Yeşilkaya, L., Kayı, Z., 2017. Mermer Ocaklarında Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesme Makinelerinin Birlikte Kullanımının İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 20(2), 459-473.
- Eleren, A., Ersoy, M., 2011. Mermer Ocaklarında Elmas Tel ve Kollu Kesiciyle Kesme Teknolojilerinin İş Güvenliği Bakımında Karşılaştırılmasında Hata Türü Etki Analizi Yönteminin Uygulanması. Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi, 4(1), 9-19.
- Elevli, S., Elevli, B., 2010. Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE. Acta Montanistica Slovaca, 15(2), 95-101.
- Hekimoğlu, O.Z., 2014. Studies on Increasing the Performance of Chain Saw Machines for Mechanical Excavation of Marbles and Natural Stones. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 72, 230-241.
- Lanke, A.A., Hosienie H., Ghodrati, B., (2014). "Application Of Mine Production Index To Focus Improvement And Achieve Production Assurance", (Submitted For Publication). ISBN 978-91-7583-038-4 (Pdf).
- Mohammadi, M., Rai, P., Gupta, S., 2017. Performance Measurement of Mining Equipment. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 5(7).
- Paraszczak, J., 2005. Understanding and Assessment of Mining Equipment Effectiveness. Mining Technology, 114(3), 147-151.
- Sariisik, A., Sariisik, G., 2010. Efficiency Analysis of Armed-Chained Cutting Machines in Block Production in Travertine Quarries. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 110, 473-480.
- Sariisik, A., Sariisik, G., 2012. Investigation of the Cutting Performance of the Natural Stone Block Production in Quarries with Armed-Chained Cutting Machine. Journal of Mechanical Engineering Science, 227(6), 1291-1301.
- Stecula, K., Brodny, J., 2016. "Application of the OEE Model to Analyze the Availability of the Mining Armored Face Conveyor", 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, ISBN 978-619-7105-56-8 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book1 Vol. 2, 57-64 pp
- Stecula, K., Brodny, J., 2016. "The Role and Meaning of Effective Use of Equipment in the Enterprises from the Mining Sector", [https://www.researchgate.net/profile/Kinga\\_Stecula/publication/305443083\\_THE\\_ROLE\\_AND\\_MEANING\\_OF\\_EFFECTIVE\\_USE\\_OF\\_EQUIPMENT\\_IN\\_THE\\_ENTERPRISES\\_FROM\\_THE\\_MINING\\_SECTOR/links/578f49fe08aebca4cadcc69.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Kinga_Stecula/publication/305443083_THE_ROLE_AND_MEANING_OF_EFFECTIVE_USE_OF_EQUIPMENT_IN_THE_ENTERPRISES_FROM_THE_MINING_SECTOR/links/578f49fe08aebca4cadcc69.pdf). Son erişim tarihi: 14.03.2019
- Temiz, İ., Atasoy, E., Sucu, A., 2010. Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 12(4), 49-60.
- Waqas, M., Tairq, S.M., Shahzad, M., Ali, Z., Saqib, S., 2015. Performance Measurement of Surface Mining Equipment by Using Overall Equipment Effectiveness. Pakistan Journal of Science, 67(2), 212-216.
- Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Çelik, M.Y., Çatalpınar, A., 2009. Kaklık-Denizli Traverten Ocağında Zincirli Kollu Kesicinin Kullanımının Araştırılması. Madencilik, 48(3), 43-54.

**AÇIK İŞLETME NAKLİYE SİSTEMLERİNDE BANT KONVEYÖRLERİN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ:  
AGREGA İŞLETMESİ ÖRNEĞİ**

*TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF TRANSPORT SYSTEM IN OPEN PIT: AN AGREGATE QUARRY*  
T. Mallı

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü*  
*Tahir Mallı: tahir.malli@deu.edu.tr*

**ÖZET**

Günümüzde açık maden işletmelerinde ekonomik çözüm algoritması, dinamik kısıtların teknik ve ekonomik faktörlerle optimizasyonunu gerektirmektedir. İşletmelerde artan enerji ve özellikle akaryakıt maliyetleri, beraberinde üretim maliyetlerini de yükseltmektedir. Açık işletmelerde giderlerin önemli bölümünü domine edentaşıma operasyonu için alternatiflerin geliştirilmesi ve uygulanması maliyetlerin düşürülmesinde etkili olacaktır. Bu nedenle, nakliye sistemlerinin bir madencilik realitesi olarak çevresel faktörler de gözönünde bulundurularak detaylı değerlendirilmesi gerekmektedir.

İşletmede yapılan saha çalışması ve önerilen alternatif model; agrega işletmesinde alternatif bant konveyör nakliyesinin konvansiyonel kamyon taşıma sistemine göre yüksek taşıma kapasiteleri ile daha avantajlı ekonomik çözümler üretebileceğini göstermektedir. Bu sistemin, işletmede yıllık nakliyat kapasitesinde % 36.16'lık kapasite artışı sağlaması ve taşıma maliyetlerini % 52.5 oranında düşürmesi öngörülmektedir. Böylece, açık işletmelerde artan mesafelerle karmaşık ve pahalı hale gelen nakliye işleminin, bant konveyör uygulamalarıyla daha teknik, yüksek verimlik ve ekonomik maliyetiyle sürdürülebilir rekabetçi üretimlerin gerçekleştirilmesi olasıdır.

**Anahtar Sözcükler:** Açık işletme, agrega işletmesi, nakliye sistemi, bant konveyör, maliyet, verimlilik

**ABSTRACT**

Nowadays, economic solutions with dynamic and restrictive factors require optimization in open pit mining. Increasing energy costs, especially fuel costs, increasing the unit production costs. Transport systems, which dominate a significant partial of the total cost in open pit operations, need to be evaluated in detail as the development of alternative solutions will effect the reducing costs. In addition, considering environmental factors is important for mining reality.

Field study and model applications, it shows clearly that alternative belt conveyor systems produce advantageous more economical solutions with high capacities compared to conventional truck haulage. This system is foresighted to reduce operating costs by 52.5 % and increase the annual production capacity by 36.16 %. Thus, it is possible to carry out the transportation process which is becoming increasingly complex and expensive in aggregate interprises with more technical high efficiency and sustainable competitive production costs with belt conveyor applications.

## GİRİŞ

Türkiye kalker ve agrega üretimi Avrupa'da ilk sırada, küresel ölçekte ise ilk beş içinde gelişme potansiyelini sürdürmektedir. 2017 yılında 84 milyon tonluk çimento üretimi gerçekleştirilmiştir. Dünya çimento üretimi 2014-2019 döneminde yıllık bazda tahmini % 4,5 büyümesi öngörülürken Türkiye'nin bu dönemde yıllık 98 milyon ton üretim ile çimento sektörünün % 5,7 büyümesi öngörülmektedir. Teknik, güvenli ve dayanıklı yapıların inşası için gerekli olan kaliteli, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir beton üretimi de yaygınlaşmaktadır. Türkiye, yaklaşık 100 milyon metreküp beton üretimiyle Avrupa'da ilk sırada, Dünya'da üçüncü en büyük hazır beton üreticisidir(Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) Başkanlığı,2019).Çimento sektöründeki bu büyüme; hazır beton, inşaat malzemesi ve agregaüretimini de etkilemekte ve temel hammadde olan kalker üretimlerinin de yükselmesini sağlamaktadır. 2017 yılı kalker üretimi, bir önceki yıla göre yaklaşık % 4 artarak 478,7 milyon tona ulaşmıştır(MİGEM,2019). Çimento ve yapı sektöründeki büyümeyle orantılı olarak artması öngörülmektedir.

Agrega üretimi sırasında, dizel yakıtların neden olduğu emisyon, ağır metaller gibi çevresel sorunlarından başka bir diğeri de agregalar yükte ağır pahada hafif malzemeler olduklarından agregaların nakliyesi ciddi bir maliyet girdisi oluşturmakta ve uzun mesafelerde etkisi tartışılmaz olmaktadır (Alexander, Mindness,2005). Günümüzde açık maden işletmelerinin temel sorunu artan enerji ve özellikle akaryakıt maliyetleriyle birlikte teknik ve ekonomik kısıtlar, işletmelerin üretim maliyetlerini yükseltmektedir. İşletmelerde taşıma operasyonu, giderlerin önemli bölümünü oluşturduğundan maliyetlerin düşürülmesinde daha etkili olacağı için nakliye sistemlerinde alternatif çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Açık işletme nakliye operasyonu tüm maliyet içindeki dağılımı incelendiğinde nakliyenin genel maliyetin %33'ünü oluşturmaktadır (Georgen,1987). Ülkemizde akaryakıt fiyatlarının da etkisiyle bu oran % 44 düzeylerine kadar çıkmaktadır. Açık işletmelerde planlama ve tasarımlarda teknik ve ekonomik kriterler ile birlikte çevresel kısıtların da dikkate alınması ve üretim maliyetlerini minimize edilmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla bu problem bir optimizasyon problemidir. Açık işletme optimizasyonu, genel olarak rezerv, üretim planlama, üretim kapasitesi ve koşullara uygun makine-ekipman planlaması, tasarım alternatiflerinin ekonomik değerlendirilmesinden oluşmaktadır(Dohm,1979). Optimum üretim planlaması ve işletme dizaynını beraberinde getirerek en az çevresel etki ile üretimin sağlanması ve kaynakların verimli kullanımı da mümkün olabilecektir (Başçetin,2011).

Sektörel anlamda karbon salınımında taşıma ve ulaşım sektörü % 14 paya sahiptir. Avrupa, ABD ve Kanada'da Karbonsuz trafik üzerine çalışmalar özellikle artarken akaryakıt kullanımı yerine temiz ve daha ekonomik elektriğin kullanımının da her geçen yıl artmaktadır.Birçok ülke taşıma ve ulaşımında temiz kaynakların uygulandığı elektrikli sistemlerin yaygınlaşması için kullanıcılara desteklerini arttırmakta vebunun için özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmakta olduğu uzmanlarca belirtilmektedir.Her maden sahası ve işletmesinin sofistike bir matematiği vardır. Önemli olan işletmelerde çözüm modelini doğru ve gerçekçi bir ifadeyle ortaya koyabilmektir. İşletmelere uygun olarak sistem ve makine optimizasyonu, açık işletme madencilğinde fizibilite ve planlama açısından oldukça önemlidir. Özellikle nakliye sisteminde yapılacak iyileştirme süreçleri, işletme giderlerinin önemli bir bölümünü üreten taşıma maliyetlerinin azaltılabilmesi işletmelere önemli kazanımlar sağlayacaktır. Bu yönüyle, bantlı könyeyör sistemleri, yüksek taşıma kapasiteleri ile avantajlı ekonomik çözümler sağlayabilmektedir. Ayrıca, emisyonlar da gözönünde bulundurulduğunda çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir(Mallı,2017).

## 2.LİTERATÜR

Agrega üretiminin tamamı açık işletme tekniğine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Taşocaklarında üretim prosesi; basamaklarda deliklerin patlatılması ile başlayıp orta büyüklükteki kaya parçalarına ufaltılan yığın malzeme dizel güçle çalışan ekskavatörlerle kamyonlara yüklenip taşınmaktadır. Bu malzeme, kırma-eleme tesislerine, silo veya stok sahalarına kamyon yada bantlanakledilmektedir(Başçetin,2011). Dünyada son yıllarda özellikle enerji verimliliğinin artırılması, düşük emisyonlu teknolojilerin kullanılması ve maliyetlerin düşürülmesi noktasında araştırmalar

yapılmaktadır. Almanya’da 450 taşocağının nakliye sistemi incelendiğinde; % 90 oranında konvansiyonel kamyon nakliyesi yapıldığı ancak değerlendirmeler sonucunda, % 41’inde bantlı konveyörler ile nakliyatın daha ekonomik olarak uygulanabileceği ortaya çıkmıştır(Braun,2017)

Genel olarak açık işletmeler alansal ve hacimsel olarak genişlik ve derinlik kazanmaktadır. Bununla birlikte taşınması gereken kütle artışı artan nakliye mesafesiyle birlikte üretim maliyetlerini de önemli oranda yükseltmektedir. Maden işletmelerinin sürdürülebilir efektif maliyetlerlere kabetleri için birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir. Açık işletmelerde nakliye, tüm operasyonlar içinde en önemlisi ve toplam işletme maliyetlerinin % 50 ‘sini oluşturmaktadır (Gamache, Alarie, 2002).Açık işletme nakliye operasyonu, maliyetler içindeki dağılımı incelendiğinde toplam maliyetin %33’ünü oluşturmaktadır (Georgen,1987). Ülkemizde akaryakıt fiyatlarının da etkisiyle bu oran % 44 düzeylerine kadar çıkmaktadır.

Açık maden işletmelerinde talep artışların karşılanabilmesi ve üretim artışlarının ekonomik olarak sağlanması da önem kazanmakta ve işletmelerde yüksek üretim kapasitelerini gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, kazılacak ve nakledilecek malzeme miktarının da fazla olması kazı, yükleme ve nakliye ekipmanlarının daha yüksek kapasitelere sahip olmasını gerektirmektedir. Maden makine-ekipmanları geliştirmekte olan yeni teknolojilerle, daha büyük kapasitelere erişmekte ve daha yüksek verimlilikler üretilebilmektedir. Böylelikle, açık işletme birim maliyetleri düşürülerek ekonomik açık ocak derinliği daha da derinleştirilmektedir (Çebi, 1994). Açık işletme madencilğinde cevher ve dekapaj malzemesinin taşınması işlemi, açık işletme operasyonları maliyetleri içinde ağırlıklı olarak en yüksek oranda etkilediği için işletme ekonomisinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, işletmelerde uygulanacak nakliye yöntemi ve seçilecek makina-ekipmanlar, giderlerin azaltılması, verimlilik artışı; maden işletmelerinde oldukça önem kazanmaktadır.

Açık işletme madencilği için makina-ekipman seçimi bir işletmenin ekonomik değerlendirmesini etkileyen, işletme tasarımı ve üretim planlamasında en önemli unsurlardandır. Tüm planlama prosesinin temel amacı, maliyet tahminidir ve gerçekte esas amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren seçimi yapmaktır (Lizotte, 1988).Planlama çalışmalarında ilk aşamada proje maden işletmesi derinlik, örtü-kazı oranı, rezerv-kalite değerleri, satış fiyatı, taşıma mesafesi gibi faktörlere göre tasarlanmaktadır. Stratejik planlamada ise uzun dönem maden planlaması ve makine-ekipman seçimi yapılmaktadır(Runge, 1998). Planlamanın temel, ideal işletme parametreleri ve makina-ekipmanlar maliyet değerini olabildiğince düşürmektir. Bu açıdan; nakliye sisteminde yapılacak iyileştirme ve geliştirme süreçleriyle işletme giderlerinin yarısına yaklaşan nakliye operasyon maliyetlerinin yüzdesel olarak birkaç değer azaltılması, işletme ekonomisine önemli kazanımlar sağlamaktadır (Mallı, 2006).

Maden işletmelerinde cevherin taşınması için birkaç alternatif yöntem bulunmaktadır. Sermaye ve ilkyatırım giderleri her iki nakliye yöntemi için uygulama ve saha koşullarına bağlıdır. Genellikle bant konveyör nakliyesi kamyon nakliyesine alternatif olarak tercih edilmektedir. Nakliye yönteminin seçimine etki eden temel faktörler; rezerv, üretim kapasitesi, yöntem, işletmenin jeoteknik ve koşulları, işletme derinliği ve eğimi, işletme ömrüdür. Ayrıca, işletme topoğrafik koşulları, malzemenin fiziksel özellikleri, tane iriliği, kırılma şekli, nem oranı ve yoğunluğudur (Şimşir vd, 2017).

Açık maden işletmelerinde genellikle konvansiyonel kamyon nakliyesi tercih edilirken bazı durumlarda bant nakliyesi uygulanmaktadır. Ancak, ilkyatırımı düşük kamyon nakliyesi ile düşük işletme giderine sahip bant nakliye sisteminin belirli bir eğim açısı, kapasite ve mesafeler için ekonomik analizleri yapılarak işletmelere uygulanması, taşıma maliyetleri ve birim maliyetlerin düşürülmesi hedefi için önemli ve gereklidir. Temel nakliye metodlarından kamyon nakliyesi kesikli bir operasyon iken bant nakliyesi ise sürekli sistemlerdir. Kamyon 8-12 derece eğimlerinde ve 0.3 – 8 km taşıma mesafelerinde çalışmaktadır. Taşıma maliyetleri 3.1 -5.0 cent-\$/ton-km iken bant konveyörler 17-20 derece eğimlere kadar çalışabilmekte ve taşıma maliyetleri 1.25 -3.75 cent\$/ton-km arasındadır(Hartman, Nutmanky,2002).

Açık işletme madencilği ile üretime başlayan maden işletmeleri, konik çukur tasarımlı 50 derecelik genel şev açısında; nihai işletme derinliğinin 76,2 m olması durumunda kaldırılan kütle 1 milyon ton iken işletme derinliği 2 katı (152,4 m) olması durumunda;kütle yaklaşık 10 milyon tona ve işletme derinliğinin 4 katı (304,8 m) olması durumunda ise kütle 100 milyon tona yaklaştığı belirtilmektedir(Hustrulid Kuchta,1995).Maden işletmelerinde derinlikle artan hacimsel miktar, işletmede farklı operasyonlarda



çalışacak makine ekipmanlar ile ilkyatırımlarını arttırırken işletme ekonomisini etkilemekte ve özellikle kamyonlar için kapasite ve sayısal artış söz konusu olmaktadır.Kamyon nakliyatı taşocaklarını domine etmekte ve teknolojik düzeyi de operasyon maliyetini kesinlikle etkilemektedir. Rasyonel bir seçim için kamyon nakliyesi teknik ve ekonomik yönleriyle detaylı analiz edilmelidir. Bununla birlikte tüm operasyonel parametreler, sahanın spesifik ve jeolojik koşullarına uygunluk ve yükleyici makinalarla uyumluluğu da gözönünde bulundurulmalıdır(Bodziony, 2016; Bazzazi,2009).

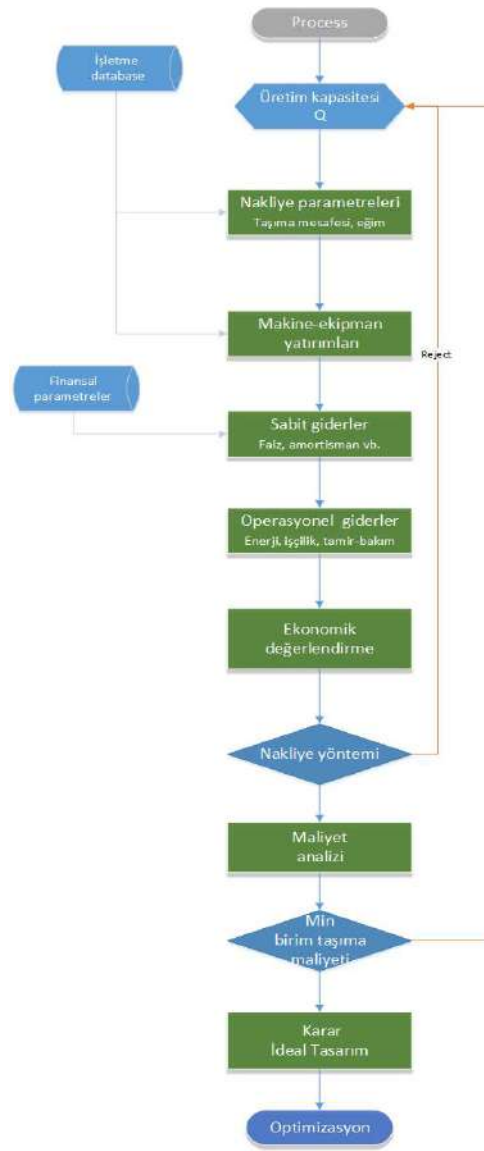
Bant konveyör sistemleri, işletme giderleri açısından daha düşüktür. Kapasite olarak maksimum esneklik sağlamakta ve nakliye akışının sürekliliğine olanak sağlamaktadır. Topoğrafya ve taban zemine uyum sağlayabilmektedir. Geleneksel bant konveyörler, % 35 hat eğimlerine kadar çalışabilmektedir. Konvansiyonel bantlı konveyör sistemleri, eğim aşağı yapılan nakliyatta 14° derece, eğim yukarı yapılan nakliyatta ise 18° derece eğime kadar cevher nakliyesi yapabilmektedir. Çalışma eğim açıları, sandviç tasarımlı profilli bantlar kullanılarak arttırılabilmektedir. Kamyonlar için çalışma eğim açısı maksimum 12° derecedir (Demirsoy,1984; Walker,2012; Yegulalp,2005). En uzun bant sistemi günümüzde 100 km'ye ulaşmış olup genellikle 20-30 km taşıma mesafelerine kadar çalışmaktadır(Zamorano, 2011).Bant konveyör sisteminde taşınacak malzeme miktarı ve nakliye mesafesi temel kriterdir.

Nakliyat kapasitesi, 300 ton/saat değerinden yüksek ise bant nakliyesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu kapasitenin altındaki nakliye kapasiteleri ile birkaç km'lik taşıma mesafelerinde kamyon nakliyesi daha ekonomiktir (Köse vd, 2009). Konveyör bant kapasitesi, genellikle çalışma hızı, bant genişliği ve maksimum malzeme boyutlarına bağlı olarak değişmektedir (SME,2011). Maden üretim kapasitesine bağlı olan ekonomik işletme ömürleri de diğer bir kriterdir. Bant tesisleri, genellikle 10 yıl ve üzerindeki orta ve uzun dönemli işletme ekonomik sürelerinde tasarlanmaktadır (Karpuz 2005; Thompson, Raymer 1981). İşletmelerde üretime geçiş süresinin kısa tutulması istendiğinde ve 10 seneye kadar kısa ömürlü,üretim kapasitesi 2 milyon ton/yıldan düşük olanküçük-orta büyüklükteki açık işletmelerde kamyon nakliyatı tercih edilmektedir.

Enerji giderlerinin düşürülmesi için yüksek verimlilik ve düşük emisyonlu konveyör teknolojisi ideal bir çözümdür. Geleneksel kamyon nakliyesi yerine, sürekliliği ile yüksek kapasiteli enerji tüketimi ve sera gaz emisyonları düşük olan konveyör bantlar ile maden ve agrega malzemelerin taşınmasına odaklanılmalıdır. Ekonomik, teknolojik ve çevresel açıdan sistem agrega işletmelerine büyük avantajlar sağlaması olasıdır.

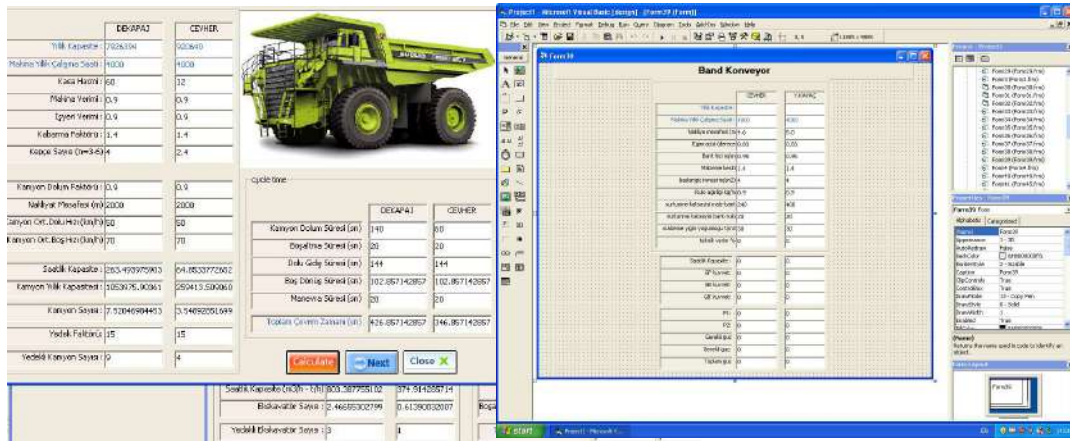
### 3.MODEL ÇALIŞMA

Model çalışmada, konvansiyonel kamyon nakliyesi gibi teknik ve ekonomik kısıtlar nedeniyle yaygın kullanılmayanbant konveyör nakliyesi alternatifi değerlendirilmektedir. Bu nakliye sisteminin ekonomik analizi yapılarak kapasite ve taşıma mesafesine göre birim ton taşıma maliyetleri belirlenmektedir.Nakliye yöntemlerinin teknik ve ekonomik analizi için bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Alt program farklı işletme kapasitesi ve diğer değişkenler için alternatiflerin taşıma maliyetlerini hesaplamaktadır. Programa ait akım şeması Şekil 1'de, arayüzleri ise Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Nakliye programına ait akım şeması

Nakliye sistem hesaplamaları ve değerlendirmelerinde Visual Basic tabanlı bilgisayar programından yararlanılmıştır. Program farklı alternatif yöntem ile üretim kapasitesi ve diğer değişken parametreler için birim cevher taşıma maliyetlerini hesaplamaktadır. Kamyon nakliyesi için değişen kapasite ve mesafelerdeki birim taşıma maliyetlerinin ve diğer alternatif nakliye yöntemi bant konveyör sistemine göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Açık işletme nakliye kapasiteleri için taşıma mesafesi ve çalışma eğimine bağlı olarak bant konveyörler için gerekli tahrik motor güçleri ve tesis ilkyatırımları bulunmaktadır. Bununla birlikte elektrik, işçilik, faiz, amortisman vb. gibi maliyetlerde dikkate alınmaktadır.



Şekil 2. Programın farklı nakliye sistemleri için ara yüzleri

Bant tesis yatırımları, artan nakliyat mesafesiyle birlikte taşıma maliyetlerini etkileyen temel parametredir. Ayrıca nakliyat kapasitesi de nakliye maliyetlerinde etkili bir diğer faktördür. Model çalışma,bant konveyör sistemlerinde bu temel faktörlerin taşıma maliyetlerini oldukça etkilediği görülmektedir(Çizelge 1).

Çizelge 1. Yatay eğimli bant konveyör sistemi taşıma maliyetleri(TL/ton)

Kapasite (ton/y)	Nakliye mesafesi(m)			
	500	1000	2500	5000
1 000 000	0.59	1.12	2.73	5.40
2 500 000	0.26	0.49	1.20	2.37
5 000 000	0.15	0.28	0.69	1.36
10 000 000	0.09	0.18	0.44	0.87

Yatay eğimde bant konveyör sistemleri yıllık taşıma kapasiteleri arttıkça daha ekonomik taşıma maliyetleri hesaplanırken ve artan mesafelerde ise maliyetler yatırım maliyetleriyle ve sistemin güç gereksinimi ile orantılı olarak artmaktadır. Açık işletme nakliye sistemlerinin planlanması ve tasarımında olabildiğince yüksek kapasiteli opsiyonların toplam birim maliyetlerin düşürülmesinde etkili olabileceği, bu nedenle işletme dinamiklerine bağlı olarak incelenmesi gerekmektedir. Böylelikle, açık işletme nakliye sistemleri tasarımında, taşıma mesafesinin yarattığı yüksek ilkyatırım amortismanları ve finansman maliyetlerinin etkisini azaltacak nakliye kapasitelerinde daha ekonomik birim taşıma maliyetleri sağlanabilecektir.

Ayrıca, bant konveyör sistemi; daha esnek, maden koşullarına uyumlu, iklime daha az bağımlı yapısı ile kolay kapasite artırımı sağlayabilmektedir. Açık maden işletmeleri için artan akaryakıt fiyatlarına karşın birçok avantajıyla birlikte ekonomik bir taşıma sistemi olarak rasyonel görünmektedir.

#### 4.SAHA UYGULAMASI: AGREGA İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

İşletmede agrega ve beton santrali için gerekli kalker; yıllık 5000000 ton üretim kapasitesine sahip taşocağında yapılan bir dizi operayonla; delme-patlatma, ekskavatör yüklemesi ve kamyon nakliye yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Günlük ortalama nakliye kapasitesi 18000 ton ve saatlik üretim kapasitesi 864 tondur. Malzeme dolomitik kireçtaşı ve yoğunluğu 2.8 t/m<sup>3</sup>dür. İşletmeden görünüm Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3.Çalışması yapılan agrega işletmesinden görünüm

Agrega işletmesinde sabit nakliye kapasitesi ve taşıma mesafesinde mevcut kamyon nakliyesi ve önerilen bant konveyör sistemleri için belirlenmiş parametre ve kabuller Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2.İşletme için mevcut ve önerilen nakliye sistemi parametreleri

Değişken Parametreler	Kamyon	Bant Konveyör
Nakliye mesafesi (m)	1033,0	602,0
Nakliye çevrim süresi (dk) (ort)	20,0	-
Bant konveyör hızı (m/s)	-	1,2
Ortalama kamyon hızı (km/h)	30,0	-
Nakliye eğim açısı (derece)	3,4	0
Kamyon kasa hacmi (m <sup>3</sup> )	18,0	-
Bant konveyör genişliği (mm)	-	1200
Kamyon fiyatı (TL)	250000	-
Bant tesis yatırım değeri (TL/m)	-	4150
Yakıt tüketimi (lt/km)	1,00	-
Lastik fiyatı (TL /adet)	1500	-
Bant başlangıç ivmesi (m/s <sup>2</sup> )	-	0,4
Rulo ve bant ölü ağırlığı (kg /m)	-	20
Malzeme-bant arasındaki sürtünme katsayısı	-	0,05
Rulo-bant arasındaki sürtünme katsayısı	-	0,01
Teknik verim (%)	72	75

## 5. DEĞERLENDİRMELER

Açık işletme nakliyesi için öngörülen birim ton başı cevher taşıma maliyet değerleri bant ve kamyon nakliyesi için hesaplanmaktadır. Bant konveyör sistemi yaklaşık 2,500,000 TL ilkyatırım bedeli gerektirmektedir. Bant konveyör sisteminin, amortizasyon süresi yaklaşık 2 yıl veya başka bir ifadeyle7,000,000 tonda amortismanını sağlayabileceği öngörülmektedir. Çizelge 2’de iki farklı nakliye sisteminde oluşması öngörülen ton başı taşıma maliyetleri analiz edilmektedir.

Çizelge 2.Nakliye sistemleri için öngörülen birim ton taşıma maliyetleri

Gider türü	Bant	Kamyon
Akaryakıt	-	0.152
Elektrik	0.056	-
İşçilik	0.038	0.100
Tamir bakım + Yedek parça	0.034	0.027
Lastik	-	0.010
Yağ + hidrolik	0.003	0.007
Amortisman	0.014	0.043
Faiz	0.071	0.073
Sigorta	0.005	0.006
Diğer + beklenmeyen	0.002	0.003
TOPLAM (TL/ton)	0.217	0.511

Model hesaplamalarına göre işletme koşullarında bant nakliyesinin kamyon nakliyesine göre ekonomik ve teknik açıdan oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Model çıktılarına dayanarak,

- İşletme üretim kapasitesi 5000000 ton/yıl için kamyon nakliyesi, 0.511 TL/ton taşıma sağlarken aynı üretim kapasitesi için bant konveyör nakliyesi 0.217 TL/ton ile daha ekonomik taşıma sağlayabileceği öngörülmektedir.
- Bu nedenle, bant konveyörler yükselen kapasite miktarları ve taşıma kapasitelerinde, ekonomik ve güvenli taşıma olanağı sağladıkları için yüksek kapasiteli işletmelerde rekabetçi, uygun maliyetli ekonomik çözümler sağlayabilmektedir. Ancak bazı koşul ve özel durumlarda ise kamyon ile kombine sistem tasarlanarak taşıma maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çözümler de geliştirilebilir.
- Bu çalışmada; agrega işletmelerinde çözüm alternatifi olarak bant konveyör nakliyesinin konvansiyonel kamyon taşıma sistemine kapasite kullanımında % 36.16 oranında iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca, taşıma maliyetlerinin % 52.53 indirildiği öngörülmektedir. Bu sistemin yatırım amortizasyon süresi yaklaşık 2 yıldır.

## 6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Açık işletmelerde dinamik faktörlere ve spesifik kısıtlara bağlı olarak iş güvenliği, sürdürülebilirlik ve kapasite gelişimi ölçütleri de gözönünde bulundurularak ideal nakliye sistemlerinin tasarlanması, ekonomik yönden işletme maliyetlerinin düşürülmesini sağlarken sektörel açıdan sürdürülebilirliği etkileyebilen kaçınılmaz bir realitedir. Bu nedenle, maden işletmeleri için yüksek kapasiteli ve uygun eğimli saha koşullarında mesafe sınırlaması olmaksızın bant nakliyesinin ekonomik çözümler üretebileceği öngörülmektedir.

Bant konveyörler, işletme ekonomisinde daha ucuz bir nakliyat işlemi ve dolayısıyla birim üretim maliyetleri sağlayacağı için açık maden işletmelerinde uygulamaları rasyonel görünmektedir. Bant konveyör tesis yatırımı, işletmelere ciddi finansman yükleri getirebileceği olası durumlarda; ilkyatırımı düşük kamyon nakliyesi ile düşük işletme giderine sahip bant nakliyesi kombine edilerek, birim taşıma maliyetleri ve üretim maliyetleri azaltılabilir, böylece derinleşip genişleyen açık işletmeler için nakliye işlemi, daha ekonomik, verimli ve güvenli olarak gerçekleştirilebilir. Geleneksel kamyon nakliyesi yerine, sürekliliği ile yüksek kapasiteli enerji tüketimi ve sera gaz emisyonarı düşük olarak bant konveyör sistemi ile maden ve agrega malzemelerin taşınmasına odaklanılmalıdır. Sistemin ekonomik, teknolojik ve çevresel açıdan agrega işletmelerine büyük avantajlar sağlaması olasıdır.

## KAYNAKLAR

- Başçetin A., Adıgüzel D., Tuylu S., 2011. The study of energy consumptions and CO2 emissions in the production of aggregate for different rock units. SME Annual Meeting, February 27. Denver-USA, CO. Preprint 11-026.
- A.A. Bazzazi, M. Osanloo, B. Karimi (2009). Optimal open pit mining equipment selection using fuzzy multiple attribute decision making approach. Archives of Mining Sciences, 54, 301-320.
- P.Bodziony, Z. Kastelewicz, P. Sawicki (2016). The problem of multiple criteria selection of the surface mining haul trucks. Archives of Mining Sciences, 61, 223-243.
- Braun, T., Hennig A., Lottermoser B. G. 2017. The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry: Journal of Sustainable Mining, In Press. DOI: 10.1016/j.jsm.2017.06.003
- Dohm, G. C. Jr., 1979. Circular Analysis-Open Pit Optimization. Open Pit Mine Planning and Design, (Ed. Hustrulid, W., Kuchta, M.) Balkema Rotterdam, 1995, 625.
- Hartman H.L., Nutmanský J.M., 2007 Introductory to mining Engineering, Wiley India pp. 145, New Delhi, ISBN 81-265-1135-4
- Hustrulid, W., Kuchta, M., 1995. Open Pit Mine Planning and Design, Fundamentals, Balkema, Rotterdam, 310.
- Runge, I.C., 1998. Mining Economic and Strategy. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, SME, Littleton, USA, 24-171.
- Çebi, Y., Köse, H., Yalçın, E., 1994. A Computer Program for the Selection of Open-Pit Mining Equipment and Economical Evaluation of Open-Pit Mining Methods, *Proceedings of the Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, İstanbul. 417-42
- Demirsoy, M., 1984. Transport Tekniği *İletim Makinaları*, Cilt I, DEÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Gamache M., Alarie S., 2002. Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. vol.16, pp. 59-76.
- Georgen, H. Festgesteins-Tagebau, Trans Tech Publications, Aachen, 1987. 96 pp.
- Karpuz, C., 2005. Açık Ocak Taşıma Yolu Tasarımı, *Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı*, Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., (Eds), TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s. 431-451, ISBN: 975-395-980-x.
- Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Kızıl, M.S., 2009. *Açık İşletme Tekniği*, 4. Baskı, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 256, İzmir.
- Lizotte, Y., 1988. Economic and Technical Relations between Open-Pit Design and Equipment Selection, Mine Planning and Equipment Selection, Singhaj (Ed), Balkema, Rotterdam.
- Mallı, T. 2006. Küresel Konumlama Sisteminin (GPS) Madencilikte Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- Mallı T., Gönen A., 2017. Açık İşletmelerde Bantlı Konveyör Nakliye Sisteminin Değişen Kapasite ve Taşıma Mesafesine Bağlı Ekonomik Analizi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Mühendislik Dergisi, Cilt 19, Sayı 57, Eylül 2017. Ss.1057.
- Saltoğlu, S., 2005. Kamyon Taşımacılığı, *Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı*, Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., (Eds), TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s. 453-463, ISBN: 975-395-980-x.
- Şimşir, F., Tatar, Ç., Özfirat, M.K., 2017. *Madenlerde Nakliyat*. Dokuz Eylül Üniversitesi, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 296, İzmir.
- Thompson, T.L, Raymer, F. B. , 1981. Transportation, storage, and handling of coal, in M. A. Elliott, (Ed.). *Chemistry of Coal Utilization*, 523–570.
- Walker, S.C., 1988. Mine Winding and Transport, Elsevier Science Publishers B.V. USA.
- Yegülalp, T., 2005. Bant Taşımacılığı, *Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı*, Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M.A., Tamzok, N., (Eds), TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s. 473-516, ISBN: 975-395-980-x.
- Zamorano, S., 2011. Surface Ore Movement, Storage, and Recovery Systems, *SME: Society Mining Engineering Handbook*, Darling, P., (Ed.), Third Edition, 977-987, 2011.

**YERALTI MADENLERİ İÇİN ANA HAVALANDIRMA FAN SEÇİMİNİN EKONOMİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**  
*AN ECONOMICAL EVALUATION OF MAIN VENTILATOR SELECTION FOR UNDERGROUND MINES*  
F. Karakoç<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zitron Türkiye([fezyi@zitron.com](mailto:fezyi@zitron.com))

**ÖZET**

Dünyanın ilk meslek dallarından biri olan madencilikte operasyon yönetiminde en önemli noktalardan biri maden ocaklarında işçiler ve ekipmanlar için güvenli çalışma alanları yaratmaktır. Güvenli çalışma ortamı yaratmanın da yolu başta yeraltında gerekli hava koşullarının sağlanmasından geçmektedir. Gerekli hava ihtiyacını ve çalışma koşullarına uygun sıcaklığı sağlamak için doğru bir havalandırma planı ile birlikte yeraltı ve yer üstünde çalışacak olan fanların doğru seçimi en önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada yeraltı madenlerinin ana fan seçimlerinin ekonomik olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Aynı debi ihtiyacına ve ocak direncine sahip bir maden ocağı için seçilebilecek farklı fanların veya ekipmanlarının operasyon maliyetine yaptığı etki gözlenmiştir. İlk olarak aynı debi basınç değerlerini farklı verimlilikte çalışan farklı fanlar ile sağlanması durumunda fanların farklı elektrik tüketiminden kaynaklı operasyon maliyetleri karşılaştırılmıştır. Operasyon maliyetine doğrudan etkisi olan fanlar üzerindeki elektrik motorların verimliliğinin de ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmış ve son olarak aerodinamik verimliliği arttırmak ve ana fanların kuyu başına kurulumundan kaynaklı oluşabilecek basınç kayıplarını minimize etmek adına yapılan CFD (Hesaplanmış Akışkan Dinamiği) çalışmasının fanların seçiminde neleri değiştirebileceği gözlenmiş ve CFD çalışması sonucunda elde edilen daha düşük operasyon maliyeti ile ilk yatırım maliyetinin basit olarak geri kazanım süresi hesaplanmıştır. Sonuç olarak yeraltı madenlerinde ana havalandırma fanı seçimin doğru bir şekilde yapılmasının ekonomik olarak yararları gözlenmiştir.

**Keywords:**Ana fan seçimi, fan verimliliği, operasyon maliyeti

**ABSTRACT**

One of the most important aspects of operations management in mining, which is one of the first professional branches of the world, is to create safe working areas for workers and equipment in mines. The way to create a safe working environment is primarily by providing the necessary air conditions underground. One of the most important factors is the accurately selection of fans that will operate underground and surface, together with the correct ventilation plan to ensure the required air demand and the temperature appropriate to the operating conditions. In this study, it is aimed to evaluate the main fan selection of underground mines economically. The effect of different fans or equipment that can be selected for a mine with the same flow requirement and mine resistance has been observed on the operation cost. Firstly, if the same flow pressure values are provided with different fans operating at different efficiency, the operating costs of the fans due to different electricity consumption are compared. Then, the efficiency of the electric motors on fans which have a direct effect on the operation cost was also evaluated economically and finally, it was observed that the CFD (Computational Fluid Dynamics) study could change the selection of the fans in order to increase the aerodynamic efficiency and to minimize the pressure losses due to the installation of the main fans per well. As a result of the lower operating cost and initial investment cost, the recovery period was calculated as simple. As a result, the economic benefits of correct selection of the main ventilation fan in underground mines have been observed.

**Keywords:**Main ventilator selection, efficiency of ventilator, operating cost

## INTRODUCTION

There is no doubt that one of the most important parameter of operating underground mines is to provide secure underground work places. Therefore, the significant point of providing secure work places is to send necessary amount of air to the workers and underground mining equipments. Therefore, it is called as mine ventilation. Main ventilators are used to provide required airflow throughout galleries by exhausting or boosting air. Selection parameters of main ventilators are gases, dust, temperature, moisture content, amount of employee and diesel equipment etc. It is given that ventilation layout of any mine in Figure 1. In this study, it is investigated that economical effects of accurately selection of main ventilators for underground mines. There are significant influences of ventilator selection on operating cost of ventilator during the mine life which are efficiency of ventilators, efficiency of electrical motors and the usage and design of plenum of ventilators.

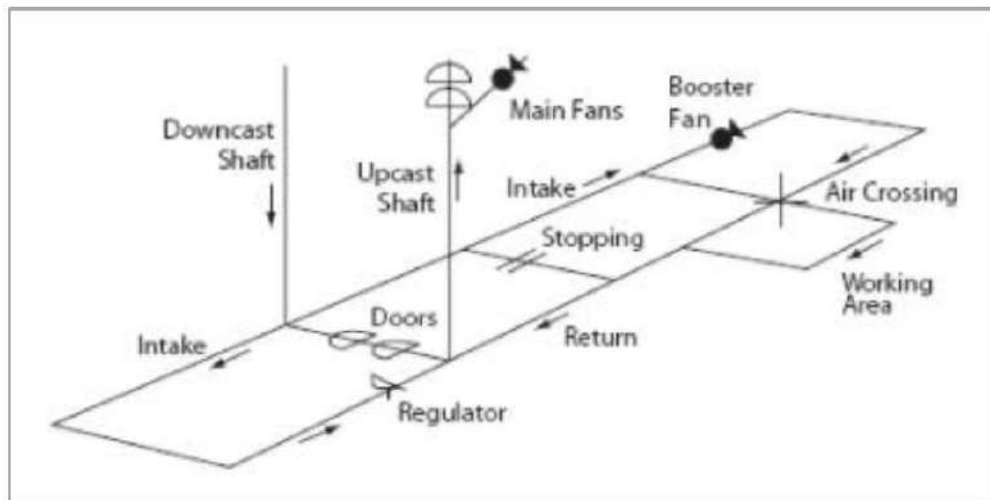


Figure 1: Basic ventilation layout of underground mine. (McPherson,2009)

Ensuring and checking the volume, direction and quality of fresh air in underground are the process which is named as mine ventilation. Providing enough amount and quality of fresh air, reducing and removing flammable, explosive gases and controlling the temperature and humidity are the main purposes of mine ventilation. Besides, the using for health and safety in mines, ventilation management system is a significant issue for to provide and measure the quantity and quality of airflow throughout the mine ventilation network(De Souza,2002).

### Main Ventilators and Selection Parameters

Ventilators are devices that creates pressure difference to provide airflow. Dynamic element of ventilators are impeller and it works on air and provides to gain static and kinetical energy. Ventilators are classified on the basis of airflow direction throughout impeller of air as axial and radial ventilators. In axial ventilators, air has a direction of longitudinal whereas in radial ventilators, air has a direction centrifugal force. We are going to observe axial main ventilators for underground mines. There are basic view of axial and radial ventilators in Figure 2 below.

In order to accurately select main ventilators for underground mines, all the parameters mentioned above are considered and airflow quantity is determined. After that, mine resistance is evaluated, therefore, duty points of main ventilator is defined. Every axial ventilator has characteristic performance curve based on airflow and pressure difference. After determining duty points of main ventilation fan for an underground mine, corresponding ventilator should be chosen by taking into consideration performance curve of ventilators. In this study, it is assumed duty point of 130 m<sup>3</sup>/s-2000



Pa(Mine Resistance+ Pressure Losses originated from ventilator accessories and installation) which is provided by using 2 parallel ventilators.



Figure 2: Axial and radial ventilator pictures.

There are three important factors to accurately determine ventilator model which are ventilator inlet airflow quantity, ventilator pressure and efficiency of ventilator. Measurement of fan performance are made to represent the actual airflow the fan and must therefore be sited to ensure there is no change in the properties of the airflow between the measuring site and the fan inlet. Such changes may include density caused by differing temperature and pressure as well as airflow quantity caused by leakage into or out of system. For our duty points (130 m<sup>3</sup>/s-2000 Pa) selected ventilator models are Zitron ZVN 1-18-180/6 which are going to work parallel. Fan performance curve is given below.

#### Efficiency Of Ventilators And Its Effects On Total Energy Consumption

Efficiency of ventilator is important as it determines the cost of power necessary so as to operate ventilator. Also it is evaluated by using following equation;

$$\eta = \frac{Q \times P}{W} \quad (1)$$

$\eta$ : efficiency (%)

$P$ : pressure (Pa)

$Q$ : airflow (m<sup>3</sup>/s)

$W$ :absorbed power (watt)

For example; our duty point (130 m<sup>3</sup>/s-2000 Pa) a primary ventilation fan providing 130 m<sup>3</sup>/s-2000 Pa will absorb 183 kW of electrical power by using 200 kW engine for each fan when operating at an efficiency of 71 % and only 160,20 kW when operating at an efficiency of 81 %. Energy consumption cost at remote mine sites can be as high as \$0,13/kWh, therefore over one year the savings are considerable. In this case \$51.929,28 each year of operation.

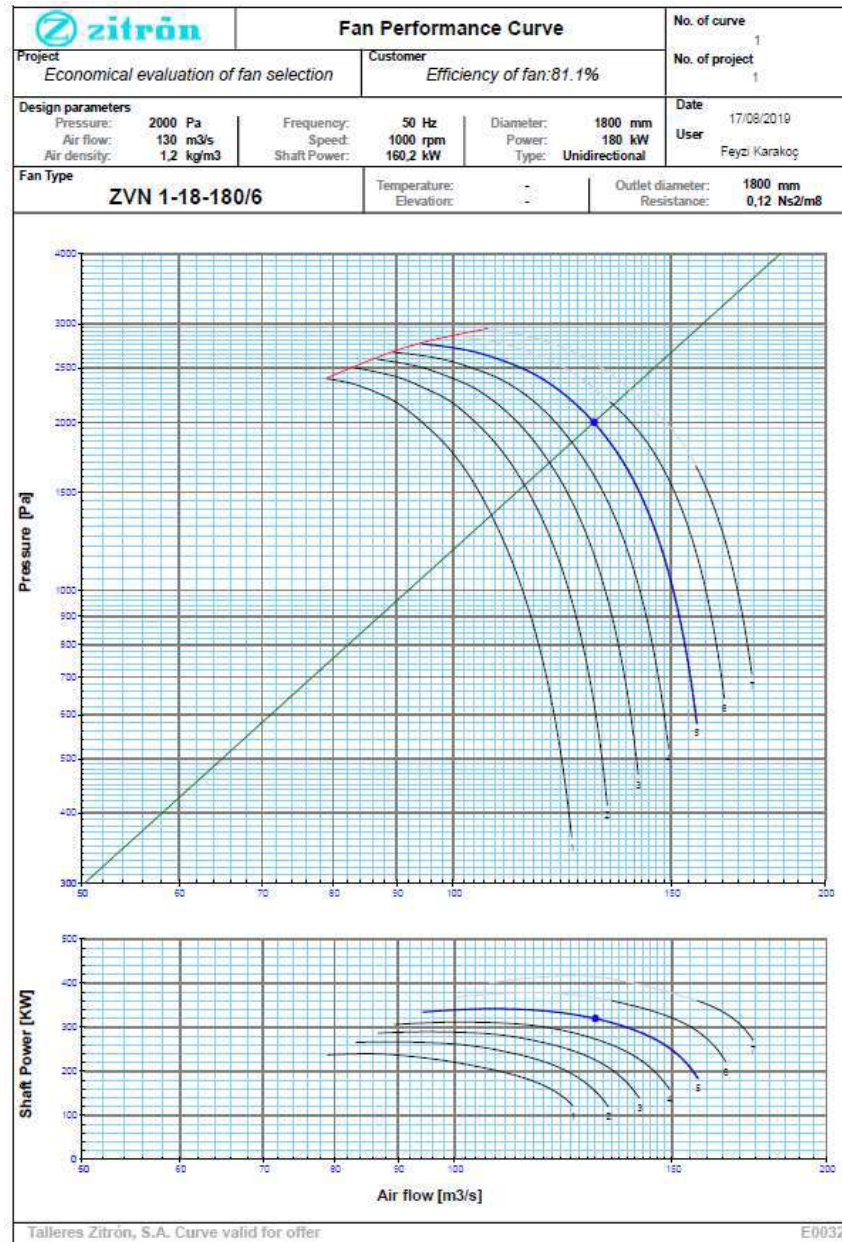


Figure 3: Fan performance curve of two ZVN 1-18-180/6 which are working in parallel.

Table 1: Operating cost of two different ventilators which are providing same duty points.

Case	Number of fans	Efficiency (%)	Power Consumption (kw/fan)	Operating Hours (hr/day)	Total Consumption (kwh/year)
Case 1	2	71	183	24	3.206.160
Case 2	2	81	160,20	24	2.806.704

Case	Efficiency (%)	Cost of Electricity (\$/kwh)	Operating Cost (\$/year)
Case 1	71	0.13	416.800,80
Case 2	81	0.13	364.871,52

### Efficiency Of Electrical Motors

Another important factor for efficiency of axial ventilators is efficiency of electrical motors which are used to rotate impellers on the ventilator. Motor efficiency is a factor of variety of mechanical and electrical imperfections within the motor. The construction materials and mechanical and electrical design of a motor dictate its final energy. Energy efficient motors utilize high quality materials and employ optimized design to achieve higher efficiencies. (Energydpot.com) While selecting of a motor for main ventilator, the motors which have high  $\cos\phi$  values (power factor) should be selected so as to save operating cost in terms of energy consumption. When considering energy efficient motors, two factors will affect the payback period: power cost and operating hours per year. Where electricity is inexpensive or operating time is low, it may take several years for the savings from installation of high efficiency motors to outweigh the difference in initial cost. On the other hand, where power costs and the operating hours per year are high, it may be possible to replace an existing standard efficient motor with an energy efficient motor realize a paycheck of less than one year. (Energydpot.com)

Table 2: Motor choice decision matrix with example of a 10-HP AC-Polyphase induction motor.

	Standard Motor	High Efficiency Motors		
		A	B	C
Initial Cost	\$180	\$224	\$252	\$279
%Life=Annual Cost	\$22,50	\$28,00	\$31,50	\$34,88
Electricity Required (kW)	8,78	8,52	8,43	8,38
Hours Use/Year	4.000	4.000	4.000	4.000
Efficiency	85,00	87,50	88,50	89,00
kWh/Year	35.120	34.080	33.720	32.520
Cost/kWh (Energy+Demand)	\$0,06	\$0,06	\$0,06	\$0,06
Annual Electric Cost	\$2.107,00	\$2.045,00	\$2.023,00	\$2.011,00
Difference in Electricity Costs	0	\$62,00	\$84,00	\$96,00
Total Annual Cost	\$2.130,00	\$2.073,00	\$3.055,00	\$2.046,00
Payback - Years	0	0,71	0,86	1,03

Source: NEMA Publication MG-1.

Furthermore, the economical advantages of energy efficient motors over rewound motors often provide the opportunity for an upgrade to energy efficient motors when old motors burn out.

However, it has to be distinguished difference between fan performance efficiency and energy efficiency of motor on the fan. These are different factors that have influence on total energy consumption and airflow quality of ventilators. If ventilator has low efficiency and electrical motor has high efficiency, it does not mean low energy consumption in order to save operating cost. Because of the fact that low efficient ventilators means that bigger motor uses on the ventilator than required motor power with efficient ventilator. Consequently, electrical motor efficient is not only enough to save operating cost but also fan should has high efficiency to be able to minimize energy consumption.

### CFD STUDY AND PLENUM DESIGN

#### Plenum and CFD Study

There are different accessories of main ventilators which are using for ventilation of mines or another underground openings. These are plenum, guillotine dampers, difussers, silencers etc. Plenum are using to optimize airflow throughout mine shaft and guillotine dampers are used to parallel ventilators to work independently and difussers are used to expand air throughout fan inlet. Also silencers are using to reduce noise level of ventilators. The settlement of ventilators originates pressure loss because of these

accessories (silencer, difusers and shape of connection of ventilators to mine shaft/gallery). General ventilator arrangements of a main ventilator is given below in Figure 4.

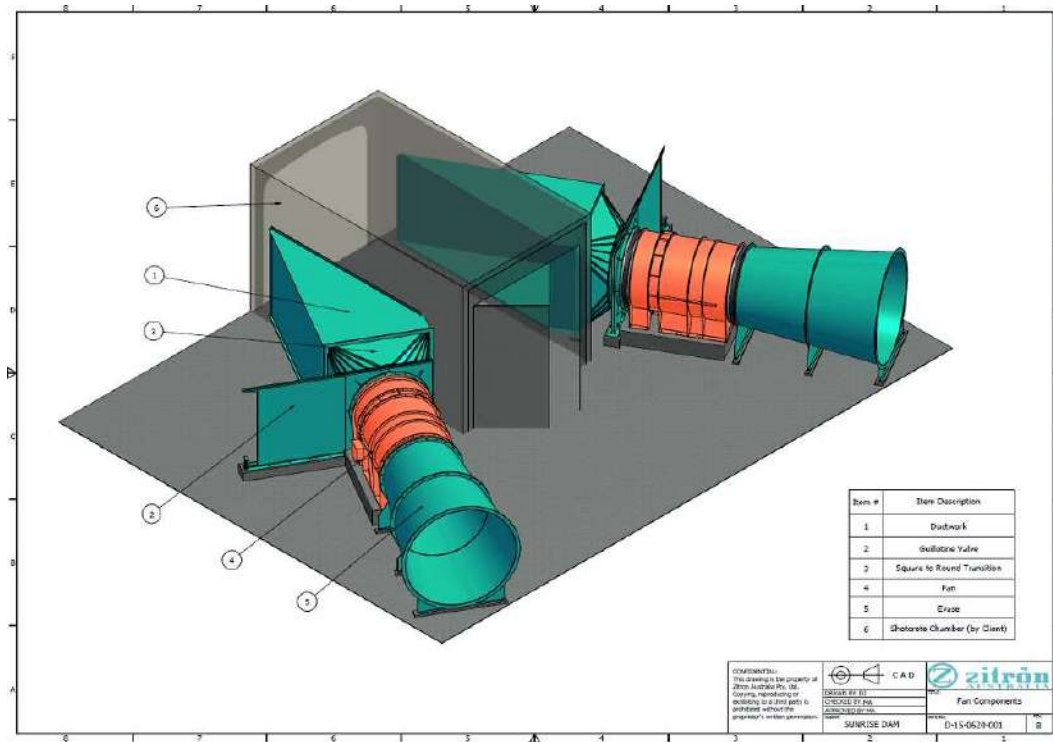


Figure 4: Fan arrangements of parallel ventilators.

One of the most important way of decreasing energy consumption of ventilators is using plenum when installing ventilators on mine shaft or gallery. Plenum is air room which connect the ventilators to mine shaft or gallery. It provides approximately 10 % saving of operating cost on total energy consumption. Besides, design of plenum is so important to reduce pressure losses depending of installations of fans. In order to design optimum plenum model for a ventilator to accurately connect ventilator to mine shaft or gallery, CFD (Computational Fluid Dynamics) study must be done. The system should be designed ( ventilators, accesories of ventilators and mine shaft or gallery) on the basis of different plenum models and analyzed airflow and pressure diagrams by using computer program. Then, the different results should be compared and best model of plenum is selected to accurately install ventilators. It is given that different pictures from CFD study for our duty points when that ventilator will install on vertical mine shaft which has diameter of 3500 mm below.

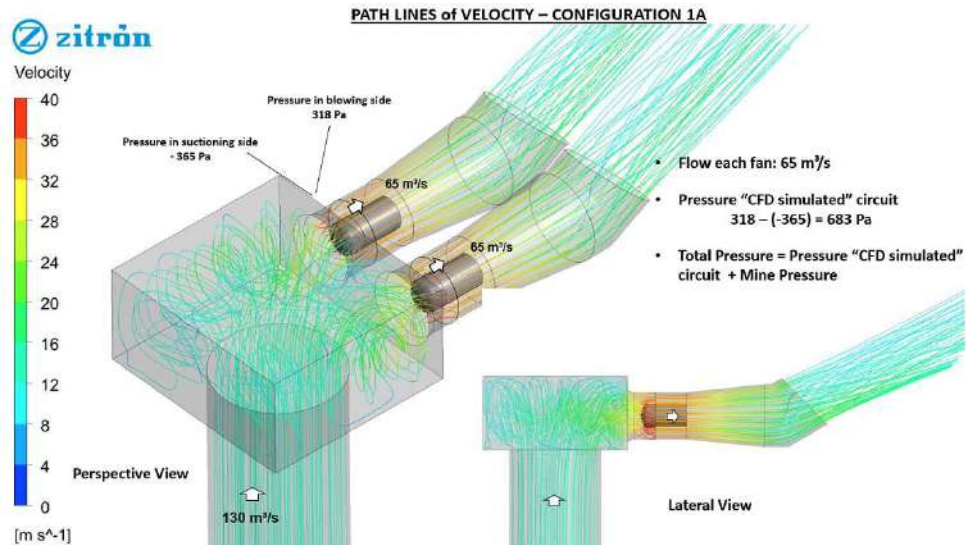


Figure 5: Path lines from CFD analysis of worst installation method of ventilators.

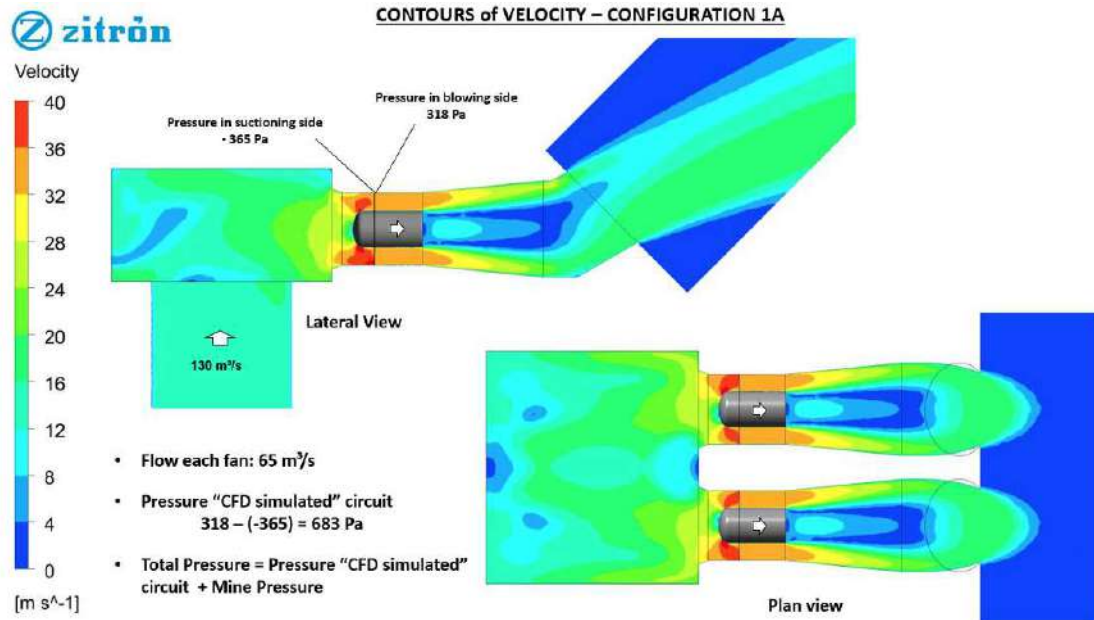


Figure 6: Contours of velocity from CFD analysis of worst installation method of ventilators.

As it is seen in Figure 5 and Figure 6 analysis results, by not considering optimum design of plenum structure to install ventilators lead to 683 Pa pressure losses depending on installation of ventilators.

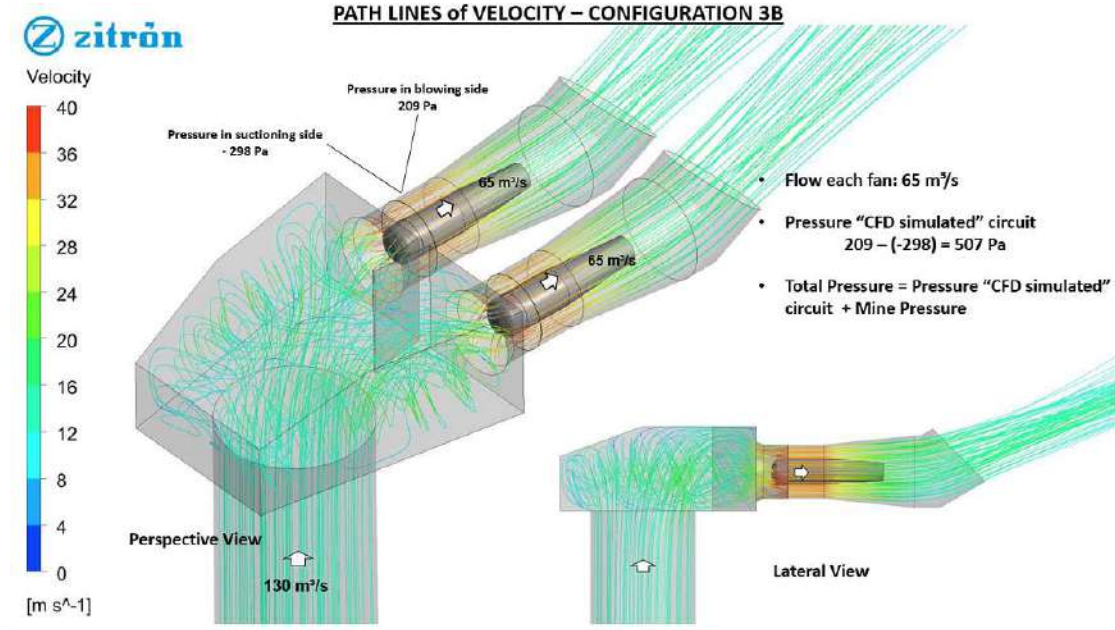


Figure 7: Path lines from CFD analysis of best plenum model.

## RESULTS

CFD study results shows that the pressure difference between the best model and worst model is 176 Pa. This study was done for 6 different plenum models and results of all analysis is given below.

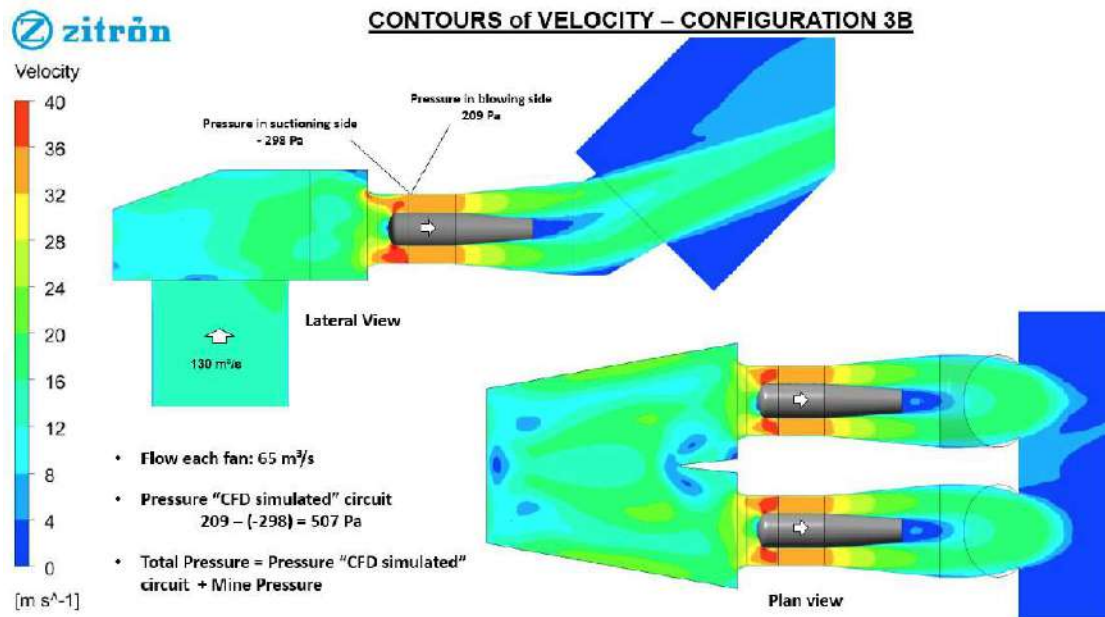


Figure 8: Contours of velocity from CFD analysis of best plenum model.

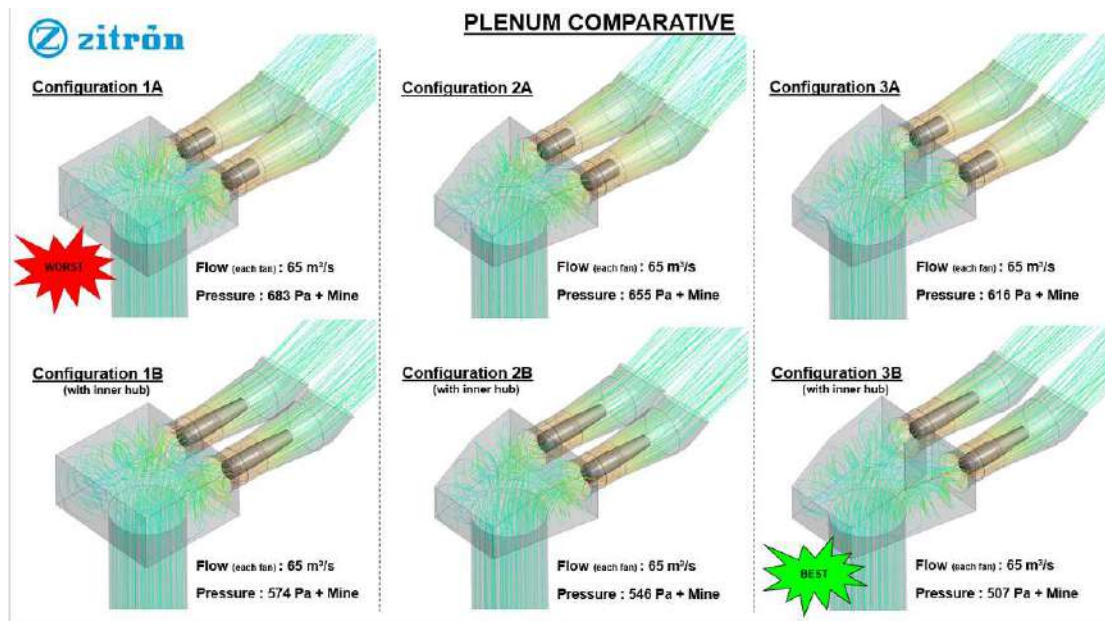


Figure 9: Comparing different plenum models by means of CFD study.

### Affects Of Plenum Model

As it is remembered, for our duty points of 130 m<sup>3</sup>/s-2000 Pa selection of +10% more efficient ventilator provides \$51.929,28 operating cost saving for each year of operation. Thanks to CFD study, as it is seen above pictures pressure losses depending on installation of ventilators are optimized as 176 Pa for each ventilator.

Comparing the worst result with the best there is a difference of 176 Pa that convert to power is about:

$$Power = \frac{Q \times P}{\eta} \times 1000 \quad (2)$$

$$Power = \frac{65 \times 176}{0,81} \times 1000 = 14 \text{ kW per each fan (improving in the best case)}$$

Unless CFD study is done for that project, pressure losses will increase and fan model will be changed. To illustrate it; our duty points are 130 m<sup>3</sup>/s-2000 Pa (Mine resistance + pressure losses). If we directly install ventilators to mine by not taking into consideration CFD study, we have to add 176 Pa to total pressure value and it means our duty points will be changed as 130 m<sup>3</sup>/s-2176 Pa. Therefore, our new fan model is Zitron ZVN 1-18-200/6 which is absorbing 173,18 kW on motor shaft. Fan performance curve is given below.

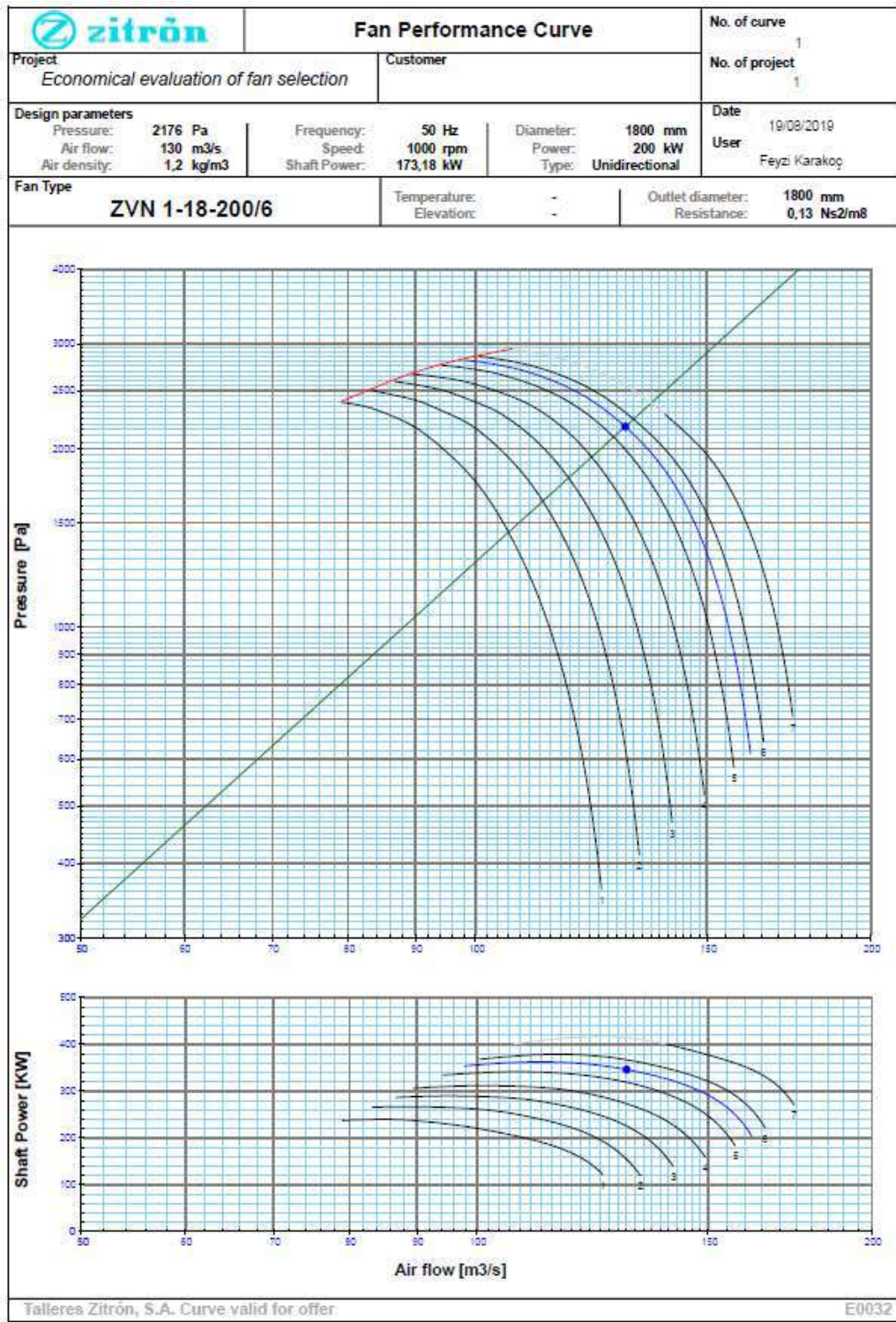


Figure 10: Fan performance curve of two ZVN 1-18-200/6 which are working parallel.

When we consider two parallel ventilators, it means 25,96 kW less energy consumption for total system. Consequently, it means money saving about;



Table 3: Comparing the operating cost of ventilators by using plenum and without plenum.

Case	CFD and Plenum	Efficiency (%)	Fan Model (Zitron)	Power Consumption (kw/fan)
Case 1	No	81	ZVN 1-18-200/6	173.18
Case 2	Yes	81	ZVN 1-18-180/6	160.20

<i>Operating Cost of Ventilators</i>				
Case	CFD and Plenum	Total Consumption (kwh/year)	Cost of Electricity (\$/kwh)	Total Operating Cost (\$/year)
Case 1	No	3.034.114	0.13	394.434,77
Case 2	Yes	2.806.704	0.13	364.871,52

As you see in the Table 2, it is possible to save operating cost of main ventilators by using plenum designed by means of CFD study results. In this case, plenum provides 25,96 kW less energy consumption. Consequently, Case 2 has as low as \$29.563,25 for each year of operation.

If we assume that the mine has a life of 20 years. Total ventilator operating cost saving by using plenum is about;

$$\text{Total operating cost saving by using best model of plenum} = \$29.563,25/\text{year} \times 20 \text{ years} = 591.265,00 \$ \text{ for total life of mine.}$$

Initial cost of the CFD study and plenum for ZVN 1-18-180/6 parallel ventilators when they are installed on vertical mine shaft that has diameter of 3500 mm is approximately \$45.000,00. If we calculate ROI (Return on investment) of plenum and CFD study investment, it is about:

$$\text{Simple ROI} = \frac{\text{Gains} - \text{Investment Cost}}{\text{Investment Cost}} \times 100 \tag{2}$$

$$\text{Simple ROI} = \frac{\$591.265 - \$45.000}{\$45.000} \times 100 = 1213,90\%$$

Moreover, in this case it means that operating cost saving thanks to using plenum pay back all the initial cost for main ventilation system in about 10 years. On the other hand, if the ventilator is bigger than ZVN 1-18-180/6, payback period is going to reduce and ROI ratio will be higher than that case.

### CONCLUSION

Finally, one of the most significant parameter of managing underground mines is to provide secure underground working areas. Therefore, important point of providing secure underground working areas is delivering required amount of fresh air to the workers and underground mining equipments. And, the correct way of this is to accurately selection of ventilators. Selection of ventilators has significant effects on operating cost of ventilation system and total operating cost of mine. These are efficiency of ventilators, efficiency of electrical motors and the usage and design of plenum of ventilators. As it is seen in the above evaluations, selection of +1% more efficient ventilator or electrical motor also usage of accurate plenum model provides considerable cost saving for operating ventilation system. This study focus on only main ventilators of an underground mine. If we consider all the mine ventilation system, it means main ventilator and auxiliary ventilators of mine, accurately selecting of ventilators have important influences on operating cost of an underground mine.

Besides, when all the operation is considered, ventilation system has effects on the other stages of underground mining. For example; if any mine uses wrong selected ventilators or inefficient ventilators according to their requirements, they need to wait extratime ie:1-1,50 hr more to have secure air

conditioned faces in terms of ventilation after every blasting of face. Therefore, it leads to appear idle workers whom are responsible for supporting the face after blasting and it means additional direct cost of operating of underground mine on the other hand underground mining equipments are going to be idle and it also means less utilization ratio for equipments.

This study can be improved by including all mine operation cost with comparing different ventilators for an underground mine. Consequently, mine ventilation system is the one of the most important parameter in order to accurately manage mine operation and reduce all operation cost.

#### **REFERENCES**

De Souza, E. (2002). Mine Ventilation: Proceedings of the North American/ Ninth US Mine Ventilation Symposium.

<https://www.energydepot.com/RPUcom/library/MISC003.asp>

**DİZEL EKİPMANLARDAN KAYNAKLARIN KİRLETİCİLERİN MADEN HAVASINA ETKİLERİ VE DPM  
YÖNÜNDEN DETAYLI DEĞERLENDİRİLMESİ**  
*EFFECTS OF POLLUTERS ORIGINATED FROM DIESEL EQUIPMENTS ON MINE AIR AND DETAILED  
EVALUATION OF DPM*

U.Yaşa<sup>1</sup>, O.Öztürk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zitron Türkiye ( [umut@zitron.com](mailto:umut@zitron.com) )

<sup>2</sup>Zitron Türkiye ( [oqulcan@zitron.com](mailto:oqulcan@zitron.com) )

**ÖZET**

Günümüzde şehirlerde yaşayan insanların dahi temiz havaya olan talebi artmaktadır. Temiz hava insanların en temel ihtiyacıdır. Canlılar açlığa susuzluğa uzun saatler dayanabilir iken havasızlığa çok çok az zaman dayanabilmektedir. Temiz havaya duyulan ihtiyaç yeraltı madenlerinde/tünellerinde de fazlasıyla olduğu gibi, buradaki çalışma koşulları birçok farklı nedenlerden dolayı zorlayıcı olabilmektedir. İşletme şartları gereği ortam havasını sürekli olarak kirleten unsurlar söz konusudur. Patlatmalar, yeraltında ilerleme yaptıkça kayaçlardan ortama karışan gazlar, dizel ekipmanlardan kaynaklanan çeşitli gazlar, tozlar ve dizel partikül maddeler yeraltında her an ortam havasını kirletmektedir. Yeraltı çalışma ortamındaki hava kirleticilerini kabul edilebilir sınırlarda tutmak için gereken hava miktarını belirlemek ve bunu sağlayacak fan seçimlerini yapmak hayati önemdedir. Ülkemizdeki madenlerde havalandırma konusunda bir gelişim olduğu ve her geçen gün iyileştiği ortadadır. Fakat yeraltı madenlerinde giderek artan dizel ekipmanlar neticesinde çalışanlar çok çok küçük boyutlardaki dizel partikül maddelere (dpm ) maruz kalmaktadır. Son yıllarda artarak yapılan çalışmalar dpm'in kansere neden olabileceğini ortaya koymuştur. Ülkemizde henüz uygulanan limit değerler olmadığı için bu konu yeteri kadar gündeme gelmemektedir. Konunun hem az bilinirliği hem de çok ciddi sağlık sorunlarına yol açma durumundan dolayı farklı disiplinlerin bu konu üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırması beklenmektedir. Bu yazı ile konunun tekrar hatırlatılması ve gündeme getirilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Dizel Ekipman, Dizel Partikül Madde, Dizel Partikül Filtre

**ABSTRACT**

Recently, even the people living in cities are increasing the demand for fresh air. Fresh air is the most basic need of people. Living things can withstand starvation and thirst for long hours, while airlessness can withstand very little time. There is need of fresh air in underground mines/tunnels, and underground working conditions can be challenging for many different reasons. As a result of operating conditions, there are constantly polluting the ambient air. Blasting, gases sources from the rocks as advancing underground, various gases from the diesel equipment, dusts and diesel particulate matter pollute the ambient air at any time. It is of vital importance to determine the amount of air required to keep air pollutants in the underground working environment within acceptable limits and to make fan choices to provide that. It is evident that there is an improvement in ventilation awareness in the mines in our country and that it is improving every day. However, as a result of increasing diesel equipment in underground mines, workers are exposed to too small size diesel particulate matter (DPM). Increasing studies in recent years have shown that dpm can cause cancer. Since there are no limit values applied in our country yet, this issue does not come up enough. It is expected that different disciplines will intensify their work on this subject due to the low awareness of the subject and the fact that it causes serious health problems. This article aims to remind the subject again and bring it to the agenda.

**Keywords:** Diesel Equipment, Diesel Particulate Matter ,Diesel Particulate Filter

## GİRİŞ

Dizel motorların yüksek verimi, düşük kullanım maliyetleri, yüksek dayanım ve güvenilirlikleri onları ağır hizmet araç pazarında lider duruma getirmiştir. Artan üretim talepleri, bununla beraber artan üretim maliyetleri ile birlikte madencilikte kullanılan dizel ekipmanların güçleri ve sayıları da artmaktadır. İlerleyen yıllarda akülü sistemlerin ekipmanlarda kullanımının artacağı öngörülmektedir. Maden ekipmanlarının ağır şartlarda 24 saat aralıksız çalışması ve çok büyük kapasiteli ekipmanlar olması nedeniyle akülü maden ekipmanları günümüzde kullanılamamaktadır. Fakat bu yönde bir eğilim ve çalışma yoğunluğunun olduğu da meydandadır. Akülerin şarj olma sürelerinin azalması ve tek bir şarj ile çalışma sürelerinin artması ile madencilikte de yer bulacağına şüphe yoktur. Fakat bugünün madencilğinde fosil yakıtlı dizel ekipmanlardan vazgeçilmesi de mümkün görünmemektedir. Dizel motorlu ekipmanların emisyonlarının azaltılması günümüz dünyasında çok önem kazanmakla birlikte yeraltı şartları için çok daha fazla önem kazanmıştır. Yerüstünde kullanılan fosil yakıtlı araç ve ekipmanların neden olduğu hava kirliliğine bakınca yeraltı gibi kısıtlı alanlarda nasıl zararlı sonuçlar doğuracağını kestirmek zor olmayacaktır. Maden işletmeleri bu kapsamda yeraltı tünel ve üretim boşluklarının en iyi şekilde havalandırılması için ilgili çalışmaları ve çözüm seçeneklerini değerlendirmektedir. Dizel ekipmanların oluşturduğu kirleticilerle yoğun bir mücadele yapılması kaçınılmazdır.

### YERALTI ORTAM HAVASINDA EKİPMANLARDAN KAYNAKLI KİRLETİCİLER

Dizel motorlarda fosil kökenli yakıtın (HC) yanması sonucu egzoz gazları ve partikül maddeler oluşur. Egzoz gazlarının ana bileşenleri: karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O), oksijen (O<sub>2</sub>), Azot (H<sub>2</sub>) ve egzoz kirleticileridir. Egzoz kirleticileri; yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve dizel partikül madde (dpm) dir. Dizel motorlu ekipmanlar iş yapmak için harcadığı enerjinin önemli bir kısmını dışarıya ısı olarak atar. Dizel motorlar doğrudan mineral toz üretmezler. Fakat dizel motorlu araçlar, yürüyüşleri sırasında ve yaptıkları işlerden dolayı (Delme, kazıma, nakliye vb.) tozların üretilmesine ve yayılmasına neden olmaktadır. Tüm bu ortam havasını kirleten gazlar ve partikül maddeler ile mücadele edebilmek için maden işletmesinde etkin Dizel Emisyon Yönetim Planının olması ve bu plana göre çaba sarf edilmesi gereklidir.

#### **Egzoz Gazları ve Dizel Partikül Madde**

Egzoz gazların yaklaşık yüzdelik dağılımları aşağıdaki gibidir

CO<sub>2</sub> : 2 ... 12%

H<sub>2</sub>O : 2 ... 12%

O<sub>2</sub> : 3 ... 17%

N<sub>2</sub> : Kalanı

Egzoz kirleticileri: % 0,2 ( HC, CO, NO<sub>x</sub> , dpm 'dizel partikül madde')

#### Dizel Araçların Egzoz Emisyon Standartları

Emisyon standartları, egzoz gazlarındaki zararlı kirleticiler olan karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve dizel partikül madde (dpm, diesel particulate matter) için sınır değerleri belirtmektedir. Bu sınır değerler, gelişen teknolojiler ve oluşan çevre bilinci nedeni ile gittikçe daha da aşağıya çekilmektedir. Emisyonların sıkı uygulanmasında, ABD, Avrupa Birliği (AB) ve Japonya başı çekmektedir. Ülkemizde zaman dilimlerinde bazı değişikliklerle AB Emisyon Standartları referans alınmaktadır. Bazı ülkeler, yer altı madenlerinde dizel ekipmanların egzoz ucundan ölçülen karbon monoksit emisyonu için ppm olarak bir sınır koyar. Örneğin; Kanada Yasasına göre yer altı madenlerinde egzoz ucundaki (seyreltilmemiş egzozda) karbon monoksit miktarının, 600 ppm 'den az olması gerekmektedir. Yol dışı motorlar için, Avrupa Birliği (AB) Emisyon Standartları 16 Aralık 1997 de yayınlandı. Faz V de, parçacık sayısı (PN) emisyonu ile yeni bir limit getirildi. PN sınırı, etkilenen tüm motor kategorilerinde yüksek verimli parçacık kontrol teknolojisinin kullanılmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Türkiye'de Karayolu dışındaki (yol dışı) dizel motorlar için emisyon standartları Sanayi ve Teknoloji bakanlığı tarafından 2015 yılında yayınlanmıştır. Egzozdaki "dpm" emisyon değerlerinin yanı sıra, dünyanın birçok ülkesinde, çalışma ortamı havasındaki dpm miktarı için bazı sınırlar uygulanmaktadır.

Türkiye’de henüz yasal bir sınır belirlenmemiştir. Madencilik sektöründe gelişmiş olan bazı ülkelerde uygulanan dpm sınırları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Ülkelere göre dizel partikül madde (dpm) sınır değerleri

Ülke	Dpm sınırı	Uygulama
Avustralya (AIOH) <sup>1</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> , EC*, TWA (8 saat)	Yer altı madenleri
USA (MSHA) <sup>2</sup>	0,160 mg/m <sup>3</sup> , TC***, TWA (8 saat)	Metal ve Metal olmayan madenler
Almanya (BAuA) <sup>3</sup>	0,3 mg / m <sup>3</sup> †	Kömür dışı yer altı madenleri
Almanya (BAuA) <sup>3</sup>	0,1 mg / m <sup>3</sup>	Yerüstü iş yerleri
Kanada (CANMET) <sup>a</sup>	0,4 - 1,5 mg/m <sup>3</sup> , RCD#	Bölgeye göre değişir
Kanada (CANMET) <sup>a</sup>	0,75 mg/m <sup>3</sup> , RCD	Yer altı madenleri
Kanada-Quebec (CANMET) <sup>a</sup>	0,6 mg/m <sup>3</sup> , RCD	Yer altı madenleri
1 AIOH: Australian Institute of Occupational Hygienists		* EC: Element karbon
2 MSHA: Mine Safety and Health Administration		** TWA: Zaman ağırlıklı ortalama
3 BAuA: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin		*** TC: Toplam karbon
a CANMET: Canadian Center for Mineral and Energy Technology		†: 0,1 mg/m <sup>3</sup> ’den itibaren çalışmaya yalnızca solunum koruma ekipmanı ile izin verilir.
# RCD: Respirable combustible dust (Solunabilir yanıcı toz)		

Yer altı madencileri için, MSHA (ABD)’in 0,160 mg/m<sup>3</sup> olan toplam karbon (TC) sınır değeri dikkat çekmektedir. Kanada Mesleki Kanser Araştırma Merkezi (OCRC) dpm için kişisel maruz kalma değerinin 0,02 EC mg/m<sup>3</sup>’a düşürülmesini önermektedir. Yapılan bir araştırmada, iki yer altı altın madeninde çalışanların maruz oldukları dizel partikül madde ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçlarına göre, Jumbo, kepçe ve kamyon operatörlerinin 0,160 TC mg/m<sup>3</sup> sınır değerlerini aşan ortamlarda çalıştığı anlaşıyor. Madenci, mekanik ve mikser operatörlerinin de bu sınır değerlere yakın ortamlarda çalıştığı belirlenmiştir.

#### Dizel Ekipman Kaynaklı Isı

Isı, ekipmandan egzoz gazlarıyla; ekipman gövdesinden radyasyonla ve soğutma sistemiyle dışarıya atılır. Dizel ekipman mekanik işin(kW) 3 katına kadar ısı (kW) yayabilir. Ayrıca egzoz gazlarındaki su buharı nedeniyle de ortama gizli ısı verilir. Her litre yakıt için 3-10 litre su tüketilir. Bu ısılar uygun bir havalandırma ile dışarı atılmazsa, ortam sıcaklığı artacağından insanların çalışma konforları bozulabilir. Isı şoklarına kadar varan ciddi sağlık problemleri meydana gelebilir. Ortama atılan ısı aynı zamanda ekipmanların da performanslarını olumsuz etkiler (yetersiz soğutma, güç kaybı vb. gibi)

#### Dizel Ekipman Kaynaklı Toz

Dizel ekipmanların neden olduğu tozlar, geleneksel maden havalandırma hesaplarında göz önünde bulundurulur. Yer altı ocak havasında 5 µm’ den küçük tozların çökmesi neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle tozu hava ile dışarıya taşımak gerekir. Oluşan tozların hava ile dışarıya taşınabilmesi için, tünel içindeki hava hızı 0,2-1,2 m<sup>3</sup>/sn’den az olmamalıdır.

## DİZEL YERALTI EKİPMANLARININ TEMİZ HAVA İHTİYACI

### Ekipman Gücüne Göre Havalandırma Oranı Kullanma

Yer altında çalışan dizel ekipmanların hava ihtiyacının belirlenmesi için en çok kullanılan ve kabul gören modeldir. Ekipman gücünün bir havalandırma oranı ile çarpılarak kW başına hava miktarı belirlenir. Birim olarak m<sup>3</sup>(hava)/sn. kW kullanılır. Ekipmanın gücü (kW) bu değerle çarpılarak ekipmanın hava ihtiyacı m<sup>3</sup>/sn olarak belirlenir. Çoğu maden havalandırma planlamacıları, bu değeri 0,06 – 0,08 m<sup>3</sup>/sn. kW olarak kabul etmektedir.

#### Direkt Motor Testi

Kanada ve Amerika'da her bir motor için, egzoz çıkışındaki (Tail-pipe) uçundaki kirleticileri yasal sınır değerlerine inceltmek için gerekli olan havalandırmayı belirlemek için kapsamlı laboratuvar testleri geliştirilmiştir. Bu testlerle her bir motorun hava ihtiyacı belirlenir ve belgelenir.

#### NRCan (Kanada), egzoz kalite indeksi yöntemi

Kanada Standartlar Birliği (Canadian Standards Association) yer altı madeninde çalışacak motorlara onay verir. NRCan (Natural Resources Canada)'da, bu onaylanmış motorların egzozların seyreltmesi için gerekli miktarlarını belirlemekten sorumlu devlet kurumudur, motorların hava miktarları belirlenir ve onaylar. NRCan, Egzoz Kalite İndeksi (EQI) belirlemiştir ve bunu aşağıdaki eşitliğe göre hesaplar:  $EQI = (CO / 50) + (NO / 25) + (DPM / 2) + 1,5*[(SO_2 / 3) + (DPM / 2)] + 1,2*[(NO_2 / 3) + (DPM / 2)]$

Burada, DPM (mg/m<sup>3</sup>) ve gaz konsantrasyonları (ppm) olarak, ham egzoz gazlarında ölçülür. Test, motor tamamen tekrarlanabilir 18 modlu çalışmayla yapılarak gerçekleştirilir. Testlerde EQI değeri 3'e düşürüldüğünde motorun onaylanmış hava miktarı belirlenmiş olur.

#### MSHA ( Mine Safety and Administration- USA) Yöntemi

MSHA'da motor testinde, her motorda motor egzoz gaz bileşenlerini (CO'yu 50 ppm'e, CO2'yi 5000 ppm e, NO'yu 25 ppm'e ve NO2'yi 5 ppm'e) seyreltmek için gereken hava miktarı belirlenir. Ayrıca, her motor için "Partikül İndeksi" (PI) hesaplar. PI, bir motorun partikül emisyonlarını 1 mg/m<sup>3</sup>'e seyreltmek için gerekli olan hava miktarına eşittir.

#### Ampirik Hesaplama Yöntemi

Ampirik yöntem, dizel ekipmanların hava ihtiyacını belirlemede en doğru ancak en zor yöntemdir. Ampirik yöntemler, önemli pratik tecrübelerden sonra belirlenir. Önemli miktarda data ve deneyime ihtiyaç duyulur. Bu nedenle ampirik yöntemleri, iyi havalandırma danışmanlık firmalarının ve büyük maden şirketlerinin belirleme kabiliyetleri vardır. Ampirik hesaplamaları kullanırken hangi şartlar için yapıldığının (Üretim şekli, cevher yapısı, kullanılan ekipmanlar, mekanize maden, metal maden, kömür madeni vb.) bilinmesi çok önemlidir. Metal madeninde kullanılan bir havalandırma hesabı, kömür madeninde faydalı olmayabilir.

#### Dizel Ekipmanların Hava İhtiyacını Belirlemek İçin Önerilen Yeni Bir Yöntem

Bu yöntemde, ekipman filosuna dayanan toplam hava akışının belirlenmesinde, zehirli egzoz gazları, dpm, atık ısı ve tozu dikkate alınacaktır.

#### Egzoz gazları ve DPM için hava ihtiyacı

MSHA'daki PI miktarı, dpm in 1.0 mg/m<sup>3</sup> değerine seyreltilmesi için gerekli hava miktarıdır. ABD'de metal ve metal olmayan yer altı madenlerinde, yasal dpm sınırı ise 0,160 mg/m<sup>3</sup> dir. Bu yasal değeri karşılamak için MSHA'nın PI miktarının yaklaşık 5 katından daha fazla hava ihtiyaç olduğuna dikkat edelim.

Bu çalışmanın gösterdiği en önemli bulgularından biri, eskiden beri kullanılan havalandırma oranları (en yaygın olanı 0,063 m<sup>3</sup>/sn. kW) ile geçmişteki, EPA emisyonlarına dahil olmayan, motorlarda modern standartları karşılaması gerekenler arasında büyük farktır. Ayrıca Faz IV (Tier IV) motorlarında gerekli olan havalandırma oranlarında büyük azalma olduğu dikkat çeker.

#### Ortama verilen motor ısı için gerekli hava ihtiyacı

Dizel motorlu bir makineden ısı üretiminin hesaplanması, aşağıdaki gibi pratik olarak hesaplanabilir. İlk olarak toplam ısı, yakıt tüketim oranına göre belirlenir:

$$QT = (fc / Cd) / 3600$$

QT= Toplam ısı, kW

fc = Yakıt tüketimi, litre/saat

Cd= Dizel yakıtın ısıl enerjisi, kJ/litre

Daha sonra, gizli ısı hesaplanır:

$$QL= VH_2O * LH_2O / 3600$$

QL=gizli ısı, litre/saat

VH<sub>2</sub>O= su üretim miktarı, litre/saat

LH<sub>2</sub>O= suyun buharlaşma gizli ısı, kJ / kg

Oluşan hissedilir ısı, toplam ısı ile gizli ısı arasındaki farktır:

$$QS = QT - QL$$

QS = hissedilir ısı, kW

QT = toplam ısı, kW

QL = gizli ısı, kW

Makine üzerindeki ortam havasındaki ilişkili sıcaklık artışı, hava akış hızının bir fonksiyonudur:

$$\Delta T = QS / (m_{air} * Cp)$$

$\Delta T$  = sıcaklık değişimi, K

QS = hissedilir ısı, kW

m<sub>air</sub>= kütle hava debisi (kg /sn)

Cp = kuru havanın özgül ısı (kJ / kgK)

Çoğu zaman, bu eşitlik, makine üzerindeki sıcaklık artışını belirli bir maksimum değere sınırlamak için gerekli havalandırma oranı için ya da koşulların durma sıcaklığı içintasarım kriterlerine ulaşmadığından emin olmak için hafifçe değiştirilir.

$$VR = v_{air} / P_{machine}$$

VR= havalandırma oranı (kw başına hava miktarı), m<sup>3</sup>/sn.kW

v<sub>air</sub>= havalandırma miktarı, m<sup>3</sup>/sn

P<sub>machine</sub>= makine gücü, kW

### Mineral toz için hava ihtiyacı

Dizel motorlu araçların yarattığı tozu gidermek için gerekli hava akışı miktarınınincelenmesi önemlidir. Yer altı madenlerinde malzemenin kırılması, taşınması ve nakliyesi için mekanik ekipman kullanıldığı sürece, mineralin bozulduğu bölgelerde toz oluşacak ve bu tehlikenin yer altı ortamından elimine edilmesi, en aza indirilmesi veya ortadan kaldırılması, bu alanlarda bulunan insanlar açısından önemli olacaktır.

Uygun hava akış hızlarının seçilmesi, dizel ekipmanın çalıştığı madeni girişlerdeki egzoz gazlarının ve solunabilir tozların tabakalaşmasını da önleyebilir. Homotropal havalandırma, yer altındaki zararlı mineral tozunun üretimini ve çoğalmasını en aza indirmek için nakliye yolları boyunca da düşünülmelidir.

### **EGZOZ EMİSYON DEĞERLERİNİN PPM OLARAK HESAPLANMASI**

Dizel egzoz emisyon standartları, emisyon değerlerini ağır araçlar için g/kWh, birimlerinde vermektedir. Oysaki tipik gaz analizörleri ppm ve yüzde hacim olarak okuma yaparlar. Ağır vasıtaların egzoz emisyonları için, g/kWh ile ppm arasındaki ilişkiler aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$CO (g/kWh) = 3,591 * 10^{-3} * CO (ppm)$$

$$NO_x (g/kWh) = 6,636 * 10^{-3} * NO_x (ppm)$$

$$(g/kWh) = 2,002 * 10^{-3} * HC (ppm)$$

HC

$$CO_2 (g/kWh) = 63,470 * 10^{-3} * CO_2 (\%)$$

### EGZOZ GAZLARINDAKİ ZARARLI KİRLETİCİLERİN ETKİLERİ

Emisyon standartlarının sınır koyduğu egzoz gazındaki kirleticiler; yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve dizel partikül madde (dpm) olarak sıralanır.

#### Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbon emisyonları, silindir duvarlarında meydana gelen yetersiz sıcaklık sonucu oluşan yanmamış yakıtlardan oluşur. Hidrokarbonlar hafif yükte çalışan araçlarda meydana gelir. Hidrokarbon, motordaki ani hız değişikliği, püskürtme sisteminde düzensizlik vb. gibi durumlardan da kaynaklanır. Hidrokarbonlar motor karterinde ve yakıt sistemindeki yakıt buharlaşmasıyla da oluşur. Toplam hidrokarbonların %50-60'ı egzoz borusundan çıkan gazlardan kaynaklanırken %20-25'i karterden, %15-25'i yakıt buharlaşmasından kaynaklanır. Hidrokarbonlar çevre ve insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sahiptir; solunum yolu tahrişi ve kansere yol açar.

#### Karbon monoksit (CO)

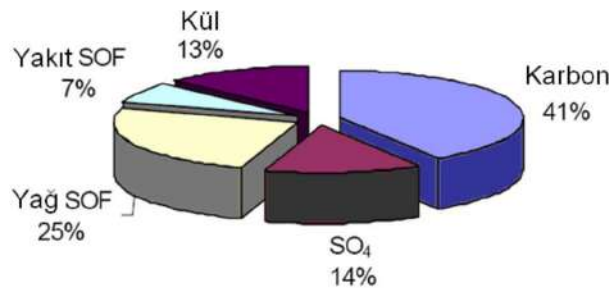
Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Yoğunluğu, 1,255 kg/m<sup>3</sup>, havaya göre özgül ağırlığı 0,97 dir. Yoğunluğu havanıninkine çok yakın olduğundan, her tarafa yayılmış şekilde bulunur. Çok düşük konsantrasyonda bile zehirleyicidir Bu nedenle yer altı kazısı ile uğraşanların korkulu rüyasıdır. CO %13 - 75 sınırlarında patlar. En tehlikeli patlama sınırı %30 dur. CO'nun asıl tehlikesi zehirli olmasıdır. Çünkü kandaki hemoglobininin CO'ye olan ilgisi, oksijene kıyasla 250-300 kez fazladır. Bu nedenle solunan havada çok az CO bulunsa bile, kan CO'yi absorbe eder. Oksihemoglobin yerine karbonsihemoglobin oluşur ve kan dolaşımında yer alır. Türkiye'deki yönetmeliklere göre, yer altı madenlerinde CO %0,005 (50 ppm)'den çok olamaz (ÇSGB, 2015). İçten yanmalı motorların egzozlarında hacimce %3,5-7 CO içerebilir.

#### Azot oksitler (NO<sub>x</sub>)

Kırmızı-kahverengi duman, asidik koku ve tadı vardır. Suda kolay çözünür, zehirlidir. Sınır değeri ≤ %0,003tür. Türleri Azot oksit (NO), azot peroksit (N<sub>2</sub>O) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>). N<sub>2</sub>O hariç tüm azot oksitler zehirlidir. Ciğerlerde toksit oluşturduğundan yapay solunum veya temiz havanın faydası yoktur. Etkisi hemen değil bir süre sonra ortaya çıktığından, 20-30 saat sonra ölümler olduğu görülmüştür. Bu yüzden azot oksitlerin solunması kesinlikle önlenmelidir.

#### Dizel Partikül Madde (dpm)

Dizel Partikül madde, dizel motorlarda yanma esnasında yeterli miktarda oksijen bulamayan yakıt damlası içerisindeki karbon moleküllerinin yanma olayına katılmadan egzozdan atmosfere atılması sonucu oluşan emisyonlardır. Karbon, karbon-hidrojen bağları, kükürt dioksit ve sülfürik asit gibi bileşenleri bünyesinde ihtiva etmektedir. Partikül madde bileşenlerinin yüzdelik oranları Şekil 1'de verilmiştir. Solunabilir toz boyutları 0,1 ila 5,0 mikron arasındadır. Dizel partikül maddelerin boyutları ise 0,05 ila 1 mikron arasında olduğundan solunabilir tozlar grubunda yer alırlar. Boyutu 5 mikrondan küçük çapa sahip tozların ciğer alveollerinde tutulduğu ve depolandığı kabul edilmiştir. Havadaki dizel partikül maddeler insan sağlığı için ciddi riskler oluşturmaktadır. Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (IARC), Haziran 2012'de de egzoz emisyonlarını 1. Sınıf kanserojen olarak sınıflandırmıştır (IARC, 2012).



Şekil 1. Dizel partikül maddenin bileşenleri

Bazı ülkelerde uygulanan dpm maruz kalma değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Bu tabloda yer altı madencileri için, MSHA'nın 0,160 mg/m<sup>3</sup> toplam karbon(TC) sınır değeri dikkat çekmektedir. Kanada Mesleki Kanseri Araştırma Merkezi (OCRC) dpm için kişisel maruz kalma değerini 0,02 mg/m<sup>3</sup> element karbon (EC)'a düşürülmesini önermektedir. Madenler, madenciler için güvenli ve sağlıklı bir ortam sağlamak için büyük havalandırma sistemleri kullanmaktadır. Dizel partikül maddesinin (DPM)



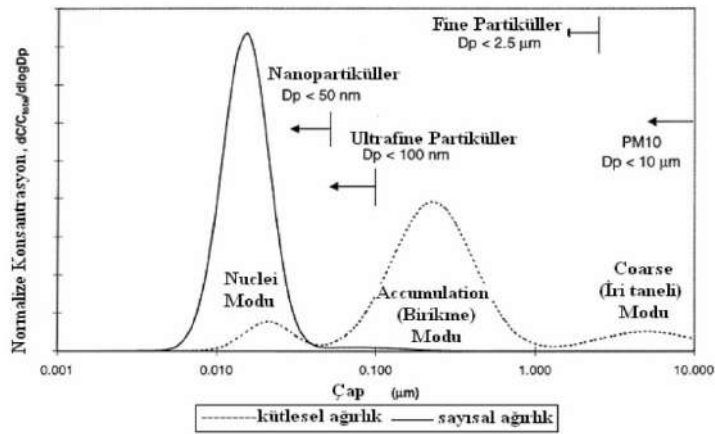
seyreltilmesi, genellikle gerekli miktarda havalandırma havası belirlemek için kullanılan kilit bir faktördür. DPM emisyonları ve maruz kalma seviyeleri, maden programlarına ve faaliyetlere bağlı olarak oldukça değişkendir. Madenler derinleştikçe hava beslemesi daha zor hale gelir ve hava için yeni shaftların geliştirilmesi ekonomik olarak zorlayıcı olabilir. Mevcut havanın temizlenmesi ve tekrar kullanılması, iyi hava kalitesini korumak için çekici bir seçenek haline gelir. Bu gibi durumlarda, hava temizlemenin ne kadar etkili olduğunu belirlemek önemlidir.

DPM konsantrasyonlarının maden planlarına ve faaliyetlerine bağlı olarak çeşitliliğini ve zamanlamasını anlamak, talep üzerine yeni havalandırma ve filtreleme cihazlarının havalandırma maliyetlerini düşürmesi, güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarının oluşmasını sağlayabilir.

Dizel partikül madde (dpm), ABD Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü ( NIOSH ) tarafından potansiyel bir mesleki kanserojen olabileceği şeklinde sınıflandırılmıştır. Bu nedenle ABD MSHA (Maden güvenliği ve sağlık idaresi ) metal ve metal olmayan yeraltı madencilerinin dpm risklerini sınırlandırmak için bir kural getirmiştir. ( MSHA 2001;2005 ) Yeraltı madencilerinin dpm maruziyet risklerini azaltmak için madenler çeşitli kontrol teknolojileri uygulamaktadır. Birçok maden partikül emisyonlarını azaltmak için motorlarda ayarlamalar ve onarımlar yapıldığı emisyon bazlı bakım-kontrol-ölçüm programları uygulamıştır.

#### Dizel Partikül Madde Ölçümleri

Bir yeraltı madeninde etkili dizel emisyon kontrolü olmadan işçiler her bir nefeste 30 milyon parçacık-nanopartikül soluyabilir. Dizel Egzoz Emisyonları 1. Sınıf (Dünya Sağlık Örgütü-WHO, 2012 ) Kanserojendir ve çapları 1 mikronun ( 1000 nanometre ) altındadır, büyük çoğunluğu 100 nanometrenin altındadır. İnsan vücudunun bu kadar küçük parçacıklara karşı doğal savunması yoktur. DPM "nanopartiküller" doğrudan akciğerlerden kana geçer ve vücutta herhangi bir yerde ortaya çıkabilir. PM ile ilgili emisyon düzenlemelerinde partikül maddelerin kütlesi esas alınmaktadır. Bu gerçek PM emisyonlarının gösteriminde yanılgıya yol açabilir. Küçük ve büyük partiküllerin partikül kütlesi ve partikül sayılarına katkısı Sekil 2'de görülmektedir. Partikül kütlesinde en önemli yeritutan birikme (acumulation) modunu oluşturan daha büyük partiküllerin sayıları diğerlerine oranla daha küçük iken çekirdeklenme (Nuclei) modunu oluşturan çok küçük partiküllerin en çok sayıda olduğu açıktır, fakat toplam kütleye katkısı azdır. Günümüzde partikül maddelerle ilgili araştırmalar ince tozların etkisinin etkili bir şekilde nasıl azaltılabileceği ve büyük şehirlerdeki sağlık risklerinin nasıl önlenebileceği hakkındadır. İnce toz diğer kaynaklardan ve filtre edilmemiş dizel motor egzozundan üretilen çapı 10 mikrondan küçük olan çok küçük parçacıklardır. Mikro partiküller sağlık riski oluşturduğu için Avrupa Birliği tarafından şehir bölgelerinde her metre küp havada maksimum 50 mikrograma kadar izin verilmiştir.



Şekil 2. PM'nin boyutlarının sayı ve kütle bazında dağılımı

Tünellerde, yeraltı madenlerinde, atölyelerde ve dizel motor egzoz emisyonlarının hayati tehlike oluşturduğu tüm kapalı alanlarda havayı anlık olarak izleyen teknolojiler gelişmekte ve kullanımları yaygınlaşmaktadır.

DPM Ölçme-Görüntüleme-İzleme Teknolojileri ile işçi güvenliğinin-çalışma ortamının iyileştirilmesinin arttırılması, şirket politika ve yönergelerinin karşılanması, havalandırma giderlerinin minimize edilmesi, araç bakım-onarım ve işletme giderlerinin azaltılması, dağılan dizel emisyonların kontrolünün sağlanması, DPM ile ilgili ileride çıkabilecek mevzuatlara karşı hazırlıklı olunması, etkili kararlar alabilmek için zamanında ve güvenilir veri tabanının oluşturulması gibi çok geniş yelpazede fayda sağlanacaktır.

Sürekli DPM okuma cihazları, diğer izleme cihazları ile birlikte hava akımına ve sıcaklık okumalarına ek olarak partikül ve gaz konsantrasyonlarını ölçer. Elde edilen bu veriler sürekli (24/7) bir besleyici ve iletişim ağı aracılığıyla izleme istasyonlarına aktarılır. Bu bilgilere daha sonra ilgili cihaza ait ara yüz "gösterge tablosu / analitik ve veri görselleştirme sunucusu" aracılığıyla erişilebilir. DPM okuma cihazları, 0-800 nmaralığında ölçüm yapabilmektedir. Bu cihazlar iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının daha efektif veri alabilmesi için akıllı cihazlar ile entegre çalışabilmektedir. Bu sayede havalandırma kalitesini her yerde görmek mümkündür.

DPM okuyucular, iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının ve yöneticilerin daha efektif veri alabilmesi için kullanılan tüm akıllı cihazlara entegre edilebilmektedir. Bu sayede havalandırma kalitesini istenilen her yerde görmek mümkündür. Okuyucular analiz ve planlamalar için verileri saklar, arşivler ve birden fazla zaman diliminde ortalaması alınan veriler ile raporlar üretir. Bu arşiv hem madenin/tünelin kendini en iyi şartlara adapte etmesi için bir fırsat verir iken işletmenin tüm geçmişe dönük çalışmalarının belgelenmesini sağlar. Herhangi hukuki bir durumda kullanılacak dokümanları oluşturur.

Tüm mühendislik disiplinleri için genel geçer bir doğru olan, ölçmediğini anlayamaz, analiz edemez ve kontrol edemezsin anlayışı yeraltı hava şartları için de geçerlidir. Yeraltı maden hava şartlarını yönetebilmenin yolu da sürekli olarak ölçülmesinden geçmektedir.

#### Dizel Partikül Filtreler (DPF)

Dizel motorlu ekipmanların emisyonlarının azaltılması şehir hayatı için dahi çok önem kazanmakla birlikte yeraltı çalışma şartları ve çalışanlar için bu durum hayati önemdedir. Emisyonların azaltılması konusunda başlıca uygulamalar; motor tasarımında iyileştirmeler, yakıt ön işlemleri, yanma işleminin daha iyi ayarlanıp daha basitleştirilmesi, yakıt formülünün modifikasyonu, alkoller ve esterler gibi fosil olmayan alternatif yakıt kullanımı ve yanma sonrası cihaz kullanımı şeklinde belirtilebilir. Sadece motorlarda yapılacak düzenlemelerle PM ve NOx emisyonları yasal düzenlemelerdeki değerlerine düşürülemeyeceği için dizel egzoz emisyonlarının eş zamanlı olarak düşürülmesi için yanma sonrasında kullanılmak üzere cihazlar geliştirilmektedir. Bunlardan biri de dizel partikül filtreleridir. Dizel Partikül Filtreleri dpm azaltılmasındaki en uygun çözümlerden biridir. Bazı üretici firmaların filtrelerinin biriktirme verimleri kütleli olarak %30-90 arasında değişmektedir, ancak çoğu DPF son derece ince partikül sayıları olarak ifade edildiğinde %99'un üstünde başarı sağlamaktadırlar. Ekipman üreticilerinin orijinal katalizörleri %60-70 oranında temizler iken, farklı firmaların ürettiği bazı dizel partikül filtreler %99 oranında temizlemektedir. Dizel partikül filtresi egzoz gazlarının sistem boyunca geçişine izin verirken katı ve sıvı partikül madde emisyonlarını biriktirmek için tasarlanıp egzozu yerleştirilmektedir. Genellikle bir yanma sonrası PM kontrol sistemi dizel egzozundaki PM veya is tutabilen gözenekli metal veya seramik bir filtreden oluşur. Filtreden düşük bir basınç azalması ve yüksek is tutma kapasitesine sahip olması istenir. Günümüzde ticarileşmiş dizel partikül filtreleri silikon karpit, kordierit veya metalden yapılmaktadır. Dizel Partikül Filtre tarafından biriktirilen kurum, fazla yakıt harcanmaması motor ve filtrenin zarar görmemesi içinde uzaklaştırılması gerekir. Rejenerasyon olarak ifade edilen kompleks bir işlem ile bu gerçekleştirilir.

Dpm ölçümlerinin anlık olarak izlenmesi ve gerekli müdahalelerin yapılması ile dizel partikül filtreler emisyonla mücadelenin önemli adımlarıdır. Bunlara ilave olarak uygun nitelikli dizel motorlar ile çalışan ekipmanların seçimi, motorların düzenli bakımlarının yapılması gibi adımlar da yine emisyonla mücadelenin önemli başlıklarıdır. İlerleyen zamanlarda akü/batarya teknolojisinin gelişimi ile yeraltı ekipmanlarında uygulama imkânı bulacaktır. Biodizel yakıt kullanımı da katkı sağlayabilir. Özellikle yüklem taşıma gibi işlerde çalışan ekipmanların kapalı kabinli seçilmesi de maruziyetleri ciddi oranda azaltacaktır.

## SONUÇ

Yeraltı madencilikimizde, mekanize madencilik uygulananmaya başlanması bir iki özel örnek dışında çok yeni sayılır. Son 20 yılda ivmelenen mekanize madencilik sonrası özellikle metal madenlerimizde çok sayıda dizel ekipmanlar kullanılmaktadır. Tünellerin sayısı ve uzunlukları da aynı şekilde metroya bağlı olarak son 25 yılda ciddi artış göstermiştir. Yine bu süreçte motor teknolojilerinde de yaşanan gelişmeler ile birlikte egzoz emisyonlarında %90'lara varan azalmalar olmuştur. Fakat yeraltında çalışana dizel ekipmanlara gerekli olan temiz hava ihtiyacı azalmamıştır. Ekipmanların kW güç başına ihtiyacı olan hava miktarları uzun dönem tecrübelerine dayanan bazı çarpanlar ile hesaplanmıştır. Fakat bu sabit katsayılar, sadece motor gücünü hesaba alır, egzoz emisyon değerlerini ve motordan ortama atılan ısıyı hesaba katmamaktadır. Egzoz gazlarına göre motor hava ihtiyacı, egzozdaki dpm'e göre motor hava ihtiyacı, motordan ortama atılan ısıyı göre motor hava ihtiyacı ve mineral tozun seyreltilmesi için gerekli hava ihtiyacı, hesaplanmalıdır. Havalandırma konusunda ülkemizin değerli hocalarının 90'lı yılların başında yazdıkları şu satırlar çok anlamlı ve bizlere ışık tutmaktadır.

“Pnömokonyoz bir meslek hastalığıdır. Yeraltı madencilik ve kazı işlerinde pnömokonyozdan dolayı ölümlerin sayısı iş kazalarından olandan 3 -4 kat fazladır. Delici, kesici, yükleyici vb. faaliyetlerin artışı toz oluşumunu ve dolayısıyla hastalık oluşmasını çoğaltmıştır. Önceleri, ağrı veya başka bir belirti göstermemesi, hastalığın geç anlaşılmasına neden olmaktadır. Hastalık, ancak ileri safhalarda dikkati çekmektedir. Son yıllarda hastalığa yakalananlara ödenen tazminatlar, hastalıktan yakınanları sayısını artırmıştır, yurdumuzda, son yıllarda artan tünel kazı faaliyetlerinde çalışanların, birkaç yıl içinde hastalıktan yakınmaları ve dolayısıyla tazminat talepleri kaçınılmazdır. Pnömokonyoz progresif (ilerleyici) bir hastalıktır ve tedavisi yoktur. Ancak olduğu yerde tutulması mümkündür. Oluşması ve gelişmesi, toz konsantrasyonu ve toza maruz kalma süresi ile doğru orantılıdır”. ( Ayvazoğlu,E.; Ökten,G.; Tuncel,Z. )

Benzer durumu özellikle DPM konusunda yaşamamak istemeyen işletmeler bu konuya yönelmeli, alınması gereken fiili, teknik, idari ve hukuki tedbirleri bir an önce almaya başlamalıdır.

## KAYNAKLAR

- Ayvazoğlu, E., Ökten, G., Tuncel, Z., Yeraltı Kazılarında Havalandırma Uygulamaları  
David B. Kittelson, D.B., Engines and nanoparticles: a review, J. Aerosol Sci., 29, 5/6, 575-588, 1998.  
DieselNet (2012). *Emissions Standards: United States*. Retrieved from website:  
<http://www.dieselnet.com/standards/us/nonroad.php>  
Gangal, M. (2012). *Summary of worldwide underground mine diesel regulations* Proceedings of the 18th MDEC Conference, Toronto, Ontario.  
Karaçelebi, S., Yaşa, U., Mercan, Ö., Dizel araç ve ekipman emisyonlarının tünel hava kalitesine etkileri. Uyak Sempozyumu 2018  
Keskin, A., Dizel motorlarında partikül madde emisyon kontrolü ve gelişmeler 5. Uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu Mayıs 2009 Karabük, Türkiye 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*  
King, R.T, Design of a SCR system to reduce NOx emissions of the 2003 West Virginia University FutureTruck, MSc. Thesis, West Virginia University, Morgantown, 2007.  
Natural Resources Canada. (2011). *Approved diesel engines*. Retrieved from website:  
<http://www.nrcan.gc.ca/minerals-metals/technology/approved-diesel-engines/2003>  
Stinnette, J.D., De Souza, E., Establishing total airflow requirements for underground metal/nonmetal Mines with tier IV diesel equipment

**KAZI KAPASİTELERİNE BAĞLI HİDROLİK KIRICI & DELME-PATLATMA MALİYET ANALİZİ: PROJE ÖRNEĞİ**  
*COST EVALUATION FOR EXCAVATION CAPACITY HYDRAULIC BRAKER AND DRILLING-BLASTING*

T. Mallı\*, D. Karakuş

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü*

*\*Tahir Mallı: tahir.malli@deu.edu.tr*

**ÖZET**

Mühendislik projelerinde, özellikle şehir içi altyapı ve inşaat temel kazı projelerinde, yol şev kazılarında, aç-kapa tünel kazılarında ve birçok altyapı projelerinde dinamik ve kısıtlayıcı faktörler; ekonomik mühendislik çözümleri gerektirmektedir. Bu tür projelerde hidrolik kırıcı ekskavatör yada delme-patlatmaya dayalı kazı performans ve maliyetlerin öngörülmesi planlama için oldukça önemlidir. Ayrıca teknik açıdan kısıtlayıcı faktörlerde kazı metodunun seçiminde etkili olmaktadır. Patlatma sonucu ortaya çıkan toz, titreşim ve hava şoku vb. çevresel problemlere karşın artan hassasiyetler ile ekonomik ve teknik kriterlerin optimize edilmesi gerekmektedir.

Delme-patlatmaya dayalı kazı, birçok durumda ekonomik açıdan her yönüyle avantajlıdır. Ancak teknik kısıtların domine ettiği proje kazılarında hidrolik kırıcılar kaçınılmaz olabilmektedir. Böylesi karmaşık ve zorlu koşullarda ekskavatör ve kırıcıların düşük maliyetli ve efektif çalışmasını sağlamak gereklidir. Bu açıdan hidrolik kırıcı kullanımının teknik kapasite ve ekonomiklik sınırlarını belirlemek önemlidir. Hidrolik kırıcılarda kazı planı ve operatör verimliliği çevrim süresini ve saatlik kapasiteyi etkilediği için; formasyon yapısı ve süreklilik zonlarında kazı kolaylığı sağlayan avantajlardan yararlanılarak daha etkin bir kazı planlaması yapılması ileyüksek operatör verimliliği ve % 65'lik kapasite artışı sağlanması durumlarındadelme-patlatma operasyonuna göre daha ekonomik ve çevreye duyarlı kazıların gerçekleşmesi olasıdır.

**Anahtar Sözcükler:** Hidrolik kırıcı, delme-patlatma, kazı maliyetleri.

**ABSTRACT**

Dynamic and limiting factors in engineering projects, especially in urban foundation excavation projects, road slope excavations, open-close tunnel excavations and many infrastructure projects; economic engineering solutions. Prediction of excavation performance and costs based on hydraulic breaker excavator or drilling-blasting is very important for planning in such projects. It is also effective in the selection of the excavation method in technical limiting factors. Dust, vibration and air shock etc. caused by blasting. economic and technical criteria should be optimized with increasing sensitivities despite environmental problems. Drilling-blasting excavation is economically advantageous in many aspects. However, hydraulic breakers may be unavoidable during the project excavations, which are dominated by technical constraints. In such complex and challenging conditions, it is necessary to ensure the low cost and effective operation of excavators and breakers. In this respect, it is necessary to determine the technical capacity and economic limits of the use of hydraulic breakers. Since excavation plan and operator productivity in hydraulic breakers affect cycle time and hourly capacity. It is possible to realize more economical and environmental sensitive excavations than drilling and blasting operation in case of higher operator efficiency and 65% capacity increase by making more effective excavation planning by taking advantage of formation structure and advantages of ease of excavation in continuity zones.

**Keywords:** Hydraulic breaker excavator, drilling and blasting, excavation costs.

## GİRİŞ

Nüfus artışı ile artan şehirleşme beraberinde altyapı ve mühendislik projelerini de güçleştirerek arttırmaktadır. Bu karmaşık yapı ve kısıtlayıcı faktörlere karşın ekonomik mühendislik çözümlerigerektirmektedir. Mühendislik projelerinde, inşaat temel kazı projelerinde, şevli yol kazılarında, aç-kapa tünel kazılarında ve birçok altyapı projelerinde ihale bedeli ve bütçenin belirlenmesi bakımından maliyet hesaplamaları önemli olmaktadır. Bu tür projelerde hidrolik kırıcı ekskavatör yada delme-patlatmaya dayalı kazı performanslarının öngörülmesi, maliyetlerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak termin süreci proje planlaması için oldukça önemlidir. Ayrıca teknik açıdan kısıtlayıcı faktörlerde kazı metodunun seçiminde etkilidir. Özellikle şehir içinde yapılacak kazılarda titreşim ve çevresel etkiler ön planda tutulurken bazı mühendislik projelerinde ekonomiklik öne çıkmaktadır. Bu açıdan makine kullanımının teknik kapasite ve ekonomiklik sınırlarının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Hidrolik kırıcılar maden ve inşaat mühendisliğinin uğraşı alanı içerisindeki birçok işlerde kullanılmaktadır(Bilgin,1989). Değişen kazı ortamlarına hızlı uyum gösterme yeteneği ve hareket kabiliyetinin yüksek olması birçok altyapı ve tünel kazılarında tercih edilmesini sağlamaktadır(Nelson vd.1993). Orta sert-zayıf ve gevrek kayaların kazılmasında darbeli kırıcılar oldukça yaygın kullanılır hale gelmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı 0-100 MPa arasında değişen kırıklı ve çatlaklı, bazen zemin özelliği gösteren bazen andezit, diyabaz gibi sağlam kayaç formasyonlarının kazılarında darbeli kırıcılar başarılı kazılar gerçekleştirmektedir(Tunçdemir,2007)

Makine performansı ve günlük kazı miktarı-hacmi göz önünde bulundurulduğunda daha hızlı, efektif bir ilerleme sağlanabilmesi için kazı henüz bitirilmeden ekskavatör aynadan çekilmekte, pasa temizlendikten sonra yeniden kazıya başlanılmaktadır. Bu süreç kesintili olarak sürdürüldüğünden kazı sürelerinin uzamasına ve kazı performansını olumsuz etkilemektedir. RMR, kaya kütle değerleri yüksek formasyonlarda hidrolik kırıcılarda kazı süreleri artmaktadır. Bu nedenle, delme-patlatma işleminin uygulanması operasyonel ve ekonomik açıdan zorunlu olmaktadır. Ancak patlatma sonucu ortaya çıkan toz, yersarsıntısı ve hava şoku vb. çevresel problemlere karşın artan hassasiyetler ile ekonomik ve teknik kriterlerin optimize edilmesi gerekmektedir.

## 2.HİDROLİK KIRICILAR VE ÖZELLİKLERİ

Hidrolik kırıcılar, 1964 yılından beri madencilik, tünel, inşaat-yapı sektöründe ve altyapı işlerinde artan bir ivmeyle kullanılmaktadır. İstanbul'da metro işlerinde ve tünellerinde RQD değerleri 0-100 arasında değişen formasyonlarda hemen hemen 15 km metro tüneli hidrolik kırıcılarla sürülmüştür(Bilgin vd.,1996, 1997, 2002).

Hidrolik kırıcılar, yaygın olarak yeraltı ve yerüstü birçok mühendislik projelerinin işlerinde farklı alanlarda değişik amaçlar için kullanılmaktadır(Çizelge 1)

Çizelge 1. Hidrolik kırıcıların kullanım alanları

Kullanım yeri	Kullanım amacı
Maden	Cevher ve üst örtü kazısı, galeri kazısı, kayaç sökümü, topuk kazanımı, arazi düzeltme
Tünelcilik	Tünel galeri kazısı, metro, aç-kapa tünel kazıları,
Agrega	Üretim kazısı, İri parçaların kırılması, şevler ve basamak düzenleme,
İnşaat	Zemin kazısı, altyapı boru hattı kazısı, zemin düzenleme, istinat duvarı
Yıkım	Beton geri dönüşümü, temel kırma, bina yıkım işleri, iri malzeme boyut küçültme
Yol-liman	Yol şev ve düzenlemesi, sağlamaştırma, , dolgu işleri, liman-kıyı düzeltme
Geri dönüşüm	Beton geri dönüşüm, kaldırım taşları geri dönüşümü, asfalt geri dönüşüm vb.
Altyapı projesi	Kaya zeminlerde temel kazısı, kanal kazısı, mühendislik projeleri,şehir altyapı işleri

Özellikle şehir içi kazılarda, patlatmanın çevresel etkilerinin yoğun olduğu spesifik işlerde kaçınılmaz bir kazı tekniği olarak hidrolik kırıcı yerini almaktadır(Şekil 1).



Şekil 1. Hidrolik kırıcı ve ekskavatör

Taşocakçılığı, inşaat gibi sektörlerde kazı işlemi; basamaklarda delicilerle delgi paternine uygun delinen deliklerin patlatılması ile başlar. Böylece orta büyüklükteki kaya parçalarına ufaltılmaktadır. Ancak patlatma sonucu ortaya çıkan toz, yersarsıntısı ve hava şoku vb. çevresel problemlere karşın artan hassasiyetler ile ekonomik ve teknik kriterlerin optimize edilmesi gerekmektedir(Başçetin,2011).

İzmir Bayraklı Entegre Sağlık Kampüsü için kayma dalgası hız profili, sismik kırılma testlerinden belirlenmiştir. VS30 = 1227 m/s, sismik kırılma testlerinden bildirilen kayma dalgası hız profilleri kullanılarak PSHA analizinde kullanılacak referans kaya koşullarının temsili değeri olarak seçilmiştir(Toker A.Ş.,2015).

### 3. SAHA ÇALIŞMASI

İzmir Bayraklı Entegre Sağlık Kampüsü İzmir ili kuzeyinde yer almaktadır. Sağlık kampüsünün, +164.0 m kotuna 54150 m<sup>2</sup> ana bina olmak üzere diğer ünitelerle birlikte 92978 m<sup>2</sup> temel alanı üzerine inşa edilmesi planlanmaktadır. Temel kazısı için yaklaşık 1.5-2 milyon m<sup>3</sup> temel kazısı yapılmaktadır. Çalışma lokasyonu İzmir Bayraklı Entegre Sağlık Kampüsünden uydu görünümü ve kazı planı Şekil 2'de görülmektedir (Toker A.Ş.,2015).



Şekil 2. Çalışma lokasyonu ve projenin plan görünümü (Toker A.Ş.)

Çalışma alanı sınırları içinde Orta Miyosen yaşlı andezit-aglomera ve bu birimlerin içinde ara tabaka şeklinde tuf birimi gözlenmiştir. Temelde gözlenen andezit-aglomera birimi; gri-kahverengi-bordo-koyu yeşil renkte, az-orta-çok ayrılmış, orta-zayıf dayanımlı, seyrek-orta-sık-çok sık-parçalı kırıklı yapıdadır.

Laboratuvar çalışmaları, birim içerisinde gözlenen düşük kaya kalite değerine sahip seviyeler, birimin yer yer tamamen ayrılmış, sık çatlaklı-parçalı olduğu ve araştırmacıların (Hoek, Brown 1981, Gianni-1992, Wyllie-1992, Bowles-1998) benzer özellikteki formasyonlar için tavsiyeleri de düşünüldüğünde Andezit/Aglomera birim için zemin parametreleri basınç dayanımı 25000 kPa, birim hacim ağırlık 22 kN/m<sup>3</sup>, deformasyon modülü 500000 kPa'dır. Basamak şev yükseklikleri 10 m için kohezyon (c) 54 kPa ve içsel sürtünme açısı 41°olarak kaya mekaniksel parametrelere göre kazı planı yapılmıştır (Toker A.Ş.,2015).

Kazı formasyonu andezit ve aglomeralardan oluşmaktadır. Karot numunelerine göre (II)Zayıf – (III) orta kaya özellikleri göstermektedir. RMR değerleri 26 ile 53 arasında değişmekte ve ortalama değeri ise 40.5 (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sondaj kuyusu karotlarına göre Kaya sınıflama parametreleri

Parametreler	Değer	Puan
Kaya malzemesinin dayanımı	qu:5-25 MPa	4
Kaya kalite göstergesi (RQD)	% 45	8
Süreksizlik aralığı	60-200 mm	8
Süreksizlik boyu	10-20 m	1
Çatlak aralığı	1-5 mm	1
Pürüzlülük	Az pürüzlü	3
Dolgu	Yumuşak dolgu < 5 mm	2
Ayrışma durumu	Orta dereceli	3
Yeraltı suyu durumu	Nemli	10
<i>Toplam RMR</i>		<i>40</i>

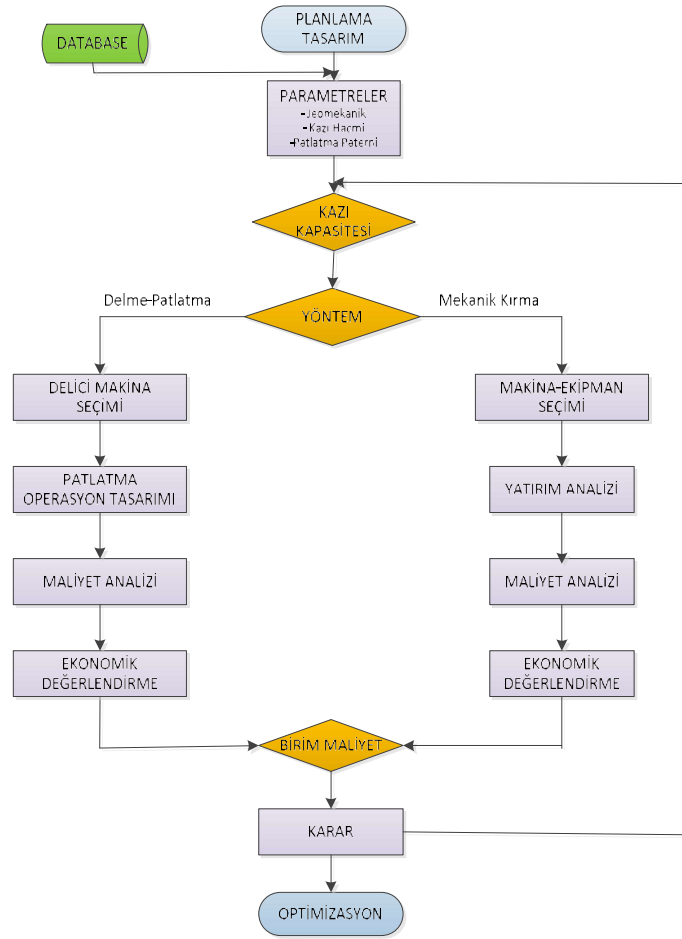
### 3. MODEL ÇALIŞMA

Proje verileri ve uygulama koşulları gözönünde bulundurularak farklı kazı kapasiteleri için model çalışma gerçekleştirilmiştir. Proje teknik parametreleri, kazı kapasitesi ve kazı yöntemine bağlı olarak süreçler ve maliyetlerin öngörülmesine yönelik akım şeması şekil 3'de verilmektedir.

Proje uygulama parametreleri; malzeme hacmi 4201,875 m<sup>3</sup>, günlük kazı kapasitesi 10504.69 ton, yıllık çalışma süresi 8760 saattir. Kazı formasyonu, ayrılmış andezit + aglomera olup yoğunluğu 2.2 t/m<sup>3</sup>dür. Tek eksenli basınç dayanımı 25 MPa ve GSI ortalaması 36 değerinde olan kayaç malzemedir. 8 saatlik bir vardiyada 100-120 m<sup>3</sup> fiili kapasite gerçekleşme sağlanmaktadır. Kullanılan hidrolik kırıcı 2.5 ton ağırlığında ve ekskavatör 30 ton ağırlığındadır(Çizelge 3).

Çizelge 3.Ekskavatör + hidrolik kırıcı ve delici makina özellikleri

Özellik	Ekskavatör + kırıcı	Delici
Motor Gücü (HP)	205	225
Delik çapı (mm)	-	89
Delgi boyu (m)	-	28
Koparma gücü (kN)	186	-
Çalışma ağırlığı (ton)	30.0	15.1
Kova hacmi (m <sup>3</sup> )	1.8	-
Yakıt tüketimi (lt/h)	28.0	22.0
Fiyatı (Euro)	250 000	200 000
Ekonomik ömrü (yıl)	10	15
Delgi hızı (m/h)		35
Fiili kapasite (m <sup>3</sup> / var)	100-120 m <sup>3</sup>	300-400 m
Hidrolik kırıcı ağırlığı (t)	2.5	



Şekil3. Model çalışmaya ait akım şeması  
Delme-patlatma operasyon parametreleri Çizelge 4’de verilmektedir.

Çizelge 4. Delme-Patlatma operasyon parametreleri

Özellik	Değer
Delgi hızı (m/h)	35
Delgi süresi (dk)	14.67
Çevrim süresi (dk)	21.33
Makine-operatör verimi (%)	83
Operasyon süresi (dk)	25.70
Saatlik delgi	2.33
Günlük delgi kapasitesi (adet)	56.00
Deliklerarası mesafe (m)	3.0 m
Dilim kalınlığı (m)	2.5 m
Delik boyu (m)	10 m
Delik çapı (mm)	89 mm
Delik eğimi (derece)	18
Sıkılama oranı (%)	60-70
Özgül şarj (kg/m <sup>3</sup> )	0.33
Sıkılama boyu (m)	3
ANFO fiyatı (c\$/kg)	0.65
Nonel kapsül fiyatı (\$/adet)	6.0
Dinamit fiyatı (\$/adet)	2.0



Kazı operasyonlarına ilişkin maliyet analizleri aşağıda verilmektedir(Çizelge 5).

Çizelge 5. Kazı birim maliyetleri(TL/m<sup>3</sup>)

	Delme-patlatma operasyonu	Hidrolik Kırıcı
Akaryakıt maliyeti	99.935	154.385
Amortisman (h)	8760	7.6104
Faiz	36	980000
Operatör ücreti (h)	6000	28.846
Diğer		24.431
Delgi maliyeti (h)	191.050	
Delik maliyeti	81.842	
ANFO maliyeti	95.288	
Dinamit	5	
Kapsül + diğer	5	
Patlatma maliyeti	105.288	
Delme-patlatma	187.000	
Toplam gider	187.000	268.739
Kazı maliyet (TL/m <sup>3</sup> )	2.270	3.580

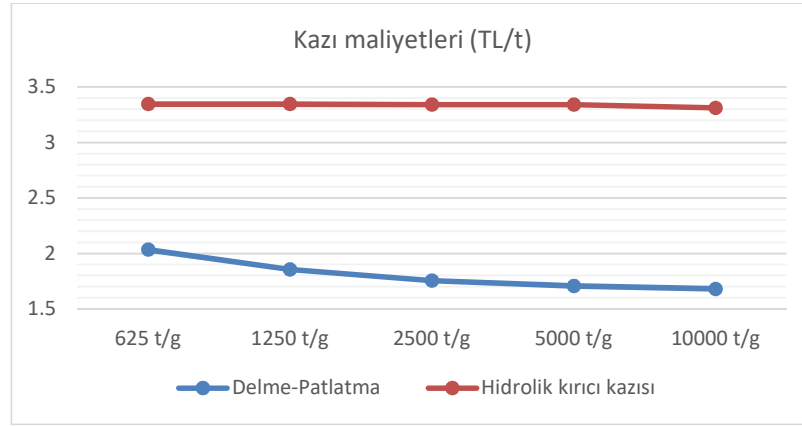
#### 4. DEĞERLENDİRMELER

Ekonomik değerlendirme ve maliyet analizleri ile delme-patlatma ile kazı yapmanın ekonomik açıdan her yönüyle avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Ton başı birim kazı maliyetleri incelendiğinde delme-patlatma operasyonu bu kazı formasyonu için olası tüm kapasite ve şartlarında yaklaşık olarak % 50-60 daha ekonomik görünmektedir. Operasyonlara ilişkin kapasitesine bağlı ton başı birim kazı maliyetleri Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 6. Delme-patlatma ve hidrolik kırıcı ile kazı maliyetleri

Kazı kapasitesi (t/gün)	Delme-Patlatma(TL/ton)	Hidrolik kırıcı kazısı(TL/ton)
625	2.033	3.346
1250	1.855	3.346
2500	1.755	3.340
5000	1.705	3.340
10000	1.680	3.312

625 ton günlük kapasiteli işlerde delme-patlatma operasyon maliyeti 2.03 TL/ton iken hidrolik kırıcıyla 3.35 TL/tona çıkmaktadır. Kapasite artışı ile delme-patlatma maliyetlerinde üretim 2500 ton gün için 1.755 TL/ton iken 10000 ton gün kapasiteli işlerde 1.68 TL/ton değerine düşmektedir(şekil 4).



Şekil4. Kazı maliyetlerinin kapasite ile değişimi grafiği

Hidrolik kırıcılarda kazı planı ve operatör verimliliği çevrim süresini ve saatlik kapasiteyi etkilediği için; formasyon yapısına ve süreklilik zonlarında kazı kolaylığı sağlayan avantajlardan yararlanılarak daha etkin bir kazı planlaması yapılması ve yüksek operatör verimliliği sağlanması durumunda % 65'lik kapasite artışı sağlanabildiğinde delme-patlatma operasyonuna göre ekonomik olabilmektedir.

## 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Şehir altyapısı ve özel proje kazılarında patlatma sonucu ortaya çıkan toz, yersarsıntısı ve hava şoku vb. çevresel problemlere karşı artan hassasiyetler ile ekonomik ve teknik kriterlerin optimize edilmesi gerekmektedir. Şehir altyapısı ve özel temel kazılarında, titreşim hassasiyetinin olabileceği yerlerde proje ve kazı sorunlarının teknik ve ekonomik açıdan çözümlenebileceği öngörülmektedir.

Ekonomik değerlendirme ve maliyet analizleri, delme-patlatma ile kazı yapmanın birçok durumda ekonomik açıdan her yönüyle avantajlı olduğu görülmektedir. Ancak teknik kısıtların domine ettiği proje kazılarında hidrolik kırıcılar kaçınılmaz olabilmektedir. Böylesi karmaşık ve zorlu koşullarda ekskavatör ve kırıcıların düşük maliyetli ve efektif çalışmasını sağlamak gereklidir. Hidrolik kırıcılarda kazı planı ve operatör verimliliği çevrim süresini ve saatlik kapasiteyi etkilemektedir. Bu nedenle; formasyon yapısına ve süreksizlik zonlarında kazı kolaylığı sağlayan avantajlardan yararlanılarak daha etkin bir kazı planlaması yapılması ile yüksek operatör verimliliği sağlanabilir. İdeal bir kazı planlaması yapılması, yüksek operatör verimliliğine ve % 65'lik kapasite artışı sağlanması durumlarında delme-patlatma operasyonuna göre daha ekonomik ve çevreye duyarlı kazıların gerçekleşmesi olasıdır.

## KAYNAKLAR

- Başçetin,2011.Başçetin A., Adıgüzel D., Tüylü S., 2011. The study of energy consumptions and CO2 emissions in the production of aggregate for different rock units. SME Annual Meeting, February 27. Denver-USA, CO. Preprint 11-026.
- Bilgin N.,Kuzu C., Eskikaya, S., 1997. Cutting performance of rock hammers and road headers in İstanbul metro drivages. In: Proceedings of the World Tunnel Congress'97. Tunnels for people, Balkema, pp455-460.
- Bilgin N., Dinçer, T., Çopur, H.,2002. The performance of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in İstanbul tunnel drivages. Tunneling and Underground Space Technology Vol.17, p.237-247.
- Toker A.Ş, 1995. İzmir Bayraklı Entegre Sağlık Kampüsü Jeolojik – Jeoteknik Etüt Raporu Faz-1.
- Tunçdemir,2007. Hidrolik Kırıcıların Performans Tahmini ve Seçim Kriterleri, 2. Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu, 215-226. 15-17 Kasım 2017,İstanbul.
- Tunçdemir, 2007. Impact hammer applications in İstanbul metro tunnels, Tunneling Underground Space Technology, doi:10.1016/j.tust.2007.04.007

**PARK TERMİK A.Ş ÇAYIRHAN LİNYİT İŞLETMESİ' NDE J SAHASI HAZIRLIK KAZI ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

*EVALUATION OF PREPARATORY WORKS IN J FIELD AT PARK TERMİK INC. ÇAYIRHAN MINES*

Ç. Temel, E. İlhan, F. Ustabas

*Ciner Group Park Termik A.Ş., Ankara*

**ÖZET**

Madencilik sektöründe verimliliğin artırılması ile işletme maliyetlerinin düşürülmesi açısından mekanize kazı önem taşımaktadır. Özellikle hazırlık çalışmalarında mekanizasyonun uygulanması işletme verimlerinin artmasına ve işçilik maliyetlerinin oldukça azalmasını sağlamıştır. Hazırlık çalışmalarında kazı ve nakliyat ekipmanları, personel nakliyatı, tahkimat sistemi gibi faktörler çalışma sürelerini ve dolayısıyla üretime geçiş süresini etkilemektedir. Bu çalışmada, Çayırhan Linyit İşletmesi J Sahasında yapılan hazırlık çalışmaları değerlendirilmiş olup, kazı hızına ve işletme verimine etki eden faktörler değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT**

In the mining sector, mechanized excavation is important in terms of increasing productivity and reducing operating costs. Especially in the preparatory work, mechanization application increased operational efficiency and reduced labor costs. Factors such as excavation and transport equipment, personnel transport, support system affect the working time and thus the time to start production. In this study, the preparatory studies in Çayırhan Lignite Mine J Area were evaluated and the factors affecting the excavation speed and operational efficiency were evaluated.

## GİRİŞ

Madencilikte çalışma ortamı güvenliğinin sağlanması, üretim ve verimin artırılması için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Dünyada, yeraltı kömür madenciliği içerdiği riskler ve zorluklar nedeniyle mekanize olma yönünde hızlı bir değişim süreci geçirmiştir. Mekanize kazının dünyadaki kullanımı 1818 yılından başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir. (Çomaklı, 2010) 1950'ler de tam mekanize sisteme geçiş ile birlikte kömür üretimi ve verimliliği artmıştır.(Peng, 2006)

Ülkemizde mekanik kesme yapan kazı makinelerinin kullanımı 1970'li yıllarda GAP çerçevesinde sulama tünellerinin yapımıdır. (Hekimoğlu vd., 2000)Daha sonra 1987 yılında Türkiye Kömür İşletmeleri' ne bağlı Orta Anadolu Linyitleri İşletmesinde (OAL) mekanize kazıya geçilmiştir. Aynı dönemde yine TKİ bünyesinde Tunçbilek ve Soma havzalarında kullanılmıştır. 1990 sonrası kömür ocakları ve termik santrallerin özelleştirilmeleri ile birlikte özel sektör tarafından çalıştırılan kömür ocaklarında mekanize kazı yöntemi ile çalışan uzun ayaklar kurulmuştur.

Yeraltı madenciliğinde hazırlık çalışmaları cevhere ulaşmak amacıyla gerekli yolların açılması olarak tanımlanabilir. İşletmelerin kuruluş yıllarında üretime başlanılabilmesi ana olarak hazırlık çalışmalarının tamamlanması ile olanaklıdır.(EyyüboğluveBölükbaşı,2004).

Maden işletmelerinde istenilen hızda ve verimde üretim yapılabilmesi için hazırlık kazı çalışmalarının önemi oldukça fazladır. Hazırlık çalışmalarında hızlı ve verimli çalışmayı etkileyen birçok farklı parametre bulunmaktadır. Sahaların jeolojik özellikleri, hidrojeolojik koşullar, uygulanan tahkimat sistemi, kazı ve nakliyat sistemlerinin verimli çalışması, çalışanların tecrübeleri gibi birçok parametre hazırlık kazı çalışmalarına etki etmektedir.

Proje hazırlanmadan önce jeolojik ve hidrojeolojik etütlerin iyi yapılması ve sahanın özelliklerinin iyi bilinmesi hazırlık kazı çalışmalarının verimli olması açısından oldukça önemlidir.

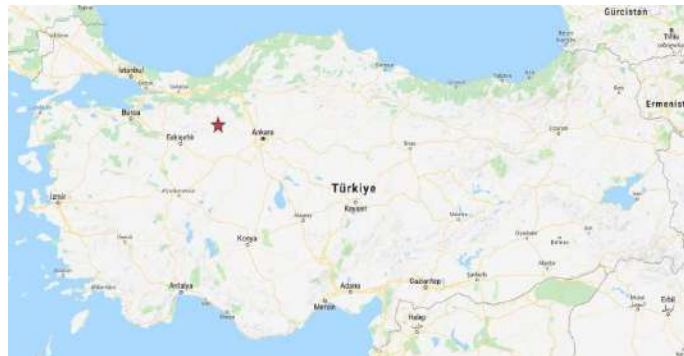
Bir maden ocağının açılmasında hazırlık kazı çalışmaları temel olarak 3 aşamada gerçekleşmektedir.Bunlar;

- Ana galerilerin açılması
- Pano taban yollarının açılması
- Ayak montaj kılavuzlarının açılması

Bu çalışmada, 2017-2019 yılları arasında J sahasında açılan taban yolları ve kılavuzların analizleri yapılmış olup elde edilen veriler ışığında değerlendirmeler yapılmıştır.

### PARK TERMİK ÇAYIRHAN YERALTI LİNYİT İŞLETMESİ

Çayırhan Linyit İşletmesi Ankara'nın Nallıhan ilçesine bağlı Çayırhan Mahallesi'n de bulunmaktadır. Ankara' ya olan uzaklığı 122 km' dir ve Ankara-Nallıhan karayolu üzerinde yer almaktadır.



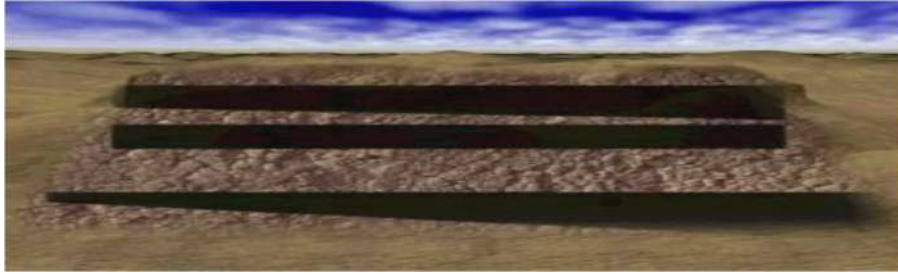
Şekil 1. Yer buldurur haritası

1996 yılında B ve C sahalarının üretim projesini, yatırımlarını ve işletmeciliğini alan Park Grubu daha sonra 2000 yılında A ve F sahalarının rehabilite edilerek işletilmesini, 2004 yılında da G sahasının proje ve yatırım safhalarını takiben üretim çalışmalarını üstlenmiştir. (Çavuşoğlu vd.,2011) 2011 yılından itibaren E, H ve D sahalarının, 2017 yılından itibaren ise J sahasının proje ve yatırım safhalarına başlanılmıştır. 2019 yılı itibarıyla üretim çalışmaları H ve J sahalarında yapılmaktadır (TemelveUstabaş,2019).

## ÜRETİM FAALİYETLERİ

Geri dönüşümlü göçertmeli tam mekanize uzun ayak üretim yönteminin uygulandığı Çayırhan Linyit İşletmesi' n de ayak boyları 200-220 metre civarında, pano boyları ise saha şartlarına göre 700-3200 metre arasında olacak şekilde madencilik faaliyetleri yapılmaktadır.

Uygulanan üretim yönteminde; taban yolu ihtiyacının en aza indirilmesi, rezervlerin mümkün olan en iyi şekilde değerlendirilmesi ve kömürün kendiliğinde yanma riskinin azaltılması amaçlarıyla her sahada panoların alt tabanyolları bir sonraki panonun üst taban yolu olacak şekilde çalışmalar planlanmıştır.



Şekil 2. Kömür tabakalarının genel görünümü

Yaklaşık 400 milyon ton kömür bulunan Çayırhan havzasında kömür, bir ara kesme ile ayrılarak iki damar halinde konumlanmıştır. Bu iki damarın 150 m altında henüz işletmeye alınmamış ve kalınlığı 2-11 m arasında değişen üçüncü bir kömür damarı daha mevcuttur. Üst kömür için sahasın batısında iki damar arasındaki ara kesme kalınlığı 1,2-1,8 m kalınlığında iken sahasın doğu kesiminde ara kesmenin kalınlığı 0,5-1 m arasında değişmektedir. (Aydın ve Kaygusuz, 2000). Bu nedenle sahasının batısında kalan B ve E sahalarında üretim faaliyetleri iki damar ayrı çalışacak şekilde yapılmış, H sahasında ise yine aynı çalışma şekli ile üretim faaliyetleri devam etmektedir. Sahanın doğusunda kalan C,G ve D sahalarında üretim faaliyetleri tek ayak çalışacak şekilde yapılmış, J sahasında ise yine tek ayak çalışma şekli ile üretim faaliyetleri devam etmektedir. (Temel ve Ustabaş,2019).

Tam mekanize olarak üretim yapılan ocaklardaki uzun ayak teçhizatları çift tamburlu kesici-yükleyici, yürüyen tahkimat üniteleri, ayak zincirli konveyörü, aktarma zincirli konveyörü, bant konveyör, güç üniteleri, nakliyat üniteleri vb. gibi donanımlardan oluşmaktadır.(Şekil 3.)

Kesici-yükleyicinin kömürü kazmasıyla başlayan üretim işleminde kömür nakliyatı, ayak içi zincirli konveyör, aktarma konveyörü ve bant nakliyat sistemlerinin de devreye girmesiyle gerçekleşmektedir.

Üretimi gerçekleştirilen kömür, yeraltında kaba kırıcıdan geçerek, bant konveyörler ile dışarı çıkarılmaktadır. Çayırhan Termik Santraline yakıt sağlayan maden sahalarından çıkarılan kömür, bant konveyörleri ile yerüstüne alınmakta ve kapalı yerüstü bant konveyörleri ve/veya kamyonlarla besleme noktalarına nakledilmektedir. Kömür, besleme noktalarından, kırma, eleme ve kömür hazırlama işlemlerine tabi tutularak, yerüstü bantları vasıtasıyla Çayırhan Termik Santral sahasına nakledilmektedir.



Şekil 3. Ayak içi genel görünümü

### HAZIRLIK FAALİYETLERİ

Hazırlık kazı çalışmalarında ana galerilerin açılması sonrasında projeye göre belirlenmiş panolarda üretime geçilebilmesi için taban yolları ve kılavuzların açılması gerekmektedir. Taban yolları kömürde kesecek şekilde kömür damarı kalınlığı seviyesinde açılmaktadır. Açılan iki adet taban yolu bir kılavuz ile birleştirilerek üretim panosu hazırlık kazı çalışmaları tamamlanmaktadır.

İşletmede hazırlık kazı çalışmaları tek kollu galeri açma makineleri ile yapılmaktadır. Taban yollarının ana galeriden girişlerinde ki ilk bölümler eğer galeri açma makinesinin için uygun dönüş açısı yok ise delme patlatma ile açılmaktadır. Ancak galeri açma makinesi için uygun dönüş açısı var ise galeri açma makinesi ile kazı çalışmasına hemen başlanılmaktadır.



Şekil 4. Galeri açma makinesi

İşletmede gerçekleştirilen hazırlık kazı çalışmalarında üç farklı tipte, 8 adet GAM (2adetDoskoMk2A, 5adet DoskoMk2B ve 1 adet Pk9r) kullanılmaktadır. Bu makineler kömürde ve basınç dayanımı düşük olan (50MPadanküçük) kayalarda verimli çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. İşletmede kullanılan galeri açma makinelerine ait baziteknik özellikler Çizelge1’de sunulmuştur.

Çizelge1.İşletmede kullanılan kollu galeri açma makinelerinin bazı teknik özellikleri (Tatar,1984; ÇetinveEyyüboğlu,1994; Bilim,2007)

Makine Özellikleri	Dosco Mk2A	Dosco Mk2B	Pk9R
Makine Boyutları (Uz*yük*en) (m)	7,17*1,64*2,8	10,2*2*3	7,2*1,85*2,8
Maksimum kazı kesiti (Yük*gen)(m)	4,09*5,76	5,4*5,76	3,9*6,28
Toplam Güç(kW)	150	224	186
GAM toplam ağırlığı(ton)	23,4	44	32
Kesici kafanın motor gücü(kW)	67	112	93
Kafanın dönme sayısı(dev/dak)	68	58	61-99
Makinenin yürüme hızı(m/dak)	7,2	8,4	2
Çıkabileceği maksimum eğim (derece)	14	14	10
Nominal çarpma basıncı(bar)	105-140	140	-
Hidrolik sistem motoru (kW)	56	112	15
Zemin basıncı(kg/cm <sup>2</sup> )	1,5	1,19	0,96
Yükleme sistemi	Sıyırıcı konveyör	Toplayıcı kol/yıldız	Toplayıcı kol

İşletmede, insan ve malzeme nakliyatında monoray ve kulikar nakliyat sistemleri kullanılmaktadır. Ancak hazırlık galerilerinde insan ve malzeme nakliyatı elektrikli monoraylar ile yapılmaktadır. Elektrikli monoray hattı ile kazı arını arasında kalan kısımda havalı monoraylar kullanılmaktadır. Havalı monoraylar ile insan nakli yapılmamakta olup bu nakliyat araçları sadece malzeme nakliyatında kullanılmaktadır. Elektrikli monoraylar ile 12 tona kadar malzeme nakliyatı yapılabilmektedir. Halat hızı 2m/s, halat çapı 16/19mm'dir. Kullanılan raylar I140E profil de ve 3 m uzunluğundadır. Basıncılı hava ile çalışan monoraylarda 12 ton taşıma kapasitesine sahip olup kısa mesafelerde taşıma amacıyla kullanılmaktadır (ÇetinveEyyüboğlu,1994).

Açılan hazırlık galerisinin havalandırması, tali vantilatörlerle üfleyici sistem şeklinde yapılmaktadır. Bu sistemde ilerlemeye bağlı olarak hazırlık galerisi içine vantüpler döşenmekte ve üfleyici vantilatör vasıtasıyla kazı arınına temiz hava üflenmektedir.

Ayrıca, tozu kaynağında bastırma amacıyla yaş tip toz bastırma ekipmanı kullanılmaktadır. İşletmenin ocaklarında mekanize galeri sürmede Engart Fans ve CFT şirketi tarafından üretilen yaş tip toz bastırma üniteleri kullanılmaktadır. Bu toz bastırma ünitesi makinenin ilerlemesine (galeri ilerlemesine) bağlı olarak uygun düzener sayesinde ilerlemektedir.

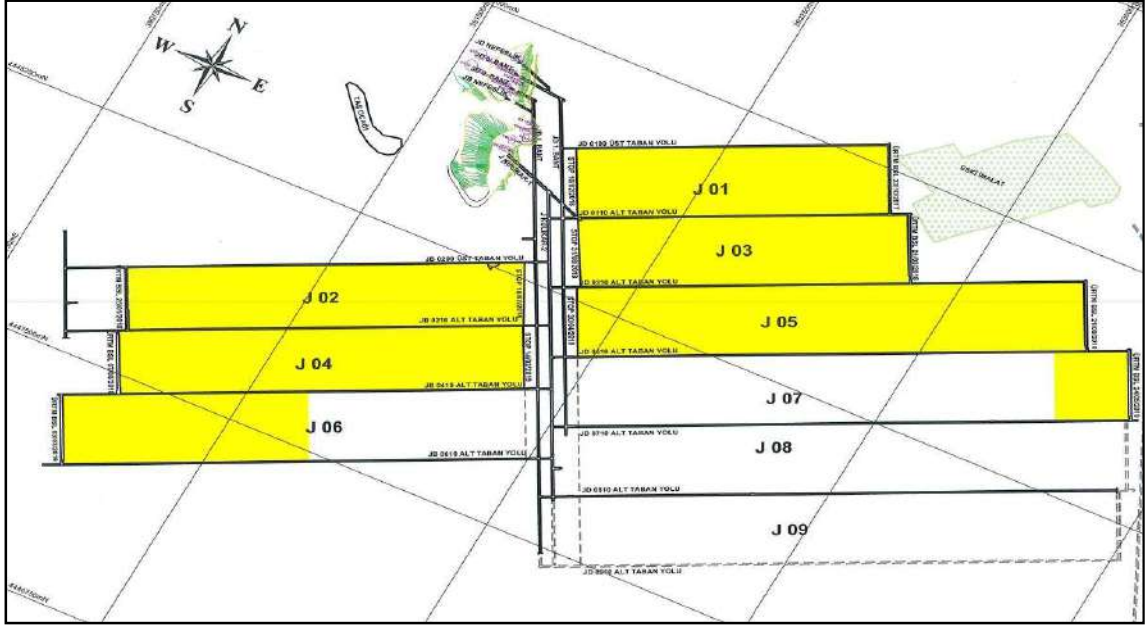
### J SAHASI HAZIRLIK ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sahanın jeolojik özellikleri araştırılırken, Çayırhan havzasında yapılan önceki çalışmalar ile MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2012 yıllarında, havzanın Kuzey-Kuzeydoğu kısmı ve J sahasında yapılan sondaj çalışmaları değerlendirilmiş, eski imalatlar incelenerek, rezerv ve kalori kontrollü 27 adet ilave karotlu sondaj yapılmıştır.Park Termik, tecrübeli teknik personeli ve havza genelinde sahip olduğu saha jeolojisine ilişkin tecrübeler ışığında, maden üretimine esas jeolojik araştırma çalışmaları yürütmüştür. J Sahasında, uygun üretim planlaması, üretim panolarının projelendirilmesi ve yıllarca sürdürülebilir üretimler için yapılan sondaj ve jeofizik çalışmalarında, etkin tektonizma hareketlerinin sonuçları ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilerle yeraltı proje planlaması yapılmıştır.(Şenkal vd., 2019)

J sahasında jeolojik yapı gereği kömür üzerindeki kireçtaşı tabakasının su taşıma ve bulundurma özelliklerinin sondajlarla kontrolü dışında, yeraltı suyu akış ve toplanma yönünün belirlenmesi için, Sekli köyü civarında jeofizik çalışmaları yaptırılmıştır. Bu çerçevede, Sekli sahasında toplamda 32 noktadan düşey elektrik sondajı tekniğinde rezistivite çalışması yapılarak, yüksek, kısmen yüksek ve düşük rezistiviteli katmanlar veya zonlar belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, sahanın hazırlık ve üretimde

ortaya çıkacak tasmanlarla ortaya çıkacak yeraltı sularının, çalışan sahalara tehdit edici miktarda olmayacağı tespit edilmiştir.(Şenkal vd., 2019)

J sahasında proje olarak daha önce işletmede uygulanmamış farklı bir proje yapılmıştır. Bu projeye göre J sahasında üç tane ana galeri hazırlanmıştır. Doğu ve batı üretim panoları olmak üzere saha ikiye ayrılmıştır. Bu ana galerilerden ikitanesi J doğu ve J batı panoların kirli havalarının ve kazı sonucu ortaya çıkan malzemenin bantlarla yeryüzüne nakli için çıkış yolu olarak, birtanesi ise ocağın temiz hava girişi galerisi olarak planlanmış ve açılmıştır. (Şekil 5. J Sahası Planı)



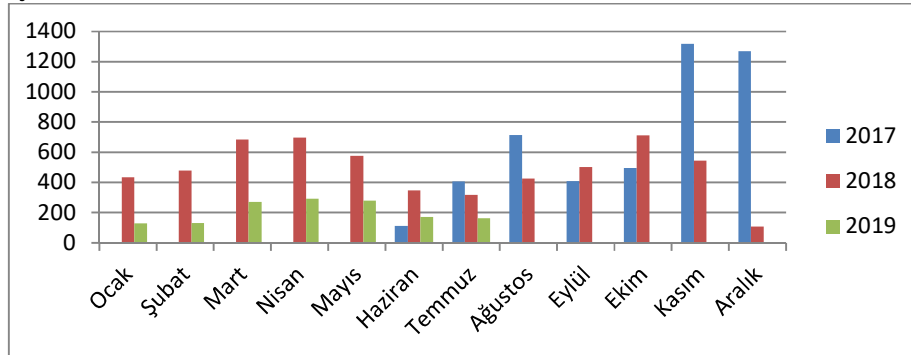
Şekil 5. J sahası genel planı

Buna göre ocağın temiz havası J Kulikar yolundan giriş yaparak, irtibat bağlantı yolları ve hava kapıları ile yönlendirilerek çalışma alanlarına ulaştıktan sonra J doğu üretim ve hazırlık kirli havaları J doğu ana galeriden, J batı üretim ve hazırlık kirli havaları ise J batı ana galeriden ocak dışına çıkmaktadır.

J sahasında taban yolları eski imalat ve fay durumları göz önünde bulundurularak yaklaşık olarak 900-1500 metre arasında açılmıştır. Kılavuzlar ise genel olarak 200-220 metre aralığında, bazı özel durumlarda ise 230 metreye kadar açılarak üretim faaliyetleri için panolar hazır hale getirilmiştir.

#### 2017-2018 Yılları Arasında Taban Yollarının Aylara Göre İlerlemeler

J sahasında 2017-2019 yılları arasında aylara göre taban yollarında yapılan toplam ilerlemeler şekil 6' de verilmiştir.



Şekil 6. Aylara göre toplam taban yolu ilerlemeleri



2017 yılının son 6 ayı, 2018 yılının tamamı ve 2019 ilk 7 ayında J sahasındaki taban yolu ilerlemelerine bakıldığında;2017 yılında J Sahasında taban yolları sürülmesi sırasında toplam ilerlemenin en fazla olduğu ay olarak 1317,75 metre ile kasım ayı ilk sırayı almaktadır.1268 metre ile Aralık ayı ise 2017 yılında en fazla ilerlemenin yapıldığı ikinci aydır.2018 yılına bakıldığında ise en fazla ilerleme yapılan ay olarak ekim ayı 713 metre ile ilk sırada yer almaktadır. 697 metrelik toplam ilerleme ile nisan ayı en fazla ilerlemenin yapıldığı ikinci aydır. 2019 yılının ilk 7 ayı içinde ilerlemenin en fazla olduğu ay 293 metre ile nisan ayıdır.

Yıl bazında genel toplama bakılacak olursa 2017 yılının ilk 6 ayında 4726 metre taban yolu açılmışken, 2018 yılında5830 metre ve 2019 yılının ilk 7 ayında ise 1436 metre taban yolu açılmıştır.

Özellikle 2017 yılının son 6 aylık döneminde ki ilerlemenin fazla oluşu birden fazla taban yolunun aynı anda sürülmesidir.2019 yılında ise sadece JD 810 hazırlık galerisinin faaliyetlerine devam ediyor olması sebebi ile ilerlemeler önceki yıllara göre daha düşüktür.

### Taban Yolları İçin Zaman Etüdüleri

Çizelge 2. Taban yolları için zaman etüdüleri

Açıklama / Galeri Adı	JD 110 BACA	JD 109 BACA	JB 209-1 BACA	JB 209-2 BACA	JB 210-1 BACA	JB 210-2 BACA	JD 310 BACA	JB 410 BACA	JD 510 BACA	JB 610 BACA	JD 710 BACA	JD 810 BACA	
Çalışma Yapılan Tarihler	06.2017 08.2017	08.2017 10.2017	10.2017 12.2017	10.2017 12.2017	11.2017 01.2018	11.2017 01.2018	10.2017 12.2017	02.2018 06.2018	01.2018 05.2018	06.2018 11.2018	04.2018 12.2018	10.2018 07.2019	
Kullanılan Makine	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	Mk2B	
Galeri Uzunluğu (m)	863,75	842	636	588	769,75	446	884	1293,25	1387	1283,5	1486,5	1508	
Kesit (m <sup>2</sup> )	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Fiili Çalışma Günü	76	66	67	52	74	60	89	141	141	181	242	279	
Ortalama Aylık İlerleme (m)	341	383	285	339	312	223	298	275	295	213	184	162	
İşçilik Performansı (cm/yevmiye)	33,4	46,9	47,7	44,7	49,2	29,4	31,7	42,5	35	40,4	36,5	34,5	
Toplam İşçi Sayısı	2586	1796	1332	1316	1566	1516	2787	3043	3962	3178	4071	4375	
Net Kazı Zamanı (%)	40,4	43,2	35,7	40,4	38,1	41,5	38,7	39,8	37,2	32	26,2	22,5	
Ortalama Günlük İlerleme (m)	11,36	12,75	9,49	11,3	10,4	7,43	9,93	9,17	9,84	7,09	6,14	5,41	
Ortalama Kazı Hızı (m/sa)	0,47	0,53	0,40	0,46	0,43	0,31	0,41	0,38	0,41	0,30	0,26	0,22	
Toplam Duruşlar (%)	59,6	56,8	64,3	59,6	61,9	58,5	61,3	60,2	62,8	68,0	73,8	77,5	
(% DURAKLAMALAR	Tahkimat Çalışması(%)	27,6	30,7	22,9	27,8	24,8	23,9	25,1	25,5	26,4	21,3	19,9	19,4
	Bakım (%)	5,0	5,7	4,9	5,5	4,6	5,2	5,1	5,1	5,0	4,6	4,3	3,6
	Vardiya Değişimi (%)	7,5	6,9	7,6	6,4	7,0	7,2	7,0	9,8	9,0	10,2	13,4	14,7
	Mekanik Arıza (%)	2,6	0,8	1,8	1,1	5,5	2,0	3,7	1,1	3,1	1,8	2,2	2,4
	Elektrik Arıza (%)	0,9	1,3	0,7	1,2	1,0	0,4	3,2	0,5	1,4	1,2	1,7	2,1
	Nakliyat Ünite Uzatımı (%)	6,0	6,4	5,7	7,6	7,5	7,0	6,3	4,7	6,9	6,8	6,4	7,3
	Genel Yan İşler (%)	9,2	4,1	13,8	6,7	7,7	10,8	7,5	3,2	4,2	5,6	9,6	9,8
	Diğer İşler (%)	0,8	0,9	6,9	3,3	3,8	1,9	3,4	10,2	5,2	16,5	16,3	18,2

J sahasında yapılan hazırlık kazı çalışmalarının tamamında DOSCO MK2B tip galeri açma makinesi kullanılmıştır. Taban yolları hazırlık çalışmaları ile ilgili yapılan değerlendirme tablosu çizelge 2' de sunulmuştur. Çizelge 2' de her hazırlık galerisi için ortalama aylık ilerlemeler, işçilik performansı, net kazı zamanı, ortalama günlük ilerlemeler, ortalama kazı hızları ve toplam duraklamalar hesaplanmıştır. Su atımı, topoğraf çalışmalarını, maden duraklamaları, genel tatiller ve sondaj çalışmaları diğer işler kısmında

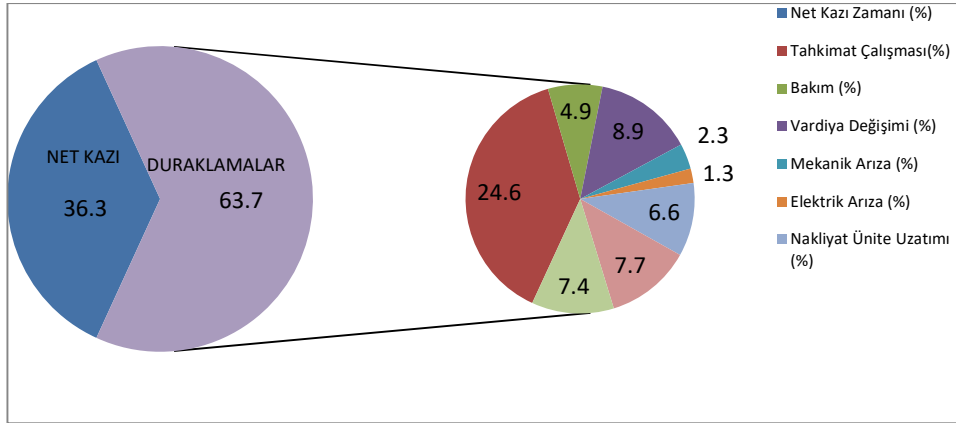
değerlendirilmiştir. Sondaj çalışmaları nakliyat üniteleri uzatımı sırasında yapıldığından dolayı duraklamaların toplamına etkisi çok olmamıştır.

Çizelge 2 incelendiğinde ortalama en yüksek kazı hızlarına JD109-JD110 taban yollarında 0,53-0,47 m/sa ulaşıldığı görülmektedir.Yine bu iki taban yolunda günlük ortalama ilerlemeler 12,75-11,36 metrelere ulaşmıştır.

Taban yollarında görevli personel sayısına bağlı olarak işçilik performansları değişiklik göstermektedir. İşçilik performanslarının 49,2 cm/yevmiye ile en yüksek JB210-1 taban yolunda,en düşük 29,42 cm/yevmiye olarak JB210-2 taban yolunda olduğu görülmektedir.Toplamda 11992 metre taban yolu ilerlemesinin yapıldığı dönemde işçilik performansı ortalama 39,3 cm/yevmiye seviyelerindedir.



Şekil 7.Genel ve taban yolu ortalama günlük ilerleme karşılaştırması



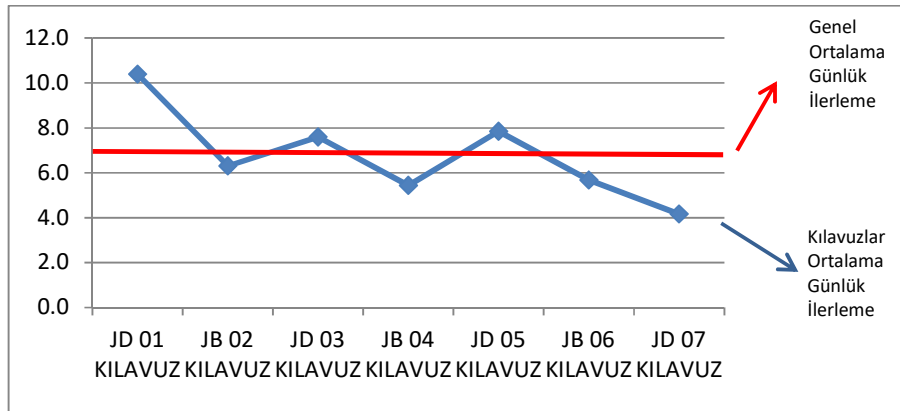
Şekil 8.Tüm taban yollarında ortalama kazı ve duraklama değerlendirilmesi  
**Ayak Montaj Kılavuzları İçin Zaman Etüdüleri**

İşletmede ayak montaj kılavuzları genel olarak galeri açma makinesi ile 25 m<sup>2</sup> kesitte açılmakta ve daha sonra delme patlatma yöntemi ile ayak ekipmanları montajı için yeterli kesit oluşturulması için 35m<sup>2</sup> kesite çıkarılmaktadır. Ancak J sahasında delme patlatma ile genişletme çalışması yapılmadan ayak montaj kılavuzları galeri açma makinesi ile tek seferde 35m<sup>2</sup> kesitte açılmıştır.

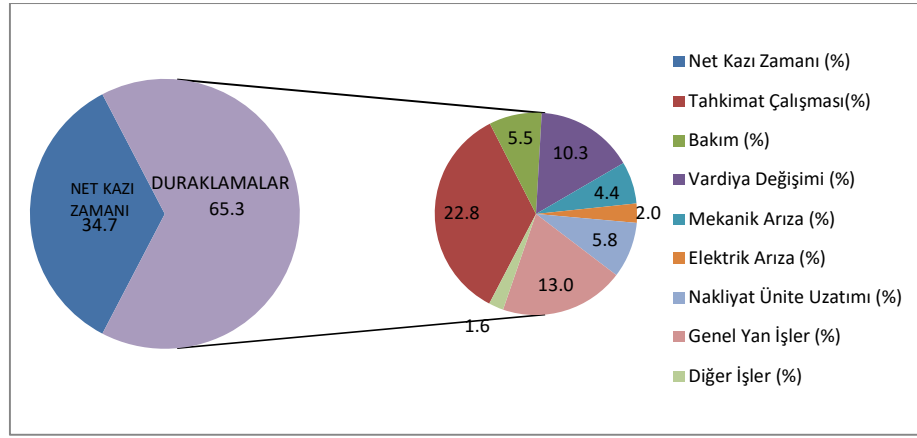
Çizelge 3. Ayak montaj kılavuzları için zaman etüdü

Açıklama / Galeri Adı	JD 01 KILAVUZ	JB 02 KILAVUZ	JD 03 KILAVUZ	JB 04 KILAVUZ	JD 05 KILAVUZ	JB 06 KILAVUZ	JD 07 KILAVUZ	
Çalışma Yapılan Tarihler	09.2017 09.2017	10.2017 11.2017	12.2017 01.2018	02.2018 03.2018	06.2018 06.2018	12.2018 01.2019	01.2019 03.2019	
Galeri Uzunluğu (m)	225,25	225	220	201	206,75	215,75	227,5	
Kesit (m <sup>2</sup> )	35	35	35	35	35	35	35	
Fiili Çalışma Günü	22	36	29	37	26	38	54	
Ortalama Günlük İlerleme (m)	10,40	6,31	7,59	5,43	7,85	5,68	4,16	
İşçilik Performansı (cm/yevmiye)	29,79	31,82	27,74	24,36	24,94	19,42	16,46	
Toplam İşçi Sayısı	756	707	793	825	829	1111	1382	
Net Kazı Zamanı (%)	38,3	32,7	37,4	36,3	37,6	36,1	24,6	
Ortalama Kazı Hızı (m/sa)	0,43	0,26	0,32	0,23	0,33	0,24	0,20	
Toplam Duruşlar (%)	61,7	67,3	62,6	63,7	62,4	63,9	75,4	
(% DURAKLAMALAR	Tahkimat Çalışması(%)	24,9	26,2	22,1	23,3	23,6	19,3	19,9
	Bakım (%)	5,1	6,7	4,7	5,1	5,4	5,1	6,4
	Vardiya Değişimi (%)	7,5	6,1	8,2	11,1	12,4	12,4	14,0
	Mekanik Arıza (%)	4,6	4,9	5,7	3,0	4,6	2,8	5,1
	Elektrik Arıza (%)	2,4	3,1	1,0	1,9	2,3	0,8	2,5
	Nakliyat Ünite Uzatımı (%)	7,1	7,5	6,0	4,6	4,3	4,2	7,2
	Genel Yan İşler (%)	9,8	11,2	14,1	13,1	8,9	18,5	15,3
	Diğer İşler (%)	0,3	1,6	0,8	1,6	0,9	0,8	5,0

Çizelge 3 incelendiğinde ayak montaj kılavuzlarında ortalama günlük ilerleme dikkate alındığında JD01 kılavuz 10,4 m/gün değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Ortalama ilerlemenin 4,16 m/gün değeri ile en düşük olduğu JD07 kılavuzda vardiya değişimi, genel yan işler ve diğer işlere harcanan sürenin diğer kılavuzlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayak montaj kılavuzlarından net kazı zamanları JD07 kılavuz dışında genel olarak birbirine çok yakın değerlerdedir. Ancak jeolojik koşullar ve çizelge 3' de belirtilen duraklamalara bağlı olarak fiili çalışma günleri farklılıklar göstermektedir. İşçilik performanslarının 31,82 cm/yevmiye ile en yüksek JB02 kılavuzda, en düşük 16,46 cm/yevmiye olarak JB07 kılavuzda olduğu görülmektedir. Toplamda 1521,25 metre kılavuz ilerlemesinin yapıldığı dönemde işçilik performansı ortalama 24,93 cm/yevmiye seviyelerindedir.



Şekil 9. Genel ve ayak montaj kılavuzu Ortalama Günlük İlerleme karşılaştırması



Şekil 10. Tüm ayak montaj kılavuzlarında ortalama kazı ve duraklama değerlendirilmesi

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

J sahasında taban yolları ve ayak montaj kılavuzlarının açılması çalışmalarında aynı tip makinenin kullanılması karşılaştırmalar açısından daha detaylı sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Taban yollarında net kazı zamanı genel ortalama olarak %36,3 seviyelerindeyken bu sayı ayak montaj kılavuzlarında %34,7 seviyelerindedir. Taban yolları ve kılavuzlar genel olarak değerlendirildiğinde kazı için harcanan zaman birbirine yakındır.

Genel ortalama olarak duraklamalara bakıldığında ise taban yollarında %63,7 seviyelerinde olan duraklama zamanları ayak montaj kılavuzlarında % 65,3 seviyelerindedir. Şekil 8 ve Şekil 10 detaylı olarak incelendiğinde genel durumda ayak montaj kılavuzlarında vardiya değişimi ve genel yan işler için ayrılan sürelerin taban yollarına göre daha fazla olduğu göze çarpmaktadır.

Ortalama günlük ilerlemeler değerlendirildiğinde; taban yollarında ilerleme 9,2 metre civarındadır. Şekil 7 incelendiğinde; JD110 taban yolunda ortalama 11,36 m/gün ve JD109 taban yolunda ortalama 12,75 m/gün ilerleme yapıldığı ve bu değerlerin genel günlük ortalama ilerleme değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Ancak JD810 taban yolunda yapılan 5,41 m/gün ortalama ilerleme, genel ortalamanın oldukça altında kalmıştır. Ortalama günlük ilerlemenin düşük olduğu JB610, JD710 ve JD810 taban yollarında çizelge 2 incelendiğinde diğer işlere ayrılan sürelerin ve vardiya değişimleri için geçen sürelerin diğer taban yollarından fazla oluşunu bu duruma sebep gösterilebilir.

Ayak montaj kılavuzlarında günlük ortalama ilerleme 6,77 metre civarındadır. Şekil 9 incelendiğinde JD01 kılavuzda ortalama 10,4 m/gün ilerleme yapıldığı ve bu değer genel günlük ortalama ilerleme değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Net kazı zamanının yüksek oluşu, genel olarak duraklamaların diğer kılavuzlara göre az oluşu ve formasyonun uygun olması bu ilerleme değerinin elde edilmesini sağlamıştır. JD07 kılavuzda ise ortalama 4,16 metre günlük ilerleme yapıldığı ve bu değer kılavuzlar içinde en düşük günlük ilerleme değeri olduğu göze çarpmaktadır.

J sahasındaki kılavuzların günlük ilerlemelerinin ortalamaları değerlendirildiğinde doğu ve batı kılavuzları arasında fark bulunmaktadır. Doğü kılavuzlarda ortalama ilerleme 7,5 m/gün civarındayken batı kılavuzlarda ise 5,8 m/gün civarındadır. Aradaki bu farkın oluşmasında vardiya değişim süresinin ve genel yan işlere ayrılan sürenin etkisi bulunsa da en temel sebeplerden biri doğü kılavuzlarda, kılavuz içi nakliyatın bant konveyörlerle, batı kılavuzlarda ise nakliyatın zincirli konveyörler ile yapılmasıdır. Ayrıca batı panolarının kılavuzlarının, sahanın batı sınırını belirleyen fay zonuna yakın olması sebebi ile tavan koşulları doğü kılavuzlara göre daha fazla zorlayıcı olmuştur. Ocağın farklı bölgelerinde değişkenlik gösteren jeolojik yapının ilerlemeye ne kadar etkili olduğu anlaşılmaktadır.

J sahasında kılavuzların tek seferde 35 m<sup>2</sup> açılması, delme patlatma maliyeti ve ekstra işçilik maliyeti getirmediğinden ilerlemeye göre maliyeti doğrusal olarak düşürmüştür.

J sahasında proje öncesi yapılan jeofizik ve hidrojeoloji çalışmaları neticesinde, yeraltındaki arızaların ve yeraltı suyu miktarının detaylı tespiti mümkün olmuştur. Bu bilgiler ışığında yapılan proje planlaması neticesinde yeraltındaki çalışmalarda çok fazla sürpriz ile karşılaşılmamıştır.

Sahanın iyi analiz edilmesi, kullanılan makine ve ekipmanın özelliklerinin iyi bilinmesi ve tecrübeli çalışanlarında etkisi ile ocaktan linyit üretimine, güvenli ve sürdürülebilir koşullarda, mümkün olan en kısa sürede başlamayı hedefleyerek hazırlanmış iş programı sayesinde J sahasında yapılan hazırlık çalışmaları şirket tarihinde ki en hızlı ve verimli hazırlık çalışması dönemi olmuştur.

#### KAYNAKLAR

- Aydın, Y. ve Kaygusuz, Y. (2000) Modern Teknolojiyle Donatılan Park Teknik Çayırhan Kömür İşletmesinin Tanıtılması, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s. 117-128.
- Bilim, N. (2007) Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleriyle İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Çetin, O. ve Eyyüboğlu, E. M. (1994) Tam Mekanize Galeri Açma Çalışmalarının CPM ile Planlanması, Madencilik Dergisi, Sayı 4.
- Çomaklı, R. (2010) Niğde ve Kayseri Yöresindeki Cevherlerin Makine ile Kazılabilirliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde.
- Eyyüboğlu, E. M., Bölükbaşı, N. (2004) TKİ-OAL Çayırhan İşletmesinde Hazırlık Çalışmalarının Değerlendirilmesi, Türkiye 14. Kömür Kongresi, Zonguldak.
- Peng, S. S. (2006). Longwall mining, department of mining engineering college of engineering and mineral resources West Virginia University (2. nd ed.).
- Şenkal S., Gökmen Ö., Ustabas F., Bükülmez Alpagut A. (2019) 30.000 ton/gün üretim kapasitesine sahip yeraltı kömür madeninin en kısa sürede üretime geçiş aşamaları, Sektör Maden Dergisi 70. Sayı s. 28-38.
- Tatar, Ç. (1984) Çayırhan Bölgesinde Mekanize Kömür Üretimi ve Galeri Açmanın Pratik Sonuçları, Türkiye 4. Kömür Kongresi, Zonguldak.
- Temel Ç., Ustabas F. (2019) Park Termik A.Ş Çayırhan Linyit İşletmesi' nde Yaşanan İş Kazalarına Saha Jeolojisinin Etkileri, Türkiye 26. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (IMCET) 16-19 Nisan 2019, Antalya.

**TAM OTOMATİK EĞİK DÜZLEM TEST CİHAZI İMALATI  
PRODUCTION OF FULLY AUTOMATIC RAMP TEST DEVICE**

**Dr. Gültekin COŞKUN, Doç. Dr. Gencay SARIŞIK**

Cumhuriyet Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı Sivas, Türkiye,  
Harran Üniversitesi, Müh.Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye  
Telefon : 0 530 432 03 26  
[coskungc@gmail.com](mailto:coskungc@gmail.com)

**ÖZET**

Yaya yüzey zemin kaplamalarının kayma risklerinin belirlenmesinde birçok parametre etken olmaktadır. Bu parametreler kayma açısı, kayma direnci, dinamik ve statik sürtünme katsayısı ile yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal taş üreticilerin CE belgesi alabilmeleri ve aynı zamanda yeni çıkan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde farklı yüzey işlemlerinde ürettikleri doğal taşların kayma riskleri belirlemeleri ve güvenlik sınıflamalarını yaptırmaları artık zorunlu hale gelmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde insanların daha rahat ve güvenli hareket edebilmeleri ve yurt dışına ihracat yapabilmeleri açısından bu son derece önemlidir. Doğal taşların kayma risklerinin belirlenmesinde en çok istenen kayma açılarının ölçülmesidir. Dünya’da altın standart olarak kabul edilen ve DIN 51097 ile DIN 51130 standardına göre çalışan eğik düzlem test cihazı kullanılmaktadır. Bu test cihazının kullanımı esnasında test personelinden kaynaklı istenmeyen bazı hataların meydana gelmekte ve ölçüm sonuçlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Test personelinden kaynaklı hataları ortadan kaldırmak daha güvenli ve hızlı bir ölçüm yapmak adına bu çalışmada “tam otomatik eğik düzlem test cihazı” geliştirilmiştir. Yapılan yenit test cihazı ile ölçüm esnasında test personelinden bağımsız olarak test personeli kritik kayma açısına geldiğinde cihaz otomatik olarak durmakta ve kayma açısı kaydedilmektedir. Böylelikle, test personelinin kritik kayma açısına gelmeden istem dışı olarak butona basması cihazı durdurması ve sonucunda yanlış kayma açısı değeri okunması engellenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kayma Açısı, Eğik Düzlem Test Cihazı, DIN 51097, DIN 51130

**ABSTRACT**

Many parameters are influential on the determination of slip risk of pedestrian surface pavement coatings. These parameters are; slip angle, slip resistance, dynamic and static coefficient of friction and the roughness of the surface. Today, it has become compulsory for natural stone producers to have the CE certificate, and also to determine the slip risks and safety classifications of the natural stones that are produced in different surface treatment conditions in the context of new laws and regulations. This is particularly important for people to move more easily and safely, and for the producers to export abroad in developed countries. The most required factor in determining the slip risks of natural stones is to measure the shear angles. The Ramp Tester Device, which is accepted as the gold standard in the whole world, and which works according to the DIN 51097 and DIN 51130 standards, is used. Some unwanted errors from test personnel occur during the use of this test device, which affect the measurement results in a negative way. A “Fully Automatic Ramp Test Device” was developed in this study to eliminate the errors caused by the test personnel and to make a safer and faster measurement. With the new test device, when the test personnel reach the critical sliding angle during the measurements, the device stops automatically and the sliding angle is recorded independently from the test personnel. In this way, it has been prevented that the test personnel presses the button unintentionally before the critical slip angle is reached, and that the reading is made as a wrong slip angle value.

**Keywords:** Slip Angle, Ramp Test, DIN 51097, DIN 51130

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde son dönemlerde, kamu kurumlarında topluma açık ve kapalı alanlarda yaya yüzey zemin kaplaması olarak farklı türde ve özellikte doğal taş (kireçtaşı, granit ve traverten), seramik, suni granit, mozaik karo taşı, laminat parke ve pvc zemin kaplamalarının kullanıldığı görülmektedir. İnsanların ve özellikle görme engelli vatandaşlarımızın bu zeminler üzerinde rahat hareket edebilmeleri ve yönlerini daha rahat bulabilmeleri adına farklı malzemelerden özellikle PVC, beton, alüminyum ve çelik malzemedeki yapılmış hissedilebilir yüzey zemin kaplamaları kullanılmaktadır.

Yaya yüzey zemin kaplaması olarak kullanılan doğal taşların kayma risklerinin belirlenmesi günümüzde son derece önemli bir duruma gelmiştir. Zemin kaplaması olarak kullanılan doğal taşların kuru, ıslak ve yağlı ortamlarda insanların düşme ve kayma sonucu oluşabilecek kazalardan korunması, daha emniyetli hareket edebilmesi ve kayma sonucu oluşabilecek iş kazalarının önüne geçilebilmesi için kayma risklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Coşkun,2018). Avrupa’da, üç günden fazla işe devam etmeyi engelleyen iş ile bağlantılı kazanların % 15 ila % 20’si zemin üzerinde kayma, takılma ve düşmeden kaynaklanmaktadır. Yürüme sırasında kaymaktan kaynaklanan kazalar bu kazaların %50’sini oluşturur ve dolayısıyla bu tip kazalar Avrupa birliği içinde yüksek oranda karşılaşılan bir kaza tipini oluşturmaktadır. Alman Sosyal Kaza Sigortalarına (DGUV) göre endüstri ve ticaret sektörlerinde sadece kaymadan kaynaklanan kazaların maliyeti yıllık olarak 2 milyar €’dur (Coşkun ve Sarıışık, 2017a; 2017b).

Doğal taşların zemin kaplaması olarak kullanımında, dikkat edilecek özelliklerinden ve en önemlilerinden biri de kayma direncidir (Grönqvist, 1995; Rowlandvd, 1996; Kim, 1996; Chang 1999; Manningvd, 1998). Kayma vakaları ortam, kirleticiler (su, yağ, donma, toz), çevresel faktörler, yetersiz zaman, ısı ve aydınlatma, ayakkabı ve yürünülen zeminin özellikleri dâhil bir ya da birden fazla sebepten kaynaklanır (Kimvd, 2001). Doğal taş plakalarında kayganlık, yüzey ve yüzeyle etkileşen nesnenin çekme ya da sürtünmesinden oluşan etki olarak tanımlanabilir. Adams’a göre (1997) yayaların yürürken, kayma kazalarının artmasıyla kaymayı önleme çalışmalarının önemi belirgin olarak artmıştır. Kayma direnci, ayakkabı tabanı ile zemin kaplama malzemesi yüzeyinin etkileşimden kaynaklanmaktadır.

Günümüzde de yaya yüzey zemin kaplamalarının kayma risklerinin belirlenmesinde birçok test cihazı kullanılmaktadır. Bunlar; yatay sürtünme ölçüm metresi, yatay dinamometre, James makinesi, Tortus, Eğik düzlem test cihazı, Pandül (Sarkaç) test cihazı, ASM 825A, FSC 2011, Slip Alert ve GMG 200 test cihazlarıdır. Her bir test cihazı farklı standartlara göre çalışmakta ve yaya yüzey kaplamalarının (doğal taşların) kayma risklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle günümüzde zemin kaplamalarının kayma açılarının belirlenmesi önemli bir yer tutmaktadır.

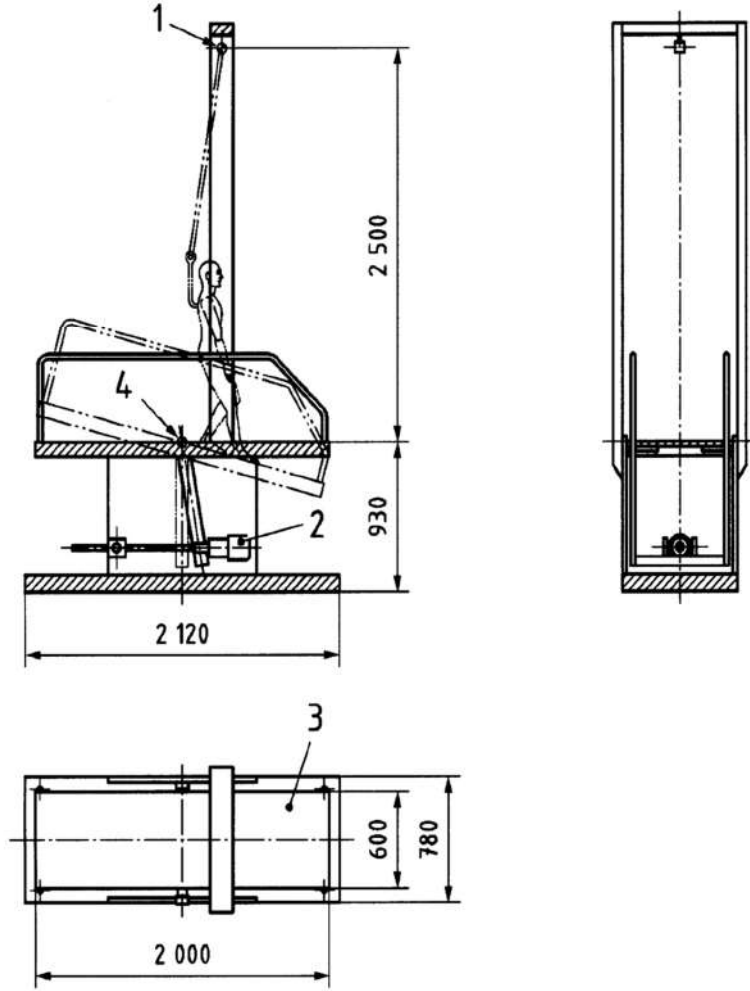
Bu çalışmada, günümüzde ıslak ve yağlı ortamda yaya yüzey zemin kaplaması olarak kullanılan doğal taşların kayma açılarının belirlenmesinde kullanılan ve tüm Dünya’da altın standart olarak kabul edilen DIN 51097 “Çıplak Ayakla Gezilen Islak Bölgelerin Kaymayı Önleme Özelliğinin Belirlenmesi” ve DIN 51130 “Kuru Bölgelerin Yağlanmasıyla Kaymayı Önleme Özelliğinin Belirlenmesi” standartlarına göre çalışan eğik düzlem test cihazı kullanılmaktadır. Mevcut kullanılan eğik düzlem test cihazının kullanımında test personelinin kaynakları sorunların ortadan kaldırılması ve daha seri ve hatasız ölçüm yapabilmek için tam otomatik eğik düzlem test cihazı üretilmiş ve mevcut cihaz ile karşılaştırması yapılmıştır.

## 2.EĞİK DÜZLEM TEST CİHAZI

Doğal taşların ıslak ve yağlı ortalamalarda kayma risklerinin belirlenmesinde etken olan kayma açılarının belirlenmesinde eğik düzlem test cihazı kullanılmaktadır. Eğik düzlem test cihazında elde edilen kayma açısının tanjantı, çıplak ayak ile kaplama malzemesi yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını verir (Şekil 2) (Bowman 1997; Miller BC, 1999). Bu yöntem ile ıslak alanlarda, çıplak ayak ve ayakkabı ile yürünen yerlerde kullanılan zemin kaplamalarının kaymayı önleyici özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Eğik düzlem test cihazı 0°- 45° arasında hareket edebilen, 600 mm genişliğinde ve 2000 mm uzunluğunda bir platforma sahiptir. Platform, saniyede 1° açısal hızla hareket edebilmektedir. Test personeli tarafından kontrol edilebilen kaldırma hareketi, sürekli bir hareket olarak veya 0.5°’lik evrelerle seçilebilir. Test cihazı üzerindeki açı göstergesi, platformun yatay düzlemden eğimini 0.5°± 0.2° doğrulukla gösterir. Test personelinin güvenliği için test cihazının kenarlarında koruma parmaklıkları bulunur. İlave olarak, test

personeli test yüzeyinde serbest yürüyüş sağlayan ve düşmeyi engelleyecek şekilde bir güvenlik kemeri takar (Şekil 1).



**Şekil 1.** Eğik düzlem test cihazı

Ayakkabı ile zemin yüzeyi arasındaki kayma direnci, kayma ve düşme sonucu olan kazaları önlemek için çok önemlidir ve sürtünme katsayısı şeklinde ölçülür. Eğik düzlem test cihazında elde edilen kayma açısının tanjantı ( $\tan \theta = F_h / F_v$ ) çıplak ayak ile kaplama malzemesi yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını (Cof) verir (Bowman 1997; Miller, BC., 1999) (Şekil 3.4).

### 2.1. Eğik Düzlem Test Cihazı ile DIN 51097 Standardına Göre Ölçüm

Islak ve çıplak ayakla yürünen zemin kaplamalarında kullanılan doğal taşların, kayma açılarının belirlenmesinde DIN 51097 standardı dikkate alınmaktadır. Bu standart ile ıslak zeminlerde, çıplak ayakla yürünen yerlerde kullanılan doğal taşların kaymayı önleyici özelliklerinin saptanması ve değerlendirilmesi amacı güdülmektedir. Zemin kaplaması yüzeyinin genelde ıslak olduğu ve çıplak ayakla gezilen kaplama alanlarına ıslak zemin adı verilmektedir. Bunlar; havuzlar, soyunma odası, sağlık merkezleri ve tuvalet gibi kamusal yada ticari kullanıma açık yerlerdir.

Deneylere başlamadan önce yüzey üzerinde yürüyecek yetişkin bir test personeli belirlenmektedir. Test edilecek doğal taş örneği alt yüzeyi düz olan bir döşemeden oluşmuş eğik düzlem test platformuna yerleştirilir ve test personeli yüzey üzerinde ritmik bir şekilde yürümeye başlar. Örnek yüzey üzerinde yürüyecek test personeli, doğal taş üzerinde hareketlerini kısıtlamayacak şekilde, düşmeye karşı bir emniyet donanımı ile eğik düzlem test cihazına bağlanmaktadır.



Testin uygulanması esnasında sürekli ve eşit olarak  $6\pm 1$  litre/dakika test sıvısı eğik düzlem test cihazı üzerinde bulunan delikli borudan örnek yüzey üzerine dökülerek ıslatılmıştır. Su emme oranı yüksek yer kaplamalarında önceden su emmeye tabi tutularak, yüzeyin eşit olarak ıslatılması temin edilmiştir. Burada sadece traverten örnekleri bu işleme tabii tutulmuştur. Örnek üzerinde yürüyecek kişi, elindeki kumanda ile test cihazın hareketini başlatır. Dik durarak yarım adım boyunda adımlar atarak ileriye ve geriye doğru suyun aktığı yönde, yatay düzlemde başlayarak eğimi yaklaşık  $1^\circ/s$  ile artan test edilecek doğal taş üzerinde hareket eder. Kişinin yürüyüşü sırasındaki eğim artışına bağlı olarak ve yüzey özelliğine göre kaydığı anda cihazı durdurur.

Yapılan yürüme sonucunda kişinin güvenli yürüyüş sınırına ulaştığı eğim açısı, eğik düzlem test cihazı üzerinde bulunan açıölçerden kritik bölgede 3 kez tekrarlanarak ileri ve geri gidişi ile tespit edilmiştir. Elde edilen 3 verinin aritmetik ortalaması alınarak, kayma açısı değerleri kaydedilmiştir. Doğal taş örnekleri üzerinde, DIN 51097 standardı dikkate alınarak aynı şekilde deneyler kuru ortamda da yapılmış ve veriler kaydedilmiştir. DIN EN 51097 standardına göre kayma açısına ilişkin kodlamaları; A, B ve C şeklinde her bir kodun açısız aralıkları ve karşılık gelen kullanım alanları Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. DIN 51097 Standardına göre sınıflandırma (DIN 51097, 1992)

Sınıflama	Kritik Açı (°)
A	$\geq 12^\circ$
B	$\geq 18^\circ$
C	$\geq 24$

## 2.2. Eğik Düzlem Test Cihazı ile DIN 51130 Standardına Göre Ölçüm

Eğik düzlem test cihazında, ayakkabı ile yürünen yağlı zemin kaplamalarında kullanılan zemin kaplamalarının yani doğal taşların kayma potansiyellerinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında DIN 51130 standardı dikkate alınarak testler yapılmaktadır. Bu test yönteminde deneylere başlamadan önce test personeli kalibrasyon işlemine tabi tutulmakta ve kalibrasyon işlemi için St-I, St-II, St-III olmak üzere üç adet standart kalibrasyon plakası kullanılmaktadır. Kalibrasyon işleminden sonra test personeli, ST şeklinde S1 tipinde, DIN 4843’e uygun nitril kauçuk esaslı üretilmiş, DIN 53505’e göre  $73\pm 5$  shore-A sertliği olan ve DIN 51130’da verilen taban şekline sahip koruyucu ayakkabıları giymektedir. Test personeli hareketlerini kısıtlamayacak şekilde düşmeye karşı bir emniyet donanımı ile korunarak güvenli yürüyüş sınırına ulaştığı kayma açısı, kritik bölgede en az 10 defa tekrarlanan yukarı ve aşağı gidiş ile tespit edilmiş ve ortalamaları alınarak kaydedilmektedir. Elde edilen kayma açıları Çizelge 2’de verilen sınıflama dikkate alınarak kullanım alanlarına göre sınıflaması yapılmaktadır.

Çizelge 2. DIN 51130 Standardına göre sınıflandırma (DIN 51130, 2004)

Sınıflama	Kritik Açı (°)
R 9	$6^\circ - 10.0^\circ$
R 10	$10.1^\circ - 19.0^\circ$
R 11	$19.1^\circ - 27.0^\circ$
R 12	$27.1^\circ - 35.0^\circ$
R 13	$>35.0^\circ$

### 2.3. Mevcut Eğik Düzlem Test Cihazı Sorunları

Günümüzde çıplak ayak ve ayakkabı ile yürünen yerlerde kullanılan zemin kaplamalarının kaymayı önleyici özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile çeşitli cihazlar kullanılmaktadır.

Mevcut teknikte kullanılan test cihazlarında; test personelinin cihaz üzerinde bulunan kumanda butonuna basması ile ölçüme başlamakta ve cihaz her saniyede bir derece artacak şekilde yükselmektedir. Test personeli kayıp düştüğü anda yani zemin üzerinde kaydığı anda butona basarak cihazı durdurmaktadır.

Mevcut eğik düzlem test cihazında yapılan ölçümlerde test personelinden kaynaklı önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu sorunlar başlıca, test personelinin test esnasında uygun adımlarda ve ritmik bir şekilde yürümemesi ve kayıp düşecekmiş korkusuyla kendisini kasması ve rahat bir yürüme yapamaması etkilemektedir.

Buda test personelinin elindeki butona basarak cihazı kritik açı seviyesine gelmeden önce durdurmasından dolayı yanlış kayma açısı ve yanlış sınıflama sisteminin belirlenmesinde neden olmaktadır. Bu nedenle test personelinden kaynaklanan sorunların ortadan kaldırmak ve kalibrasyon işlemlerinde daha pratik bir yol sağlamak amacıyla yeni ve tam otomatik bir eğik düzlem test cihazı yapılmıştır.

### 3. TAM OTOMATİK EĞİK DÜZLEM TEST CİHAZI

Mevcut eğik düzlem test cihazında, test personeli test platformu üzerinde ileri geri ritmik adımlarda yürür ve kritik kayma açısına geldiğinde yani zemin üzerinde kaydığı anda elindeki butona basarak test cihazını durdurmaktadır(Şekil 2).

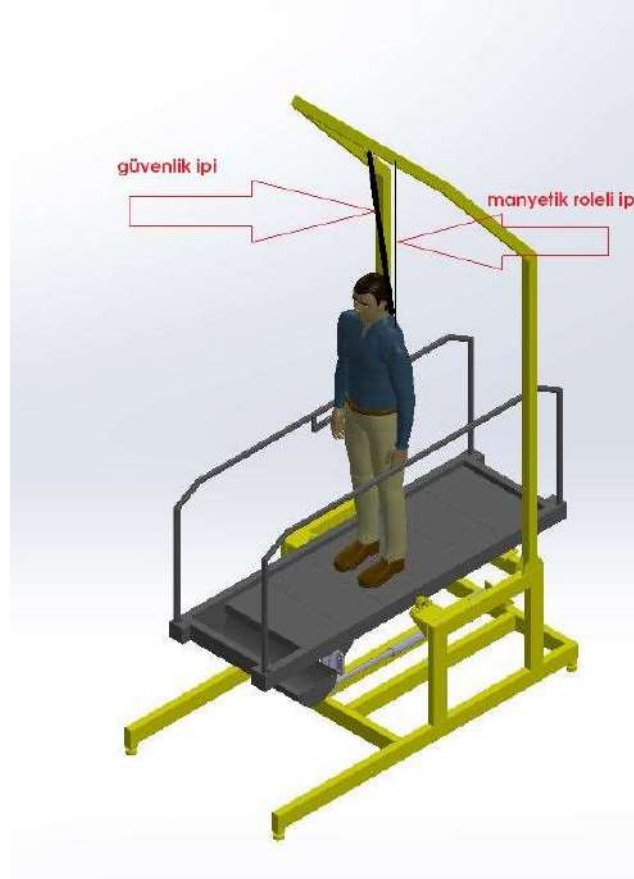


Şekil 2.Mevcut eğik düzlem test cihazı güvenlik halatı

Yeni üretimi yapılan eğik düzlem test cihazı yukarıda bahse konu olan problemlerin yaşanmaması ve daha doğru ölçüm sonuçları elde etmek adına tasarımı yapılan cihaz ile bu sorunlar çözülmeye çalışılmıştır. Test cihazında, test personeli teste başlamadan önce cihaz üzerine çıktığında kendisini paraşüt tipi bel destekli emniyet kemerinde bağlı olan bir iple cihaz üzerinde bulunan aparata kendini bağlamaktadır.

Buradaki paraşüt tipi bel destekli emniyet kemeri üzerine yine başka bir iple manyetik role bağlanarak yukarıdan tutturulmuştur. Kişi test işlemine başladığında elinde buton olmadan cihazdan tamamen bağımsız ve rahat bir şekilde zemin kaplaması üzerinde yürüyüşüne devam edecektir. Test personeli platform üzerinde ileri geri yürümesi esnasında kritik kayma açısına geldiğinde zemin üzerinde

kayarken bir yandan paraşüt ipi güvenliğini sağlarken diğer yandan manyetik role bağlantılı ip gergiye gelecek ve test cihazı otomatik olarak üst bölgedeki röleden ayrılacak ve cihaz duracaktır. Test personeli iki eli boş olmasından dolayı kendisini daha güvende hissedecek ve herhangi bir kayma düşme anında iki eliyle sağ ve soldaki korkuluklardan tutacağından dolayı daha rahat ve ritmik yürüyecektir (Şekil 3).



Şekil 3. Yeni eğik düzlem test cihazı (UZGETEC)

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde zemin kaplamalarının özellikle doğal taşların kayma risklerinin tespit edilmesinde etken olan kayma direnci, kayma açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dinamik sürtünme katsayılarının belirlenmesinde birçok test cihazı kullanılmaktadır. Bu testlerden en çok tercih edilen kayma açısı testi olup, bu teste DIN 51097 ve DIN 51130 standartlarına göre çalışan eğik düzlem test cihazı kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut eğik düzlem test cihazında test personelinin kaynaklı hataların ortadan kaldırılması amacıyla test personelinin bağlı bulunduğu paraşüt ipi güvenlik halatına ek olarak yerleştirilen manyetik role bağlantılı bir ip yerleştirilerek (bağlanarak) tam otomatik eğik düzlem test cihazı yapılmıştır.

Tam otomatik eğik düzlem test cihazının yapılmasından sonra, farklı türde ve özellikte kayma açısı değerleri belli olan doğal taş ve seramik malzemeler üzerinde deneme ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda daha hasas veriler ve değerler elde edilmiş olup, ölçüm sonuçları istenen düzeyde gerçekleşmiştir. Ayrıca, test personelinin ise diğer cihaza göre daha rahat ve kendisini kasmadan yürüdüğü tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Adams N. Slips and Falls: Some Arguments About Measuring Coefficients of Friction. University of NSW, 1997, pp. 1-7.
- Bowman R. Slip Resistance Standards Provide No Unconditional Guarantees. CSIRO Building, Construction and Engineering, 1997, Issue 12.
- Chang, W.R., (1999). The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance. International Journal of Industrial Ergonomics 24, 299–313.
- Çoşkun G, Sarıışık G (2017a) Determination and evaluation of slip risk of floor coverings used in public institutions. International Conference on Occupational Health and Safety Symposium, Proceedings Book (pp. 336–347, Adana, Turkey. (in Turkish).
- Çoşkun G, Sarıışık G (2017b) Doğal Taşların Sürtünme Katsayılarını (COF) Belirleyerek Yüzey Özelliklerinin Kayma Güvenlik Risk Analizi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi 38(2):219.
- Çoşkun, G. (2018). A new slip safety risk scale of natural stones with statistical K-means clustering analysis. Arabian Journal of Geosciences, 11(24), 799. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4173-3>.
- German Institute for Standardization (DIN). Prüfung von Bodenbelägen; Bestimmung der rutschhemmende Eigenschaft; naßbelastete barfußbereiche; begehungsverfahren - schiefe ebene [Testing of floor coverings; determination of the anti-slip properties; wet-loaded barefoot areas; walking method-ramp test]. Berlin: DIN; 1992. Standard No. DIN 51097:1992. German.
- German Institute for Standardization (DIN). Prüfung von Bodenbelägen - Bestimmung der rutschhemmende Eigenschaft - arbeitsräume und arbeitsbereiche mit rutschgefahr - begehungsverfahren - schiefe ebene [Testing of floor coverings; determination of the anti-slip properties; workrooms and fields of activities with slip danger; walking method; ramp test]. Berlin: DIN; 2014. Standard No. DIN 51130: 2014. German.
- Grönqvist R (1995) Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors. Ergonomics. 38: 224–241. doi:10.1080/00140139508925100.
- Kim, I., Smith, R., Nagata, H., (2001). Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics. International Journal of Industrial Ergonomics 28, 17–29.
- Kim IJ (1996) Microscopic investigation to analyze the slip resistance of shoes. Proceedings of the Fourth Pan Pacific Conference on Occupational Ergonomics. Taiwan. 68–73.
- Manning DP, Jones C, Rowland FJ, Roff M (1998) The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water-lubricated surfaces. Journal of Safety Research 29: 275–283. doi:10.1016/S0022-4375(98)00053-X.
- Rowland FJ, Jones C, Manning DP (1996) Surface roughness of footwear soling materials: Relevance to slip resistance. Journal of Testing and Evaluation. 24: 368–376. doi:10.1520/JTE11459 J.

## DAİRESEL TESTERELİ DOĞAL TAŞ KESİM MAKİNELERİ İÇİN SPESİFİK ENERJİ TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

*DEVELOPMENT A SPECIFIC ENERGY PREDICTION MODEL FOR CUTTING NATURAL STONES WITH CIRCULAR DIAMOND SAW*

S. Dündar<sup>1\*</sup>, N. Bilim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

(\* Sorumlu yazar: [sdundar@ktun.edu.tr](mailto:sdundar@ktun.edu.tr))

### ÖZET

Doğal taş bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan doğal taş işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ve istenen kalitede ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Doğal taş işleme tesislerinde, dairesel testereli makinalarla plaka (levha) üretiminde karşılaşılan en önemli iki sorun; yüksek elektrik enerjisi tüketimi ve plaka kayıplarıdır. İşletme maliyetlerinin başında tüketmiş oldukları elektrik enerjisi gelmektedir. Dünyada büyük bir pazara sahip olan doğal taş sektörü için kayaçların üretim maliyetlerinin analizinin yapılması ve optimizasyonunun sağlanması çok önemlidir. Farklı kayaç türlerinin kesim işlemlerinde doğal taş işleme tesislerinin enerji tüketimleri de kayaca bağlı olarak değişmektedir. Üreticilerin bu değişimleri kontrol edebilmeleri için enerji tüketimlerinin önceden tahmin edilmesi çok önemlidir. Bu çalışma kapsamında, doğal taş işleme tesislerinde kayaçların kesim esnasında ki elektrik tüketim değerleri ölçülmüş ve spesifik enerjileri hesaplanmıştır. Daha sonra karbonat kökenli bazı kayaçların fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiş spesifik enerji değerleri ile arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Doğal taş numunelerine ait tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk, nokta yükleme dayanımı ve endirekt (Brazilian) çekme dayanımı, Schmidt çekici sertliği değerleri belirlenerek enerji tüketimleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak kayaçların fiziko-mekanik özelliklerine bağlı olarak bir spesifik enerji tahmin modeli oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal taş, spesifik enerji, fiziko-mekanik özellikler, kesilebilirlik

### ABSTRACT

Natural stone processing plants aim to provide strips that is needed amount and wanted quality by market demand. In accordance with this purpose, it is necessary to keep on a productive manufacturing process in natural stone processing plants. In natural stone processing plants there are two main problems with obtaining strips from natural stone by circular diamond saw. One of the problem is high consumption of electricity and the other one is waste of strips. Electricity consumption is major component of operating expense. Estimating the specific energies of the rocks for the natural stone sector, which has a large market in the world, is very important in terms of cost calculations and production planning. In this paper, in the first step energy consumption values have been determined in natural stone processing plant. In the second step, physico-mechanic properties of some carbonate rocks have been determined. The relations between energy consumption and physico-mechanic properties of rocks have been investigated. Uniaxial compressive strength, density, point load strength, indirect (Brazilian) tensile strength and Schmidt hammer values of carbonate rocks have been determined. As a result a specific energy prediction model have been developed with physical and mechanical properties of rocks.

**Keywords:** Natural stone, specific energy, physico-mechanical properties, cuttability

## GİRİŞ

Dünya'da doğal taşlara olan talep sürekli artmakta ve mermercilik sektörü büyümektedir. Dünyada ki doğal taş talebinin artması doğal taş üretiminin artmasını da beraberinde getirmiştir. Doğal taş bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan doğal taş işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ve istenen kalitede ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Doğal taş işleme tesislerinde doğal taş bloklarının işlenmesi için katrik makineleri ve elmas soketli dairesel testereli blok kesme makineleri kullanılmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde, dairesel testereli makinelerle plaka (levha) üretiminde karşılaşılan en önemli iki sorun; yüksek elektrik enerjisi tüketimi ve plaka kayıplarıdır. İşletme maliyetlerinin başında tüketmiş oldukları elektrik enerjisi gelmektedir. Günümüzde doğal taş işleme tesislerinde operatör tecrübesine göre ayarlanan kesme parametreleri doğal taş kesimi esnasında üretim kayıplarına neden olmaktadır. Bunun yanında optimum kesme koşullarının sağlanamaması nedeniyle elektrik tüketimi de artmaktadır. Kesme parametrelerinin, kesimi yapılacak olan kayacın fiziko-mekanik ve mineralojik-petrografik özelliklerine göre belirlenmesi maliyet analizinde, üretim planlamasında, ürün kalitesinde ve uygun ekipman seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Spesifik enerji bir kayaçtan birim hacimde malzeme koparılması için gereken enerji miktarıdır. Roxborough 1973 yılında spesifik enerjiyi ortalama kesme kuvvetinin koparılan kayaç miktarına oranı olarak tanımlamıştır. Ülkemizde de doğal taş işleme tesislerinde spesifik enerjinin belirlenmesi ve düşürülmesi için pek çok çalışma yapılmış ve spesifik enerjinin tahminine yönelik modeller oluşturulmuştur (Bayram ve Yaşıtılı, 2013; Bilim, 2012; Büyüksağış ve Göktan, 2005; Engin ve Özkan, 2008; Ersoy ve Atıcı, 2004; Ersoy vd., 2005; Güney, 2011; Kahraman vd., 2004; Kılıç vd., 2008; Şengün ve Altındağ, 2013; Uzun vd., 2012; Yurdakul, 2015; Yurdakul ve Akdaş, 2012.). Ayrıca doğal taşların kesim işlemlerinde kesme modu da enerji tüketimi üzerinde etkili bir parametre olarak değerlendirilmiştir ve farklı araştırmacılar çalışmalar yapmışlardır. Büyüksağış (2007) ve Ertingshausen (1985) yaptıkları çalışmalarda aşağı yönlü kesme işleminin daha fazla enerji tüketimine sebep olduğunu söylemişlerdir. Fakat Yurdakul (2015) yaptığı arazi ölçekli çalışmasında aşağı yönlü kesme modunda daha az enerji sarfiyatı olduğunu söylemiştir. Özçelik vd. (2000) yaptıkları kesme modu deneylerinde sabit kesme derinliğinde yapılan kesme işlemlerinde yukarı yönlü kesme modunda daha az enerji harcandığını söylemişlerdir. Kayaçların farklı fiziko-mekanik özellikleri pek çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Delgado vd. (2005) yaptıkları çalışmada kayacın Vicker sertliği parametresi ile kesme hızı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sonuç olarak Vicker sertliği arttıkça kesme hızının düştüğünü söylemişlerdir.

Yapılan bu çalışma kapsamında Konya ilinde bulunan 2 farklı doğal taş işleme tesisinde dört ayaklı dairesel testereli blok kesme makinelerinde kesme deneyleri yapılmıştır. Kesilen doğal taş bloklarından numuneler alınarak laboratuvarında kayaçların bazı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiş ve kesme anında ölçülen değerler ile istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında kayaçların bazı fiziko-mekanik özelliklerine bağlı olarak spesifik enerji tahmin modeli oluşturulmuştur.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Doğal taş işleme tesislerinde yapılan kesim işlemlerinde elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinelerinin çalışma parametreleri operatör tarafından belirlenmekte ve kesim işlemi bu parametrelerde gerçekleştirilmektedir. Elmas soketli dairesel testerelerin çalışma parametrelere enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Enerji tüketiminin optimizasyonu sağlanması amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Literatürde spesifik enerjinin önceden tahmin edilmesine yönelik çok fazla çalışma bulunmamaktadır ve kesin bir formül de bulunmamaktadır.

Çalışma kapsamında iki farklı doğal taş işleme tesisinde ve üç farklı elmas soketli dairesel testereli blok kesme makinesinde ve farklı çalışma parametrelerinde enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Çalışma yapılan elmas soketli dairesel testerelerin teknik özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Ölçüm yapılan elmas soketli dairesel testereli blok kesme makineleri üç çeşittir. Fakat iki makine aynı teknik özelliklere sahiptir. Çizelge 1'de makinelerin teknik özellikleri gösterilmiştir. Şekil 1'de ise, kesme deneylerinin ölçüldüğü dairesel testereli blok kesme makinesinin görülmektedir.

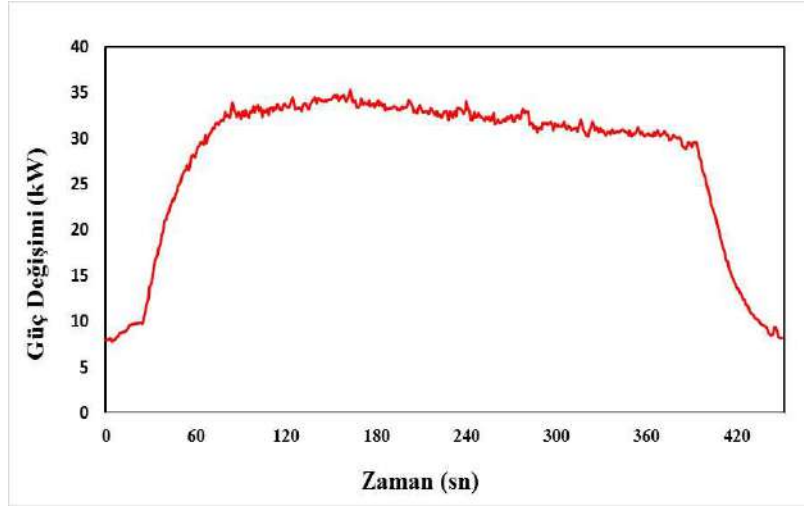
Çizelge 1. Kesme deneylerinin gerçekleştirildiği dairesel testere blok kesme makinelerinin teknik özellikleri

Makine Özellikleri	Doğal Taş İşleme Tesisi 1	Doğal Taş İşleme Tesisi 2
Dikey Testere Motoru (kW)	132	110
Yatay Testere Motoru (kW)	15	15
Köprü Yatay Hareket Motoru (kW)	3	3
Köprü İndirme- Kaldırma Hareket Motoru (kW)	2,2	1,5
Kesim Hareket Motoru (kW)	2,2	1,5
Blok Vagonu Hareket Motoru (kW)	2,2	1,5
Dikey Testere Çapı (mm)	800 - 1700	800 - 1600
Yatay Testere Çapı (mm)	400 - 450	400 - 450
Blok Uzunluğu (mm)	3200	3200
Blok Genişliği (mm)	2250	2250
Blok Yüksekliği (mm)	2200	2200
Makinenin Ağırlığı (kg)	14860	14500



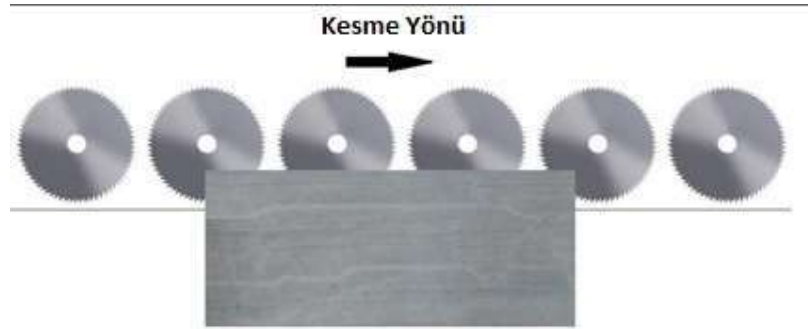
Şekil 1. Dört ayaklı dairesel testere blok kesme makinesi

Doğal taş işleme tesislerinde kesme deneylerinde tüketilen enerji değerleri anlık olarak ölçülmüştür. Anlık olarak ölçülen bu değerler bir güç analizörü ile sağlanmıştır. Güç analizörü ile anlık olarak makinenin kesim süresinde tükettiği enerji değerleri kaydedilmiş ve daha sonra bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Doğal taş işleme tesisinde gerçekleştirilen kesme deneylerinde kesme derinliği ve kesme hızının değişiminin de spesifik enerji üzerinde etkileri incelenmiştir. Kesme derinliği parametresinin spesifik enerji üzerindeki etkisinin incelenmesinde kesme hızı sabit tutularak farklı kesme derinliklerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Kesme hızının değişiminin spesifik enerji üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde ise kesme derinliği parametresi sabit tutulmuştur. Şekil 2. ve Şekil 3.' te bir plakanın kesimi esnasında tüketilen güç değişimi ve bir bloğun kesimi esnasında dairesel testerenin durumu gösterilmiştir.



Şekil 2. Bir plaka kesimi esnasında tüketilen güç değişimi

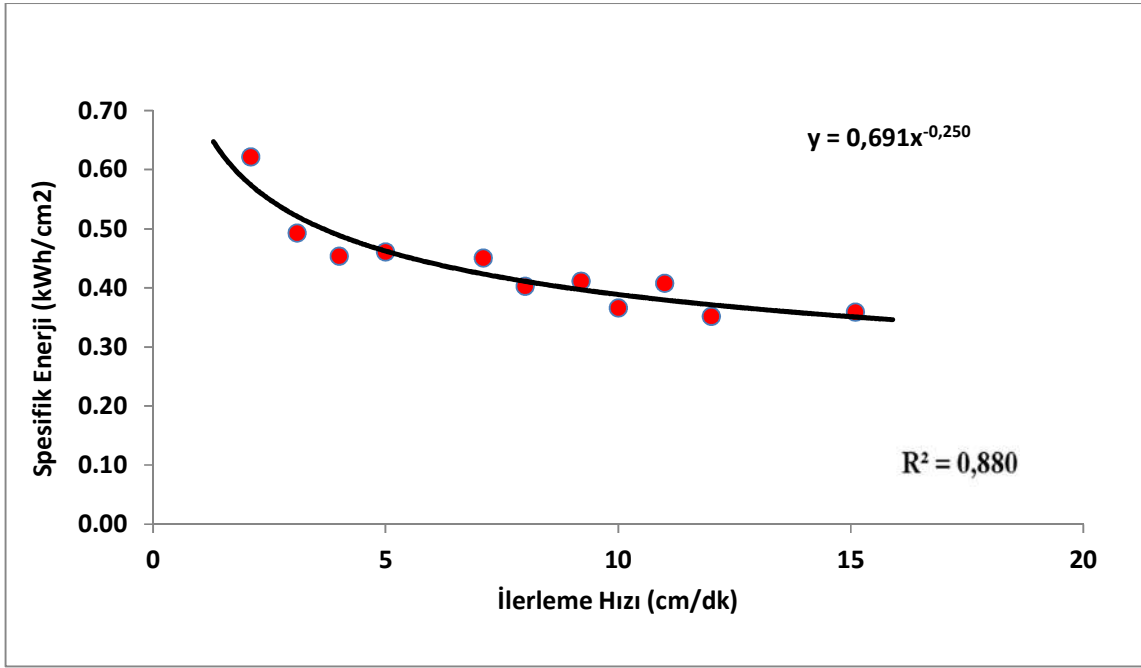
Şekil 2.' de görüldüğü gibi ani artış ve azalmanın olduğu kısımlar vardır. Ani artışın yaşandığı kısım dairesel testerenin bloğa temas ettiği andan ve kesme işlemine başladığı andan itibaren oluşmuştur. Daha sonra dairesel testerenin kesme işlemini gerçekleştiren soketlerinin tamamı bloğun içinde girdiğinde güç tüketimi daha stabil bir hal almıştır. Ani düşüşün başladığı an ise dairesel testerenin bir plakanın kesim işlemini tamamlayarak bloktan soketlerin çıkmaya başladığı anda yaşanmıştır.



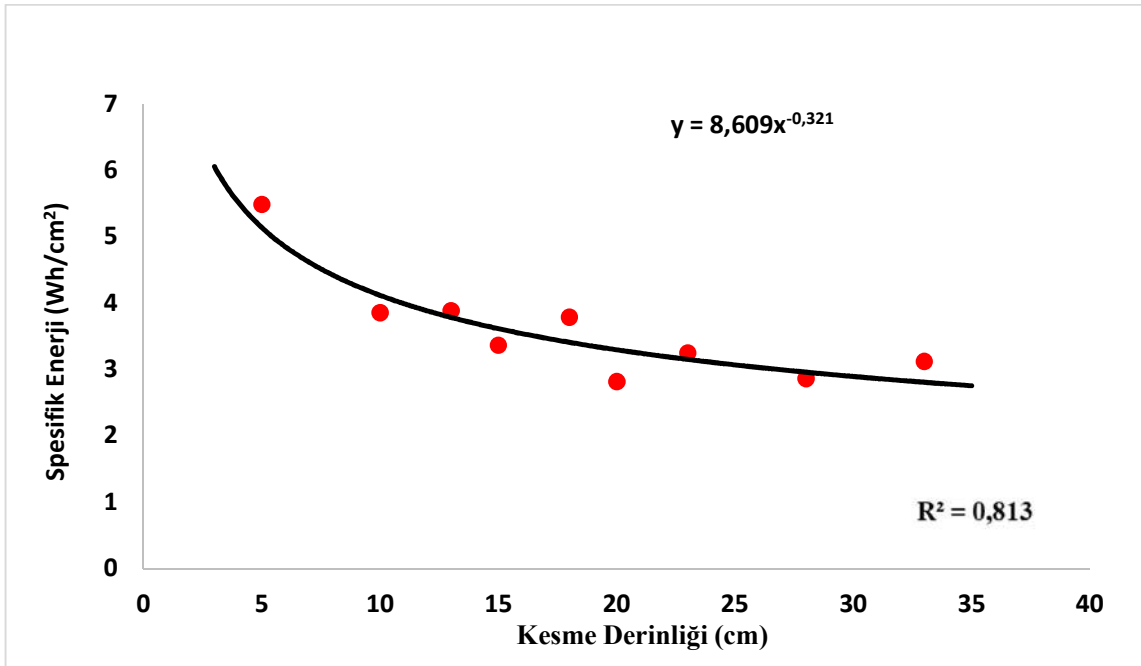
Şekil 3. Bir plaka kesimi esnasında dairesel testerenin konumu

Doğal taş işleme tesisinde gerçekleştirilen kesme deneyleri sonucunda kesme hızı ( Şekil 4) ve kesme derinliği (Şekil 5) değişimlerinin spesifik enerji değişimi üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Kesme hızı artırılması yani daha yüksek hızlarda yapılan kesme işlemlerinde spesifik enerjinin düştüğü görülmüştür. Yapılan bir diğer kesme deneylerinde kesme derinliğinin artırılması ile spesifik enerjinin yine düştüğü görülmüştür.





Şekil 4. Kesme hızı değişiminin spesifik enerji değişimi üzerindeki etkisi



Şekil 5. Kesme derinliği değişiminin spesifik enerji değişimi üzerindeki etkisi

Kesimi gerçekleştirilen bloklardan numuneler alınarak laboratuvara getirilmiş ve kayaçların bazı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kesim işlemi gerçekleştirilen kayaçların belirlenen fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kesme deneyi gerçekleştirilen doğal taşların belirlenen fiziko-mekanik özellikleri

Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı ( $\sigma_c$ , MPa)	Endirekt Çekme Dayanımı ( $\sigma_t$ , MPa)	Schmidt Sertliği	Su Emme Değeri (%)	Görünür Yoğunluk ( $gr/cm^3$ )	Açık Gözeneklilik (%)	Nokta Yük. Dayanımı (MPa)
Alanya Siyah Mermer	100,23	6,74	52,20	0,06	2,73	0,16	6,09
Mut Traverten	42,32	4,96	36,70	1,92	2,40	4,55	3,95
Isparta Bej Mermer	74,76	6,27	48,70	0,10	2,70	0,26	4,97
Karaman Traverten1	29,55	6,57	44,55	1,58	2,43	3,80	3,16
Karaman Traverten2	41,73	7,62	45,65	1,80	2,52	4,48	5,87
Karaman Traverten3	56,51	7,45	47,25	2,01	2,45	4,88	5,31
Sivrihisar Beyaz Mermer	99,48	8,11	50,35	0,18	2,81	0,51	5,01
Afyon Gri Mermer	114,24	6,72	56,20	0,30	2,82	0,86	5,25
Bozkır Bej Mermer	65,35	8,78	53,60	0,40	2,69	1,09	6,12
Seydişehir Traverten	29,17	6,61	42,05	1,64	2,42	3,90	4,80

Laboratuvar yapılan deneyler sonucunda kayaçların bazı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ve kayaçların bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerde TS tarafından belirlenen deney standartları izlenmiştir. Deney standartları olarak TS deney standartlarının seçilmesinin sebebi ise ticari boyutta kullanılan standartların geçerliliği olmasıdır. Elde edilen bu veriler ile kesme deneyleri sırasında ölçülen enerji tüketimi değerleri SPSS istatistik programı ile analiz edilmiştir. SPSS programında gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonucunda spesifik enerji tahmin modeli oluşturulmuştur. Elde edilen spesifik enerji tahmin modeli aşağıda gösterilmiştir.

$$SE = 0,04SH + 0,08NY - 0,5YO + 0,3 \quad (1)$$

Elde edilen spesifik enerji tahmin modelinde; aşağıdaki parametreler girdi olarak kullanılmıştır

SE: Spesifik enerji ( $kWh/cm^2$ ),

SH: Schmidt çekici sertliği,

NY: nokta yükleme dayanımı (MPa),

YO: Yoğunluk ( $gr/cm^3$ )

Bu parametrelerin seçilme sebebi ise, arazi şartlarında diğer deneylere göre daha kolay yapılabilecek olmasıdır. Arazi şartlarında veya doğal taş işleme tesislerinde görece daha kolay şekilde

belirlenen bu değerler ile kayaçların spesifik enerji değerleri hesaplanabilecektir. Yapılan analiz sonucunun güvenilirliğinin testi için SPSS programından elde edilen çıktı görüntüsü Şekil 5' te gösterilmiştir.

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,456	3	,152	22,553	,006
	Residual	,027	4	,007		
	Total	,483	7			

Şekil 5. Modelin güvenilirlik değeri gösteren analiz sonucu

## SONUÇLAR

Doğal taş işleme tesislerinde yaygınlıkla kullanılan dairesel testere blok kesme makinelerinde enerji tüketimi çok önemli bir maliyet kalemidir. Doğal taş işleme tesislerinde maliyetin düşürülmesi ve plaka kayıplarının azaltılması için optimum koşullarda kesim işleminin gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Doğal taş işleme tesislerinde kesim esnasında kesme parametreleri (kesme hızı, kesme derinliği) operatörler tarafından belirlenmektedir. Yapılan çalışmada kesme derinliğinin ve kesme hızının artırılması spesifik enerjinin düşmesini sağlamaktadır. Fakat yüksek kesme hızlarında plaka üretiminde veya kesme derinliğinin artırılması ile daha derin kesme işlemlerinin yapılması dairesel testere üzerine gelen yükleri arttıracığından optimum şartların sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle optimum kesme şartları çoğunlukla sağlanamamaktadır. Yapılan çalışmada görülmüştür ki her doğal taş işleme tesisinde kesilecek taşa göre çalışma parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametrelere göre kesme işleminin gerçekleştirilmesi enerji tüketiminin düşürülmesi açısından çok önemlidir. Uygun kesme parametrelerinde kesme işlemi yapılarak doğal taş üretim maliyetlerinin düşürülmesi ülkemiz açısından da son derece önemlidir. Çalışma sonucunda oluşturulan spesifik enerji modeli sayesinde tüm ülkemizde ki doğal taş işleme tesisleri kendi bünyelerinde bunu uygulayarak enerji sarfiyatını düşürmeleri mümkündür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın arazi deneylerinin gerçekleşmesi kısmında her türlü imkânı sağlayan Lütfi Takavcı Mermer A.Ş ve Taşkent Mermer A.Ş' ye katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Bayram, F. ve Yasitli, N. E., 2013, Effects of sawing parameters on natural stone processing performance, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 227 (4), 287-294.
- Bilim, N., 2012, Optimum cutting speed of block-cutting machines in natural stones for energy saving, *Journal of Central South University*, 19 (5), 1234-1239.
- Büyüksağış, I. ve Goktan, R., 2005, Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of materials processing technology*, 169 (2), 258-262.
- Büyüksağış, I., 2007, Effect of cuttingmode on the sawability of granite using segmented circular diamond saw blade, *Journal of materials processing technology*, 183 (2), 399-406.
- Delgado, N. S., Rodríguez-Rey, A., del Río, L. S., Sarriá, I. D., Calleja, L. ve de Argandona, V. R., 2005, The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42 (1), 161-166.

- Engin, İ. C. ve Özkan, E., 2008, Blok Kesme Makinalarının Enerji Tüketimlerinin İncelenmesi. Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu. Afyonkarahisar: 141-148.
- Ertingshausen, W., 1985, Wearprocesses in sauring hard stone, *IDR. Industrialdiamondreview*, 45 (510), 254-258.
- Ersoy, A. ve Atıcı, U., 2004, Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, 13 (1), 22-37.
- Ersoy, A., Büyüksagıç, S. ve Atıcı, U., 2005, Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, *Wear*, 258 (9), 1422-1436.
- Güney, A., 2011, Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Muğla (Turkey) marbles, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44 (3), 357-366.
- Kılıç, A. M., Keskin, M. Ö., Kılıç, Ö. ve Coşkun, İ., 2008, Pınarbaşı (Kayseri) ve Yıldızeli (Sivas) Yöresi Travertenleri Teknomekanik Özellikleri Özgül Enerji İlişkisinin Araştırılması. Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu. Afyonkarahisar: 293-302.
- Kahraman, S., Fener, M. ve Gunaydin, O., 2004, Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41 (7), 1123-1131.
- Özçelik, Y., Eyüboğlu, A., Kulaksız, S., Engin, İ. C. ve A., Ö., 2000, Sert Kayaçlarda Diskli Kesicilerle Kesme İşlemlerinde Aşağı ve Yukarı Kesme Yöntemlerinin Çekilen Akım Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, 123-128.
- Şengün, N. ve Altındag, R., 2013, Prediction of specific energy of carbonate rock in industrial stones cutting process, *Arabian Journal of Geosciences*, 6 (4), 1183-1190.
- Roxborough, F., 1973, Cutting rock with picks, *The mining engineer*, 132 (153), 445-454.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ. ve Taşgetiren, Ş., 2012, Determination of specific energy in cutting process using diamond saw blade of natural stone, *Energy Edu. Sci. and Tech. Part A: Energy Sci. and Res*, 28 (2), 641-648.
- Yurdakul, M., 2015, Effect of cutting parameters on consumed power in industrial granite cutting processes performed with the multi-disc block cutter, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 76, 104-111.
- Yurdakul, M. ve Akdas, H., 2012, Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 53, 38-44.

**YERALTI KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE HALAT SAPLAMA MAKİNELERİNİN GÜVENLİ KULLANIMI**  
*SAFE HANDLING OF CABLE BOLT MACHINES IN UNDERGROUND COAL MINE*

E.Kahraman<sup>1\*</sup>, C. Tuz<sup>2</sup>, A. Erel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PolyakEynez Enerji Üretim Madencilik San. ve Tic. A.Ş.

<sup>2</sup>Weber Madencilik

(\*Sorumlu yazar: [erginkahraman@yahoo.com](mailto:erginkahraman@yahoo.com))

**ÖZET**

Özellikle zayıf zemin koşullarında tahkimat uygulamalarında halat saplama önemli avantajlar getirmektedir. Formasyonun iyi olmadığı yeraltı kömür madenlerinde duraylılığın sağlanması, deformasyonların azaltılması, vb. nedenlerle halat saplama kullanımı artış göstermiştir. Halat saplama delici makine, gerdirme krikosu, vb. birçok ekipmanın kullanılması ile gerçekleştirilen bir uygulamadır. Halat saplama operasyonunun amacına uygun, güvenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için dikkat edilmesi gereken birçok husus bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında, halat saplama uygulamaları ve halat saplama makineleri ve ekipmanları tanımlanmış, halat saplama uygulamasının güvenli bir şekilde yapılması için uygulamaya yönelikdeğerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Tahkimat, Halat Saplama, Yüksek Rotasyonlu Tavan Delici Makine

**ABSTRACT**

Especially in poor ground conditions, cablebolts provide important advantages in support systems. In underground coal mines where geologic condition is not good, the use of cablebolts has increased due to reducing deformation and providing stability. Cable bolt operation is performed with use of many equipment which is drilling machine, tensioning jack, etc. There are many issues for the cablebolt operation to be performed in accordance with its purpose, safely and efficiently.

With in the scope of the study, cablebolt operations and machines and equipment of this operations have been defined. Moreover, practical evaluations have been made in order to perform cablebolt operation safely.

**Keywords:** Support, Cable Bolt, Roof Bolter

## 1.GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde çalışma ortamının tahkim edilmesi/desteklenmesi ortam ve çalışan güvenliğinin sağlanması için önemli bir konudur. Çalışma ortamının güvenli hale getirilebilmesi için yeraltında ağaç tahkimat, çelik tahkimat, püskürtme beton, kaya saplama, vb. gibi çeşitli tahkimat yöntemleri kullanılmaktadır.

Günümüzde kaya saplama teknikleri büyük bir hızla gelişmekte ve kaya saplama teorileri üzerine birçok veri elde edilmektedir. Kaya saplama tekniklerinin yapılarıdaki duraylılığa olan katkıları yapılan numerik simülasyonlar, laboratuvar testleri, teorik analizler ve yeraltı testleri ile anlaşılmasına çalışılmaktadır (Kang, 2014).Kutay, vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kaya saplama ve halat saplama çekme testlerinden elde edilen çekme kapasitesi ile ilgili veriler değerlendirilmiştir. Bu çalışmaya göre kaya ve halat saplama testlerinde 60-180kN/m çekme değerleri tespit edilmiştir. Kaya saplama türleri içerisinde, halat tipi kaya saplama, boy sınırlamasının olmaması, esnek olması, ucuz olması ve yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olmaları nedeni ile dikkat çekmektedir (Uysal, vd., 2003).

Halat saplama uygulamaları galeri tahkimatında ön tahkimat olarak kullanılabilirdiği gibi deforme olmuş tahkimat sisteminin iyileştirilmesinde de kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanım özelliğinden dolayı halat saplama makineleri yeraltında farklı çalışma ortamlarında (galeri açma makinesi üzerinde, tavana asılmış bir platform üzerinde, sıkışık bir alanda, vb.) kullanılmaktadır.

Halat saplama uygulamaları, halat saplama makinesi, gerdirme krikosu, vb. birçok ekipmanın kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Uygulama sırasında birçok sarf malzeme kullanılmaktadır. Çalışmanın ekonomikliği ve amacına uygun olması için halat saplama ekipmanlarının seçimi önemli bir şekilde yapılmalıdır. Uygulanan halat saplamanın çekme dayanımına uygulama parametrelerinin (halat çapı, delik çapı, enjeksiyonlu uzunluk, halat saplama yerleştirme açısı, vb.) etkileri bulunmaktadır.

Halat saplama operasyonları hem kullanıldığı/uygulandığı yeraltı çalışma bölgeleri hem de uygulama şekli bakımından önemli bazı tehlike ve riskler (dönen ekipmana kapılma, tavadan kavlak düşmesi, vb. ) içermektedir. Uygulama sürecinin güvenli yürütülebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında halat saplama makine ve ekipmanları bazı teknik özellikleri ve uygulamanın yapılışı tanımlanmıştır. Halat saplama ekipmanlarının seçiminde dikkat edilecek hususlar belirlenmiştir. Halat saplama uygulamaları ve bu uygulamalar sırasında karşılaşılan tehlike ve riskler tanımlanmıştır. Uygulamanın güvenli ve amacına uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi için yapılması gerekenler tanımlanmıştır.

## 2.HALAT SAPLAMA UYGULAMASI MAKİNE VE EKİPMANLARI

### 2.1. Pnömatik Yüksek Rotasyonlu Delici Makineler

Halat saplamanın yerleştirilmesi esnasında halatın dönme hızı oldukça kritik olup, halata yüksek hızlı rotasyon verilmesi gerekmektedir. Bu yüzden pnömatik yüksek rotasyonlu delici makineler kullanılmaktadır. Pnömatik deliciler, tavan deliciler, radyal deliciler ve kolonlu deliciler olmak üzere 3 farklı kategoride değerlendirilmektedir. Yaygın olarak kullanılan pnömatik yüksek rotasyonlu delici makinelerin bazı teknik özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Yaygın olarak kullanılan pnömatrik yüksek rotasyonlu delici makineler (Lantsevich, 2018)

Teknik Özellikler	SBR	Rambor	Wombat	Tyrbo	Gopher	MQT 130
Menşei	Rusya	Avustralya	Avustralya	Büyük Britanya	Almanya	Çin
Max. Kayaç Sertliği (MPa)	80	80	80	80	80	80
Delik Çapı (mm)	28-35	28-30	28-30	28-30	28-30	27-42
Delik Uzunluğu (m)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Rotasyon Hızı (min-1)	700	900	-	600	850	300
Tork (NM)	160	245	190	200	170	220
Besleme Kuvveti (kN)	7,0	9,0	7,0	6,0	6,8	8,4
Basınç (MPa)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,63
Ağırlık (kg)	38	44	50	45	49	50

Pnömatrik delicilerin kullanımı için ekipman harici aşağıdaki parçalara ihtiyaç vardır;

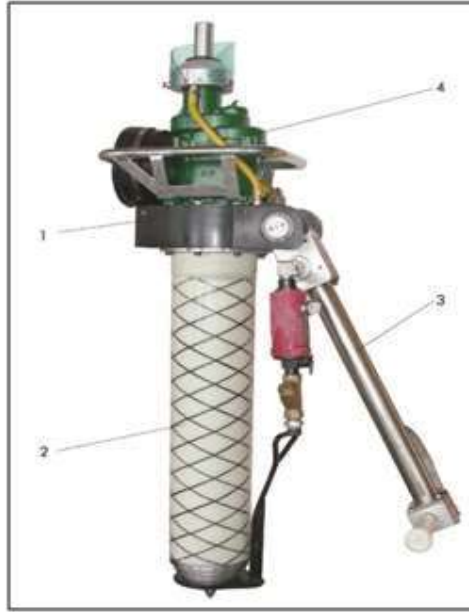
- Delici Kafa (Drill Bit): Açılacak olan delik çapına ve zeminin sertliğine göre çeşitleri (bridge, PDC, super-strength, reinforced vestandart) bulunmaktadır (Şekil 1).
- Eklemeli HegzagonalRod: Genellikle 19 mm ve 22 mm olmak üzere iki tipi yaygın olarak kullanılmaktadır. Pnömatrik delicinin kafa kısmı ile uyumlu olması gerekmektedir.
- Halat Karıştırıcı Adaptör: Pnömatrik delicinin kafasında yer alan yuvaya oturtturularak halatın delik içerisine ötelenmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 1. Delici kafa türleri (Drilling Tools, 2007)

### 2.1.1 Pnömatrik Yüksek Rotasyonlu Tavan Delici Makineler

Pnömatrik yüksek rotasyonlu tavan delici makineler (Şekil 2) genellikle galerilerin tavan ve omuz bölgelerine halat saplama uygulaması için kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan halat saplama ekipmanıdır. Deliğin delineceği bölgeye kolaylıkla kurulumu sağlanmaktadır. Ekipmana su ve hava girişlerine sahiptir. Ekipman 4-6 bar basınçlı hava ile çalışmaktadır. Basınçlı su ise sistemin en ucuna kadar gitmektedir. Delgi esnasında delik içerisinde oluşan kırıntıların dışarı atılmasını ve delici kafanın ısınmasını engellemek amaçlı gereklidir. Makinede basınçlı su kullanımı ile delgi sırasında çıkan tozların kaynağında bastırılması sağlanmaktadır. Ekipman; şase ünitesi (1), teleskobik ayak (2), kontrol kolu (3) ve pnömatrik motor ünitesi (4) olmak üzere 4 üniteden oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Pnömatik yüksek rotasyonlu tavan delici makine ve parçaları (MQT 130/2.8, 2018)

### 2.1.2 Radyal ve Kolonlu Deliciler

Radyal deliciler ve kolonlu deliciler destek sistemleri ile çalışmaktadır. Radyal deliciler sabitlenerek neredeyse 360 derece açı ile uygulama yapabilen ekipmanlardır (Şekil 3).



Şekil 3. Radyal deliciler (<http://www.rambor.com.au>)

Kolonlu deliciler genellikle tabana ve yan duvar bölgelerine yapılacak olan uygulamalarda kullanılırlar (Şekil 4).

### 2.2. Pnömatik Yağ Pompası

Pnömatik yağ pompaları germe krikosu ile bütünleşik çalışan ekipmandır. Bu ekipman halat saplamaların gerdirilmesi için gerekli olan gücü sağlayan ünitelerdir (Şekil 5). Yaygın olarak bilinen/kullanılan yağ pompaları 4-7 bar giriş hava basıncı ile çalışan, 700 bar hidrolik basma kapasitesine sahip ve 80-90dBA aralığında gürültü ile çalışan bir ünitelerdir.





Şekil 4. Kolon deliciler (ZQJ 150 ColumnDrilling Machine, 2018)



Şekil 5. Pnömatik yağ pompası (QitaiheLongCoalMining, 2017)

Pompa üç kademeli kol ile çalışmaktadır. Birinci kademe yağın pompalanmasını sağlar, ikinci kademe sabitleme ve üçüncü kademe boşaltma olarak çalışmaktadır. Pompa ile germe krikosu arasında bağlantı hidrolik hortumlar ile sağlanmaktadır. Hattın çapı ile uygulama mesafesi değişiklik göstermektedir. Elle taşınabilen bu ünitenin uygulama bölgesine yakın mesafelerde bulundurulması gerekmektedir. Aksi durumda, germe krikosu operatörü ve yağ pompası operatörü arasında iletişimi sağlayacak ayrı bir sistem kullanılması gerekmektedir.

### 2.3. Gerdirme Krikosu

Gerdirme krikosu yağ pompası ile çalışan hidrolik bir ünedir (Şekil 6). İçerisindeki yuva kısımdan halatın geçirilmesi ile halat üzerine tutunur. İç pistonun ilerletilmesi ile sıkılama işlemini gerçekleştirir. Krikonun içinde yer alan halata tutunmayı sağlayan özel sıkma çeneleri mevcuttur. Halata tutunan kriko pistonun açılması ile sıkırma takozunun yardımıyla halatın gerdirilmesini sağlar. Kriko boşa çıkarıldığında tek yöne hareket edebilen sıkırma takozları sabit kalır ve halatın gergin kalmasını sağlarlar.



Şekil 6. Gerdirme krikosu ([www.jikaitech.com](http://www.jikaitech.com))

Gerdirme krikoları uygulanan kuvvetin miktarına göre sınıflara ayrılmaktadır (Çizelge 2). Gerdirme kuvvetleri halatların çaplarına göre değişmektedir. Her bir halat çapı aralıkları için gerdirme krikosu modeli farklıdır.

Çizelge 2. Gerdirme krikosu modelleri ve bazı teknik özellikleri (YDC Cable Tensioner, 2019)

Model	120/150	180/150	250/150	250/150 (A)	370/63
Basma Kuvveti (kN)	150	220	300	300	410
Strok (mm)	150	150	150	150	125
Basınç (MPa)	50	52	60	70	63
Delik Çapı (mm)	16	16	16	18	22
Halat Çapı (mm)	15,24	15,24	15,24	17,8	21,8
Ağırlık (kg)	8,4	18	20	20	29

#### 2.4. Enjeksiyon Karıştırıcı ve Enjeksiyon Pompası

Bu üniteler sadece çimento dolgululu halat saplama uygulamasında (özel uygulama) kullanılmaktadır. Sulu çimento enjeksiyonunun homojen bir yapıda uygulanabilmesi için enjeksiyon karıştırıcı ile karıştırılmaktadır. Homojen haldeki çimento enjeksiyon malzemesi Şekil 7' de verilmiş olan pompa ve uygun hortum bağlantıları ile halat saplama üzerinden delik içerisine uygulanmaktadır.



Şekil 7. Enjeksiyon pompası (QitaiheLongCoalMining, 2017)

## 2.5. Halat Saplama Uygulamasında Kullanılan Sarf Malzemeler

Standart halat saplama uygulamasında beton demeti (halat), sıkırtma takozu, ankraj plakası ve reçine kartuşu olmak üzere sarf malzemeler kullanılmaktadır. Çimento dolgulu halat saplama uygulamasında reçine kartuşu yerine özel çimento-enjeksiyon katkı malzemesi kullanılmaktadır.

Beton demeti (saplama malzemesi), piyasada ön gerdirmeli sol sarım beton demeti olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, yurt dışından özel olarak da tedarik edilmesi mümkündür. Yaygın olarak kullanılan halat türleri geliştirildiği yıllarda belirtilmek suretiyle Windsor (1992) tarafından derlenmiştir (Şekil 8).

TYPE	LONGITUDINAL SECTION	CROSS SECTION
Multi-wire tendon (Clifford, 1974)		
Birdcaged multi-wire tendon (Jirovec, 1978)		
Single strand (Hunt & Askew, 1977)		
Coated single strand (Hunt & Askew, 1977)		
Barrel and wedge anchor on strand (Mathews et al, 1984)		
Swaged anchor on strand (Schmuck, 1979)		
High capacity shear dowel (Mathews et al, 1985)		
Birdcaged strand (Hutchins et al, 1990)		
Bulbed strand (Garford, 1990)		
Ferruled strand (Windsor, 1990)		

Şekil 8. Halat saplama sisteminin gelişim süreci (Windsor, 1992)

Sıkırtma takozu (Şekil 9), kovanve kama olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Yapılacak olan halat saplamanın çapına bağlı olarak takozun teknik özellikleri değişiklik göstermektedir. Halat saplama yapıldıktan sonra plakanın ve stoperin aşağı yukarı hareketini engelleyen aparattır.



Şekil 9. Halat sıkırtma takozu (Qitaihe Long Coal Mining, 2017)

Ankraj (tavan)plakası, halat-kayaç arası tespit sistemi olarak kullanılmaktadır. Plakalar, yüzey tahkimatını sağlayan tel, hasır gibi yüzey tutucu elemanları halat sistemine bağlayan çelikten yapılmış malzemelerdir. Plakalar, kullanım yeri ve amacına göre kare, dikdörtgen, vb. geometrik şekillerde üretilmektedir. Açıklık yüzeyinin çatlaklı olduğu durumlarda daha kalın plakalar kullanılmaktadır(Uysal, vd., 2003).

Reçine kartuşu, halatın zemine tutunmasını sağlayan kimyasal ürünlerdir (Şekil10). Reçine sakızı ve katalizör macunu içeren iki ayrı bölümden oluşmaktadır.



Şekil 10. Reçine kartuşu (www.weber-mining.com)

Halat saplamanın delik dibine gönderilebileceği ve tam zamanında reçinelerin priz alacağı süreler uygun seçilmek durumundadır. Delik dibine halat saplamanın dayanması ve halat sarım yönü ile yerleştirme esnasındaki dönme yönü, reçinenin doğru yerleştirilmesi için oldukça önemlidir (Kutay, vd., 2019). Çimento dolgulu halat saplama uygulamasında reçine kartuşu yerine çimento enjeksiyon katkı maddesi kullanılmaktadır. Kullanılan katkı maddesi demir donatılarda korozyon oluşturmeyen ve toksik madde içermeyen kimyasal maddeden oluşmaktadır.

## 2.6. Halat Saplama Ekipmanlarının Seçimi

### Kullanılacak delici makine modelinin belirlenmesinde;

- Ekipmanın tork değerinin belirlenmesi için uygulama yapılacak zeminin yapısı ve kaya kütle sınıflandırmasından elde edilen veriler,
- Ekipmanın teleskobik ünitesinin veya destek ünitesinin yapısının belirlenmesi için açılacak galerinin veya arın gerisindeki çalışmalarda uygulama yapılacak bölgenin boyutları,
- Kullanılacak makine tipinin belirlenmesi için halat saplamanın uygulamasının yapılacağı bölge(tavan, taban veya kömür arını),
- Delik delme uzunluğunun ve delik çapının belirlenmesi için tahkimat tasarımına göre yapılacak olan halat saplamaların çapı, dikkate alınmalıdır.

Gerdirme krikosunun modelinin ve iç çapının belirlenmesinde kullanılacak halatın çapı,gerdirm krikosunun kuvvet değerleri belirlenmesinde zemin yapısı ve kaya kütle sınıflandırmasından elde edilen veriler dikkate alınmalıdır.

Delici kafa tipinin belirlenmesinde; zeminin yapısı ve kaya kütle sınıflandırılmasından elde edilen veriler ve açılması planlanan delik çapı dikkate alınmalıdır.

## 2.6. Halat Saplama Uygulamasının Yapılışı

Arın bölgesinde ve/ve yarın gerisinde yapılan çalışmalarda reçineli kartuşu kullanılarak yapılan halat saplama uygulaması (Şekil 9) genel olarak 7 aşamada gerçekleştirilmektedir (Moore, vd., 2017).

- i. Pnömatik yüksek rotasyonlu delici makine ile tahkimat tasarımına uygun şekilde halat saplamanın delgi işlemi yapılır. Delgi işlemi sırasında eklemeli tijler kullanılmaktadır. Delgi işlemi sonrasında delik içerisinde temiz olup olmadığı (deliğin tıkanma durumu) uygun boyuttaki halat saplama ile kontrol edilir.
- ii. Plastik çubuk yardımı ile delik içerisine reçine kartuşları ötelenir. Kartuşlar üzerinde yer alan paraşütler kartuşların delikte stabil kalmasını sağlamaktadır.
- iii. Halat saplama delik içerisine pnömatik delicinin rotasyonunundan faydalanarak ötelenir.
- iv. Reçine kartuşlarının donma sürelerine göre döndürme işlemi süresi ayarlanır.
- v. Plaka ve sıkırma takozu montajı yapılır.
- vi. Gerdirme krikosu ile halatın ön gerdirmesi yapılır ve montaj işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 9. Halat saplama uygulaması (Moore, vd., 2017)

Halat saplama uygulamasında 3-4 personel görev almaktadır. 25 m<sup>2</sup> lik bir at nalı kesitindeki bir galeride arın kısmına yapılan halat saplamalarda bir halatın uygulaması yaklaşık 30 dakika, tamir-tarım bölgelerinde/çalışmalarında yaklaşık 60 dakikada tamamlandığı gözlemlenmiştir.

## 2.7. Halat Saplama Uygulamalarında Alınması Gereken Önlemler

Halat saplama uygulamalarında genel olarak alınması gereken önlemler/dikkat edilmesi gereken bazı hususlar aşağıdaki çizelgeden tanımlanmıştır (Çizelge 3). Çizelgede belirtilen kriterler genel tehlike ve riskler olup, halat saplama uygulaması yapılacak ocak koşulları da dikkate alınarak ayrıca risk analiz ve değerlendirme çalışmaları yapılarak süreç yönetilmelidir.

Çizelge 3. Halat saplama uygulamasında tehlikeler, riskler ve alınması gereken önlemler

Tehlike/Riskler	Alınması Gereken Önlemler
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Halat saplama makinesinin yüksekte kullanılması zorunluluğu-Makinenin kullanılacağı yere/platforma kaldırılması, ağır malzeme tehlikesi, devrilme tehlikesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Makinenin yüksekte kullanılacağı kısma uygun şekilde ve doğru ekipmanla kaldırılması,</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Çalışılan zeminin kaygan olması,</li> <li>➤ Yüksekte çalışma tehlikesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Platform üzerinde çalışırken yüksekte düşmelere karşı emniyet kemeri ve uygun ekipman kullanılması</li> <li>➤ Kaygan zeminlerde SRC tabanlı iş botu/çizmesi kullanılması</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uygulama sırasında makinenin devrilmesi,</li> <li>➤ Eğimli yerde halat saplama yaparken makine pistonunun kayması, çalışana çarpma riski,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Halat saplama makinesinin devrilmemesi için sabitleme ipi ile uygun bir noktadan bağlanması</li> <li>➤ Halat saplama makinesinin bulunduğu zeminin düz olması sağlanarak (tabana takoz konularak), makine tabanının kaymasının engellenmesi</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tavan akması, delik delinmesi sırasında taş düşme tehlikesi,</li> <li>➤ Reçinenin delik içine montajı sırasında çalışanın eline parça düşme tehlikesi,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uygulama öncesi tavana püskürtme beton uygulaması</li> <li>➤ Tavana hasır tel uygulaması, vb.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bir çalışan tarafından makineye müdahale edilirken (delici makinenin rotunu yerine monte ederken) başka bir kişi tarafından makinenin çalıştırılması, iletişim eksikliği</li> <li>➤ Makine dönerken tijlere/halata müdahale edilmesi</li> <li>➤ Uygulama sırasında halatın veya tijin yerinden çıkarak çalışanın eline düşme/çarpma riski,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Makine durmadan kesinlikle müdahale edilmemesi,</li> <li>➤ Halatı halat saplama aparatına yerleştirdikten sonra makineyi çalıştırmadan önce özellikle tamir tarama bölgesi halat uygulamalarında başka bir çalışanın halata eli ile müdahale etmediğinden emin olunması (iletişim),</li> <li>➤ Rot takılırken makinenin başka bir kimse tarafından müdahalesinin engellenmesi için makineyi kullanan kişi tarafından, makine üzerinde bulunan durdurma düğmesi aracılığı ile makinenin enerjisinin kesilmesi,</li> <li>➤ Uygulama sırasında çalışanın güvenli bir alanda bulunması sağlanmalı</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Halat saplama gerdirme makinesinde yağ kaçağı-hortum çıkması, vb.</li> <li>➤ Göze parça gelme tehlikesi,</li> <li>➤ Çalışma ortamında bulunan toz,</li> <li>➤ Makinenin çalışması ile ortaya çıkan gürültü,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hava hortumu, su hortumu ve diğer ekipmanların iş öncesi ve iş sırasında kontrol edilmesi,</li> <li>➤ Gözlük, kulak koruyucu, toz maskesi, eldiven ve diğer kişisel koruyucu donanımların kullanımı,</li> <li>➤ Tozun bastırılması için mümkünse sulu delik delinmesi ve/veya toz bastırma sisteminin kurulması/çalıştırılması, vb.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tijlerin bağlantı vidalarının düzgün olmaması sonucu tijler arasından hava veya su püskürerek, göze fırlama tehlikesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uygun malzeme-ekipman kullanımı</li> </ul>

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

### Çalışma kapsamında yapılan incelemelerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Galerilerde yapılan halat saplama uygulamalarının niteliği/niceliği, saplamalara uygulanmış çekme testleri ve galeri deformasyon ölçüm verileri birlikte değerlendirildiğinde halat saplama uygulamasının galerilerdeki deformasyonu azaltıcı etkisi olduğu araştırma kapsamında tespit edilmiştir.
- Uygulama birçok ekipmanın birlikte kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Halat saplama uygulamasında kullanılan ekipmanların ve sarf malzemelerin büyük çoğunluğu yurt dışından tedarik edilmektedir.Önümüzdeki süreçte yeraltı madenciliğinde halat saplama kullanımlarının artış göstereceği öngörüsü ile halat saplama ekipman ve sarf malzemelerinin yurt içinde tedarik edilmesi/üretilmesi sektöre ciddi avantaj sağlayacaktır.
- Halat saplama ekipman ve malzemelerinin seçimi, uygulamanın amacına ve maliyetine etki ettiği için bu süreçte özenli davranılması gerekmektedir.
- Halat saplama uygulamasında yüksek rotasyonlu ekipmanlar kullanılması, uygulama sırasında tavandan taş düşmesi, vb. tehlikeler/riskler içermesi nedeniyle uygulama sırasında gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.

### **Kaynaklar**

- Drilling Tools (2007). Jikai Group Malzeme Kataloğu
- Kutay, O., Öge, İ. F., Tuz, C., Erel, A. ve Kahraman, E. (2019).Sedimanter Zayıf Kaya Kütlesinde Reçineli Halat Saplama Uygulama Parametrelerinin Çekme Dayanımına Etkisi, Türkiye 26. Uluslararası Madencilik Kongresi, Antalya.
- Kang, H. (2014). Support Technologies For Deep And Complex Roadways in Underground Coal Mines. Coal Science Technology, 261-277.
- Lantsevich, M.A., Repin, A.A., Klishin, V.I. ve Kokoulin, D.I. (2018). Roofbolters with Compressed-Air Rotators, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume:134.
- Moore, I., Kahraman, E., Yiğitcanlar, B. ve Tuz, C. (2017). Polyak Eynes A.Ş. Arın Gerisi Çalışma Alanlarında Halat Saplama Uygulaması Prosedürü, (Yayımlanmamış) Teknik Not, Polyak Eynes A.Ş., İzmir.
- MQT 130/2.8. Kataloğu (2018) Jiangsu Zhongfang Lixing Enerji Teknolojisi A.Ş.
- Qitaihe Long Coal Mining (2017). Halat Saplama Uygulaması Teknik Doküman (Yayımlanmamış), Qitaihe Long Coal Mining Operations.
- Windsor, C. R. (1992). Cable Bolting for Underground and Surface Excavations. Rock Support in Mining and Underground Constructio, Balkemo, Rotterdam (s. 349-376).
- YDC Cable Tensioner (2019). Shijiazhuang Zhongmei Coal Mine Equipment Co. Ltd.
- Uysal, Ö., Demirci, A. ve Durutürk, Y. S. (2003). Halat Tipi Kaya Saplama Uygulamaları, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı:4.
- [www.weber-mining.com](http://www.weber-mining.com)
- [www.jikaitech.com](http://www.jikaitech.com)
- [www.rambor.com.au](http://www.rambor.com.au)
- ZQJ 150 Column Drilling Machine Kataloğu (2018), Shijiazhuang Molong Coal Machinery Ltd.

**KALIN KÖMÜR DAMARLARINDA FARKLI ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN NÜMERİK ANALİZİ**  
*NUMERICAL ANALYSIS OF DIFFERENT PRODUCTION METHODS ON THICK COAL SEAMS*

M. E. Yetkin<sup>1\*</sup>, M. K. Özfirat<sup>1</sup>, M. Kun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.  
(\*Sorumlu yazar: mustafa.yetkin@deu.edu.tr)

**ÖZET**

Dünyada ve ülkemizde enerjiye olan ihtiyacın giderek artmasıyla beraber kömür damarlarının etkili bir şekilde kazanımı da önemli hale gelmiştir. Ülkemizde bulunan kömür damarlarına bakıldığında bu damarların kalın kömür damarı sınıfına girdikleri bilinmektedir. Dünyada kalın kömür damarlarının üretiminde kullanılan tavan kömürünün göçertilerek alındığı uzun ayak yöntemi (LTCC), ülkemizdeki kömür damarlarında da etkili bir şekilde uygulanmaktadır. Kömür damarında bulunan ara kesmenin kalınlığına bağlı olarak kömür damarı tek seferde veya dilimler halinde kazanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, ülkemizdeki kömür ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri dikkate alınarak modelleme programı yardımıyla bir uzun ayak modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde kömürün tek seferde ve dilimler halinde kazanılması durumunda meydana gelecek olan ayak önü gerilmeleri hesaplanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Uzun ayak, kömür, nümerik analiz.

**ABSTRACT**

With the increasing demand to energy in the world and in our country, the efficient production of coal seams has become important. When looking at the coal seams in our country, it is known that these seams enter the thick coal seam class. Longwall top coal caving (LTCC) which is used for the production of thick coal seams in the world, is also applied effectively in the coal seams in our country. Depending on the thickness of dirtyband in the coal seam, the coal seam is produced at one time or in slices.

In this study, a longwall model are formed with the help of modeling software considering the geomechanical properties of the coal and coal surrounding rocks in our country. In the models created, the stresses occurred in front of face are calculated in case of the coal is produced in one time and in slices.

**Keywords:** Longwall, coal, numericalanalysis.



## GİRİŞ

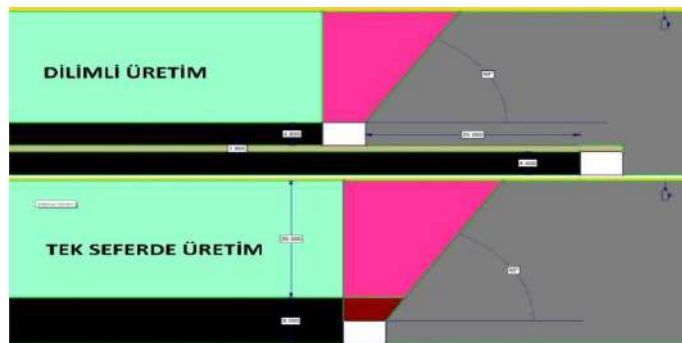
Gün geçtikçe artan insan nüfusu, sanayileşme ve dolayısıyla enerjiye olan ihtiyaç kömürü daha da önemli bir hammadde haline getirmiştir. Günümüzde, dünyada ve ülkemizde üretilen kömürün bir bölümü yeraltı madenciliğiyle üretilmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde meydana gelen gelişmeler artan kömür talebiyle birlikte hız kazanmış, işletmeler bu talebi karşılamak amacıyla daha fazla kömür üretimini amaçlar hale gelmiştir. Bu amaç doğrultusunda yeraltı mekanize sistemlerin gelişimiyle birlikte daha fazla kömür üretimine olanak sağlayacak olan makina ve ekipmanlar dizayn edilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır (Yetkin, 2019). Bu gelişmeler kalın kömür damarlarının tek seferde ve dilimler halinde kazanımının etkin bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamıştır. Kömür damarının tek seferde ve dilimler halinde kazanılması sırasında meydana gelen gerilme dağılımları yapılacak olan laboratuvar testleri ve devamında modelleme çalışmaları ile önceden tahmin edilebilir. Bu durum kömür damarının tek seferde kazanılması sırasında ayak etrafında, kömür damarı içinde ve göçük bölgesinde meydana gelecek olan gerilmelerin önceden tahmin edilmesine ve buna göre önlem alınmasına olanak sağlamaktadır. Aynı şekilde dilimli üretim sırasında tavan ayak ve taban ayakta meydana gelen gerilme dağılımların belirlenmesi ayrıca iki ayak arasındaki mesafenin artması veya azalması durumunda meydana gelebilecek olan gerilme dağılımlarının önceden tahminine olanak sağlamaktadır. Bu şekilde optimum ayak mesafesinin belirlenmesi mümkün hale gelmektedir.

Yapılan geçmiş çalışmalarda araştırmacılar uzun ayaklarda farklı çalışma yöntemlerinde meydana gelen gerilmeleri incelemiş ve en uygun çalışma yöntemini veya çalışma yüksekliğini önermişlerdir (Yetkin et al. 2018; Yetkin 2019; Jiang et al. 2017; Mukherjee et al. 1994; Song et al. 2017; Suchowerska et al. 2013; Thin et al. 1993; Verma and Deb 2008; Waclawik et al. 2017; Yu et al. 2016).

Yapılan çalışmada Phase2D (Phase2, 2014) modelleme programında belirli bir derinlikte üretim yapan iki adet uzun ayak modeli oluşturulmuştur. Bu uzun ayaklardan biri dilimli, diğeri ise tek seferde kömür damarının kazanıldığı ayaklar olarak modellenmiştir. Bu iki çalışma şekline göre ayak etrafında meydana gelecek olan gerilmeler hesaplanmış ve en uygun üretim yöntemi önerilmiştir.

## MODELLEME ÇALIŞMALARI

Çalışmada modellenen uzun ayaklar Soma bölgesinde çalışmakta olan uzun ayaklara ait kömür ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde çalışma derinliği 400 metre, damar kalınlığı 8 metre olacak şekilde seçilmiştir. Modeller dilimli üretim ve tek seferde üretim yöntemlerine göre dizayn edilmiştir. Dilimli üretim yönteminde kömür içinde 1 metre ara kesme olduğu varsayılarak modelleme yapılmıştır. Ayrıca dilimli üretim yönteminde tavan ayak ve taban ayak arasındaki mesafe 25 metre olarak modellenmiştir. Oluşturulan modellere ait görüntüler Şekil 1’de ve kayaçlara ait jeomekanik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Oluşturulan modellerin görüntüsü

Çizelge 1. Soma bölgesi kömür ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri (Konak et al. 1996)

Deneyler	Kömür	Tavan Taşı	Taban Taşı
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	20,55	69,80	10,70
Birim hacim kütle (gr/cm <sup>3</sup> )	1,325	2,10	2,00

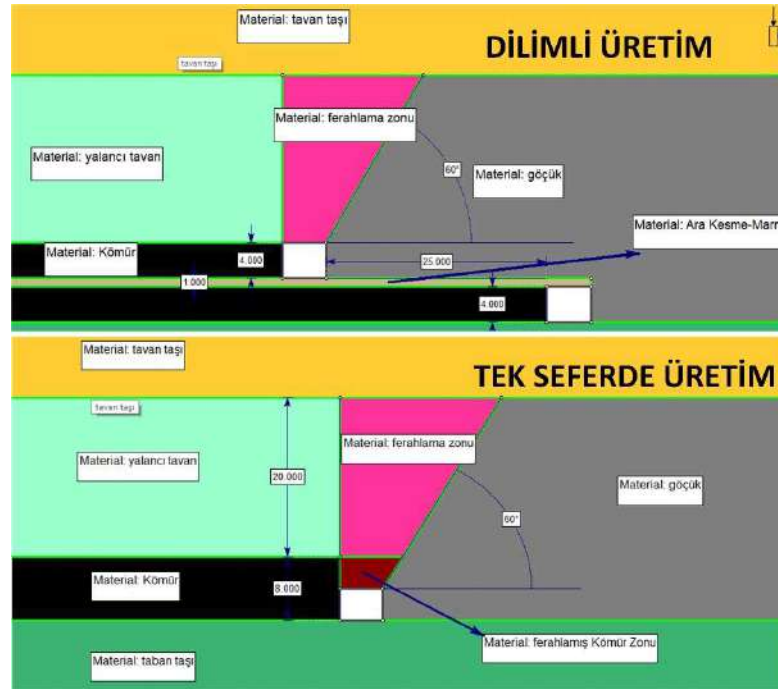
Çizelge 1’de verilen tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim kütle değerleri dikkate alınarak kayaç verilerinden kütle verilerine geçiş yapılmıştır. Kütle verilerini elde etmek için RocData(RocData 2014)

programı kullanılmıştır. Program yardımıyla kayaç verilerinden kütle verileri elde edilmiş ve oluşturulan modelde bölgelere tanımlanmıştır. Modelde kullanılan kaya kütle girdi verileri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Modelde kullanılan kaya kütle girdi verileri

Formasyon	Birin hacim ağırlık (MN/m <sup>3</sup> )	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı (n)	Çekme dayanımı (MPa)	İçsel sürtünme açısı(φ) (°)	Kohezyon (c) Mpa
Kömür	0,01325	2549,21	0,30	0,022	33,70	0,530
Ferahlama zonu	0,0210	9429,42	0,32	0,240	38,30	1,273
Ferahlama zonu (kömür)	0,01325	1519,36	0,32	0,008	25,93	0,355
Göçük	0,0210	120,00	0,40	0,000	13,77	0,157
Yalancı tavan	0,0210	11141,09	0,30	0,335	40,79	1,523
Taban taşı	0,0200	4362,06	0,30	0,051	26,98	0,608
Tavan taşı	0,0210	11141,09	0,30	0,335	40,79	1,523

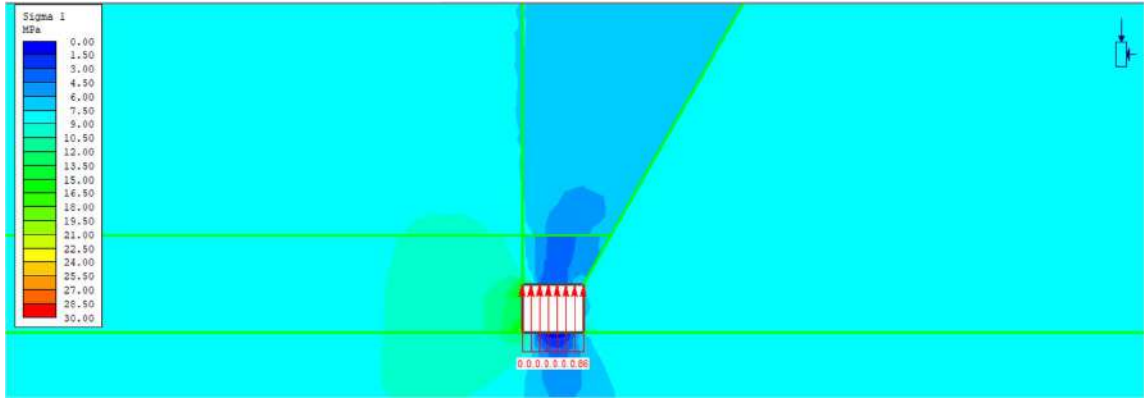
Oluşturulan modellerde ayak bölgesi kömür, ferahlama zonu, ferahlama zonu (kömür), göçük, yalancı tavan, taban taşı ve tavan taşı olmak üzere yedi bölgeye ayrılarak modellenmiştir. Şekil 2’de bölgelerin model üzerindeki yerleri gösterilmiştir.



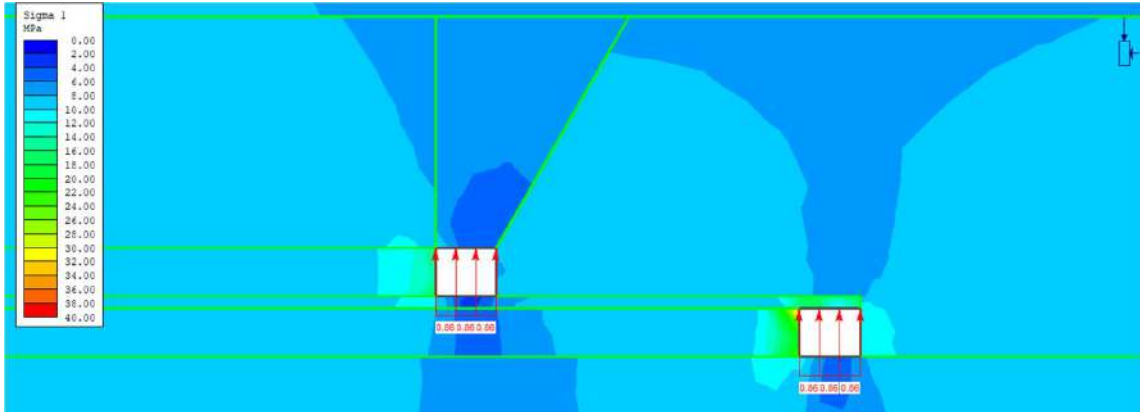
Şekil 2. Model üzerinde oluşturulan bölgeler

### GERİLME ANALİZLERİ VE ELDE EDİLEN VERİLER

Modellerin oluşturulmasından ve kaya kütle verilerinin modeller üzerindeki bölgelere tanımlanmasından sonra modeller çalıştırılmış ve ayak etrafından meydana gelen gerilmeler hesaplanmıştır. Damarın tek seferde kazanıldığı yöntemde ve dilimli üretim yönteminde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler Şekil 3 ve Şekil 4’de verilmiştir.

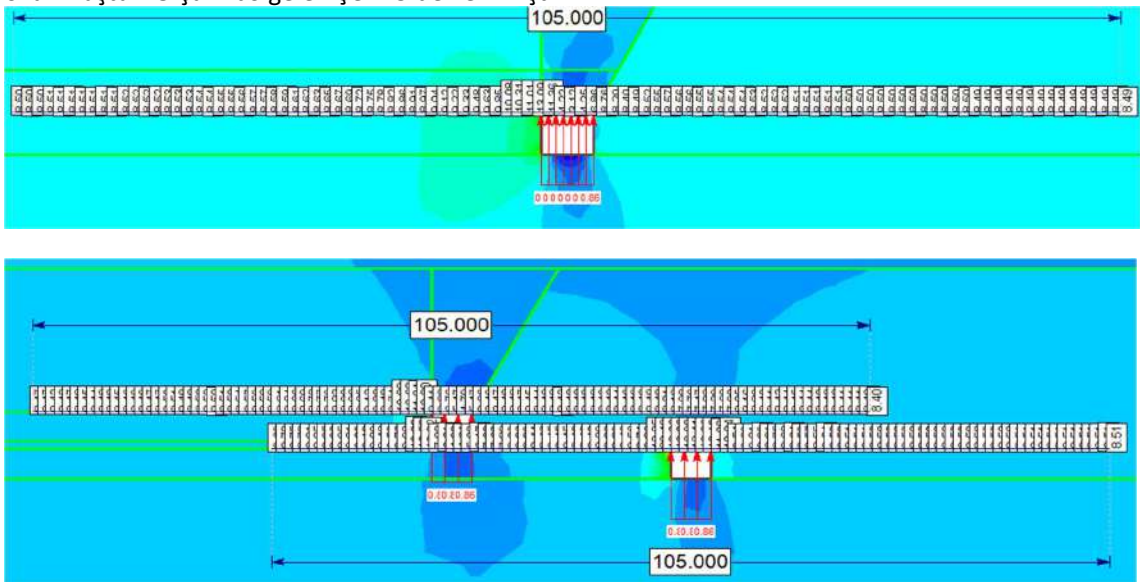


Şekil 3. Kömür damarının tek seferde üretildiği durumda ayak etrafında meydana gelen gerilmeler



Şekil 4. Kömür damarının dilimlerde üretildiği durumda ayak etrafında meydana gelen gerilmeler

Şekil 3 ve Şekil 4'de görüldüğü gibi oluşturulan modellerde ayak içinde yürüyen tahkimatları temsil etmesi amacıyla yürüyen tahkimatların sıkılama yükü olan 0,86 MPa basınç değeri ayak içinde tavan bölgesine uygulanmıştır. Bu sayede daha doğru bir gerilme analizi yapılmasına olanak sağlanmıştır. Oluşturulan modellerde kömür damarı içinden 50 metre, ayak içinden 5 metre ve göçük bölgesinden 50 metre olmak üzere toplamda 105 metrelik bir hat boyunca 1 metre aralıklarla gerilme değerleri okunmuştur. Ölçüm bölgeleri Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Ölçüm hattının görüntüsü

Tek seferde üretim ve tavan ayak-taban ayak şeklinde üretim yöntemlerine göre ayak etrafında oluşan gerilme değerleri Çizelge 3' de verilmiştir.

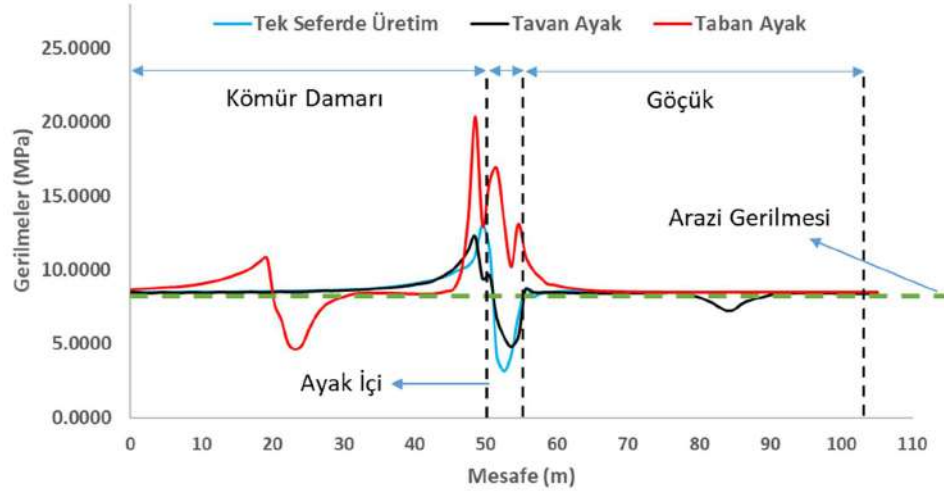
Çizelge 3. Mesafeye bağlı olarak farklı üretim şekillerinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler

Bölge	Mesafe (m)	Tek Seferde Üretim	Tavan Ayak	Taban Ayak
		Gerilme	Gerilme	Gerilme
		MPa	MPa	MPa
KÖMÜR DAMARI	0	8,5026	8,4697	8,6779
	1	8,5033	8,4707	8,7244
	2	8,5041	8,4343	8,7474
	3	8,5051	8,4332	8,7766
	4	8,5061	8,4743	8,8084
	5	8,5073	8,4765	8,8466
	6	8,5086	8,4456	8,8538
	7	8,5099	8,4442	8,8980
	8	8,5115	8,4800	8,9517
	9	8,5132	8,4820	9,0136
	10	8,5151	8,4536	9,0900
	11	8,5173	8,4551	9,1828
	12	8,5198	8,4890	9,2877
	13	8,5224	8,4922	9,4213
	14	8,5255	8,4721	9,5837
	15	8,5288	8,4705	9,7609
	16	8,5324	8,5015	9,9344
	17	8,5366	8,5059	10,2302
	18	8,5414	8,4814	10,5768
	19	8,5465	8,4804	10,8231
	20	8,5521	8,5197	7,8255
	21	8,5588	8,5273	6,6139
	22	8,5657	8,5029	4,9843
	23	8,5741	8,5083	4,6418
	24	8,5833	8,5197	5,0283
	25	8,5939	8,5359	6,1654
	26	8,6056	8,5745	7,0219
	27	8,6193	8,5868	7,6023
	28	8,6341	8,5776	7,8862
	29	8,6515	8,5920	8,0882
	30	8,6705	8,6148	8,2573
	31	8,6924	8,6376	8,3931
	32	8,7178	8,6604	8,4401
	33	8,7465	8,6876	8,4616
	34	8,7783	8,7329	8,4528
	35	8,8169	8,7699	8,4538
	36	8,8626	8,7909	8,4509
	37	8,9131	8,8343	8,4332
38	8,9718	8,9042	8,4171	

	39	9,0422	8,9649	8,4017
	40	9,1221	9,0529	8,3877
	41	9,2240	9,1169	8,3842
	42	9,3273	9,2259	8,3921
	43	9,4789	9,4786	8,4551
	44	9,6253	9,7403	8,5645
	45	9,8483	10,0878	8,7406
	46	10,0828	10,6229	9,8604
	47	10,3058	11,3405	13,3525
	48	11,0119	12,2992	20,4177
	49	13,0864	9,4061	13,0555
	50	11,3618	9,6332	16,0560
<b>AYAK İÇİ</b>	51	4,2171	6,7643	16,9219
	53	3,1197	5,4658	13,4142
	54	4,2488	4,7867	10,2556
	55	6,8645	5,4652	13,1211
	56	8,7585	8,6586	11,0043
<b>GÖÇÜK</b>	57	8,2043	8,4936	10,0373
	58	8,4049	8,4662	9,5416
	59	8,4854	8,4846	9,0882
	60	8,5215	8,4787	9,0120
	61	8,5485	8,4656	8,8896
	62	8,5678	8,4519	8,8068
	63	8,5638	8,4380	8,7463
	64	8,5604	8,4278	8,6814
	65	8,5519	8,4187	8,6365
	66	8,5488	8,4204	8,5927
	67	8,5439	8,4224	8,5692
	68	8,5399	8,4206	8,5525
	69	8,5350	8,4192	8,5399
	70	8,5279	8,4245	8,5294
	71	8,5226	8,4317	8,5208
	72	8,5191	8,4294	8,5137
	73	8,5174	8,4399	8,5088
	74	8,5146	8,4588	8,5066
	75	8,5112	8,4565	8,5046
	76	8,5089	8,4769	8,5029
	77	8,5068	8,4800	8,5013
	78	8,5052	8,4763	8,5007
	79	8,5037	8,3070	8,5000
	80	8,5024	8,1751	8,4999
	81	8,5013	7,9840	8,4999
	82	8,5004	7,7639	8,5001
	83	8,4998	7,4748	8,5005
	84	8,4990	7,2279	8,5010
	85	8,4982	7,2917	8,5015

86	8,4974	7,6763	8,5017
87	8,4969	7,8952	8,5021
88	8,4965	8,0539	8,5026
89	8,4960	8,1587	8,5037
90	8,4955	8,3031	8,5042
91	8,4950	8,4021	8,5043
92	8,4947	8,4094	8,5047
93	8,4945	8,4264	8,5056
94	8,4945	8,4434	8,5064
95	8,4945	8,4473	8,5069
96	8,4943	8,4421	8,5073
97	8,4941	8,4369	8,5076
98	8,4939	8,4307	8,5078
99	8,4938	8,4240	8,5082
100	8,4937	8,4176	8,5086
101	8,4936	8,4136	8,5088
102	8,4935	8,4098	8,5089
103	8,4934	8,4059	8,5092
104	8,4933	8,4024	8,5096
105	8,4932	8,4021	8,5098

Farklı üretim yöntemlerinde kömür damarı içinde, ayak üstünde ve göçük bölgesinde meydana gelen gerilmeler Şekil 6'da grafiksel olarak gösterilmiştir. 400 metre derinlikte meydana gelen arazi gerilmesi 8,23 MPa olarak hesaplanmış ve grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6. Üretim yöntemlerine göre meydana gelen gerilme dağılımları

Şekil 6'da verilen grafiğe bakıldığında en yüksek ayak önü gerilmesinin 16,05 MPa olarak taban ayak üretim yönteminde meydana geldiği görülmektedir. Bu gerilmeleri sırasıyla 11,36 MPa ile tek seferde üretim yöntemi ve 9,63 MPa ile tavan ayak üretim yöntemi izlemektedir. Ayak önünde meydana gelen gerilmelerin ayak stabilitesi ve ayna patlamaları riski göz önünde bulundurulduğunda en düşük değerle çalışılan tavan ayak üretim yönteminde meydana geldiği görülmüştür. Ayak içinde meydana gelen

ortalama gerilme değerleri damarın tek seferde kazanılması halinde 5,44 MPa, tavan ayak üretim yönteminde 6,22 MPa ve taban ayak üretim yönteminde 12,94 MPa olarak hesaplanmıştır. Yürüyen tahkimatların ve ayak içi ekipmanların görevlerini en iyi şekilde yerine getirebilmeleri açısından bakıldığında ayak içi gerilmelerin en az olduğu damarın tek seferde kazanıldığı üretim yöntemi öne çıkmaktadır. Göçük bölgesinde meydana gelen gerilmelere bakıldığında üç yöntem içinde birbirine çok yakın değerler meydana geldiği görülmektedir. Kömür damarının tek seferde kazanıldığı üretim yönteminde ayak arkasında 1. metreden itibaren gerilmelerin arazi gerilmesi değerine ulaştığı görülmüştür. Tavan ayak üretim yönteminde ise ayak arkasından 24. metreden itibaren gerilme değerleri arazi gerilmesi değerine ulaşmaktadır. Taban ayak üretim yönteminde ise bu değer 50. metreden de uzakta yakalanmaktadır. Dolayısıyla, gerilmelerin denge durumuna ulaşması açısından damarın tek seferde kazanıldığı üretim yöntemi daha uygun hale gelmektedir.

## SONUÇ

Yeraltında bulunan kömürün en hızlı ve verimli üretimine olanak sağlayan tam mekanize uzun ayak madenciliği ülkemizde ve dünyada yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Kömür damarının jeolojik yapısına ve çevresel faktörlere bağlı olarak üretim şekli damarın tek seferde kazanılması veya tavan-taban ayak şeklinde üretim olarak değişebilmektedir.

Bu çalışmada, bahsedilen iki üretim şekli temel alınarak oluşturulan uzun ayak modellerinde ayak etrafında meydana gelen gerilmeler hesaplanmış ve sayısal olarak ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlara göre üretim ve emniyet açısından bakıldığında damarın tek seferde üretimi seçeneği ön plana çıkmaktadır. Ancak, özellikle yeraltı kömür madenciliğinde genelleme yapılmasının söz konusu olmadığı dikkate alındığında her maden sahasının kendi jeolojik özelliklerine göre değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada çalışmanın temelini oluşturan ve sahada bulunan kömür ve kömürü çevreleyen kayaçların jeomekanik özellikleri dikkate alınarak yapılacak olan modelleme çalışması neticesinde ayak etrafında meydana gelecek olan gerilmeler büyük doğrulukta tahmin edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Jiang, L., Zhang, P., Chen, L., Hao, Z., Sainoki, A., Mitri, H.S., Wang, Q., 2017. Numerical Approach for Goaf-Side Entry Layout and Yield Pillar Design in Fractured Ground Conditions. Rock Mech. Rock Eng. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1277-0>
- Konak, G., Köse, H., İnci, S., Derin, A., 1996. Kalın Kömür Damarlarında Yapılan Yük ve Konverjans Ölçümlerinin Yeni Teorik Yaklaşımlarla Karşılaştırılması, in: Türkiye 10. Kömür Kongresi. pp. 215–230.
- Mukherjee, C., Sheorey, P.R., Sharma, K.G., 1994. Numerical simulation of caved goaf behaviour in longwall workings. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(94\)92313-2](https://doi.org/10.1016/0148-9062(94)92313-2)
- Phase 2 8, 2014. Version 8.020, Rocscience Inc, Toronto, Ontario, Canada.
- RocData, 2014. Rock, Soil and Discontinuity Strength Analysis, Version 5.0.
- Song, G., Chugh, Y.P., Wang, J., 2017. A numerical modelling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China. Int. J. Min. Miner. Eng. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2017.082682>
- Suchowerska, A.M., Merifield, R.S., Carter, J.P., 2013. Vertical stress changes in multi-seam mining under supercritical longwall panels. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2013.02.009>
- Thin, I.G.T., Pine, R.J., Trueman, R., 1993. Numerical modelling as an aid to the determination of the stress distribution in the goaf due to longwall coal mining. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(93\)90128-Z](https://doi.org/10.1016/0148-9062(93)90128-Z)
- Verma, A.K., Deb, D., 2008. Numerical analysis of the interaction between hydraulic powered support and surrounding rock strata at Indian longwall faces, in: 12th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics 2008.
- Waclawik, P., Kukutsch, R., Konicek, P., Ptacek, J., Kajzar, V., Nemcik, J., Stas, L., Soucek, K., Vavro, M., 2017. Stress State Monitoring in the Surroundings of the Roadway Ahead of Longwall Mining, in: Procedia Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.218>

- Yetkin, M.E., 2019. Gerilme Dağılımı Dikkate Alınarak En Uygun Uzun Ayak Çalışma Yüksekliğinin Belirlenmesi. DEÜ Fen ve Mühendislik Derg. 21, 213–223.
- Yetkin, M.E., Arslan, A., Özfirat, M.K., Kahraman, B., 2018. NumericalModelling of Stress-Strain Analysis in Underground ThickCoalMining. Int. J. Eng. Res. Technol. 7, 199–204.
- Yu, B., Zhang, Z., Kuang, T., Liu, J., 2016. StressChangesandDeformationMonitoring of LongwallCoalPillarsLocated in WeakGround. Rock Mech. RockEng. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-0970-8>



## MERMER OCAĞINDA KULLANILAN İŞ MAKİNELERİNDE OLUŞAN ARIZALARIN ÜRETİM MALİYETİNE ETKİSİ

### EFFECT OF THE DOWN-TIMES OF HEAVY DUTY MACHINES USED IN MARBLE QUARRIES ON PRODUCTION COST

Ö. Topal<sup>1</sup>, A. Güney<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Maden Yüksek Mühendisi

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla

(\*Sorumlu yazar: [aguney@mu.edu.tr](mailto:aguney@mu.edu.tr))

#### ÖZET

Bu çalışmada mermer ocaklarında kullanılan iş makinelerinin bakım onarım giderlerinin üretim maliyetine olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda dört yıl (2015-2018) süresince iş makinelerinin çalışma saatleri, yıllık üretim miktarı, iş makineleri bakım giderleri ve iş makinelerinde meydana gelen arızaları onarmak için yapılan tamirat giderleri hesaplanmıştır. İşletmenin genel giderleri de dikkate alınarak bir metreküp mermer bloğunun üretim maliyeti belirlenmiştir. Elde edilen veriler sayesinde iş makinelerindeki bakım onarım giderlerinin üretim maliyeti içindeki payı hesaplanmıştır. Üretim maliyetinde iş makinesi bakım giderinin oranı %1,88 iken onarım giderinin oranı %7,54, toplamda ise %9,42 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre arıza giderlerinin maliyete olan etkisinin yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Arızaların oluşumunu önleyici tedbirler alınması maliyeti düşürerek işletmenin karlılığını arttıracaktır.

**Anahtar Sözcükler:** İş makinesi, mermer, bakım ve onarım, üretim maliyeti

#### ABSTRACT

In this study, the effect of maintenance and repair expenses of the heavy duty work machine used in marble quarrying operations was investigated. In this context, over four years (2015-2018), the work hours of the machines, the annual production amount, construction maintenance costs of work machines and repair costs of work machines have been calculated. Then overall cost per cubic meter block produced was determined by considering the overhead costs of the enterprise. Based on the data collected, the share of maintenance and repair expenses in construction machinery was calculated. While the ratio of maintenance expenses of heavy duty machines was found to be 1,88% in the production cost, the rate of repair expenses was found to be 7,54% and overall ratio was determined as 9,42%, which indicates that cost of technical difficulties has a high influence on the production cost of marble blocks. Taking measures to prevent the occurrences of technical difficulties will decrease the production cost and increase the profitability of the company.

**Keywords:** Heavy duty machine, marble, maintenance and repair, production cost.

## GİRİŞ

Mermer, milyonlarca yılda oluşmuş kireçtaşı ( $\text{CaCO}_3$ ) ve dolomitik kireçtaşının ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) yüksek sıcaklık ve basınç altında mevcut kristal yapılarının bozulup yeniden kristallenmesi ile meydana gelen metamorfik bir kayadır. Endüstriyel anlamda ise blok alınabilen, istenilen boyutlarda kesilip işlenebilen, parlatılabilen ve ticareti yapılabilen oluşum kökenlerine (magmatik, sedimanter ve metamorfik) bakılmaksızın her türlü taşa mermer denilmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı Muğla bölgesindeki mermer ocaklarının büyük bölümü Menderes Masifinin örtü serisinde metamorfiklerle birlikte bulunur. Doku, renk ve desen açısından farklılıklar sunan dört ayrı stratigrafik seviyede mermer üretimi yapılmaktadır. Mermer seviyeleri yaşlıdan gence doğru Permo-Karbonifer yaşlı fosilli siyah mermerler ile aynı yaşlı fillitler içinde bant ve mercerler şeklinde yer alan siyah mermerler, Triyas yaşlı sistler içerisinde mercerler şeklinde bulunan değişik ton ve desenlere sahip beyaz mermerlerle, Üst Kretase yaşlı zımparalı beyaz-grimsi beyaz mermerler ve Paleosen yaşlı renkli kırmızı renkli pelajik mermerlerden oluşmaktadır (Yavuz, 2001).

Muğla yöresi mermer ocaklarında yatay ve düşey yönlerde farklı renk ve desenli mermerler yer almakta ve bu nedenle aynı mermer ocağından değişik mermer türleri üretilmektedir. Mermerlerin genelde  $\text{CaCO}_3$  oranları %50'den fazladır. Muğla yöresi mermerlerinin fiziksel özellikleri bakımından yüksek birim hacim ağırlığına sahip düşük poroziteli kayalar grubuna girmektedir. İri mineralli olan Üst Kretase yaşlı mermerlerin porozite ve ağırlıkça su emme oranlarının dolomitik mermerler ile yöredeki diğer mermer türlerine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Gelişen ve ilerleyen teknoloji sayesinde insan gücünün yeterli olmadığı çoğu alanda makineleşmeden yararlanılmaktadır. Mermer ocak işletmeciliği de ağır iş makinelerinin kullanımının gerekli olduğu ve işletme maliyetlerinin yüksek olduğu bir sektördür. İş makineleri çoğunlukla yurtdışından ithal edildikleri için ilk yatırım maliyeti yüksektir. Bu nedenle, belirlenen üretim yöntemine en uygun doğru makine ve ekipman seçimi önem arz etmektedir. Piyasa rekabeti ve artan maliyet koşullarına karşılık olarak üretimin kesintisiz devam etmesi gerekmektedir. İş makinelerinin, iş kapasite ve üretkenliklerinin yüksek oluşu zamandan da kazanım sağlamaktadır. Bununla beraber mermer ocaklarında kullanılan iş makinelerinde, mermerin yapısal özellikleri, arazi koşulları, iklim koşulları ve operatörün kullanımına bağlı olarak çeşitli arızalar meydana gelebilmektedir. Beklenmeyen arızalar üretimin kısmen veya tamamen durmasına neden olabileceği gibi iş makinelerde de uzun süren onarımlara neden olabilir.

Bu çalışma kapsamında, Muğla – Yatağan bölgesinde blok mermer üretimi yapan bir ocak işletmesinin dört yıllık verileri incelenerek ocakta kullanılan iş makineleri arızalarının ve bakım-onarım giderlerinin üretim maliyetine etkisi araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

## İŞ MAKİNELERİNİN BAKIM-ONARIM POLİTİKALARI

Bakım-onarım, bir aletin ilk icat edildiği veya işletmeye konduğu andan itibaren var olan bir olgudur. Çalışan makinenin yıpranması ve bozulması muhtemel olduğuna göre bakım-onarımı da var olmaktadır. Teknoloji ilerledikçe ve iş makinelerine ihtiyaç arttıkça yatırım giderleri artmaktadır. Buna bağlı olarak bakım ihtiyacı da artış göstermektedir (Gallimore, K., Penlesky, R., 1988).

Bir makineden alınan verim, verilen enerjiyle makineden elde edilen kuvvet veya hareketin ölçüsüdür. Verimlilik, ölçülen performansın ideal performansa oranıdır. Aktarım sistemleri güç üretmez. Ancak bu sistemlerde çıkış gücü giriş gücüne eşit olursa ideal performansı yakalanır ki bu pek mümkün değildir. Çünkü sürtünme kuvveti ve aşınmadan dolayı güç kayıpları olur. Çoğu zaman iş verimini belirleyen iş makinelerinin performanslarıdır. İş makinelerinin performansı ise koruyucu bakım programlarıyla doğrudan ilişkilidir.

Gazanfer (1973), iş kayıplarının belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmada makinenin performans değerlendirmesini;

- Mekanik kullanım faktörü
- İşletme faktörü

- Genel verim olmak üzere üç faktöre bağlamıştır.

Yapmış olduğu çalışmaya göre iş makinesinin çalışabilir ve çalışamaz durumdaki sürelerini değerlendirmiş, makinenin çalışabilir durumda olduğu zaman fiili çalıştığını veya bazı nedenlerle ( yedekte bekletme, kablo taşıma, yürütme vb.) durduğunu belirtmiştir. Makinenin çalışabilir olduğu zamanlardaki durma zamanları kısmen önlenebilirken, resmi tatil, hava koşulları gibi durumlarda ise bu durma zamanları önlenemez. Eğer makine çalışamaz halde ise ya bakımda ya da arızalı olabileceğini söylemiştir (Çizelge 1.). Arızaları, mekanik arızalar ve elektrik arızaları, bakımları ise periyodik bakım ve genel revizyon olarak iki bölüme ayırmıştır.

**Çizelge 1. İş makinelerinin genel durumu**

ÇALIŞABİLİR DURUMDA				ÇALIŞAMAZ DURUMDA			
FİİLİ ÇALIŞMALAR	DURMALAR			ARIZALI		BAKIMDA	
	KISMEN ÖNLENEBİLİR	ÖNLENEMEZ		MEKANİK ARIZALAR	ELEKTRİK ARIZALARI	GENEL REVİZYON	PERİYODİK BAKIM
	BEKLEMELER	OPERASYONEL DURUMLAR	KÖTÜ HAVA KOŞULLARI BAYRAM VE TATİL GÜNLERİ				

Mekanik kullanım faktörünü, makinenin çalışabilir durumda bulunduğu saatlerin toplam saatlere oranı olarak tanımlamıştır. Ancak makinenin çalıştırılmadığı bayram ve tatil günlerindeki saatleri ile kötü hava koşullarıyla karşılaşılan süreler bulunduğu, bu iki değer hesaplamalara katılıp katılmaması konusunda farklı düşünceler öne sürülebilir. Söz konusu sürelerin değeri içerisine katılması halinde daha gerçek bir değer elde edilecektir. Çünkü her iki değer tümüyle işletmecinin kontrolü dışındadır.

İşletme faktörü, makinenin çalışabilir durumda olduğu süreye göre fiili çalışma oranını gösteren bir değerdir. Genel verim ise mekanik kullanım ve işletme faktörünün birleştirilmiş şekli olup, makinenin genel randımanıdır. Makinenin toplam saatlerine göre fiili olarak çalışma süresi yüzdesinin belirler. İşletmelerin, verimli bir şekilde üretim yapabilmesi için mevcut iş makinelerinin ve ekipmanlarının her zaman çalışabilir durumda olması, oluşabilecek herhangi bir aksamaya karşılık müdahale edebilecek teknik personelle birlikte uygun atölye koşullarının da olması gerekmektedir. Bakımların amacı, çalışır durumdaki makine ve ekipmanların performanslarını korumak, üretim akışının devamlılığını sağlamaktır. Makineleri hazır halde tutmayı amaçlayan üç önemli faktör vardır.

- Bakım
- Arıza tespiti
- Onarım

Bakım, makinelerin verimli ve ekonomik çalışması için belirli periyotlarla yapılan kontrol çalışmalarıdır. Arıza tespiti, makinenin hangi kısmında arızanın meydana geldiğinin tespit edilmesidir ki arıza sonrası yapılacak olan tamirat ve onarımın en önemli kısmıdır. Doğru bir şekilde tespit edilen arıza yeri ve nasıl bu arızanın giderileceğinin belirlenmesi en kısa sürede tamiratının yapılmasını sağlar. Onarım ise bakımların yapılması sonucu veya arıza neticesinde bazı makine elemanlarının değişimi ile makinenin tekrar aktif hale gelmesini sağlayan işlemlerdir. Bakım-onarım ve tamir işlemleri olabildiğince üretimi aksatmayacak şekilde planlanmalıdır. Bakım-onarım, özellikle makine gücü ile operatör faktörlerinin bir

araya geldiği çalışmaların planlanmasıdır. Bir işletmenin istikrara ulaşması maliyetlerin en aza indirilmesi ve ülke içinde itibarının korunması iyi planlanmış bakım-onarım fonksiyonu ile mümkündür (Adıgüzel, 2010). Ayrıca, iş makinesi bakımlarının ihmal edilmesi sonucunda periyodik olarak değişmesi gereken sıvı ve makine parçaları özelliklerini kaybeder. Bu durum makineye zarar verir ve iş kazalarına neden olabilir.

Bir işletmede çalışan her türlü makine, işletme şartlarına göre zaman zaman arızalanarak üretim faaliyetlerini etkileyebilir. Özellikle maden işletmelerinin aşındırıcı ve yıpratıcı çalışma koşullarında bunun önemi daha fazla artmaktadır. Üretim planlamasının ve akışının etkin bir şekilde devam etmesi, sistemi oluşturan makine ve yardımcı tesislerin kesintisiz olarak çalışmasına bağlıdır. Bu da makinelerin bakımlarının düzenli ve etkin bir şekilde yapılması ile doğru orantılıdır. Bakımlar sayesinde makine arızalarından kaynaklanan durma sürelerinin en aza indirilmesi gerçekleşecektir. Düzenli ve planlı koruyucu bakım-onarım yapılmasıyla;

1. Üretim yapan makinelerin duraklamasını en aza indirerek mümkün olan en yüksek düzeyde ve kalitede üretimin sağlanması,
2. Önceden hazırlanan üretim planına uyulması,
3. Makinelerin kullanım ömrünün uzaması,
4. Arızaların önceden ve zamanında tespiti ile maliyet yükselmesinin önlenmesi,
5. Toplam bakım-onarım masraflarının azalması sağlanmış olur (Adıgüzel, 2010).

### **Plansız Bakım**

İş makinesi bekleme halindeyken operatörün gözle ve elle kontrol ederek; hortumlardan yağ kaçağının olup olmadığını kontrol etmesi, muhtelif yerlerdeki civata ve somunların gevşeklik kontrolü, lastik havalarının kontrolü, hava filtresinin hava ile temizlenmesi vb. gibi yapılan bakımlardır. Ayrıca birkaç gün sürmesi muhtemel olan büyük bir arızadan kaynaklı beklemler esnasında arızalanan bölüm haricindeki kısımların kontrol edilmesi, bakılması, deforme olan parçaların değiştirilmesi gibi yapılan işlemlerdir.

### **Planlı Bakım**

İş makineleri, maliyetleri bakımından çok pahalıdır. Bu nedenle, bakım-onarım ve servis giderleri de yüksektir. Ayrıca sıcak, soğuk, tozlu ve yağmurlu ağır iklim koşulları altında çalışırlar. Hem pahalı hem de çalışma koşulları ağır olan bu makinelerden verimli ve ekonomik bir şekilde yararlanabilmek için bakımlarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bu sayede, arızalı parçaların erken tespiti ile onarımları veya değişimleri yapılabilir. Böylelikle, herhangi bir arıza, daha büyük bir arızaya neden olmadan hem maliyetten hem de zamandan tasarruf sağlanmış olur.

Her iş makinesinin kendisine ait bir dosyası olmalıdır. Yapılan bakım-onarım işleri bu dosyada kayıt altına alınmalıdır. Onarılan ve/veya değiştirilen bir makine elamanı varsa bu dosyaya kaydı yapıldığında ömrü de tespit edilmiş olur. İş makinesi operatörü, işe çıkış ve işten dönüş saatlerini kayıt altında tutmalıdır.

### **Periyodik bakım**

İş makinesini üreten firmanın bakım talimatlarında belirttiği kalite standartları çerçevesinde ve makinenin çalışma saatini dikkate alarak düzenli aralıklarla yapılan bakımlar periyodik bakım olarak adlandırılır. Periyodik bakım, bir işletme için masraf değildir. Herhangi bir arıza meydana gelmeden önce önlem alma politikası olduğu için koruyucu bir bakımdır. Bu bakımlar sayesinde, mali açıdan büyük bir arızaya sebep olabilecek küçük arızaların tespiti yapılabilir. Periyodik bakımlar, uzman kişiler tarafından ve uygun atölye koşullarında yapılmalıdır. Zamanında yapılmayan periyodik bakım, makinenin servis ve amortisman giderlerini arttırır. Periyodik bakım sayesinde iş makinelerinin uzun ömürlü olmaları, verimli ve ekonomik çalışmaları sağlanır. Tüm periyodik bakım ve ayarları düzenli olarak yapılan bir iş makinesinde yakıt ve yağ giderlerinin kötü koşullarda çalışan bir makineye oranla % 15-20 kadar azaldığı görülmektedir.

Örneğin, tıkalı hava filtresi elemanı bile tek başına yakıt tüketimini %3-5 oranında artmasına neden olmaktadır. Periyodik bakımlar sadece genel üretim masraflarını düşürmekle kalmaz, aynı zamanda verimliliğini de maksimum düzeye çıkarır. Bakımsız ve sorun çıkaran bir iş makinesi, aynı işi daha fazla sürede yaparak zaman ve iş gücü kaybına neden olur (Adıgüzel,2010).Genel anlamda iş makinelerinin periyodik bakımları makinenin motor çalışma süresine göre 500-1000-1500-2000 saatlik olmak üzere yapılmaktadır.

### **Önleyici bakım**

Yeni bir bakım yöntemidir. Önleyici bakımın amacı makine ve ekipmanların arızalarının ortaya çıkarılması değil, başlangıç safhasında arızaların ortaya çıkmasının önlenmesidir. Önleyici bakımda; makine ve ekipmanların tasarımında, yağlama sistemlerinde ve işletme şartlarında yapılacak olan değişiklikler ile arızanın sebepleri ortadan kaldırılabilir. Önleyici bakım arızanın engellenmesi için yağlama, tasarım ve mühendislik hizmetlerine yönelik yoğun bir ARGE faaliyetlerinin yapılmasını gerektirmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı, bu yöntemin kullanımı küçük ölçekli işletmelerde kısıtlı olmaktadır. Ancak ARGE bölümlerinin bulunduğu büyük ölçekli işletmelerde daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

### **Uyarıcı bakım**

Son yıllarda, uyarıcı bakım yöntemleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Uyarıcı bakımda işletmelerdeki makine ve ekipmanlar bazı ölçüm cihazları kullanılarak belli noktalardan itibaren takip edilmeye başlanır. Belirli bir zaman periyodunda yapılan ölçüm sonuçları değerlendirmeye alınır. Buna göre ortaya çıkan ölçüm sonuçlarının trendi incelenmek suretiyle, makine ve ekipmanlardaki oluşması muhtemel arızaların tespiti önceden yapılır. Bu yöntem, çalışan makine ve ekipmanları takip ederek muhtemel arızaları tespit ettiği için makine ve ekipmanların zamansız durmasına ve gereksiz parça değişimlerine engel olmaktadır (Adıgüzel, 2010).

### **Koruyucu bakım**

Üretim duruşlarına veya yıpranmalara neden olabilecek durumları ortaya çıkarmak için üretim araçları veya yardımcı tesisleri periyodik olarak muayene etmek, böyle durumları önlemek için bakımlarını yapmak veya henüz önemli olmayan bir düzeyde iken ayarlama yapmak veya onarmaktır.

- Yağlama,
- Temizleme işleri,
- Muayeneler ve durum muayenesi,
- Kalibrasyon ve ayarlama,
- Programlı onarımlar,
- Programlı revizyonlar ve parça değişimleri tipik olan koruyucu bakım faaliyetleridir.

İyi tasarlanmış bir koruyucu bakım programı daima maliyetinin üstünde bir kazanç sağlar. Üretim araçlarının ve donanımlarının bakım maliyetleri yüksektir. Ancak üretim duruşlarının maliyeti, bakım maliyetlerinden daha fazladır. Bir koruyucu bakım programının işletmeye sağladığı yararlar;

- 1- Üretim durmaları daha az görülür.
- 2- Büyük boyutlu onarımlar daha az olur.
- 3- Arıza ortaya çıkmadan önce yapılan basit onarımlar sayesinde daha düşük onarım maliyeti olur.
- 4- Bakım elamanlarına arıza onarımı için ödenecek fazla mesai ücretlerine kıyasla normal onarımlar için daha az fazla mesai ödemesi yapılır.

### **Yağ analizi**

Yağ analizleri, iş makinelerinin ömrünü ve verimliliğini arttırmak, bakım masrafları ve zaman kaybını önlemek için kullanılan ve uygulanmakta olan koruyucu bakım programıdır. Yağ analizleri ile bütün kullanılan yağlar; motor, şanzıman, diferansiyel, cer ve hidrolik sistem yağları analiz edilebilmektedir. Bu analizler sadece yağın durumunu değil, daha çok iş makineleri ve motorların durumunu değerlendirmek

üzere geliştirilmiştir. Yağ analizi uygulaması, kullanılan orijinal yağ ve filtrelerin yüksek performans özellikleri ile birleştiğinde makineler için mümkün olabilecek en iyi bakım programının temellerini oluşturur. Yağ ile çalışan her sistemde normal çalışma sonucunda metal aşınma elementleri meydana gelir. Aşınmanın hızlanması, yani aşınma elementlerinin konsantrasyonunun artması, bir problemin işaretidir. Aşınma elementlerinin analizi ile motor ve diğer bileşenlerden düzenli aralıklarla alınan yağ örneklerinde çok ufak metal parçacıkların çeşit ve miktarları belirlenebilir. Aşınma elementleri (bakır, demir, krom, kurşun, alüminyum vb.) analizi ile yaklaşık 10 µ büyüklüğündeki parçacıklar tespit edilebilir. Makine ve motor yağlarının içinde neler olduğunu görmenin en hızlı, en kesin ve en güvenilir yolu yağ analizleridir. Böylece büyük arızalar oluşmadan erken uyarı yapılabilir. Kirlenme, sıcaklık ve oksijene maruz kalması, yağın bozulmasına neden olurlar. Özellikle motor yağı sülfür, nitrasyon, yanma ürünleri, yüksek sıcaklıklar, yanma işlemi veya yoğunlaşmadan kaynaklanan su nedeniyle bozulabilir. Önce temiz yağ numunesi referans yağ olarak alınır ve infrared ışını kullanılan bir cihazla incelenir. Bilgiler cihazın hafızasında saklanır. Sonra kullanılmış yağdan numune alınarak laboratuvara gönderilir. Cihaz, ışın sayesinde kullanılmış yağı analiz ederek referans yağı ile arasındaki farklılık miktarını karşılaştırır. Yağ analizleri;

- ✓ Problemleri erken teşhis eder, böylece bu problemler büyük arızalar haline dönüşmeden onarılabilir.
- ✓ İş yüküne uygun şekilde bakım programının yapılmasına yardımcı olur.
- ✓ Bakım programında, periyodik bakım işlemlerinin yapılıp yapılmadığının izlenebilmesine yardımcı olur.
- ✓ Onarımlar, arıza süresi ve makine ömrünü tahmin ederek bütçenin daha iyi düzenlenebilmesini sağlar.
- ✓ Her makine için eksiksiz bir servis geçmişi kaydını belgeler.

## **Onarım**

Operatörün, bilgi ve tecrübeleri çerçevesinde iş makinesinin çalışmayan aksamalarını çalışır duruma getirmesi işlemidir. Onarım maliyetleri makine yaşlandıkça artacaktır, fakat işletmeler genelde sanki bu gider sabit kalacakmış gibi bütçe yaparlar. Bu durum iki soruna yol açar. İlk olarak, genç makineler onarım maliyeti, bütçelerinin altında giderlere sahip olurlar. Bu da, onların işletmeye “para kazandırdığını” düşündürür. İkinci olarak, yaşlı makineler onarım maliyeti, bütçelerinin üstünde giderlere sahip olurlar. İşletmeler de bu durumu makinenin toplam ömrüne ait maliyet gibi görmek yerine bir sorun olarak görür. İşletmelerin, onarım bütçelerini makinenin ömrünün 3’te birine karşılık gelen dönemlere göre yapması, onarım bütçesini aşan makinelerin hurdaya ayrılmasına yardımcı olacaktır. İşletmedeki mevcut bakım onarım atölyesi 30 metre uzunluğunda, 18 metre genişliğinde ve 9 metre yüksekliğindedir. Atölyenin bu ölçülerde olması iş makinelerinin giriş-çıkışlarının kolaylığı ve bakım onarım işlemlerinin rahat yapılmasını sağlar.

## **İŞ MAKİNELERİNDE OLUŞAN ARIZALAR**

İş makinelerinin kullanımında yapılacak olan projeye ilgili bilgi eksikliği, makineleri yeterince tanınamaması ve hatalı makine seçimi yapılmasıyla başlayan, arazide yanlış uygulamalar, eğitimsiz ve deneyimsiz operatörler, eksik ve hatalı makine bakım onarımı, yetersiz ikmal kötü makine yönetiminden oluşan hatalar zinciri iş makinesinin verimli kullanımını engeller. Süregelen bu hataların iş içinde düzeltilmeye çalışılması projenin maliyetini gittikçe artırır ve gereksiz harcamalarla iş gücü kaybına neden olur (Köylü, 2003).

İş makinesinin arıza yapmaması veya daha az arıza yapması iyi bir bakım ve kullanımla sağlanabilir. İş makinelerinin uygun işletme şartları altında, yetkili ve eğitilmiş operatörler tarafından doğru bir biçimde kullanılması, koruyucu ve planlı bakım gerçekleştirilmesi ile makinelerin arıza oranlarını sifıra yaklaştırmak mümkündür. Uygun işletme şartları denildiğinde, işe uygun makinenin seçilmesi ve kapasitesine uygun biçimde kullanılması; doğru biçimde kullanıma denildiğinde, eğitilmiş operatör tarafından kullanılması, planlı bakım denildiğinde ise koruyucu ve programa dayalı bakım kastedilmektedir.

Operatör, kullandığı iş makinesinin sesini iyi analiz etmelidir. İş makinesi, dururken yapılan kontroller kadar hareket halinde çıkardığı anormal sesleri dinlemek de önemlidir. Bazı parçaların çalışması sırasında çıkardığı sesler meydana gelebilecek arızanın ilk habercisidir. Çıkan anormal sesler gürültüye dönüştüğünde geç kalınmış olabilir. Bir makinenin çalışma sırasında çıkardığı normal seslerin, anormal ses

ve gürültüden ayırt edilmesi operatörün tecrübe ve bilgisiyle elde edilir. İş makinesi, arıza belirtisi olarak çalışırken anormal ses çıkarabilir, kumanda gösterge panelindeki değerler normalden farklı olabilir ve makine iş yapma gücünden düşebilir. İş makineleri görülebilecek arızalar;

- Kullanmaya bağlı zamanla oluşan arızalar, iş makinelerinin devamlı kullanılması sonucu oluşan arızalardır. Metal dişlilerin aşınması, metalde oluşan deformasyonlar, makinenin ısınması ve soğumasından kaynaklı yağ kaçaqları vb.
- Kullanıcı hatası arızaları, iş makinesinin kullanan operatörün makineyi kullanım şekline bağlı olarak dikkatli ve özenli kullanmamasından kaynaklanan arızalardır. Fiziksel anlamda makineyi çarpması, vurması ve makinenin kapasitesini zorlayıcı hareketlerde bulunmasından kaynaklı oluşan arızalardır.
- Bakımsızlıktan oluşan arızalar, periyodik ve düzenli olarak yapılması gereken makine bakımının yapılmamasından kaynaklı oluşan arızalardır. Örneğin, makine içerisindeki yağ hem çalışan ve ısınan parçaların soğumasını sağlar hem de metal parçaların sürtünmesini azaltır. Makine parçalarının hareketli kısımlarının yağlanmamasından ya da makine içinde dolaşan mevcut yağın zamanında değiştirilmeyip yağın özelliğini yitirmesi ve işlevini yerine getirmemesi sonucu pim ve burçlarda aşınma meydana gelebilir.
- İmalat hatası arızaları, makine üzerindeki parçaların imalatı sırasında oluşmuş olan kusurların makinenin çalışmaya başlamasından bir süre sonra parçanın işlevini yitirmesi sonucu oluşan arızalardır.

## MERMER OCAK İŞLETMESİNDE ÜRETİM MALİYETİ

Günümüz ticari koşullarında düşük büyüme performansı, yüksek risk ve faiz oranlarındaki artış diğer sektörlerde olduğu gibi mermercilik sektöründe de birim üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik optimal çözümlerin bulunmasını gerektirmektedir. Bu nedenle mermer ocaklarında üretilecek blokların maliyeti, işletme ekonomisini belirlemektedir. Toplam işletme giderlerinin toplam üretim miktarına oranı birim metreküp üretim maliyetini vermektedir. Bu maliyetin düşürülmesi temel hedeftir. Burada işletmelerin yıllık üretim kapasiteleri, üretim yöntemi ve ekonomik işletme ömürleri dikkate alınarak yapılacak makine-ekipman seçimine bağlı yatırımlar önemlidir.

Planlama, tahminleme, ekonomik veriler ve karar verme gibi detayların değişiminden etkilenmektedir (Runge,1998). Tüm planlama işleminin temel unsuru maliyet tahminidir ve temel amaç belirlenmiş maliyet değerini en aza indiren makine-ekipman seçimini yapmaktır (Lizotte 1988).

Mermer ocağı işletmelerinin jeolojik özelliklerinden kaynaklanan farklı yapılar ve dinamik etkiler göstermesi planlamayı daha karmaşık hale getirir. Bu nedenle, işletmelerin optimum koşullarda planlama yapması ve buna uygun yatırımları teknik ve ekonomik olarak değerlendirmeleri gerekmektedir. Mermerin yataklanma şekli, ocağın tektonik yapısı, jeolojik olumsuzluklar işletmenin blok verimliliğini etkilemektedir. Fay ve çatlakların yoğun bulunduğu bölgelerde, ayrışma yüzeyleri arasında kalmış ekonomik blokların üretilebilmesi ve süreksizliklerin yoğun olduğu bölgelerde ilerleme yönünü değiştirmek suretiyle blok veriminin arttırılabildiği belirtilmektedir (Onur, 1995). Mermer işletmeciliğinde ocak yönünün doğru belirlenmesinin blok boyutunun artmasında büyük bir etkiye sahip olduğu ve bu durumda blok boyutlarının ortalama %18 oranında arttığı belirlenmiştir (Noroozi A, Sargheini J., 2012).

Mermer işletme maliyetine etki eden faktörler; çalışılan bölgenin koşulları, üretilecek ürün ve üretim yöntemi, işçilik ve piyasa ile ilgili faktörlerdir (Ersoy, M. Aşıkoğlu R., 2006). Mermer ocaklarındaki maliyetlerin önemli bir bölümü, işletme altyapı yatırımlarıyla birlikte makine-ekipman yatırımlarından kaynaklanan faiz ve amortismanlardır. Toplam maliyet gideri, sabit giderler ile üretime dayalı giderlerin birleşimidir. Üretime dayalı giderler; akaryakıt, enerji, işçilik, sarf malzemeler ve diğer giderlerden oluşmaktadır. Özellikle düşük blok verimine sahip ocak işletmeciliğinde hafriyatın döküm sahasına taşınmasında mesafe ve yol eğimine de bağlı olarak tüketilen akaryakıt gideri ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Birim üretim maliyeti, kapasitenin yükseltilmesine bağlı olarak maliyetin düşürülmesi ve bunların optimizasyonu ile kabul edilebilir sınırlarda tutulmalıdır. İşletme ekonomisi ise sürdürülebilir rekabet ve kârlılığı belirleyen birim maliyetin olabildiğince düşürülmesine odaklı olmalıdır.

## İŞ MAKİNELERİ ARIZA GİDERLERİNİN ÜRETİM MALİYETİNE ETKİSİ

Muğla - Yatağan bölgesinin önde gelen mermer ocağı işletmelerinden birinde yapılmış olan bu çalışmada, iş makinesi arızalarının üretim maliyetine etkisi analiz edilmiştir. Bu kapsamda işletmenin 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarını kapsayan dört yıllık verileri incelenmiştir(Çizelge 2). İki vardiya halinde çalışan ocak işletmesinde gündüz vardiyasında tam kadro çalışma yapılırken, gece vardiyasında kısmi çalışma yapılmaktadır. Yıllık çalışma günü, hava koşulları, haftalık tatil günleri, resmi ve dini bayram tatil günleri dikkate alınarak yapılan hesaplamada 300 gün üzerinden değerlendirilmiştir. İşletmedeki mevcut iş makinelerinin model yılları 2005-2013 arasında değişmektedir. İşletmenin, başka ocak şantiyeleri de mevcut olup ihtiyaç durumlarına göre yıl içinde iş makinesi parkında değişimler olmuştur. 2015 yılında 6 adet lastikli yükleyici ile çalışırken her bir makine için yıllık çalışma süresi 2.666 saatten 2018 yılında 8 adet lastikli yükleyicinin çalışması sonucunda her bir makine için yıllık çalışma süresi 1.937 saate düşmüştür. Yine ocak işletmesinde 2015 yılında 6 adet paletli ekskavatörle çalışırken her bir makine için yıllık çalışma süresi 1.611 saatten 2018 yılında 7 adet paletli ekskavatör çalışması sonucunda her bir makine için yıllık çalışma süresi 1.428 saate düşmüştür. Lastikli yükleyici ve paletli ekskavatör sayısı artınca, aynı üretim kapasitesinde, makine başına düşen çalışma süresi azalmaktadır. Bu durum aynı zamanda yedekli çalışmayı da desteklemektedir. Kaya kamyonu sayısı her yıl aynı adette olmasına rağmen özellikle 2017 yılındaki makine başına düşen çalışma saatinin fazla olması ocak üretimindeki hafriyatın fazla miktarda çıktığının göstergesidir.

**Çizelge 2. Yıllara göre iş makinesi sayıları ve yılsonu toplam çalışma saatleri**

Yıl	İş Makinesi Cinsi	Adet	Yılsonu Toplam Çalışma Saati	Yıllık Makine Başına Düşen Çalışma Saati
2015	Lastikli Yükleyici	6	16.000	2.666
	Ekskavatör	6	9.670	1.611
	Kaya kamyonu	3	13.600	4.533
2016	Lastikli Yükleyici	6	16.100	2.683
	Ekskavatör	8	11.900	1.487
	Kaya kamyonu	3	11.600	3.866
2017	Lastikli Yükleyici	8	15.700	1.962
	Ekskavatör	7	10.900	1.557
	Kaya kamyonu	3	13.000	4.333
2018	Lastikli Yükleyici	8	15.500	1.937
	Ekskavatör	7	10.000	1.428
	Kaya kamyonu	3	10.600	3.533

2015 – 2018 yılları arasında, ocağın kırıklı, çatlaklı olan jeolojik yapısından kaynaklanan bir üretim düşüşü görülmektedir. Bu jeolojik yapı, hem üretimi etkilemekte hem de iş makinelerine daha fazla iş yükü çıkarmaktadır. Yıllık enflasyon oranları da (Çizelge 3) dikkate alındığında iş makinelerinin bakım-onarım giderleri ve ocağın genel işletme giderlerinin de arttığı görülmektedir (Çizelge 4). Yıl sonu toplam giderleri; iş makinelerinde kullanılan enerji, personel ücret ve sigorta ödenekleri, sarf malzemeler, amortisman bedelleri ve diğer giderleri içermektedir.

Azalan üretim miktarına karşılık giderlerin artması birim maliyeti de arttırmaktadır. Birim blok maliyeti 2015 yılında yaklaşık 335,00 TL iken 2018 yılında yaklaşık 593,00 TL ye çıkmıştır (Şekil 1). Birim blok maliyetinin artışına paralel olarak iş makinelerine yapılan bakım-arıza giderlerinin birim m<sup>3</sup> blok üretim maliyeti üzerine etkisi de artmıştır (Çizelge 5). Bu artan değerlerin etkisinin üretim maliyeti içinde 4 yıllık oranları ise iş makinesi bakımı için % 1,88 iken iş makinesi onarımı için % 7,54 tür (Çizelge 6). İş makinalarının bakım ve onarım giderlerinin üretim maliyetlerine olan oranları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmektedir. İş makinalarının bakım-onarım toplam giderlerinin üretim maliyetine olan oranının ise %10 değerlerine ulaştığı belirlenmiş olup Şekil 4'te verilmektedir.



**Çizelge 3. Yıllara göre enflasyon oranları**

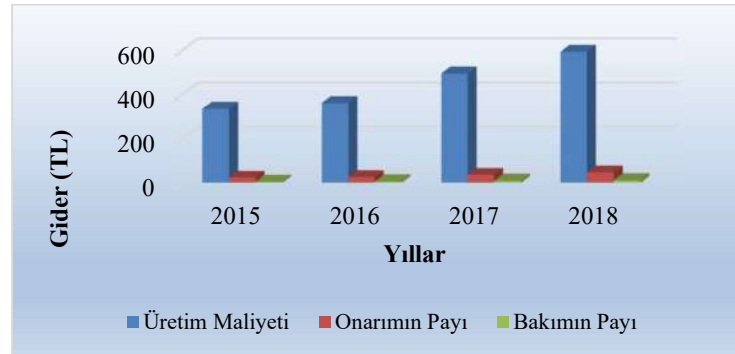
Yıl	Enflasyon Oranı (%)
2015	8,81
2016	8,53
2017	11,93
2018	20,30

**Çizelge 4. Yıllara göre ocağın üretimi ve giderler tablosu**

Yıl	Toplam Üretim (m <sup>3</sup> )	İş Makinesi Bakım Gideri (TL)	İş Makinesi Arıza Gideri (TL)	Yılsonu Toplam Gideri (TL)
2015	34.668,00	183.015,00	851.970,00	11.611.110,00
2016	32.314,00	228.375,00	866.250,00	11.642.400,00
2017	28.141,00	272.790,00	1.032.570,00	13.919.535,00
2018	24.727,00	295.155,00	1.164.870,00	14.664.825,00

**Çizelge 5. Birim blok maliyetine iş makinesi giderlerinin etkisi**

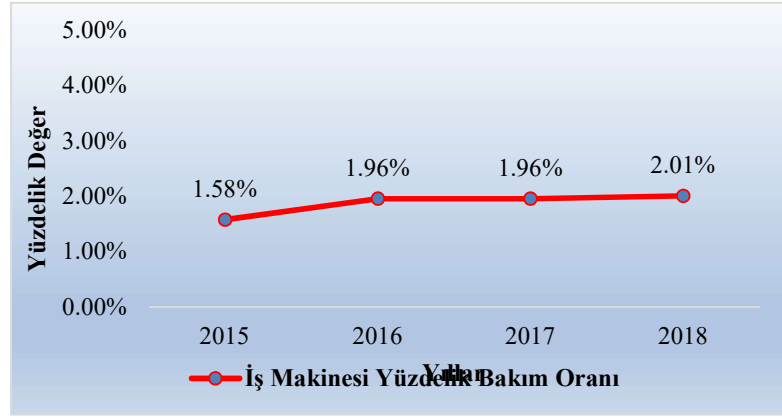
Yıl	İş Makinesi Bakım Gideri (TL/m <sup>3</sup> )	İş Makinesi Arıza Gideri (TL/m <sup>3</sup> )	Bloğun Toplam Maliyeti (TL/m <sup>3</sup> )
2015	5,28	24,58	334,92
2016	7,07	26,81	360,29
2017	9,69	36,69	494,64
2018	11,94	47,11	593,31



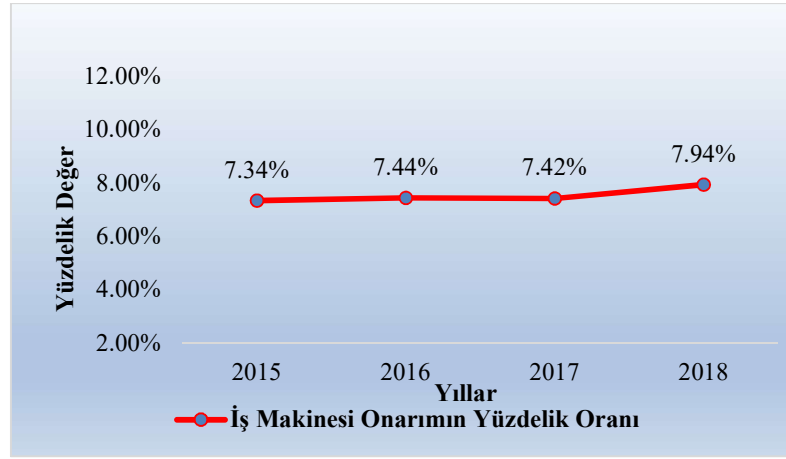
**Şekil 1. Giderlerin yıllara göre dağılım grafiği**

**Çizelge 6. Yıllara göre iş makinesi bakım-onarım giderinin üretim maliyetine oranları**

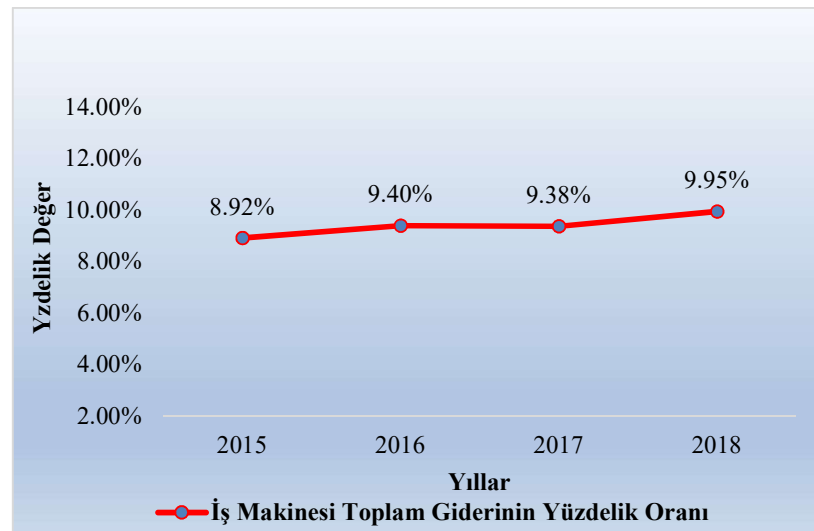
Yıl	Bakım	Onarım	Toplam
2015	%1,58	%7,34	%8,92
2016	%1,96	%7,44	%9,40
2017	%1,96	%7,42	%9,38
2018	%2,01	%7,94	%9,95
<b>Ortalama</b>	<b>%1,88</b>	<b>%7,54</b>	<b>%9,42</b>



Şekil 2. İş makinesi bakım giderinin üretim maliyetindeki yüzdellik değeri



Şekil 3. İş makinesi onarım giderinin üretim maliyetindeki yüzdellik değeri



Şekil 4. İş makinesi bakım-onarım toplam giderinin üretim maliyetine etkisi

## SONUÇLAR

Bu çalışmada mermer ocağında kullanılan iş makinelerinin arızaları ve bakım-onarım giderlerinin üretim maliyetine etkisi incelenmiş ve analiz edilmiştir. İncelenen 4 yıllık verilerin değerlendirilmesi sonucunda, üretim maliyetinde iş makinelerinin bakım giderinin oranı ortalama % 1,88, onarım giderinin oranı ise ortalama %7,54 olup, toplamda %9,42 olarak bulunmuştur. İş makinelerinin bakım-onarım giderlerinin blok üretim birim maliyetini önemli ölçüde artırdığı görülmektedir. Makine yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı firmalar, yeni makine almak yerine kullandıkları makinelerin ömürleri dolmasına rağmen kullanımına devam etmektedirler. Bu da daha fazla arızaya sebep olmakta, üretimi düşürmekte ve maliyeti arttırmaktadır. Makinelerin yaşı arttıkça arızalarından dolayı bakım onarım giderleri ve mazot tüketimleri de artmaktadır. Bu durum üretim birim maliyeti arttırmaktadır.

Mevcut iş makinelerinin tamamının ithal olması ve orijinal parçaların yurt dışından gelecek olması hem temin süresini arttırmakta hem döviz bazında olduğu için, kurun artmasına bağlı olarak, maliyeti arttırmaktadır. Orijinal olmayan yedek parça kullanıldığında fiyatı daha uygun olmakla birlikte arızaların sıklığı görülmektedir. Mermer ocağında ana kesimlerin sökümü sırasında çıkan parçaların aynadan uzaklaştırılması ve sayalama alanına sevk edilmesi sırasında, yüksek tonajlı mermer parçalarının hareket ettirilmesi esnasındaki zorlanmadan kaynaklı arızalar meydana gelebilmektedir.

Jeolojik yapıdan kaynaklı üretim düşüşleri görülmektedir. Ocağın jeolojik yapısının kırıklı çatlaklı olması hafriyat miktarının artmasına ve iş makinelerinin daha çok çalışmasına neden olmaktadır. Ocak içi yol eğimlerinin fazla ve döküm sahasının uzakta olması iş makinelerinin yakıt tüketimlerini arttırmakta ve arızaların oluşmasına neden olmaktadır. İşletmelerdeki atölye imkânlarının iş makinesi arızalarının giderilmesine uygun hale getirilmesi ile hem zamandan hem de ekonomik açıdan kazanç sağlanmaktadır. Ocak işletmelerinde arıza takip çizelgeleri incelendiğinde, büyük işletmeler için yedekli iş makinesi ile çalışmanın her zaman üretimi arttıracığı belirlenmiştir. İş makinelerindeki arızalardan kaynaklı iş gücü kayıpları yıllık blok üretiminde ciddi düşüslere neden olmaktadır.

Operatörlerin yetersizliği arızaların oluşmasına neden olabileceği gibi, bilgili, becerikli ve yetenekli olmaları iş makinelerinde oluşabilecek arızaların öngörülmesinde önemli rol oynamaktadır. Ocaktaki iş makinesi sayısının fazla olması durumunda makine başına düşen çalışma süresi düşecek ve böylece makinelerin yıpranması da azalacaktır.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel, M. (2010). *DSİ işletmelerinde koruyucu bakım yöntemlerinin (Çukurova bölgesi) değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için öneriler*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Ersoy, M., Aşkoğlu R., 2006. Mermer ocaklarında blok üretim maliyetine etki eden faktörler ve blok birim maliyetinin hesaplanması, *MERSEM 2006, Türkiye 5. Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu*, 2- 3 Mart, Afyonkarahisar, s.95-101.
- Gazanfer, S. (1973) GLİ Müessesindeki açık işletmelerdeki makinaların performans değerlendirmesi ve bilgisayar yöntemlerinden yararlanma olanakları. *Madencilik Dergisi Cilt Xv, Sayı 1, Ekim 1973*.
- Köylü, M. (2003), İş makinelerinin verimli işletilmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, *İş Makineleri Sempozyumu*, İstanbul, 43-47.
- Kulaksız, S. (2005), *Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 624 sayfa.
- Kurt, H., Yeşilkaya, L., Ersoy, M. ve Kekeç, B., (2016), *Mermer & Parlatılabilir Kayaçlar*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Konya, 274 sayfa.
- Lizotte, Y. 1988. *Economie and Technical Relations Between Open-Pit Design and Equipment Selection*. First International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Balkema, Rotterdam.

- Mallı. T., Aksoy. C.O., ve Köse. H., 2005, Küçük ölçekli madencilikte tekerlekli yükleyiciler için ekonomik taşıma mesafesi, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuar Bildiriler Kitabı, İzmir, 93-97.*
- Noroozi, A., Sargheini, J. 2012. Mining direction optimization for a quarry mine, *8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar, s.525-529.*
- Onur A.H, 1995. Mermer madenciliğinde blok verimini arttırmak için kullanılabilir bir bilgisayar programı. *MERSEM 1995, Türkiye 1.*
- Runge, I.C., 1998. *Mining Economic and Strategy*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, SME, Littleton, USA, 24-171.
- Yavuz, A.B. (2001). *Muğla Yöresi Mermer Ocaklarında Blok Mermer Üretimini Etkileyen Jeolojik Parametreler*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.

**MADENCİLİK OPERASYONLARINDA MAKİNELERDEN KAYNAKLI RİSKLERİN HTEA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

*EVALUATION OF MACHINERY RISKS IN MINING OPERATIONS BY FMEA METHOD*

S. KUN

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı  
(sermin.kun@deu.edu.tr)*

**ÖZET**

Özellikle madencilik, inşaat, tarım, deniz taşımacılığı, otomotiv vb. sektörlerde yoğun olarak kullanılan iş makinelerinin yararlarının yanında, kullanımlarındaki hata ya da bilinçsizlikler nedeni ile, yukarıda sayılan endüstri kollarında meydana gelen iş kazalarındaki payları son yıllarda giderek artmaktadır. Hazırlanan bu çalışmada; madencilik sektöründe iş kazalarında iş makinelerinin payı ile ağır iş makinelerinin kullanımındaki riskler ve bu risklerden korunmak için geliştirilen eylem planı üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Madencilik makineleri, iş sağlığı ve güvenliği, risk değerlendirmesi, Hata türü etki analizi

**ABSTRACT**

Besides benefits of construction equipment extremely used especially in sectors such as mining, construction, agriculture, sea transportation, automotive etc., their shares in the occupational accidents that occurred in the aforementioned industry branches increased in recent years because of misuse or unconsciousness. This prepared study emphasized the share of construction equipment in occupational accidents in the mining industry as well as the risks in the usage of construction equipment and the action plan developed to avoid these risks.

**Keywords:** Mining machines, occupational health and safety, risk assessment, Failure mode and effects analysis

## GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde iş kazalarının ve meslek hastalıklarının en sık görüldüğü sektörler inşaat, madencilik, makine, otomotiv vb. dir. Bu sektörlerden madencilik, üretim kapasitelerindeki büyük hacim nedeni ile kazı, yükleme, nakliyat, boşaltma işlemlerinde yoğun makine kullanımını zorunlu kılan sektördür. Teknolojideki gelişmelerle birlikte iş makinelerinin kapasiteleri ve üretkenlikleri gün geçtikçe artmakta ve bunun sonucu olarak makineler daha büyük boyutlarda ve daha karmaşık yapıda üretilmektedir.

Çalışma ortamı içerisinde, çalışanlar, kullanılan makineler ve üretim prosesleri arasında sürekli bir etkileşim söz konusudur. İşe, amaca ve çalışana en uygun makineyi veya makine sistemini seçmek en önemli durumdur. Madencilik faaliyeti öncesinde karar verilen bu olgunun yanlış ya da tam olarak uygun olmaması durumunda, işletmede sürekli verimsiz bir üretim durumu gözlenirken, doğru makine ve ekipman seçimi gerek üretimde istenen verimin alınmasında gerekse işin sürekli ve emniyetli olarak devam etmesinde en önemli unsurdur (Kun, 2014). Çalışma ortamında makinelerin yoğunlukla kullanılması sonucunda üretim proseslerinde gelişme, üretim miktarı ve verimliliğinde artış, zamandan tasarruf sağlanırken diğer taraftan da çalışanlar ile makineler arasında uyumsuzluk gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu problemler sonucu çalışma ortamında bazı tehlikeli durumlar ve tehlikeli davranışlar oluşmuştur. Artan makineleşme ve teknolojik gelişmeler çalışanların maruz kaldıkları riskleri arttırmıştır.

İş makinelerinin kullanımında iki türlü kazadan söz edilebilir. Birincisi iş makinelerinin trafiğe çıkması durumunda meydana gelen trafik kazalarıdır. İş makineleri diğer araçlardan daha geniş, daha uzun taşıtlardır. Yeterli sinyalizasyon sistemine sahip olmadıklarında, ya da tecrübeli ve eğitimli operatörler tarafından kullanılmadıklarında trafik kazalarına neden olmaktadır. Diğer kazalar ise iş ortamında çevresel etkiler, operatör hataları, bazen de iş makinelerinin insan taşımada da kullanılması sebebiyle görülmektedir (Kun, 2018).

Bu çalışmada özellikle ağır iş makinelerinin yoğunlukta kullanıldığı madencilik operasyonlarında yer alan makine ve ekipmanların oluşturduğu riskler ve risklerin sebepleri üzerinde durulmuş, hata türü etki analizi yöntemi (HTEA) kullanılarak örnek bir risk analizi yapılmıştır. Risk değerlendirmesi sonucunda oluşabilecek risklere karşı önlemler alınarak bu önlemlerin risk oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

### **MADEN SEKTÖRÜNDE İŞ MAKİNELERİNİN İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

İş kazaları ile ilgili yapılan araştırmalar; çalışanların kişisel özelliklerinin kazaların meydana gelmesinde büyük oranda etkili olduğunu, bununla birlikte makine, teçhizat ve çalışma ortamındaki hata ve eksikliklerin de kaza nedenleri arasında olduğunu ortaya koymuştur. Madencilikte, yapılacak işin hedeflerine uygun iş makinelerinin seçilmemesi, seçilen makinenin amacı dışında kullanılması, makinenin uyarı ikaz bölümlerinin çalışmaması, bakım ve onarım işlemlerinin zamanında yapılmaması, operatör kullanım hataları, uygunsuz şekil ve koşullarda park edilmesi gibi pek çok sebepten dolayı makinelerden kaynaklı iş kazaları meydana gelmektedir. Yine iş makineleri ile çalışma sırasında makineden kaynaklı gürültü, titreşim ve oluşan toza maruziyet çalışanlarda meslek hastalıklarına sebep olmaktadır. Ayrıca iş makinelerinin çalışma şartları gereği trafiğe çıkma durumları iş kazalarının yanı sıra trafik kazalarının da yaşanmasına neden olmaktadır. Emniyet Genel Müdürlüğü'nün 2018 trafik kazaları rakamlarında kazaya karışan taşıt cinsine göre 300 bin 704 taşıtın 421' i iş makinesi, 7292'si kamyonudur (EGM, 2019). Ülkemizde yaşanan trafik kazalarında, önemli oranda iş makinelerinin sebep olduğu kazalar yer almaktadır.

Maden ocakları çalışma ortamı ve koşulları bakımından çok tehlikeli ve insan sağlığına zarar verebilecek şartlara sahiptir. Bu sektörde çalışanlar için iş hayatında fiziksel, kimyasal, biyolojik, psiko-sosyal ve ergonomik faktörler sağlıklı çalışabilmek adına çok önemli hale gelmiştir. Ayrıca bu faktörlerin uygun olmaması, güvensiz ortam güvensiz hareket sonucu oluşacak iş kazası ve meslek hastalıklarından etkilenen insan sayısının artması, işçinin geçici ve ya sürekli iş göremez hale gelmesi ile birlikte kaybedilen

iş gücü ve ailesinin maddi yönden olumsuz etkilenmesi, iş kazası geçiren işçinin çalışma arkadaşlarının durumdan etkilenmesi ile iş veriminin düşmesi, iş göremez hale gelen insanların toplumdaki olumsuz etkileri, güvensiz çalışma koşulları sebebiyle çalışanların işyerine aidiyet duygularının azalması ve sosyal güvenlik ihtiyacının artması gibi sonuçlar da iş güvenliğinin gerekliliğini gösterir durumdadır.

Maden işyerlerinde çalışanların güvenliklerinin sağlanabilmesi, sağlıklarını olumsuz etkileyecek koşulların ortadan kaldırılabilmesi için, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşturulması, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının belirlenmesi, uygulamaların işveren tarafından sürekli denetimi ve sistem içerisindeki mevcut tehlike ve risklerin değişken şartlar nedeni ile değişen iş yeri koşullarına uygun sürekli güncelleştirilmesi gerekmektedir. Sistemi sürekli denetlemek suretiyle yeni oluşacak risklere karşı öncelikle tehlikeyi belirlemek ve tanımlamak, bu tehlikelerden oluşabilecek olası riskleri saptayıp değerlendirmek, bu risklere karşı önlemler alıp, uygulamak suretiyle güvenliği sağlamaya yönelik çalışma risk değerlendirmesidir. Bu çalışmada risk değerlendirme yöntemlerinden HTEA (Hata türü etki analizi) kullanılarak maden işyerlerinde oluşan iş kazalarında ve madenci meslek hastalıklarında makinelerden kaynaklı riskler değerlendirilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

HTEA ile çalışmada sistemin tamamı veya parçaları ele alınıp; buralardaki kısımlar, aletler ve ya her türlü oluşumda ortaya çıkabilecek sorunlardan, arızalardan birimlerin ve sistemin bütününe nasıl zarar göreceği analiz edilir (Seber, 2012). Bu yöntem, hataların etkisini ve bunları önlemenin adımlarını saptamaya yarayan sistematik bir yaklaşımdır. Risklerin her biri üç parametre ile analiz edilir. Bu parametreler risk etkisi (şiddet), olma ihtimali (olasılık) ve sezilebilirlik durumu (fark edilebilirlik) dir. Hata türü ve etki analizi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

1-Tehlikelerin tespit edilmesi

2-Hata türü şiddetlerinin, nedenlerinin belirlenmesi

3-Olasılık, şiddet, farkedilebilirlik ve RÖS değerlerinin belirlenmesi,

4-RÖS' e göre hataların sıralanması, alınacak önlemlerin belirlenmesi

5-Öngörülen önlemlerin hayata geçirilmesinin ardından RÖS değerlerinin yeniden hesaplanması (Eyüboğlu ve Özfırat, 2015).

$$RÖS \text{ (Risk öncelik sayısı)} = O \text{ (olasılık)} \times \text{Ş} \text{ (şiddet)} \times F \text{ (fark edilebilirlik)}$$

O: Her bir hatanın meydana gelme olasılık değeri (1-10 arasında değer verilerek derecelendirme yapılır),

Ş: Hatanın ne derece önemli etkisinin olduğunun değeri (1-10 arasında değer verilerek derecelendirme yapılır),

F: Hatanın keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi (1-10 arasında değer verilerek derecelendirme yapılır),

Önlem alınması aşamasında risk öncelik katsayısı yüksek olan tehlike kaynaklarından başlanır. Risk öncelik katsayısı eşit olan birden fazla hata türünün olması durumunda önlem alınırken öncelik, şiddeti büyük olana verilir ikinci olarak da fark edilebilirlik değeri büyük olan yani zor fark edilebilir hatalar önceliklidir. Yeni uygulamalarla alınan önlemler sayesinde RÖS değeri güvenli seviyeye indirildiğinde yeni RÖS değerleri bulmak ve oluşacak yeni durumlarla karşılaşılabilecek yeni hata türlerini tespit etmek için yine HTEA uygulanır (Çelikdemir, 2012).

**MAKİNELERDEN KAYNAKLI RİSKLERİN HTEA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRMESİ**

Madencilik operasyonları sırasında makine kullanımına bağlı hareket ve manevra tehlikeleri, yanlış ve ya kötü kullanma sonucu oluşan tehlikeler, enerji hatlarının neden olduğu tehlikeler, elektriksel tehlikeler, çevresel tehlikeler ve insan faktörünün neden olduğu tehlikeler nedeni ile ölüm veya yaralanma ile sonuçlanan kazalar meydana gelmektedir. Bu kazalar genellikle makinalar çalışır durumdayken veya bakım ve tamiri yapılırken görülmektedir. Bu durumlar dışında malzemelerin ve yüklerin taşınması sırasında da kazalar yaşanmaktadır. Ayrıca makinelerle amacı dışında bilinçsizce insan ve malzeme taşınması sırasında da kazalar yaşanmaktadır. Makinelerin birbiriyle çarpışması, çevrelerindeki insan ve nesnelere çarpması sonucu zarar vermesi, iş makinelerinin çalışma sırasında enerji-boru hatlarına zarar vermesi, iş makinelerinin devrilmeleri, makineden yük düşmesi ya da makine ataçmanının düşmesi, operatörlerin binme inme ve ya makinelere asılmaları sırasında düşmesi, ekipmanların çalışma alanına habersiz girilmesi sonucu çarpmalar ve ölümlü kazalar en sık rastladığımız makine kaza örneklerindedir. Oluşan kazaların nedenleri incelenerek hangi konularda önlem alınarak daha güvenli bir iş ortamı sağlayabileceğimiz belirlenir. Çizelge 1 ve Çizelge 2' de HTEA yöntemi ile iş makinelerinden kaynaklı hata türleri belirlenmiş ve çözüm önerileri toplu olarak sunulmaktadır.

Çizelge 1. HTEA yöntemi ile mevcut durum risk değerlendirme

Hata no	Hatanın cinsi	Risk	Mevcut durum			
			O	Ş	F	RÖS
1	Operatörün aracın aynalarını, uyarı sistemlerini kontrol etmemesi	İş makinesinin manevra yaparken diğer araçlara ve ya çalışana çarpması	4	6	7	168
2	Operatörün çalıştığı zemini ve boşalttığı malzemeyi kontrol etmemesi	İstifin yıkılması, çalıştığı zeminde toprak kayması sonucu makinenin devrilmesi	5	7	6	210
3	Operatörün mola sırasında iş makinesinin yüklü ataçmanını aşağıya indirmemesi	Yukarıda bırakılan ataçmanlardan yüklerin düşmesi	3	6	4	72
4	Araçların üzerlerine azami yük değerlerinin açıkça görülecek şekilde yazılmaması	İş makinesinin devrilmesi	6	6	4	144
5	Operatörün iş makinesini amacının dışında kullanması	İş makinesinin arızalanması, işin aksaması, çevredeki çalışanlara zarar vermesi	7	7	3	147
6	İş makinesinin kontrol ve bakımlarının periyodik olarak yapılmaması	Arıza sonucu işin aksaması, iş makinesinin freni tutmaması, halatın kopması	4	6	5	120
7	Makinelerin makineye ait uygun ehliyeti olan operatör tarafından kullanılmaması	İş verimliliğinde düşüş, çalışanlara çarpma, diğer iş makinelerine çarpma	4	6	8	192



8	Damperin veya makinenin Elektrik hattına teması	İş makinesinde arıza, yangın, can kaybı	2	7	7	98
9	Operatörün yorgun, uykusuz olması	İş verimliliğinde düşüş, çalışanlara çarpma, diğer iş makinelerine çarpma	5	7	7	245
10	Makinenin tamir bakımı sırasında operatörün dikkatli ve bilinçli davranmaması	Kalıcı iş görememezlik, kırık, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı	3	5	7	105
11	İş makinesini hız limitlerinde kullanmama	Başka araca ya da çalışana çarpma, iş makinesinin devrilmesi	8	7	5	280
12	Operatörün psikososyal yönden olumsuz etkilenmiş olması	İş verimliliğinde düşüş, diğer araç, makine ve çalışanlara çarpma	6	5	8	240
13	Manevracı olmaması	Çarpma	5	6	4	120
14	Operatörün kişisel koruyucu donanım kullanmaması	Gürültü ve titreşime bağlı meslek hastalığı, yaralanma, can kaybı	4	5	5	100
15	Makinenin manevra alanına izinsiz girilmesi	Çalışana çarpma sonucu yaralanma ya da can kaybı	6	7	6	252

Çizelge 2. HTEA yöntemi ile önlem sonrası risk değerlendirme

Hata no	Hatanın cinsi	Alınacak Önlem	Değerlendirme			
			O	Ş	F	RÖS
1	Operatörün aracın aynalarını, uyarı sistemlerini kontrol etmemesi	Uyarı sistemlerinin ve aynaların sürekli kontrolüne zorlanması ve ceza uygulaması	2	6	3	36
2	Operatörün çalıştığı zemini ve boşalttığı malzemeyi kontrol etmemesi	Zemin uyarı işaretleri konulması, bilgilendirme ve operatörün eğitimi	3	7	2	42
3	Operatörün mola sırasında iş makinesinin yüklü ataçmanını aşağıya indirmemesi	Park etme alanlarında uyarı işaretleri, konuyla ilgili eğitim	1	6	2	12
4	Araçların üzerlerine azami yük değerlerinin açıkça görülecek şekilde yazılmaması	Azami yük değerlerinin yazılması ve bu değerlere uygun yükleme yapılmasının kontrolü	3	4	2	24

5	Operatörün iş makinesini amacının dışında kullanması	Cezai yaptırımlar uygulanması, operatörün eğitimi	4	7	1	28
6	İş makinesinin kontrol ve bakımlarının periyodik olarak yapılmaması	Araç bakım kartlarının düzenli tutulmasının sağlanması ve periyodik bakımlarda teknik servis yardımı ve takibi	2	4	2	16
7	Makinelerin makineye ait uygun ehliyeti olan operatör tarafından kullanılmaması	İşe alımlarda iş makinesi operatörlük belgesi ve G sınıfı ehliyetin kontrolü	1	4	3	12
8	Damperin veya makinenin elektrik hattına teması	Hatların geçtiği yerler hakkında bilgilendirme ve hat üzerinde uyarı işaretleri	1	7	2	14
9	Operatörün yorgun, uykusuz olması	Çalışma şartlarının iyileştirilmesi (saatler, iş yükü)	2	5	3	30
10	Makinenin tamir bakımı sırasında operatörün dikkatli ve bilinçli davranmaması	Operatörün eğitilmesi, tamir bakımın profesyonel ekipler tarafından yapılması	1	2	3	6
11	İş makinesini hız limitlerinde kullanmama	Araçlara takometre takılmalı, araç takip sistemi kurulmalı	2	5	2	20
12	Operatörün psikososyal yönden olumsuz etkilenmiş olması	Kurum doktoru tarafından işçilerin sürekli kontrolü ve psikiyatr yardımı	3	3	3	27
13	Manevracı olmaması	Manevracı görevlendirilmesi	2	3	1	6
14	Operatörün kişisel koruyucu donanım kullanmaması	Kişisel korucu donanım kullanmama durumunda ceza verilmesi, eğitim verilmesi	2	3	2	12
15	Makinenin manevra alanına izinsiz girilmesi	Çalışanların eğitimi, çalışma alanının emniyet şeridi ile ayrılması	3	7	3	63

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada maden işletmelerinde kullanılan iş makinelerinden kaynaklı iş kazaları incelenmiştir. İş sağlığı ve güvenliği çalışmaları kapsamında bu kazaları en aza indirmek için kaza sebepleri araştırılarak, etkileri değerlendirilmiş ve alınan önlemlerin iş kazalarını önlemedeki etkinlikleri HTEA yöntemi ile analiz edilmiştir. Öncelikle oluşabilecek tehlikeler ve bu tehlikeler sonucu doğacak riskler tespit edilmiştir. Tehlikelerin oluşma olasılığı, sonuçta oluşacak etki ve tehlikenin farkedilebilirlik dereceleri, sahalardan edinilen bilgilere dayanılarak 1-10 arasında derecelendirilmiştir. Olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik değerlerinin çarpımı ile risk öncelik sayısı (RÖS) elde edilmiş ve elde edilen RÖS değeri en yüksek olan hata türünden başlayarak gerekli önlemler alınmıştır. Alınan önlemler sonrasında olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik değerleri tekrar derecelendirilmiştir. Alınan önlemlerin, risklerin olasılığını azaltması bazı risklerin şiddetinin de azaltması ve farkedilebilirliğini artırması ile yeni hesaplanan RÖS değerleri düşmüştür. RÖS değerinin düşmesi, çalışanlar tarafından bakıldığında daha güvenli bir iş ortamının göstergesidir.

Sonuç olarak belirlenen hata türleri arasında en yüksek RÖS değeri 280 ile iş makinesini hız limitlerinde kullanmama durumundan kaynaklı hata türü olmuştur. RÖS değerinin yüksek olması bu hata ile ilgili öncelikli önlem alınması gerekliliğini gösterir. Makinenin manevra alanına izinsiz girilmesi sonucu oluşan tehlikeler, en acil alınması gereken önlemlerden bir diğeridir. Elde edilen bu sonuç, iş kazalarının meydana gelmesinde makinelerle ilgili konularda insana bağlı hataların ilk sırada olduğunu ortaya koymaktadır. Bu hata türleri için önerilen çözümler ile RÖS değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Çok tehlikeli sınıf maden işletmelerinde güvenli çalışma ortamı yaratmak için; risk kaynaklarını tespit edip, mühendislik önlemleri, idari önlemler almak, kişisel koruyucu donanım kullanmayı kültür edinmek ve kurumda sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği politikaları oluşturmak zorunludur. Kurum içi iş sağlığı ve güvenliği eğitim ve tatbikatları düzenli ve sürekli yapılmalı, risk değerlendirmesi çalışmalarında kurum çalışanları en üst düzey yöneticiden en alt düzey çalışana kadar sürece dahil edilmelidir.

### Kaynaklar

- Çelikdemir, H. (2012). *Bir otomasyon hattında hata türü ve etkileri analizi uygulaması*. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı, (2019).  
<http://trafik.gov.tr/istatistikler37>
- Eyüboğlu, K. A. ve Özfirat, M. K. (2015). *Yeraltı Metal Madeni Ocaklarındaki Başlıca Tehlikelerin HTEA Risk Analizi Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Adana.
- Kun, S. (2014). *Açık işletmelerde yaygın kullanılan ağır iş makinalarının teknik ve performans incelemesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kun, S. (2018). *Ağır iş makinelerinin çalışma ortamında risk analizi ve yönetimi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Seber, V. (2012). İş sağlığı ve güvenliğinde risk analizleri nasıl yapılır. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 445, 30-34.

**MADENCİLİK FALİYETLERİNDE KULLANILAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KARŞILAŞILABİLECEK RİSKLER VE RİSK YÖNETİM MODELİ**  
*RISKS AND RISK MANAGEMENT MODEL TO BE EXPECTED IN UNHANCED AIRCRAFT USED IN MINING ACTIVITIES*

Mete KUN<sup>1,\*</sup>, Sermin KUN<sup>2</sup>, Kemal ÖZFIRAT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü  
(\*Sorumlu yazar: mete.kun@deu.edu.tr)

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Bergama Meslek Yüksek Okulu İş Sağlığı ve Güvenliği Programı

<sup>3</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü

**ÖZET**

Hazırlanan çalışmada; insansız hava aracı (İHA) sistemlerinin madencilik ve yerbilimleri uygulamalarındaki kullanımı sırasında karşılaşılabilecek riskli durumların belirlenmesi ve buna bağlı olarak İHA ların kullanımı sırasında göz önünde bulundurulacak, uygun bir risk yönetim modeli ortaya konulması hedeflenmiştir. Çalışmada, İHA'ların askeri amaçlı kullanımları dışında, özellikle ölçüm ve haritalama gibi mühendislik bilimlerinde kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaç için, son beş yıllık süreçte madencilik, tasarım, modelleme ve takip çalışmalarında kullanımı hızla artan İHA lar ile yapılacak tüm uçuşlar kapsamında, risk analiz metodolojisi ortaya konulmuş ve bu metodoloji üzerinden genel bir risk yönetim modeli geliştirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** İHARisk, Maden operasyonları, Risk Yönetimi

**ABSTRACT**

In this study, it was aimed to identify risk situations that would be faced during the use of unmanned aerial vehicle (UAV) systems in engineering and geoscience applications. And, in this respect, it was aimed to establish a suitable risk management model that would be taken into account during the use of UAVs. The focus was on the use of UAVs in engineering sciences especially in measurement and mapping, not on their use for military purposes. To that end, a risk analysis methodology was established, and a general risk management model was developed with the help of that methodology, as part of all flights to be performed using UAVs — the use of which has increased rapidly in mining, design, modeling and follow-up over the last five years.

**Keywords:** UAV Risk, Mining Operations, Risk Management

## GİRİŞ

Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, özellikle bilgisayar destekli maden tasarım teknikleri mühendisler tarafından, uyguncevher üretimini sağlamak adına tasarım ve modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sayede, gereken hesaplamalar ve bunlara bağlı olarak oluşan plan, kesit vb. çizimler daha hassas olarak yapılabilmektedir ve gerek saha gerekse üretim planına ait olası değişiklikler çok kısa sürede işlenip değerlendirilebilmektedir.

Fizibilite, plan, proje ve hesaplarının yapılabilmesi için geliştirilen aynı zamanda özellikle günümüzde çok hassas çalışan üç boyutlu (3B) dizayn programlarının en büyük zorluğu, sahaya ait verilerin yeterli miktarda ve kolaylıkla program içine aktarılabilmesi veya verilerin toplanması için uzun sürelerle ihtiyaç duyulmasıdır (Yel, 2018) . Bu ve benzeri zorluklardan dolayı planlama aşamaları uzamakta ve sektöre ugramakta ayrıca artan maliyet ve sapmalardan dolayı başarılı sonuçlar almakta zorlanılmaktadır.

Belirtilen sebeplerden dolayı madencilikte açık ocak, tesis veya saha rezervlerinin hesaplanması gibi konularda daha az süre ile daha verimli sonuçlar ve analizler veren, 3B programlarına veri sağlayan dünyada ve ülkemizde birçok alanda yaygın olarak kullanılan insansız hava araçları günümüzde, özellikle son beş yıllık süreçte madencilik alanında da sıklıkla kullanılır hale gelmiştir.

Ayrıca, İHA'larda kullanılan dijital kameralar; yüksek çözünürlükte, 4K ve neredeyse hatasız koordinat işleme teknolojileri sayesinde, objelerin veya sahaların 3 boyutlu (3D) yoğun nokta bulutu, sayısal yüzey modelleri (SYM) ve ortofoto görüntülerini üretilebilmektedir. Ölçme ve hesaplama faaliyetlerinde karşılaşılan zorlukların daha kolay ve hatasız olarak çözümlenmesi, İHA' ların maden operasyonlarındatercih edilmelerinin bir başka sebebidir.

Yukarda sayılan nedenler ile günümüzde kullanımları giderek artan İHA' ları da, işin doğası gereği ortaya çıkan risk unsurları bulunmaktadır. Risk en genel anlamı ile; hedeflenen bir sonuca ulaşamama olasılığı ya da istenmeyen bir olayın oluşma olasılığı ve oluşması durumunda yaratacağı sonucun şiddetinin bir fonksiyonu (Brehmer, 1994; Vaughan, 1997) olarak tanımlanmaktadır. Riskin başlıca üç bileşeni vardır; karşılaşılabilecek bir olay yani istenmeyen bir değişiklik, bu olayın ortaya çıkma olasılığı ve bu olayın ortaya çıktığında yaptığı etkidir (Kerzner, 1998). Bu üç bileşen dikkate alınarak, İHA' ların madencilikte kullanımı sırasında, olası risk unsurlarının en eza indirilerek, belirlenen görevlerin yerine getirilmesi sağlanmalıdır.

## İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KISA TARİHÇESİ ve SINIFLANDIRILMASI

İsim olarak insansız hava aracı (İHA), içinde insan bulunmadan uçabilen ve havada kontrol edilebilen tüm hava araçları kapsamaktadır. İHA terimine bilgisayar bilimlerinde ve yapay zekayla ilgilenen çevrelerce; uzaktan pilotlu araç (remotlypilotedvehicle), uzaktan çalıştırılan hava aracı (remotelyoperatedaircraft), uzaktan kumandalı helikopter (remotecontrolledhelicopter), insansız hava aracı sistemi (unmannedvehiclesystem), model helikopter (model helicopter) gibi çeşitli isimler verilmiştir. İHA' lar ilk olarak askeri amaçlı olarak ortaya çıkmış olup, özellikle de II. dünya savaşından sonra bazı ülkelerin düşman veya yüksek riskli alanlara fark edilmeden girebilen ve dönebilen, insansız hava araçlarına ihtiyaç duyması İHA' ların gelişimini başlatan en temel unsurlardan biri olmuştur (Eck, 2001). Ancak İHA' ların sanal ölçüm almada kullanılması ilk olarak 1979 da bir İHA ile havadan fotoğrafçılık yöntemi kullanılarak ilk uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamada 1:1000 ölçekli fotoğraflar alınmıştır. İHA'nın hızı uygun fotoğraf almak için gereğinden fazla hızlı olduğundan yeterli sonuç alınamamıştır. Uçuş sonrasında araç içine daha gelişmiş navigasyon sistemi eklenmiştir. Bu sayede 150 metre yükseklikte 40 km/saat hızıyla yapılan denemelerde başarılı fotoğraflar alınmıştır. Bu başarı İHA' ların kullanım alanını genişletmeye başlamıştır. İhtiyaçlar dahilinde araçların daha az titreşimli uçuşu, daha iyi manevra yapabilmesi ve özellikle hatasız ve hassas veri toplayabilmesi adına havada sabit durması gerektiğinden 80' li yılların başında Wester-Ebbinghaus ilk helikopter modellerini geliştirmiştir (Eisenbeiss,2004).

Uzaktan kumandalı ve model helikopterler, insansız hava araçları sistemleri uluslararası kurumu (UVS) tarafından boyutlarına, dayanıklılığına, gidebildiği mesafeye ve uçuş yüksekliğine göre mini, kısa, orta mesafe İHA'lar olarak sınıflandırılmıştır. Pegasus gibi İHA'lar uzun dayanımlı İHA olarak tanımlanmıştır (Everaertsvd, 2004). UVS tarafından sınıflamada İHA'lar ağırlıklarına göre, menzil, uçuş yüksekliği ve havada kalma sürelerine göre sınıflandırılmışlardır. Buna göre mikro, mini, kısa mesafeli, orta mesafeli ve uzun mesafeli İHA lar olma üzere farklı sınıflar mevcuttur.

### **İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ MÜHENDİSLİK FAALİYETLERİNDE KULLANIMI VE AVANTAJLARI**

İHA'lar ile yapılan ölçümler günümüzde giderek yaygınlaşarak madencilik alanında aktif halde kullanılabilir duruma gelmiştir. Özellikle en sık kullanım alanları; planlama aşamasında saha ile ilgili detaylı haritalama çalışmaları, madenin genel olarak izlenmesi, şev stabilitesi, patlatma ve patlatma verimi, çevresel etkilerin gözlenmesi, stok sahası alan ve hacim hesapları ile en önemlisi üç boyutlu madencilik programlarına veri sağlama olarak sayılabilir. İHA ile yürütülen çalışmalar, geleneksel yöntemleri, ulaşılması zor veya mümkün olmayan yerlerden kaliteli veri alınabilmesi ve kısa zamanda veri toplayabilmesi ile geride bırakmıştır. Özellikle de İHA'lar, lazerli tarama yöntemlerine göre daha ekonomik ve kolay kullanılabilirliğiyle de öne çıkmaktadır (Karpowicz, 2016).

İHA ların mühendislik çalışmalarında kullanımında ilk adım ilgili proje sahasının veya objesinin taranması ve iki temel veri grubunun elde edilmesi ile başlar. Bu veri grupları ortofotolar ve dijital yükseklik modelleridir. İHA'ları için geliştirilen yazılımlar ile bu iki adım tercih edilecek program kontrolünde gerçekleştirilmektedir. Bu yazılımların amacı, sanal ölçüm için veri toplama adımını özelleşmiş kullanıcı ara yüzü ile hızlı ve kolay hale getirmektedir.

İkinci adımda, İHA'lara özel yazılımlar ile yapılacak işin büyüklüğü ile ölçümün kalitesine bağlı olarak miktarı ayarlanan veriler birleştirilir ve jeoreferanslaması yapılır. Bu aşama sonunda, bütünlüklü bir model elde edilir. Kullanım yazılıma bağlı olarak katı yüzey modeli veya nokta bulutu oluşturulur. Hizalanmış nokta bulutları, sonunda bir SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve orto-görüntü üretmek mümkündür. Oluşturulan bu nokta bulutları, koordinatlı olarak istenilen 3B programda işlenerek özellikle madencilik alanında hassas hesaplama ve ölçümlerde kullanılır.

Günümüzde, son dönemlerde geliştirilen İHA lar ve bu araçların üzerine yerleştirilen hassas görüntüleme cihazları ile entegre gps sistemleri sayesinde, insansız hava araçlarının tercih edildiği çalışma alanları hızla artmaktadır. İHA yardımıyla gerçekleştirilen çalışmalar yersel fotogrametrideki hassasiyete yaklaşmakta ve çalışmaları kısa sürede tamamlayabilmesi açısından birçok farklı alanda uygulanma olanağı bulmaktadır (Eisenbeiss, 2004). Niethammer vd., (2009), heyalanın izlenmesi ve yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesinde, Wing vd., (2014), orman arazilerinin yüzeyleri çıkarılmasında, Döner vd., (2014), İHA görüntülerinin haritalama çalışmalarında kullanılmasında, Mases vd., (2015), İHA'ların geniş ölçekli afet çalışmalarında iletişim sağlaması, Akgül vd., (2016), yüksek hassasiyetli sayısal yükseklik modeli üretilmesi ve ormancılık alanlarında kullanılmasında, Yakar ve Mırdan., (2017), tarihi eserlerin insansız hava aracı ile modellenmesi konularında etkin olarak çalışmışlar ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Şekil 1' de günümüz maden ve diğer yerbilimleri çalışmalarında en çok tercih edilen İHA' lar dan örnekler verilmektedir.



Şekil 1. Maden operasyonlarında sıklıkla kullanılan insansız hava araçları örnekleri

## İHAUYGLAMLARINDA RİSKLER VE RİSK YÖNETİMİ

Başarılı bir risk yönetimi; erken tanımlama, planlama ve kararlı bir uygulama aşamalarını gerektirmektedir. İyi planlama; kapsamlı ve yinelenen bir yaklaşımla risk tanımlama, değerlendirme ve tepki geliştirmeyi mümkün kılar. Risk yönetimi başlı başına bir yönetim disiplini değildir, ancak belirsizlikleri ve riskleri tamamen ortadan kaldıracak sihirli bir yönetim disiplini değil, potansiyel risklerin sistematik olarak değerlendirilerek, olası zararlarının etkisini azaltıcı yönde, verilere dayalı karar vermeyi sağlayan bir disiplindir ve diğer disiplinlerle bir bütünlük içerisinde uygulanması gerekir (Başak and Gülen, 2008; Fıkırkoca, 2003).

Risk yönetim süreci temel olarak beş adımdan oluşur. Bu adımlar ; Risk tanımlaması, risk değerlendirmesi (risk analizi), risk azaltma ve risk kararının verilmesi, kontrol tedbirlerinin uygulanması, denetleme ve değerlendirme olarak sıralanabilir. (Anon., 1998; Anon., 2000; 2001). Sürecin ilk iki aşamasında risk tanımlama ve değerlendirme yapılır. Birinci aşamada, uygulama esnasında karşılaşılabilecek her türlü tehlikeli durum tespit edilir ve her tehlikenin uygulamaya

etkisi saptanır. Risk analiz aşamasının değişkenleri olasılık ve etkidir. Daha sonraki adımlarda risklerin etkin yönetimi gerçekleştirilir.

Tespit edilen olası tehlike veya tehlikelerin insan, ekipman veya yapılan iş üzerinde gösterebileceği potansiyel etkinin büyüklüğünün tespiti de, aynı derecede önemlidir. Etki değerlendirmesi, gerçekçi olarak, beklenebilecek en kötü sonuç temeline dayandırılarak yapılmalıdır. Riske ait olasılık ve etki değerlendirmeleri yapıldıktan sonra, risk matrisi oluşturulur ve riskin seviyesi, büyüklüğü veya bir başka ifade ile derecesibulunur (Fıkırkoca, 2003).

### **İHA Uygulamalarında Karşılaşılabilecek Riskler**

Madencilik faaliyetlerinin neredeyse her alanında kullanım alanı bulan İHA' lar da, yapılan işin gereği olarak ortaya çıkabilecek olan riskler, İHA' ların diğer sektörlerde kullanım risklerine göre daha düşüktür. Bunun nedeni madencilik faaliyetlerinin çoğunlukla kırsalda yapılıyor olması, insan ve hayvan yaşam alanlarından uzak olması, vb. daha birçok etki sayılabilir. Fakat yine de maden sahalarının giderek genişlemesi, yaşam alanlarına yaklaşması, sahalardaki yüksek gerilim hatları, vb. daha birçok neden bu cihazların kullanımını daha güvenli hale getirmeyi gerektirmektedir.

Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü' nün(ICA0) tanımına göre; bir hava aracının çalıştırma, yerde yol alma ve uçuş esnasında kazaya uğramasına, kırılmasına, şahısların yaralanmasına, ölümüne veya diğer hava aracı, kamu ya da özel mal ve mülkün hasarına sebep olması olayına hava aracı kaza kırımı denir (Başak and Gülen, 2008). Hava aracı kazaları meydana gelen hasar durumuna göre de "büyük hasar", "kısmihasar", "küçük hasar" ve "sınıfsız hasar" olmak üzere dört hasar derecesinde sınıflandırılmaktadır. (Yılmaz, 2005). Uçuş güvenliği kurallarına göre kaza kırımının oluşmasını etkileyen faktörler; insan, makine, yönetim, görev ve çevre olarak 5M modeli ile temsil edilmektedir. Bu unsurların inceleme ve değerlendirmeleri, kazaya sebebiyet veren insan, makine ve/veya çevresel şartların etkilerini ortaya koyar.

Bu bağlamda özellikle İHA' larınmadencilik faaliyetlerinde kullanımı esnasında karşılaşılabilecek tehlike ve risklerden bazıları;

- Uçuş planları hazırlanırken yapılan yanlışlıklar
- Hava muhalefeti sebebi ile yaşanan kontrol kayıpları
- Pilot – İHA' nın bağlantısının koparak aracın kontrolünün kaybolması
- Saha içindeki yüksek gerilim ve/veya enerji nakil hatları
- Sahaların büyüklüğü ile orantılı olarak yaşanan batarya süreleri
- Özellikle yüksek rakımlı sahalarda yırtıcı kuşlardan kaynaklı tehlikeler
- Kullanılan yazılımlardan kaynaklı hatalar

olarak sıralanabilir. Bu gibi nedenler sonucunda uçuşlar esnasında istenmeyen kazaların meydana gelmesi ve olası kazaların farklı hasar grupları içerisinde sınıflandırılması yapılmalıdır. İHA ların özellikle madencilik faaliyetlerine yönelik olarak yapılan saha çalışmalarında insan ve makine faktörü dışındaki risk oluşturan en önemli faktör çevre faktörüdür. İncelenecek sahalarda, havadan görüntülenmesi esnasındaki çevresel faktörler (rüzgar, ışık durumu, yüksek gerilim hatları vb..) dikkatli incelenmeleri ve bunların gözlenebilecek olumsuz etkilerinden mutlaka uzak durulmalıdır.



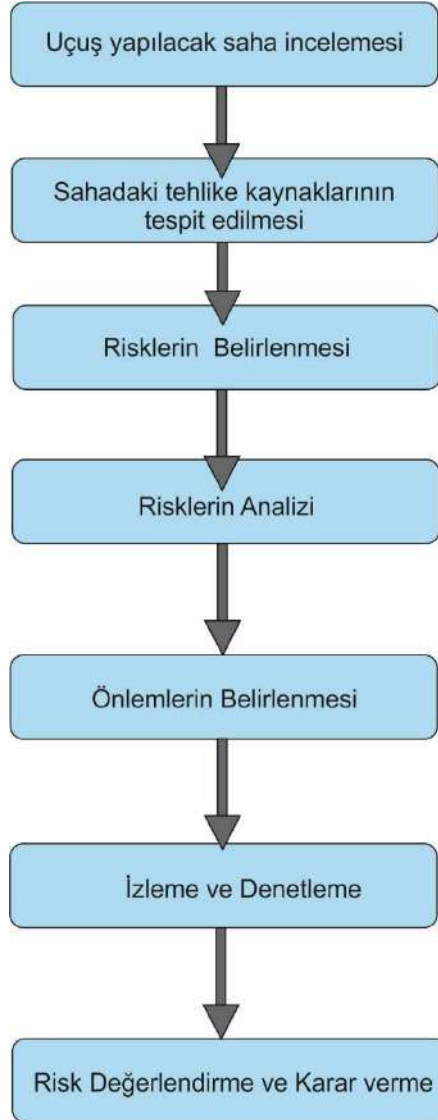
## Önerilen Risk Yönetim Modeli

Yukarıda sayılan ve daha sayılabilecek birçok risk etmeni göz önünde bulundurularak İHA'lar ile yapılacak araştırma, ölçüm ve hesaplamalarda karşılaşılabilecek tehlikeleri birkaç grup altında toplamak mümkündür.

Bunlar;

- insan faktöründen kaynaklanan tehlikeler,
- cihaz faktöründen kaynaklı tehlikeler,
- yönetsel hatalar
- çevresel faktörlerden kaynaklı tehlikeler

olarak sınıflandırılabilir. Bu tehlikelerin belirlenmesi ve tehlikelerin neden olabileceği risklerin ortaya konabilmesi için farklı mühendislik disiplinlerinden olan grupların yer aldığı uçuşlar sonucunda Şekil 2' de kısaca özetlenmeye çalışılan İHA lar için risk yönetim sistemi ana iskeleti oluşturulmuştur.



Şekil 2. İHA faaliyetleri için önerilen basitleştirilmiş risk yönetim modeli

Şekil 2’de özetlenmeye çalışılan risk yönetim sisteminin basamakları incelendiğinde; ilk olarak yapılacak olan işin niteliğine göre saha değerlendirme çalışması başlatılır. Görsellenmesi yapılacak saha yada objeler belirlenir ve bunun için gerekli havada kalma süresi hesaplanarak işlem başlatılır. Daha sonra, belirlenen uçuş sırasındaki olası tehlikeler ve bu tehlikelerin kaynakları belirlenir (insan, cihaz, çevre vb.). İkinci aşamada tehlikeli durumların etki değerlendirmeleri yapılarak, risk dereceleri ortaya konulur. Bir sonraki aşama olan risk değerlendirmesi ve karar aşamasında ise; olası risklerin kontrol altına alınabilirliği, risklerden kaçınma yada riski üstlenme kararlarının verildiği aşamadır. Kontrol altına alınabilecek riskler için uygulanacak önlemler belirlenir. Bu aşamadan sonra yeni bir risk değerlendirmesi yapılarak önlemlerin faydası izlenir. Risk yönetiminde esas olan; kişi, cihaz ve çevre faktörlerinin değişimlerine karşı risk değerlendirmelerini sürekli yapmaktır.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Geniş ölçekli açık maden ocaklarının değerlendirilmesi, üretim kontrolü ve rehabilitasyon çalışmaları, stok miktarlarının hatasız olarak belirlenmesi, şev kaynaklı risklerin uzun süreli gözlemlere bağlı olarak ortaya konması ve yasal olarak istenen imalat haritalarının çıkarılması gibi bir madenin ömrü boyunca yapılması gerekli olan ölçüm ve denetlemeler günümüzde, dünya ölçeğinde olduğu gibi İHA’ lar yardımı ile hızlı, güvenilir ve doğru olarak yapılmaktadır.

Topoğrafik verilerin hassas bir biçimde elde edilmesi daha önce topograflar aracılığıyla haftalarca veya aylarca sürebilmektedir. Ancak bu veriler lazerli tarama sistemleri, uydu sistemleri ve havadan görüntüleme sistemleri ile önceki yöntemlere kıyasla çok daha kısa sürede sağlanmaktadır. Buna ilaveten havadan görüntüleme sistemleri, diğer iki sisteme kıyasla daha az maliyetli ve hızlı veri üretmesi nedeni ile öne çıkmaktadır.

İnsansız hava araçlarının özellikle yerbilimleri, mimari, tarım ve mühendislik bilimlerinin diğer dallarındaki kullanımı, son on yılda giderek artmış ve dünya genelindeki tüm sektörlerdeki kullanım alanı ile kıyaslandığında, neredeyse yarı yarıya bir hal almıştır. Özellikle yerbilimleri ile ilgili disiplinlerde (harita, jeoloji, maden vb..) giderek artan oranda kullanım alanı bulan İHA lar ile yapılan ölçüm, modelleme ve diğer hesaplamaların, klasik metodlara göre çok daha kısa zamanda ve güvenilir olarak ortaya çıkması, bu cihazların kullanımını daha da cazip hale getirmektedir.

Kullanım yeri ve sayısı giderek artan İHA’ ların, günümüzde her sektörde olduğu gibi daha güvenli ve daha verimli kullanılması için kullanım sırasındaki risklerin Şekil 2’de belirlenen şemaya bağlı kalarak belirlenmesi ve bu risklerin yönetimi gerekmektedir. Hazırlanan çalışma ile, insansız hava araçlarının özellikle madencilik faaliyetleri için kullanımı sırasındaki riskler belirlenmiş ve bu risklerin giderilmesi yada azaltılması için örnek bir yönetim modeli geliştirilmiştir.

Geliştirilen modele göre; İHA ile yapılacak farklı amaçlara yönelik uçuşlarda öncelikle tehlike durumları belirlenmeli ve bu tehlikelerin yol açacağı risk seviyeleri ortaya konulmalıdır. Önerilen model temel bir modeldir ve İHA’ ların kullanıldıkları farklı disiplinlere göre revize edilmelidir. Buna göre; ortaya konulan risk seviyeleri karşısında alınacak önlem ve çıkartılacak dersler ışığında, İHA kullanımı daha güvenli, daha verimli ve daha yaygın bir hal alacaktır. Böylece maden faaliyetleri için klasik yollarla yapılan ölçüm ve haritalama metodlarına göre, yaklaşık 10 kat daha kısa sürede ve olası riskler açısından da neredeyse yüzde yüze yakın bir değerinde güvenli bir çalışma ortamı yaratılmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülci, S., Öztürk, T. (2016). "Production of high precision digital elevation model with unmanned aerial vehicles and use in forestry", Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University.66 (1): pp. 104-118.
- Anonim, (1998). USAF, AFP 91-215, Operational risk management (ORM) guidelines and tools, department of the air force, ABD, 10, 15, 18-20, 27, 30.
- Anonim, (2000). Federal Aviation Authorities, "System Safety Handbook", Southern California Safety Institute, ABD, 3-17, 15-6, 7, 9, 10, 11, A-4, 8, 9, 11, 13, G-2, 3.
- Anonim, (2001). Risk Management, FM 3-100.12, Air Land Sea Application Center, ABD I-2, II.
- Başak, H., Gülen, M. (2008). İnsansız hava aracı kazalarının önlenmesi için risk ölçümü ve yönetim modeli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, 55-65.
- Brehmer, B. (1994). The psychology of risk, Singleton, W. T. and Hovden, J., John Willey & Sons, West Sussex.
- Döner, F., Özdemir, S. ve Ceylan, M. (2014). "Use of unmanned aircraft vehicle systems in data acquisition and mapping studies", 5th Remote Sensing-GIS Symposium (UZAL-CBS 2014), pp.14-17.
- Eisenbeiss, H., A. (2004). Mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System Overview. Processing and visualization using high-resolution imagery. Pitsanulok: Institute for Geodesy and Photogrammetry.
- Fıkrıkoca, M. (2003). Bütünsel risk yönetimi, I. Basım, Pozitif Matbaacılık, Ankara.
- Karpowicz, J., (2016). Expoav. Retrieved from UAVs for Mining: www.expoav.com
- Kerzner, R. H. (1998). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling", John Willey & Sons, Canada, 87-88.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M. D., de Larriva, J. E. M., de la Orden, M. S., & Porras, A. G. F. (2014). "Validation of measurements of landlot area using UAV imagery". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 33, pp.270-270.
- Niethammer, U., Rothmund, S. and Joswig, M. (2009). "UAV-based remote sensing of the slow moving landslide Super-Sauze", In: Landslide processes, Ed.: CERIG Editions, Strasbourg, pp 69-74.
- Yakar, M., Mirdan, Ö., (2017). Tarihi eserlerin insansız hava aracı ile modellenmesinde karşılaşılan sorunlar, Geomatik Dergisi, 2(3), 118-125
- Yılmaz, U. (2005). Havaacılıkta risk yönetimi ve sivil hava taşımacılığında risk sahalarının incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vaughan, E. J. Risk Management, John Willey & Sons, New York, pp 7-123, 1997.
- Wing, M. G., Burnett, J., Johnson, S., Akay, A. E. ve Sessions, J.A. (2014). Low-cost unmanned aerial system for remote sensing of forested landscapes. International Journal of Remote Sensing Applications, 4(3), pp.113-120.

## UZUNAYAKLARDA KULLANILAN KESİCİ-YÜKLEYİCİ MAKİNALAR VE SWOT ANALİZİ

Çelik Tatar<sup>1</sup>, M. Kemal Özfırat<sup>1</sup>, Mustafa E. Yetkin<sup>1\*</sup>, Mete Kun<sup>1</sup>

1: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fak. Maden Müh. Böl. Buca-İzmir

\* Sorumlu yazar: mustafa.yetkin@deu.edu.tr, tel: +902323017535

### ÖZET

Uzunayak madencilğinde tam mekanize üretimlerin artmasıyla birlikte kesici-yükleyicilerin kazı işlemini daha büyük kapasiteler için gerçekleştirmesi kaçınılmaz olmuştur. Güvenli üretim ve yüksek kapasitelerle çalışma zorunlulukları, hem teknolojiyi hem de iş güvenliği uygulamalarını daha önemli hale getirmiştir. Dolayısıyla, yeraltı üretimlerinde ileri teknolojilerle donatılmış kesici-yükleyiciler uzunayak üretimlerinin gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Son on yıllık süreçte, tam mekanizasyon üretimlerindeki gelişmeler, yüksek üretim kapasiteleri ve iş güvenliği göz önünde tutularak tahkimat ve nakliyat sistemlerinin gelişmesine bağlı olarak kesici-yükleyicilerinde gelişimini hızlandırmıştır. Bu çalışmada, maden operasyonlarında sıklıkla kullanılan kesici-yükleyicilerdeki gelişmeler ve çalışma faktörleri ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Uzunayak madencilği, Kesici-Yükleyici, Tam mekanize üretim.

### ABSTRACT

With the increase of fullymechanized production in longwall mining, it is inevitable that the sharer-loadersperformexcavation for largercapacities. The necessities of safe production and working with high capacities have made bothtechnology and occupational safetyapplications more important. Therefore, sharer-loadersequipped with advancedtechnologies in underground production play an important role inlongwall production. In the lastdecade, developments in fullmechanization production haveaccelerated the development of sharer-loadersdue to the development of supportsystems and transportation systems by considering high production capacities and occupational safety. In this study, developments and working factors in sharer-loaders which are frequentlyused in mining operations are discussed.

**Keywords:** LongwallMining, Sharer-Loader, FullyMechanizedProduction

## GİRİŞ

Uzunayak madenciligi ile kömür üretimleri sırasında mekanize kazıda üretim makinası kaçınılmaz olarak kesici-yükleyicilerdir. Kesici-yükleyiciler bir taraftan üretimin gerçekleşmesini sağlarken diğer taraftan tambur üzerindeki spiral tasarımları ile yükleme işini de gerçekleştirirler. Dolayısıyla, uzunayak madenciliginde kesici-yükleyiciler üretim için sıklıkla kullanılır. Kesici-yükleyici makinalar son yıllarda çok farklı model ve kapasitelerde üretilebilmektedir. Böylece, değişen kömür ve yan taş özelliklerine en uygun makine seçimi sağlanmaya çalışılmaktadır. Burada en doğru makineyi, kömür damarı geometrisi ve jeolojik özelliklerini göz önünde bulundurarak yapmak verimli üretim için çok önemlidir. Kesici-yükleyicilerde son yıllardaki teknolojik değişimlere bağlı olarak seçimlerini yapmada önemli faktörler SWOT analizleri ile, çoklu karar verme teknikleri ile üretime bağlı faktörlerinde modellendiği simülasyon yöntemleri ile yapılmaktadır. Daha önceki çalışmalara bakıldığında Şimşir ve Özfirat, 2008; Bakhtavar ve Shahriar, 2013; Yetkin vd., 2016'da yaptıkları çalışmalarda bulanık mantık, çoklu karar verme teknikleri, simülasyon ve diğer sayısal yöntemlerle makine seçimleri yapmışlardır.

### KESİCİ-YÜKLEYİCİLERİN KULLANIMI ve ÜLKEMİZDEKİ BAŞLICA UYGULAMALARI

Tamburlu Kesici-Yükleyiciler, uzunayakta üretim yapan kesme ve yükleme işini birlikte yapan makinedir. Pek çok ülke ve firma, çok çeşitli isimler altında, değişik özelliklere sahip kesici- yükleyici kazı makinaları üretmektedir. Uzunayak kömür madenciliginin vazgeçilmez bir ekipmanı olan tamburlu kesici-yükleyiciler kömür, Trona ve potas gibi yumuşak ve orta sertlikteki cevherlerin kazısında etkin olarak kullanılmaktadırlar. Yeraltındaki farklı uygulama alanlarına göre, farklı sistemlerde ve boyutlarda birçok tamburlu kesici-yükleyici modeli geliştirilmiştir. Dünya piyasalarında gücü yaklaşık 230kW ile 2800kW arasında değişen tamburlu kesici-yükleyiciler bulunmaktadır (Hood ve Roxborough, 1992; Mackie,1995; Tatar ve Özfirat, 2011).

Tamburlu kesici-yükleyici makinaların diğer üretilen kazı makinelerine üstünlükleri açıkça görüldüğünden, günümüzde tamburlu kesici-yükleyici kazı makinaları uygulaması gün geçtikçe artmaktadır. L tipi tek tamburlu kesici-yükleyici makinalar, günümüz yer altı kömür madenlerinde etkin ve verimli olarak kullanılmaktadırlar. Ülkemizde L Tipi Tek Tamburlu Kesici-yükleyici Uygulaması Soma'da Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) Müessesesi Eynez İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Eynez yeraltı ocağında, Şubat 1990'da +455 mekanize pilot ayağında yapılmıştır. Bu yarı mekanize ayak 50 m uzunluğundadır. Doğrultuboyunca çalışan bu ayakta kazı aracı olarak Eickhoff ESA-60L tipi tek tamburlu kesici-yükleyici çalışmıştır.

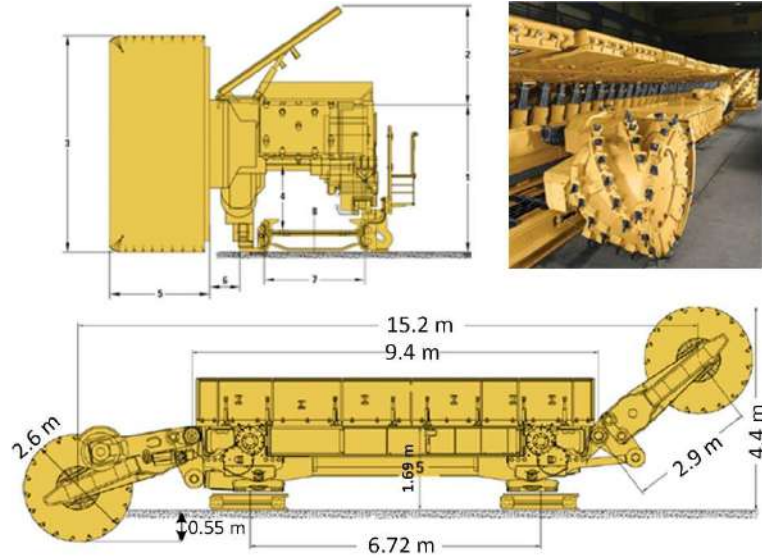
Tek tamburlu L tipi kesici-yükleyiciyle kömür üretimine bir başka örnek Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ)'ne bağlı Tunçbilek yeraltı ocağıdır. Burada 340 m uzunluğundaki bir panoda, geçilmesi düşünülen tam mekanize üretime bilgi birikimi sağlamak ve kömürün mekanizasyona uygunluğunu saptamak amacıyla, 30 m uzunluğunda bir pilot mekanize ayak oluşturulmuştur. Performans deneme üretimine 1983 yılında başlanmıştır. ELİ'de devre dışı bırakılan bu makina daha sonra OAL'ye alınarak, tavan-taban yolları arasında ayak oluşturma işinde kullanılmıştır.

Ülkemizde L tipi çift tamburlu kesici-yükleyici uygulaması Ankara Çayırhan bölgesindeki Park Teknik A.Ş. linyit işletmelerinde başarı ile kullanılmaktadır. İşletme A, B, C ve F sektörlerine ayrılmış durumdadır ve hepsinde üretim yapılmaktadır. İşletmekte bulunan sektörlerden A sektörü Türkiye Kömür İşletmeleri tarafından açılmış olup 2000 yılında Park Teknik A.Ş.'ye devredilmiş, B ve C sektörleri ise Park Teknik firması tarafından açılmıştır. A sektöründe üretim 1986 yılında Eickhoff EDW 200-230 tipi kesici-yükleyici ile yapılmıştır. B sektörü 1997, C sektörü ise 1999 yılında üretime başlamış olup ayakta üretim Eickhoff SL 500 tipi kesici-yükleyici ile yapılmaktadır (Tatar, 2016). Eylül 2012 itibarıyla, işletme sahası içerisinde B, G, D, E ve H sektörlerinde hazırlık çalışmaları gerçekleştirilmektedir. G ve B sektörlerinde üretim çalışmaları devam etmektedir. B sahalarında Eickhoff SL 300 tipi kesici-yükleyici kullanılmaktadır. G sahalarında ise Eickhoff SL 500 tipi kesici-yükleyici kullanılmaktadır. G sahasında kullanılan kesici-yükleyiciye ait görüntü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Eickhoff SL 500 çift tamburlu kesici yükleyici makine(Erişim tarihi: 26.08.2019)

Yine Soma bölgesi, Eynez ocaklarında etkin olarak kullanılan L tipi çift tamburlu kesici yükleyiciler, yaklaşık 80 cm kesme derinlikleri ve yaklaşık 3m'lik kesme yükseklikleri ile işletmelerde maksimum verimle çalışmaktadırlar. Çift tamburlu kesici yükleyicinin görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kesici yükleyici makinelerin genel özellikleri (Erişim tarihi: 26.08.2019)

İlk yatırım maliyetleri çok yüksek olan mekanik kazı makineleri ile yapılan kazının ekonomikliği bir ölçüde, makina üzerindeki kurulu gücün tüm kazı potansiyelinin doğrudan ve en yüksek miktarda kaya kesmeye yöneltildiği yüksek kesme verimliliği şartlarında sağlanabilmektedir.

### SWOT ANALİZİ

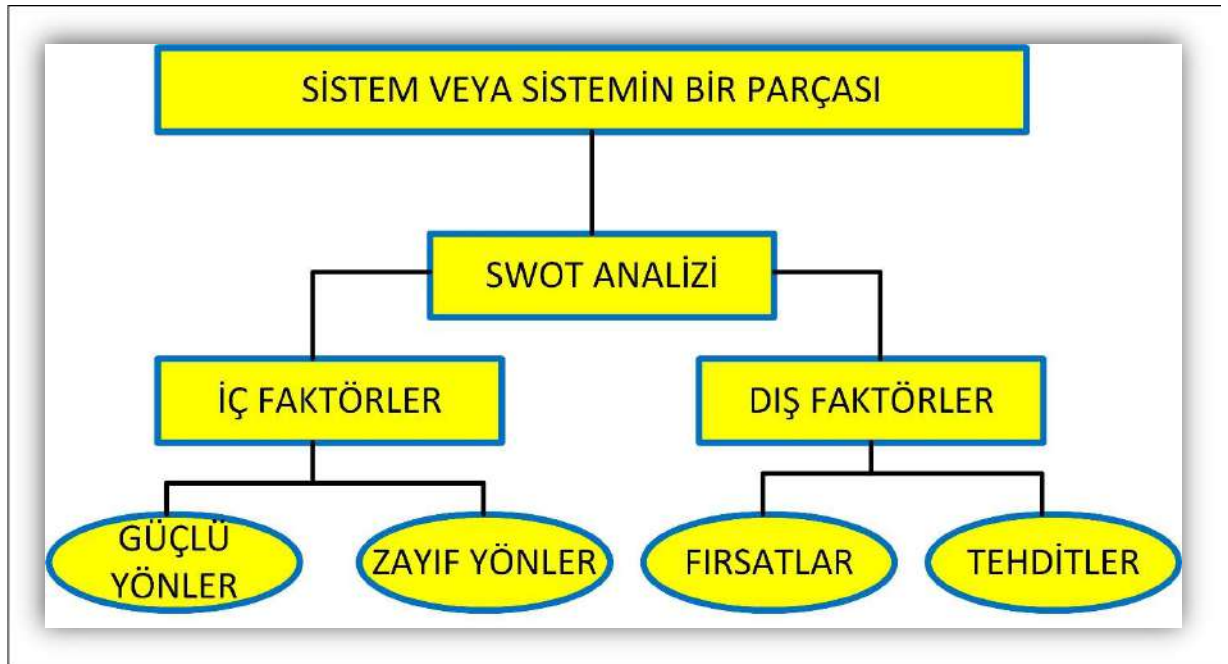
SWOT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) analizi, kuruluşların, faaliyetlerin ve organizasyonların iç ve dış zayıflıklarını ve güçlü yanlarını tarayarak fırsat ve olası tehditlerini ortaya koyan stratejik planlamaya, doğru yönetim, yöntem ve özelde bir makine seçimine yardımcı olan bir yöntemdir.

Ayrıca SWOT analizi bir sistemin veya sistemin bir parçasının güçlü, zayıf yönleri, fırsatlar ve tehditlerini belirlemede kullanılır (Rauch,2006). SWOT analizi yaparken amaca uygun faktörler üretilip kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra madencilik ve doğal kaynakların planlanmasında AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve SWOT analizlerinin karmasından oluşan SWOT modeli de sıklıkla kullanılmaktadır (Kangas vd., 2001; Dwivedi ve Alavalapati, 2009). SWOT analizinde bir sistem veya sisteme ait bir kısmın analizi aşağıdaki şekilde yapılır;

- S: Strength (Sistemin veya makinenin güçlü/üstün olduğu yönleri)
- W: Weaknesses (Sistemin veya makinenin güçsüz/zayıf olduğu yönleri)
- O: Opportunity (Sistemin veya makineninsahip olduğu fırsatları)
- T: Threat (Sistemin veya makinenin karşı karşıya bulunduğu tehdit ve tehlikeleri)

Madencilik makinelerinin özel ve zor şartlara dayanabilen sağlam malzemelerden üretilmesi açısından ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle makine seçimlerine analitik yaklaşımlar, SWOT analizleri gibi yaklaşımlar yapılması kömür damarı özelliklerine uygun olmayan makine seçim yanlışlığına engel olacaktır.

SWOT analizi, sistemin veya makinenin kendi içindeki faktörleri ve dışarıdan gelen faktörlerideğerlendirir. İçerideki faktörler basitçe güçlü yanlar ve zayıf yanlar, dışarıdaki faktörler ise fırsatlar vetehtitler olarak ayrılır. SWOT Analizinde ilk yapılacak iş tüm bu faktörleri sıralamaktır (Şekil 3).



Şekil 3. SWOT Analizi Şeması

Tüm bunlar listelendikten sonra iç faktörlerle dış faktörleri karşılaştıracak şekilde ilk başta verildiği gibi bir SWOT matrisi oluşturulur. Çalışmada bir makinenin analizi ve değerlendirmesi yapıldığı için sorular makineye yönelik düşünülmüştür.

SWOT matrisi oluşturulurken dört soru sorulur:

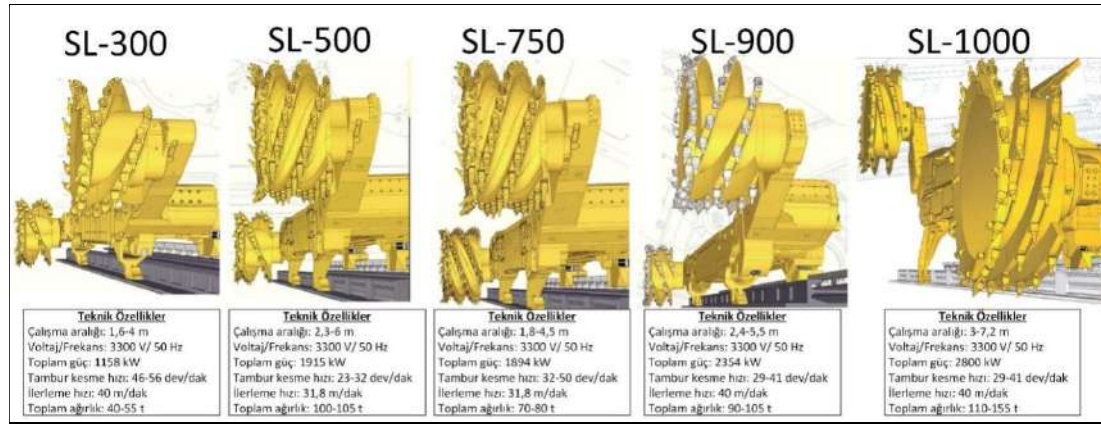
1. Makinenin güçlü yönleri nelerdir?
2. Makinenin zayıf yönleri nelerdir?
3. Her bir fırsat nasıl değerlendirilir?

#### 4. Her bir tehdit nasıl önlenebilir?

Sistem analizinde veya makine seçiminde SWOT analizi yapılmasının başlıca iki yararı bulunmaktadır. İlk olarak, SWOT analizi yapılarak sistemin mevcut durumu tespit edilir. Bu çerçevede güçlü ve zayıf yönler ile organizasyonun karşı karşıya bulunduğu fırsatlar ve tehdit unsurları ortaya konulmaya çalışılır.

#### UYGULAMA

Çalışmada uygulama konusu olarak uzunayak ekipmanında kazı işlevini gerçekleştiren kesici-yükleyici SWOT analizi ile değerlendirilmiştir. Yeraltı madencilğinde ve maden mekanizasyonunda son yıllarda ciddi gelişmeler sağlanmaktadır. Hemen hemen tüm damarlara uygun kesici-yükleyiciler üretilebilmektedir. Madencilik pazarındaki makine üretici firmaları teknoloji ve bilimi oldukça fazla kullanmaktadırlar. Şekil 4’de çeşitli damar kalınlıklarına göre üretilen makineler verilmiştir.



Şekil 4. Kömür Mekanizasyonunda Kesici-yükleyici Boyutları ve Özellikleri

Şekil 4’ de verilen kesici-yükleyiciler günümüzde dünyanın bir çok yerinde yaygın olarak kullanılan kesici-yükleyici tipleridir. Bu kesici-yükleyicilerin ağırlıkları 40 ton-155 ton arasında değişmektedir. Çalışılan damarın kalınlığına bağlı olarak çalışma yükseklikleri değişiklik göstermektedir. 1,6 metre ile 7,2 metre arasında çalışma yüksekliğine ve boş ilerle durumunda maksimum 40 m/dk hıza ulaşmaktadırlar. SL-300 tip kesici-yükleyici ilk olarak 1995 yılında orta kalınlıktaki kömür damarlarında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde Avustralya ve Amerika’da hala kullanımda olan bu kesici-yükleyici tipleriyle optimum şartlarda aylık 600000 ton kömür üretimi gerçekleştirilebilmektedir. 1994 yılında kullanılmaya başlayan SL-500 tip kesici-yükleyici halen günümüzde Rusya ve Çin’de en çok tercih edilen kesici-yükleyicidir. Optimum şartlarda aylık 1000000 ton kömür üretimi gerçekleştirmektedir. SL-750 model kesici-yükleyici ise SL-300 ve SL-500 modellerinin bir birleşimi olarak üretilmiş ve 2006 yılından beri özellikle Amerika’da yaygın olarak kullanılmaktadır. SL-900 model kesici-yükleyici SL-750 ve SL-1000 modellerinin arası olarak üretilmiştir. Maksimum 5,5 metreye kadar çalışma yüksekliğine sahiptir. İlk defa 2007 yılında Çin’de kullanılmaya başlanan SL-1000 model kesici-yükleyicinin en önemli özelliği ise çalışma yüksekliği aralığının geniş olmasıdır.

Yukarıda bahsedilen kesici yükleyicileri SWOT analizi kullanarak değerlendirmek amacıyla bu makinelere ait güçlü, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler aşağıda sıralanmıştır.

#### **Güçlü yönler:**

- Her damar kalınlığına uygun çalışabilme
- Hem kazı hem yükleme yapabilme
- Makine Yüksek gücü ve kapasite
- Söküm/Kurulum kolaylığı



- RFID ile kontrol edilebilme
- Kayaç dayanıma bağlı olarak kesme hızının otomatik ayarlanması
- Değişen formasyonun lazer sistemleri ile algılanması
- Sulu sistemler ile tozu bastırabilmesi
- Yüksek ilerleme hızı
- Yüksek enerji verimiyle kazı yapabilmesi

**Zayıf yönler:**

- Yeni kazı havasına geçerken çok manevra yapması
- Damar eğimine hassasiyet
- Ayak geometrisindeki değişimlere uyumsuzluk
- Değişen formasyonlar ve jeolojik yapıya hassasiyet
- Kömürü fazla parçalaması
- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması
- Yürüyen tahkimat ayna tutucusuna çarpma olasılığı
- Yüksek enerji ihtiyacı
- Tamir bakım, onarım maliyetleri

**Fırsatlar:**

- Tam mekanizasyona olanak sağlaması
- Tam mekanize ayak ekipmanları ile uyumlu çalışabilme
- İş güvenliği standartlarını arttırması
- Çalışma ortamını düzenli ve verimli hale getirmesi
- Yüksek üretim kapasitesi ile maden ömrünü en iyi hale getirmesi
- Madenin sektör koşullarında daha rekabetçi ve güçlü hale gelmesi

**Tehditler:**

- Metan gazı varlığı ve ani degajman olasılığı
- Maden endojen yangınlarının tehdidi
- Çalışma ortamında gürültü maruziyeti

## SONUÇ

Gelişen teknoloji ile birlikte güvenli ve yüksek kapasiteli üretim yeraltı madencilğinde önemli hale gelmiştir. Yeraltı kömür madencilğinde tam mekanize üretime geçişte kesici-yükleyiciler hem yüksek üretim kapasitelerini hem de yüksek kömür naklini sağlamaktadır. Ancak, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması makine seçimlerinde daha dikkatli davranmayı gerektirmektedir. Aynı zamanda kömür damarı özellikleri, metan varlığı, endojen yangın riski gibi tehditler dikkate alınarak istenen kapasiteye ve maden ömrüne uygun makine seçimi yapılmalıdır. Bu nedenle, çalışmada belirtilen tamburlu kesici-yükleyicilere ait SWOT analizi, çoklu karar verme teknikleri ve sayısal yöntemler etkin olarak kullanılarak daha önceki benzer madencilik çalışmalarında kullanılan tecrübeler değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- 1) Bakhtavar, E.,Shahriar, K., Selection of a PracticableShearerLoaderBased on Mechanical Properties of Coal for Parvadeh 1 Mine, 2013. Selection of a PracticableShearerLoaderBased on Mechanical Properties of Coal for Parvadeh 1 Mine, Archives of Mining Sciences 58 (1): 145-157.
- 2) Dwivedi, P. ve Alavalapati, J.R. 2009. Stakeholders' perceptions on forestbiomass-basedbioenergydevelopment in the southern US. Energy Policy37:1999–2007.
- 3)[https://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/underground-longwall/shearers/18346615.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/underground-longwall/shearers/18346615.html) (Erişim Tarihi: 26.08.2019)
- 4)<https://docplayer.biz.tr/47047941-Park-termik-a-s-cayirhan-linyit-isletmesi.html> (Erişim Tarihi:

26.08.2019)

- 5) Hood, M.C., and Roxborough, F.F., 1992. RockBreakage: Mechanical. MiningEngineering Handbook, Second Edition, H. L. Hartman (ed.), SME, 1, 680- 721.
- 6) Kangas, J., Pesonen M., Kurttila M., Kajanus, M. 2001. A'WOT: Integrating the AHP with SWOT analysis. ISAHP 2001, Berne, Switzerland, August 2-4, Proceedings - 6th ISAHP 2001 Berne, Switzerland.
- 7) Mackie, K., 1995. The role of the shearer in highproductivity mining. MiningTechnology, 77(881), 5-8.
- 8) Simsir, F., Ozfirat, M.K., 2008. Determination of the most effective longwallequipmentcombination inlongwall top coal caving (LTCC) method by simulationmodelling, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 45, 1015-1023.
- 9) Rauch, P., 2006. SWOT analysis and SWOT strategyformulation for forestownercooperations in Austria. Eur J ForestRes. DOI 10.1007/s10342-006-0162-2.
- 10) Tatar, Ç., Özfirat, M.K., 2011. Yeraltı Maden Makineleri ve Mekanizasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:309, İzmir.
- 11) Tatar, Ç., 2016. Türkiye’de Maden Makinaları Kullanımı. Yer Altı Kaynakları Dergisi, Sayı:9, 87-96.
- 12) Yetkin, M.E., Simsir, F., Ozfirat, M.K., Ozfirat, P.M., Yemice, H. A Fuzzy Approach To Selecting Roof Supports in Longwall Mining, South African Journal of Industrial Engineering May 2016 Vol 27(1), pp 162-17

**MERMER ÜRETİMİNDE KULLANILAN KESİCİ UÇ/SOKET ATIKLARI: POTANSİYELİ VE GERİ DÖNÜŞÜMÜ**  
*CUTTING TOOL/SEGMENTS SCRAPS USED IN THE MARBLE PRODUCTION: POTENTIAL AND RECYCLING*

O. Celep, E.Y.Yazıcı, H. Deveci

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Hydromet B&PM Araştırma Grubu*

*(\*Sorumlu yazar: [ocelep@ktu.edu.tr](mailto:ocelep@ktu.edu.tr))*

**ÖZET**

Doğal kaynaklar hızla tükenmekte ve özellikle ileri teknolojilerde kullanılan bazı metaller/hammadeler, hızla artan talep nedeniyle "kritik metal/hammadde" konumuna gelmektedir. Yüksek metal içerikleri ile atıklar, önemli bir ikincil kaynak konumundadır. Atıkların değerlendirilmesi, çevresel ve ekonomik avantajlarının yanı sıra doğal kritik metal/hammadde kaynakların korunması, metal endüstrisinin ve bağlı sektörlerin sürdürülebilir gelişimi açısından da önemlidir. Türkiye, 5,1 milyar m<sup>3</sup> (13,9 milyar ton) doğal taş rezervi ile dünya toplam rezervinin %33'üne sahiptir. Ülkemizde yılda yaklaşık 2,2 milyon ton blok mermer işlendiği bilinmektedir. Modern elmaslı tel kesme (ETK) yöntemiyle üretilen blok mermerler, blok kesiciler (S/T) ve levha-plaka ebatlama gibi makinalarda elmas soketli dairesel testereler kullanılarak sektörün ihtiyacına göre istenen ebatlarda kesilmektedirler. Kullanım ömürlerini tamamlayan testereler, yeniden soketlenmek üzere üretici firmalara geri gönderilmektedir. Yeniden soketleme aşamasında sökülen atık soketler birikmekte ve hurdaya gönderilmektedir. Türkiye'de mermer sektöründe yılda 50 milyon adet soket kullanıldığı tahmin edilmektedir. Oluşan bu atıklar yaklaşık ~%50 Cu (500 kg/ton), ~%15 Co (150 kg/ton) ve ~%0,5 Ag (5000 g/ton) içermekte olup, gümüş cevherlerine (~100 gr/ton Ag) göre 50 kat, bakır cevherlerine (~%0,5-1 Cu) göre 50-100 kat ve kobalt cevherlerine göre (%0,3-1,5 Co) 10-50 kat daha fazla oranda metal içerdiği görülmektedir. Yüksek metal ve elmas içerikleri nedeniyle önemli ekonomik potansiyel oluşturan atık soketler, ülkemiz için önemli bir ikincil kaynak durumundadır.

**Anahtar Sözcükler:** Elmaslı atık soket, Sentetik elmas, Kobalt, Bakır, Gümüş, Geri Kazanım

**ABSTRACT**

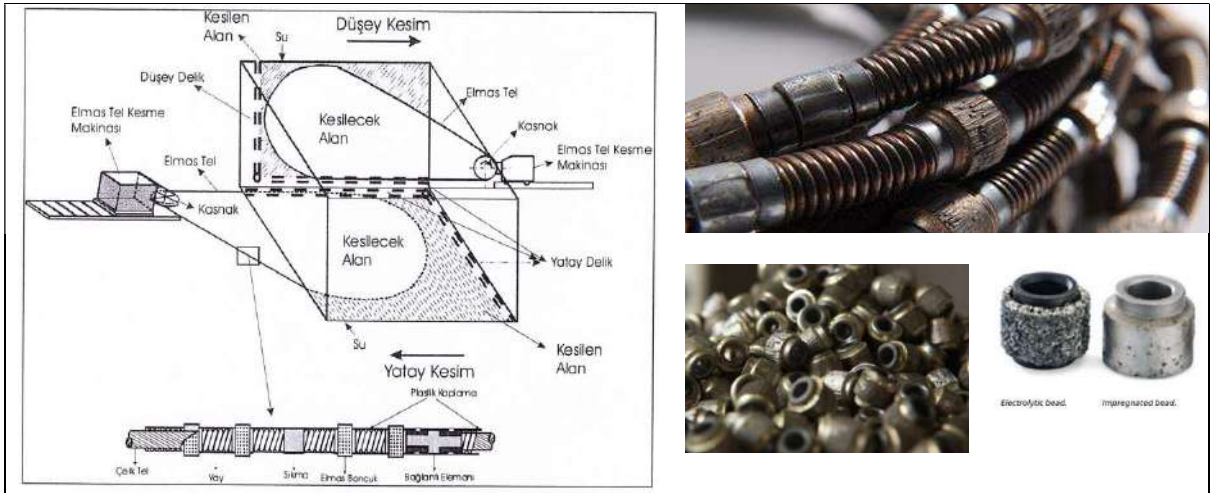
Natural resources have been rapidly depleted and especially some metals/raw materials used in advanced technologies have become "critical metal/raw material" due to the ever increasing demand. Scraps with high metal content are important secondary resource. Treatment of scraps, in addition to environmental and economic benefits, is significant for the conservation of natural resources and sustainable development of metals and related industries. Turkey has the natural stone reserves of 5.1 billion m<sup>3</sup> (13.9 billion tons), which is 33% of the world total reserves. It is known that 2.2 million tons of marble blocks are produced every year in Turkey. Marble blocks produced by the modern diamond wire cutting method are cut using block cutters (S/T) and plate-sizing equipped with diamond-bearing circular saw-blade. End-of-life saw-blades are returned to manufacturing companies to be re-socketed/segmented. Scrap sockets are accumulated and often sent abroad. It is estimated that 50 million sockets are used in the marble industry in Turkey. Scrap sockets contain approximately 50% Cu (500 kg/t), 15% Co (150 kg/t) and 0.5% Ag (5000 g/t). It contains 50 times more silver, 50-100 times more copper and more 10-50 times cobalt than ores (~100 g/t Ag, ~%0.5-1 Cu and 0.3-1.5% Co). Scrap segments with high metal and diamond content are important secondary resource with high economic potential for Turkey

**Keywords:** Diamond-bearing scrap segments, Synthetic diamond, Copper, Cobalt, Silver, Recycling

## GİRİŞ

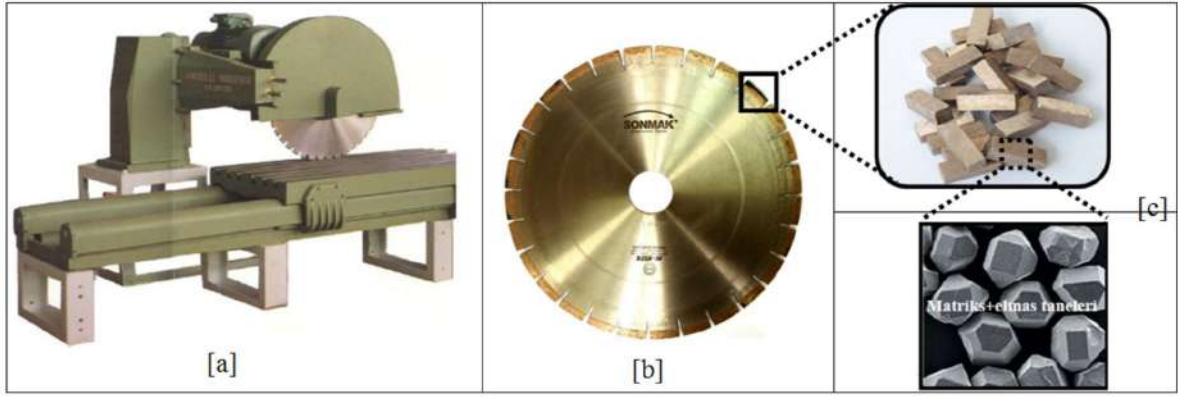
### Türkiye Mermer Potansiyeli ve Üretim Yöntemleri

Ticari anlamda, ekonomik olarak uygun boyutlarda blok olarak kesilip çıkarılabilen, kesilip, cilalanıp, parlatılabilen kayalara doğal taş denilmektedir (DPT, 2001; Aydın, 2012). 7,8 milyar m<sup>3</sup> (dünya rezervinin %40'ı) doğal taş (mermer+traverten+granit) rezervine sahip olan Türkiye, dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp kuşağında yer almaktadır (URL 1, 2019). Doğal taş sınıflandırılmasında yer alan mermer ve travertenler, Türkiye doğal taş ihracatında önemli bir paya sahiptir. Dünya mermer üretimindeki artışa paralel olarak, ülkemizde de mermer üretim teknolojisinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Mermer sektöründe, 2.100 adet mermer ocağı, küçük ve orta ölçekli 1.500 fabrika ve 7.500 atölyede yaklaşık 250.000 kişi istihdam edilmektedir. Üretim tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de yıllık doğaltaş üretimi 2010 yılında yaklaşık 4,3 milyon m<sup>3</sup> civarında iken 2012 yılında yaklaşık 5,3 milyon m<sup>3</sup> üretim yapılmış olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi 6,5 milyon m<sup>2</sup> civarındadır. 2009 yılında ülkemiz mermer ve traverten üretiminde dünyada üçüncü sırada yer almıştır. Mermer kesim yöntemleri içerisinde, günümüzde kullanımı hızla artan yöntem elmas tel kesme yöntemidir. Geleneksel delme çatlatma yöntemi ile mermer çıkartma işlemi yerine, hızla modern elmaslı tel kesme (ETK) yöntemine geçilmiştir (Özçelik, 1999, Aktaş, 2012). Paslanmaz çelikten yapılmış 5-15 m uzunluğundaki telde, yaylar arasına yerleştirilmiş kesme işlemi yapan yaklaşık 5 mm çapında elmaslı soketler bulunmaktadır (Şekil 1)(Özçelik ve Bayram, 2006). Kullanılan elmaslı tellerin belli kesim sürelerinden sonra elmaslı soketler aşınmakta ve kesme performansı düşmektedir. Saatlik kesme kapasitelerini doldurulan elmaslı teller değiştirilmekte ya da yeniden yeni soketlerle tekrar dizilimi yapılmaktadır.



Şekil 1. Elmas tel kesim yöntemi şematik gösterimi (sol) ve elmas tel soketleri (sağ) (URL 2, 2019)

Elmas soketli dairesel testereler doğal taş sektöründe blok kesiciler (S/T) ve levha-plaka ebatlama (baş kesme makinası, yan kesme makinası, köprülü kesme makinası, yatay yarma makinası) gibi makinaların kesici elemanları olarak kullanılmaktadır (Şekil 2). Bu tür makinalarda kullanılan dairesel testerelerin ana elemanları çelik gövde ve bu gövdeye kaynak edilmiş soketlerdir. Kesme işlemi gerçekleştiren soketler ise matriks ve matriks içine yerleştirilen yapay elmas taneciklerinden oluşur. Elmas soketli dairesel testerelerin gövdesi, ısıl işlemlerden geçirilmiş özel alaşımlı çeliklerden, kullanım amacına göre farklı çap ve gövde kalınlıklarında üretilmektedir. Kullanılan soketlerin sayısı ve geometrik özellikleri testere çapına göre değişmektedir (Yılmaz, 2009).



Şekil 2. (a) Blok kesme makinası (Yılmaz, 2009), elmas soketli dairesel testere (b) ve (c) soket yapısı

### Mermer Sektöründen Kullanılan Elmaslı Soketler, Oluşan Atıkları ve Türkiye’deki Potansiyeli

Toz metallurjisi yöntemiyle üretimi yapılan sinterize soketler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Testere soketlerinde matriks, elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresinden ve sinterleme koşullarında gözenekleri kapatmaya yarayan ve kesme koşullarında hızla aşınarak talaş akma kanallarını oluşturan bir dolgu evresinden oluşmaktadır. Bağlantı evresi için kobalt ve nikel veya ucuz olması nedeniyle demir gibi elementler ve bu elementlerin kombinasyonlarından faydalanılır (500-50 $\mu$ m arasında boyutlarda). Kobalt (Co), elmas boncuklarda matriks bağlayıcı element olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kobalt, elmas tanelerinin iyi bağlanmasını sağlamakta ve kesme sırasında elmas aşınmasına uygun olarak aşınmaktadır (Özçelik, 1999). Buna karşın kobalt pahalı ve stratejik(kritik) bir metaldir. Dolgu evresi için genelde sinterleme koşullarında ergiyen bronz (bakır-kalay, bakır-nikel alaşımı) veya pirinç (bakır-çinko alaşımı) kullanılır. Doğal taşların kesiminde kullanılan soketlerdeki matriksler, kesilecek malzemenin aşındırıcılık-sertlik özelliklerine bağlı olarak, elmas taneleriyle eşzamanlı aşınması gerekmektedir (Karagöz ve Zeren, 2001). Bu nedenle, sert taşların kesiminde matriksin yumuşak; görece yumuşak taşların kesiminde ise matriksin sert yapıda olması elmas tanelerini tutma yeteneğini artırmaktadır (Yılmaz, 2009). Herhangi bir soket üzerindeki elmas tanelerinin oranı % cinsinden ifade edilmektedir. Bir karat elmas 0,205 gramdır ve 4,4 karat/cm<sup>3</sup> %100 konsantrasyon (yoğunluk) olarak kabul edilmektedir. Bu değerlere göre, kesilecek taşın fiziko-mekanik ve mineralojik-petrografik özelliklerine bağlı olarak, elmas konsantrasyonu %20-%50 civarında (294-840  $\mu$ m) olan soketler doğal taşların kesimi için uygun olmaktadır (Yılmaz, 2009).

Tungsten (W), granit ve beton gibi malzemeler kesmede kullanılan ekipmanlarda elmas bağlayıcı matriks olarak kullanılmaktadır. Tungsten karbür (WC), yaklaşık 5  $\mu$ m tane çapında %0,5-2 oranında matriks aşınma direncini arttırmak için kullanılır. W-Co ve Co alaşımları genelde granitlerin kesiminde kullanılırken; Co, Co-bronz, Fe-Co ve Fe-bronz mermer kesiminde kullanılan elmaslı soketlerde bağlayıcı metaller olarak kullanılırlar. Elmas soketlerin kaynak işleminde gümüş (Ag) (~%70) ve bakır (Cu) içeren lehim çubukları veya tozları kullanılmaktadır (Oliveira vd., 2007).

Sentetik elmas, belli boyutlarda üretilen soketler kesme işlemini gerçekleştirecek olan sentetik elmas içermektedir. Taş kesme uygulamaları için testere ve delici takım soketlerinin üretiminde yaklaşık olarak %20 oranında endüstriyel elmas kullanılmaktadır. Bu nedenle endüstriyel elmas, Avrupa’da %61 ile dünya çapında en büyük pazar payına sahiptir (Kaplan ve Budak, 2011). Soketteki matriks üzerinde sentetik elmas tanecikleri püskürtülerek yapıldığı için, matriksin içeriği ve bunun üzerine gömülü haldeki elmas tanecik boyutları kesim performansını önemli derecede etkilemektedir (Aktaş, 2012).

Türkiye’de soket üreten yaklaşık 50 firma bulunmakta olup yılda 50 milyon adet soket kullanılmaktadır. Sektörde kullanılan tüm dairesel yada profil testereler, kullanım ömürleri tamamlandıktan sonra yeniden soketlenmek üzere firmalara geri gönderilmektedir. Sökülen aşınmış soketler yenileriyle değiştirilir ve oluşan atıklar hurdaya verilmektedir (Solak, 2015). Bu atık soketlerin, yurt dışından gelen alıcılar tarafından toplandığı ve yurt dışına götürüldüğü bildirilmiştir (Solak, 2015).

Yapılan ön çalışmalarda, atık soketlerin temel ve değerli metal içeriğinin yüksek olduğu (~%50 Cu, ~%15 Co ve ~%0,5 Ag) belirlenmiştir. Bu da atıkların ekonomik potansiyelinin yüksek olduğunu; örneğin

bakır ve gümüş cevherlerinin metal içerikleriyle karşılaştırıldığında, atıkların gümüş cevherlerine (~100 g/ton Ag) göre 50 kat gümüş, bakır cevherlerine (~%0,5-1 Cu) göre ise 50-100 kat bakır ve kobalt cevherlerine göre (%0,3-1,5 Co) 10-50 kat daha fazla oranda kobalt içerdiğini göstermektedir. Önemli miktarda metal içeren atık soketler, Ülkemiz için önemli bir ikincil kaynaklar durumundadır.

### Kritik ve Değerli Metallerin Önemi: Kobalt ve Gümüş

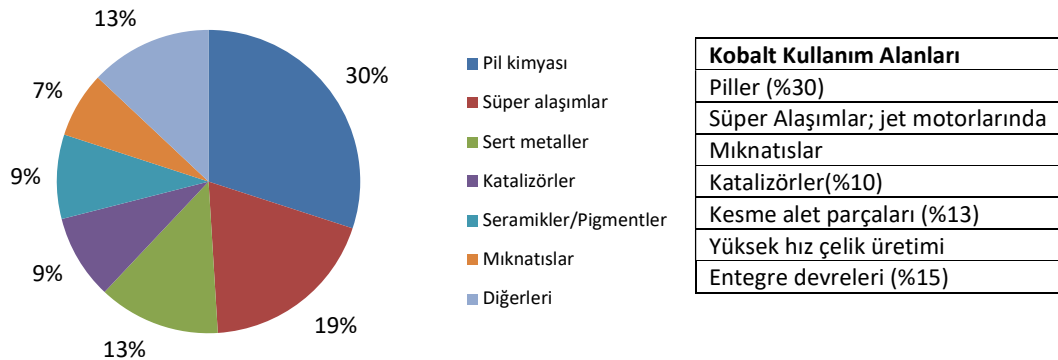
Kobalt (Co), gerek günümüzdeki yaygın kullanımı gerekse giderek artan talep nedeniyle önemli metaller arasında yer almaktadırlar (Gunn, 2014)Avrupa Komisyonu'nun (European Commission) yayınladığı rapora göre, kobalt hem ekonomik hem de temin edilme açısından kritik metaller grubunda değerlendirilmektedir(Çizelge 1).

Çizelge 1. Avrupa Komisyonunun (European Commission) kritik metal tablosu (2017)(Url 3, 2019)

Antimony	Fluorspar	LREEs	Phosphorus
Barit	Galyum	Magnezyum	Skandiyum
Berilyum	Germanyum	Grafit	Silikon
Bizmut	Hafniyum	Kauçuk	Tantalyum
Bor	Helyum	Niobiyum	Tungsten
Kobalt	HREEs	PGMs	Vanadyum
Kok kömürü	Indiyum	Fosfat	

\*HREEs=heavy rare earth elements, LREEs=light rare earth elements, PGMs=platinum group metals

Kobalt (Co) kimyasallara ve aşınmaya karşı direnci, manyetik özelliği ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı gibi özelliklerinden dolayı, yaygın olarak bir alaşım yada bileşik maddesi olarak kullanılmaktadır. Kritik metallerden birisi olan kobalt, enerji tedariki için hücre yakıtları ve enerji depolama alanında da şarjlı pillerdeki kullanımı ile dikkat çekmektedir (Şekil 3). Avrupa Birliği'nde, ömrünü tamamlamış ürünler (atıklar) artan kobalt talebi için en önemli kaynaklardan biri olarak değerlendirilmektedir (Gunn, 2014). 2011 yılı verilerine göre, ABD'nin yıllık kobalt tüketiminin %24'nün atıklardan sağlandığı tahmin edilmektedir (USGS, 2011). Dünya kobalt üretiminin yaklaşık % 44'ü nikel cevherlerinden elde edildiği bilinmektedir. Nikel ve kobalt yataklarında genellikle nikel ana element olup, kobalt yan ürün olarak kazanılmaktadır. Özellikle düşük tenörlü kobalt ve nikel cevherleri hidrometalurjik yöntemler ile ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir. Pirometalurjik işlemlerde ise (ferronikel üretimi) nihai üründe kobalt kazanımı mümkün olmamaktadır. Ülkemizde tespit edilmiş bir kobalt yatağı bulunmamaktadır. Ancak bazı bakır ve nikel yataklarında kobalt yan ürün olarak üretilebilecek miktarlarda bulunmaktadır. Kastamonu - Küre'de bakır cevherinin %0,3'e kadar kobalt içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Manisa - Çaldağ Lateritik Nikel Yatağı'nın da kobalt içerdiği bilinmektedir (38 milyon ton cevher; %1,14 Ni ve %0,05 Co) (Aydın ve Kılıç, 2012). Yine Manisa-Gördes'de bulunan %1,28 nikel ve %0,03 kobalt içeren nikel işletmesinde nikel-kobalt üretilmeye başlanmıştır.

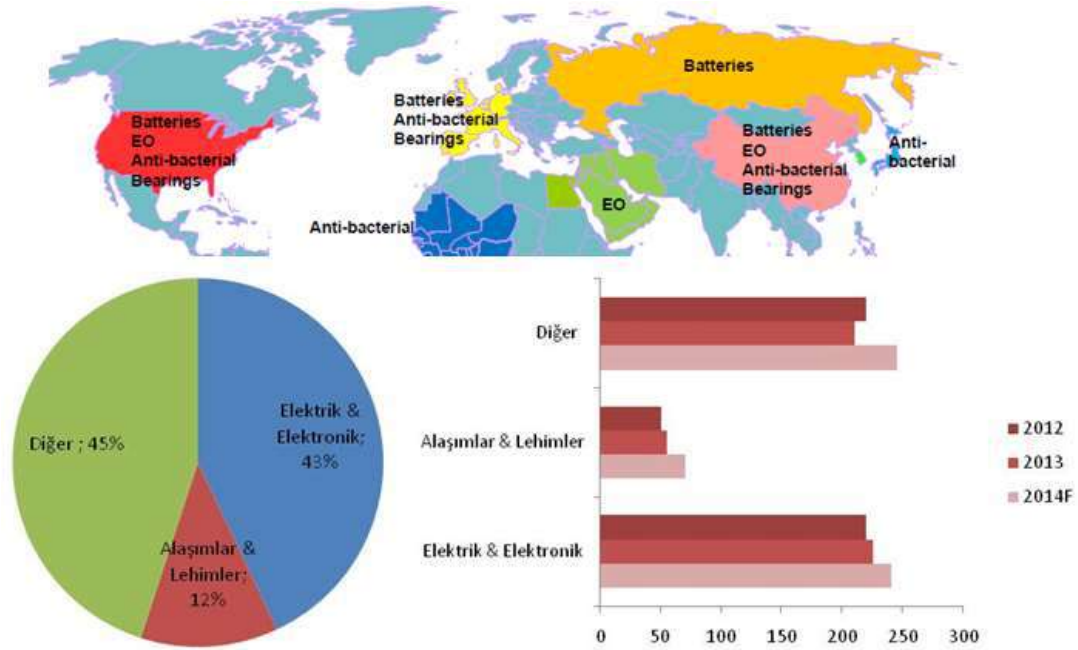


Şekil 3. Kobalt Kullanım Alanları (Gunn, 2014).

Gümüşün kullanım alanlarındaki çeşitlenmeye paralel olarak tüketim miktarı da önemli oranda artmaktadır (URL 4, 2011). Günümüzde Çin ve Hindistan'ın tüketimi artmaktadır. Gümüşe olan toplam endüstriyel talep, 2013 yılına kıyasla 2018 yılında, %27 artacağı (142 milyon ons) tahmin edilmektedir (Çizelge 2). Bu büyümenin yarısının elektrik ve elektronik sektörlerinde olması beklenmekle birlikte diğer endüstriyel alanlardaki taleplerde artış olacağı ön görülmektedir. Gümüşün çok iyi termal ve elektrik iletkenliği, dövülebilirlik ve optik yansıtıcı gibi özelliklere sahip olmasından dolayı, saat pillerinden endüstriyel ölçekli güneş enerji sistemlerine kadar birçok endüstriyel alanlarda kullanımını zorunlu kılmaktadır. Gümüş tüketimi için güneş pili pazarı en önemli pazar özelliğine sahiptir (URL 5, 2014). Gümüş baskılı mürekkeplerde, lehimleme, alaşımlar ve anti-bakteriyel uygulamalarda kullanımından dolayı gümüşün önemi giderek artacağı görülmektedir (Şekil 4). Kullanım alanlarından birisi de mermercilik sektöründe kullanılan elmaslı testerelerdeki soketlerin kaynaklama/lehimleme işlemleridir. Gümüş, birincil kaynaklardan siyanür liçi ile ve pirometalurjik işlemlerde (Pb, Zn ve Cu üretiminde) yan ürün olarak üretilmektedir. Ülkemizde de Kütahya Gümüşköy tesisinde yılda yaklaşık 120 ton gümüş üretilmektedir (Öz, 2002).

Çizelge 2. Gümüşün belli endüstrilerde kullanım yüzdeleri (2013) ve gelecekte tahmini talebi (milyon ons) (URL 5, 2014).

Kullanılan Endüstri	2013	2018
Piller	32	36
Etilen Oksit Üretimi (EO)	52	63
Güneş Enerjisi (güneş panelleri)	88	109
Otomotiv	56	71
Lehimleme ve alaşımlar	70	88
Rulman (Ag kaplama)	2	3
Gümüş baskılı mürekkepler	2	4
Diğer (tıp, su arındırma)	9	12
<b>Toplam</b>	<b>310</b>	<b>386</b>



Şekil 4. Gümüş kullanım alanları ve oranları (URL5, 2014).

#### Sert Metal (Hardmetal) Atıklarından Metallerin Geri Kazanımı

“Sert metaller/alaşım” yaygın olarak kesici ve aşındırıcı malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Sert metal üretiminde en yaygın olarak kullanılan metal tungstendir. Tungsten karbür (WC) aşınmaya karşı dirençli bir kompozit malzemedir ve genellikle Co ile birlikte sinterlenerek sert metal üretilir. Gerek üretim maliyetleri gerekse çevresel kaygılardan dolayı tungsten içeren atıklardan tungsten geri kazanımı önemli olmaktadır (Shibata vd., 2014). İstatistikler, geri kazanılan WC’in toplam talebin %20-30’unu karşıladığını göstermektedir.

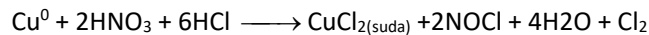
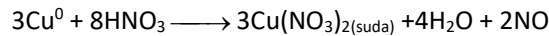
Yaygın olarak kullanılmasından dolayı sert metallerin geri dönüşümü ile ilgili çalışmalar tungsten içeren atıklar üzerine yoğunlaşmıştır. WC atıklarından tungsten ve kobaltın geri kazanımında hidrometalurjik yada pirometalurjik yöntemler kullanılabilir. Tungsten içeren sert metal atıkları, konsantre alkali yada asit çözeltilerinde direk liç edilmekte, amonyum para tungstat ve tungstik asit gibi ürünler kazanılabilmektedir (Katiyar vd., 2014). Metal semente edilmiş tungsten karbür, içerisindeki metal matriksi yada bağlayıcı metali çözmek ve geride tungsten karbür bırakmak için liç işlemine tabi tutulmakta ve seçimli olarak kobaltın kazanımı gerçekleştirilmektedir (Çizelge 3)(Kim vd., 2014; Lee vd., 2011; Shibata vd., 2014).

Çizelge 3. Tungsten karbür (WC) atıklarından metallerin kazanım çalışmaları(Katiyar vd., 2014).

Scrap Tipi	Liç Reaktifi	Sıcaklık	Kazanım/Ürün
WC-Co sert metal	Asetik asit	40-80°C	Co tozu
Metal-seramik alaşım	HCl	110°C	WC tozu
WC içeren curuf	Kral suyu	100°C	%99,97 saf APT
WC-Co sert metal	HNO <sub>3</sub>	25°C	%99,7 saf Co metali
Sinter sert karbür blok	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	46°C	WC ve Co
Semente karbür scrap	Amin çözeltisi	60°C	Karbür
	Asetik asit	60°C	WC tozu
	HCl	140-195°C	W metal
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	160-330°C	W metal
	HCl	55-85°C	W metal
	NaOH	120°C	WC

Hidrometalurjik yöntemler, yaş kimyasal yöntemlerdir; uygun reaktifler veya reaktif sistemleri kullanarak katı malzemelerden metal/minerallerin liçi ve yüklü liç çözeltilerinden metal ve bileşiklerin tekrar kazanılması esasına dayanır. Pirometalurjik yöntemlerle karşılaştırıldığında hidrometalurjik yöntemler; ilk yatırım giderleri düşük, çevresel etkisi az, metal kazanma verimi yüksek ve nispeten küçük ölçekli uygulamalar için daha uygun yöntemlerdir. Atık soketlerden bu metallerin geri kazanımı için uygun hidrometalurjik yöntemlerin seçilmesinde veya geliştirilmesinde en önemli hususlardan birisi, metallerin atıklarda, metalik ve/veya alaşım halinde bulunmasıdır. Alaşım halinde bulunmaları metallerin liç davranışını etkileyebilir. Ancak, farklı reaktif sistemlerindeki çözünürlükleri arasındaki farklardan yararlanarak bu metallerin, seçimli olarak çözündürülmesi veya liç sonrası metal yüklü çözeltilerden uygun saflaştırma ve metal kazanımı yöntemleri ile seçimli olarak kazanılması gerekir(Tuncuk vd., 2012).

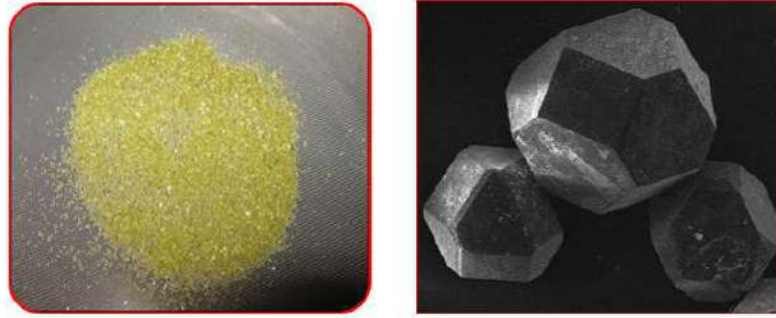
Metallerin çözünmesi için genel olarak liç ortamının oksitleyici bir karakterde olması veya oksitleyici reaktif varlığında liç işleminin yapılması gereklidir. Atıklardan temel ve değerli metallerin liçinde çeşitli inorganik asit/oksitleyici (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>/HCl gibi) reaktifler kullanılabilir (Yazıcı, 2012). Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) oksitleyici bir özelliğe (E<sup>0</sup>=+0,96 V) sahip olması nedeniyle bakır ve gümüş gibi nitrat ortamlarında çözünebilen metallerin kazanımına olanak sağlar. Kral suyu (HNO<sub>3</sub>:HCl=1:3) çözünmesi zor bazı metallerin (E<sup>0</sup>>0) klorür kompleksleri halinde çözünmesi için kullanılabilir. Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (E<sup>0</sup>=+1,77 V) mineral asitlerle kullanılabilen iyi bir oksitleyici reaktif ancak metal iyonları varlığında (katalitik etkisiyle) bozunur(Yazıcı, 2005). Farklı asidik sülfat ve/veya klorür bazlı sistemler metalik ve/veya alaşım halinde atıklardan metallerin liçi amacıyla kullanılabilir. Aşağıda nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ve kral suyu (HNO<sub>3</sub>:HCl=1:3) metalik bakırın çözünme reaksiyonları sunulmuştur:



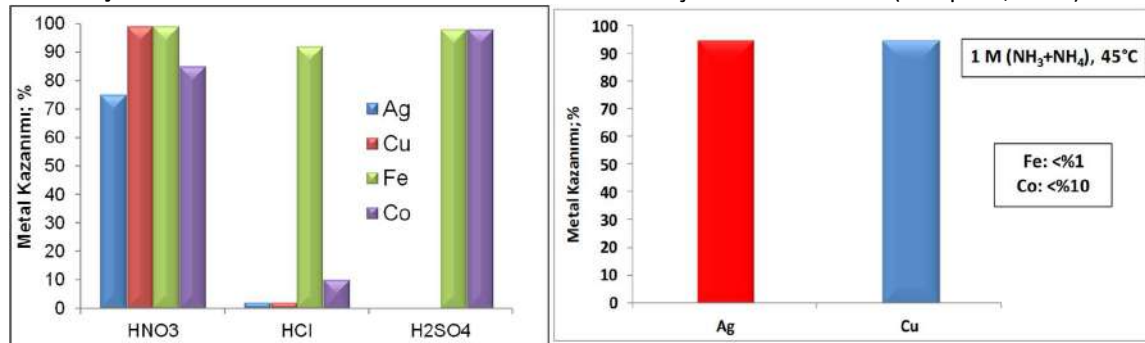


## Yapılan Çalışmalar

Mermercilik sektöründe kullanılan kesici ekipman uçlarından (soketlerden) sentetik elmas kazanımı üzerine bazı çalışmalar bulunmaktadır. Celep vd. (2013) atık testere soketlerin sentetik elmasın geri kazanılmasıyla ilgili çalışmışlardır (Şekil 5). Atık soketlerden öğütülmeden yapılan kral suyu ( $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ ) çözüdüremeleri sonucunda, atıkta kalan sentetik elmasların kazanılabileceği görülmüştür. Bu elmasların büyük bir bölümünün hasar görmemiş ve yeniden kullanılabilecek özellikte oldukları belirlenmiştir. Benzer şekilde başka bir çalışmada (Skury vd., 2004) atık soketlerden sentetik elmas geri kazanılmıştır. Atık soketlerden değerli/kritik metallerin (Ag, Co, Cu) geri kazanımına yönelik çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ergün (2016), yaptığı çalışmada atık kesici soketlerden sentetik elmas ve metallerin ekonomik olarak geri kazanılmasını araştırmıştır. Ag, Fe, Cu, Zn, Co ve Ni metallerinin bulunduğu çözüldüden bakırın LIX84I ve LIX984N reaktifleri kullanılarak solvent ekstraksiyon yöntemiyle kazanılması çalışılmıştır (Ergün ve Sönmez, 2016). Celep vd. (2016) farklı liç sistemleri (1 M  $\text{HNO}_3$ , 1 M  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$  ve 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ ) kullanarak atık soketlerden Cu, Co, Ag, Ni ve Sn'nin kazanılmasını çalışmışlardır. Celep vd. (2017) tarafından yapılan asit ve alkali liç testlerinde metallerin (bakır ve gümüşün, demir ve kobalttan) seçimli olarak çözüdürebileceği görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 5. Atık dairesel testere soketlerinden kazanılmış sentetik elmaslar (Celep vd., 2013).



Şekil 6. Farklı asit (1M, 60°C) (solda) ve amonyak ortamında (1M  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4$ , 45°C) (sağda) atık soketlerden metallerin liçi (Celep vd., 2017)

## SONUÇLAR

- Mermer sektöründe kullanılan kesici ekipmanlarındaki soketler gümüş cevherlerine (~100 gr/ton Ag) göre 50 kat, bakır cevherlerine (~%0,5-1 Cu) göre 50-100 kat ve kobalt cevherlerine göre (%0,3-1,5 Co) 10-50 kat daha fazla oranda metal içerdiği anlamına gelmektedir.
- Yüksek metal ve elmas içerikleri nedeniyle önemli ekonomik potansiyel oluşturan atık soketler önemli

bir ikincil kaynak olarak ortaya çıkmaktadır.

- Hidrometalurjik yöntemlerle, kullanılan reaktif sistemlerine bağlı olarak elde edilecek yüklü liç çözeltilerinden demirin uzaklaştırılması ve bakır, kobalt ve gümüşün seçimli olarak kazanımı için çöktürme esaslı uygun saflaştırma ve metal kazanımı yöntemleri geliştirilebilecektir.

## TEŞEKKÜR

Desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) (Proje no: 116M703) teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Aktaş., Ö., 2012. Elmas tel kesme yöntemi ile mermer işletmeciliğinde elmas tellerin kesim performanslarının araştırılması, Y.Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, p.68.
- Aydın, G., 2012. Kesici Disklerin Kayaç Kesme Performansının Araştırılması ve Performans Tahminine Yönelik Modellerin Geliştirilmesi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s.242.
- Aydın, O., Kılıç, C., 2012. Antik çağlardan günümüze kobalt, Madencilik Türkiye, Ocak 2012, pp.70-75.
- Celep vd., 2017. Yayınlanmamış rapor.
- Celep, O., Altinkaya, P., Yazıcı, E.Y., Deveci, H., 2016. Extraction of base and precious metals from scrap segments used in marble cutting, Proceedings of XV. International Mineral Processing Symposium and Exhibition (IMPS), 19-21 Oct., İstanbul, Turkey, 880-892.
- Celep, O., Aydın, G., Karakurt, I., 2013. Diamond recovery from waste sawblades: A preliminary investigation. Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture, 227, 417-421.
- Deveci, H., Akçıl, A., Alp, İ., 2004. Bioleaching of Complex Zinc Sulphides Using Mesophilic and Thermophilic Bacteria: Comparative Importance of pH and Iron. Hydrometallurgy, 73, 293-300.
- Deveci, H., Akçıl, A., Alp, İ., 2003. Parameters for Control and Optimisation of Bioleaching of Sulphide Minerals. Materials Science & Technology 2003 Symposium: Process Control and Optimization in Ferrous and Non Ferrous Industry, TMS, Warrendale, P.A., 77-90.
- DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri II (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz Çalışma Grubu Raporu, <http://www.kalkinma.gov.tr>.
- Ergün ve Sönmez, 2016. Recovery of Metals From Solutions Obtained by Cutting Tool Recycling, 18. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, IMMC 2016, p.355-358.
- Ergün, M., 2016. Mermer kesme endüstrisinde kullanılan hurda elmas esaslı kesici takım uçlarından elmas ve bakırın geri kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Haziran, s.74.
- Gunn, G., 2014. Critical Metals Handbook, British Geological Survey, John Wiley & Sons, Ltd, Nottingham, UK, p.669.
- Gupta, C. K. ve Mukherjee, T.K., 1990. Hydrometallurgy in Extraction Processes, CRC Press, Florida, s.221
- Kaplan, M. ve Budak, S., 2011. Bir Mermer Kesici Takımında Co Katkısının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Türkiye.
- Karagöz, Ş. ve Zeren, M., 2001. Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2001, Afyon, pp. 452-461.
- Katiyar, P.K., Randhawa, N.S., Hait, J., Jana, R.K., Singh, K.K., Mankhand, T.R., 2014. An overview on different processes for recovery of valuable metals from tungsten carbide scrap, ICNFM.
- Kim, S., Seo, B., Ho-Son, S., 2014. Dissolution behavior of cobalt from WC-Co hard metal scraps by oxidation and wet milling process, Hydrometallurgy, 143, 28-33.
- Lee, J., Kim, E., Kim, J., Kim, W., Kim, B., Pandey, B.D., 2011. Recycling of WC-Co hardmetal sludge by a new hydrometallurgical route, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 29, 365-371.
- Oliveira, L.J., Bobrovitchii, G.S., Filgueira, M., 2007. Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 25 (2007) 328-335.

- Öz, D., 2002. Kütahya Gümüşköy gümüş cevherinde verim arttırma çalışmaları, Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, Doktora Tezi, Eskişehir, 124s.
- Özçelik, Y., Bayram, F., 2006. Model Elmas Telli Kesme Makinasının Oluşturulması, MERSEM2006, 241-250
- Özçelik, Y., 1999. Mermercilik elmas tel kesme makinalarının çalışma koşullarının incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, p.325.
- Rao, S. R., 2006. Resource recovery and recycling from metallurgical wastes, Elsevier, Hollanda, 581 s.
- Shibata, J., Murayama, N., Niinae, M., 2014. Recovery of tungsten and cobalt from tungsten carbide tool waste by hydrometallurgical method, Geosystem Engineering, 17,2, 120-124.
- Skury, A.L.D., Bobrovitchii, G.S., Monteiro, S.N., Gomes, C.C., 2004. Recovery of synthetic diamonds from scrapped sawblades. Sep Purif Technol., 35, 185–190.
- Solak, E., 2015. Kişisel Görüşme, SONMAK A.Ş.
- Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E. Y., Deveci, H., 2012. Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling, Minerals Engineering, 25, 1, p.28-37.
- URL 1. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Taslar>
- URL 2. <http://www.inanmaden.com>
- URL 3. [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)
- URL 4. [www.silverinstitute.org](http://www.silverinstitute.org): Future silver industrial demand, GFMS, 2011
- URL 5. [www.silverinstitute.org](http://www.silverinstitute.org): Gilstening Particles of Industrial Silver, CRU Consulting, Aralık 2014, p.24.
- Yazıcı, E.Y., 2005. Atık Sulardaki Siyanürün Hidrojen Peroksit, Aktif Karbon Adsorpsiyonu ve Ses Ötesi Dalgalarla Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Yazıcı, E.Y., 2012, Elektronik atıklardan metallerin fiziksel ve hidrometalurjik yöntemlerle geri kazanımı, KTÜ, Maden Bölümü, Doktora Tezi, 192.
- Yılmaz, N., 2009. Magmatik Kökenli Doğal Taşların Elmas Soketli Dairesel Testerelele Kesilebilirlik Analizleri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, p.209.

## MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE OPTİK AYIRMA MAKİNALARININ TASARIMI VE TEKNOLOJİSİ

DESIGN AND TECHNOLOGY OF OPTICAL SEPARATION MACHINES IN MINING SECTOR

Abdul Vahap Korkmaz<sup>1\*</sup> İsmail Altunkaya<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Dinar/Afyonkarahisar.

(\*Sorumlu Yazar: [av.korkmaz06@gmail.com](mailto:av.korkmaz06@gmail.com))

<sup>2</sup>Binder Co.Gleisdorf, Avusturya

### ÖZET

Madencilik endüstrisinde kullanılan cevher hazırlama proses ve ekipman tasarımlarının temel amacı değerli malzemelerin değersizlerden ayırma işlemi üzerinedir. Ham maddelerin değerli bileşenlerinin fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerin birinin veya birkaçının kullanılmasıyla tekrar kullanılabilir ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesi; doğal kaynak israfını ve maden atık miktarını azaltırken, ekonomiye ve çevre bilincine katkı sağlamaktadır. Son yıllarda ülkemizde maden rezervlerinin yüksek tonajlarda tüvenan cevher üretimi ile birlikte rezerv kalitelerinde düşmeler kendini göstermeye başlamıştır. Bu nedenle maden işletmelerin birçoğu ocaklarında selektif üretime yönelmiş ve söz konusu üretim şeklinin gerçekleştirilemediği durumlarda ise üretilen tüvenan cevher, belli bir boyuta kırıldıktan sonra elle triyaja tabi tutulmaktadır. Triyaj yöntemi ile genellikle yüksek verimde bir ayırma sağlanamaması nedeni ile ürün kalitelerinde dalgalanmalar ve büyük tonajlarda artık sahaları meydana gelmektedir. Söz konusu problemlerin çözümünde gelişen optik ayırma teknolojileri önem kazanmaktadır. Optik ayırma, bir yığılı oluşturulan tanelerin görüntülerindeki göz ile ayırt edilebilen veya edilemeyen farklılıklara bağlı olarak birbirlerinden ayrılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu çalışmada optik ayırıcı ekipmanların tasarımı ve optik ayırma teknolojisinin cevher hazırlama proses verimine etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Madencilik teknolojisi, optik ayırma, cevher hazırlama, tasarım.

### ABSTRACT

The main purpose of the ore preparation process and equipment designs used in the mining industry is on the process of separating precious materials from the worthless. Converting valuable components of raw materials into reusable products or energy using one or more of the physical, chemical, physico-chemical and biochemical methods; While reducing the waste of natural resources and the amount of mine waste, it contributes to the economy and environmental awareness. In recent years, with the production of high-tonnage of ore reserves in our country, the ore quality has started to decrease. For this reason, most of the mining enterprises have turned to selective production in their quarries and in cases where the production mode cannot be realized, the produced ore is subjected to triage by hand after being broken to a certain size. Due to the fact that a high efficiency separation cannot be achieved with the triage method, fluctuations in product quality and residual sites occur in large tonnages. Optical separation technologies are becoming more important in solving these problems. Optical separation is a method of separating the particles forming a heap from each other due to differences in eye images that can be discernible or not. In this study, the design of optical separation equipment and the effects of optical separation technology on ore preparation process efficiency were investigated.

**Key Words:** Mining technology, optical separation, ore preparation, design.

## Giriş

Malzemelerin spektroskopik özellikleri dikkate alınarak yapılan elektronik tabanlı optik ayırma yöntemi, endüstride üreticilerin zaman ve verim açısından avantaj elde ettiği ekonomik bir yöntemdir. Geniş dalga boyu aralığındaki elektromanyetik spektrum temelli sensörler sayesinde farklı birçok malzemenin tanımlanmasının mümkün olması, madencilğin yansırı geri dönüşüm ve gıda ayırımı gibi alanlarda da yoğun bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle geri dönüşümde metal, cam ve kağıt gibi malzemelerin zenginleştirilmesi başta olmak üzere gıda sektöründe narenciye hurma,yulaf ve et zenginleştirme gibi uygulamalarda optik ayırıcı kullanarak ekonomik açıdan avantaj elde etmek mümkündür (Barry ve Tim, 2006).

Optik ayırma teknolojisinde alternatif akımdan (10<sup>4</sup> m) gama ışmasına (10<sup>-12</sup> m) kadar geniş elektromanyetik dalgaboyu spektrumunda tanımlama yapabilen sensörlerin tekli veya çoklu olarak kullanılabilmesi farklı birçok malzemenin tanımlanabilmesini imkanı hale getirmektedir (Murphy, 2012). Özellikle madencilik sektöründe fiziksel yolla tanımlanması oldukça zor olan girift yapıdaki minerallerin ayrıştırılması işleminde geleneksel yollara iyi bir alternatif olmuştur. Literatürde farklı birçok maden kaynaklarında optik ayırıcı ile zenginleştirme yapıldığı görülmektedir. Veerendra ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ferromanganez cevherinin görünür bölge ışık kaynağı ile tanımlanabileceğini ve cevher içerisindeki manganez, alumina ve demir minerallerinin zenginleştirilebileceğini ortaya koymuşlardır (Veerendra ve Rao, 2005). Tessier ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada benzer bir şekilde nikel cevherinin optik ayırıcı ile zenginleştirilebileceğini göstermişlerdir (Tessier vd., 2007). Lane ve arkadaşları ise bakır, kurşun, çinko gibi madenlerin spektroskopik olarak tanımlamışlar ve optik ayırma için bir veri kaynağı oluşturmuşlardır (Lane vd., 2008). Bu çalışmaların dışında kireçtaşı ve kromit cevherinin de görünür bölge ışık kaynağı ile tanımlanarak zenginleştirilebileceğine dair farklı çalışmalar yer almaktadır. Ancak her ne kadar literatürde görünür ışık bölgesi ile cevher tanımlama ve zenginleştirme çalışmaları yoğun olarak yer alsada minerallerin fiziksel özelliklerine göre görünür ışık kaynağının tanımlama için her zaman yeterli olmadığı, bu nedenle tanımlama için X ışını geçirimi (XRT), yakın kızıl ötesi (NIR) ve mikrodalga gibi farklı sensörlere de ihtiyaç duyulduğu görülmektedir (Barış vd., 2018).

Geçtiğimiz 20 yılda pnömatik ve mekanikte yaşanan gelişmelere bağlı olarak sensör temelli ayırma dünya genelinde büyük bir sıçrama yaşamıştır. Bu teknolojiye duyulan ilgi gelişmiş bilgisayar ve sensörlerde yaşanan teknolojik gelişmelerden ziyade, geri dönüşümün kazandığı önemdir. Gıda, tarım ve geri dönüşümde çok hızla rakipsiz hale gelen sensör temelli ayırıcıların dünyada madencilik sektöründe kullanılmasına ilişkin çalışmalar yürütülürken, ülkemiz bu konuda dış pazara bağımlı ve teknolojik olarak yetersiz kalmaktadır. Sensör temelli ayırma ekipmanları, günümüze kadarki süreçte gerek tasarım ve donanım gerekse yazılım açısından en iyi formunu yakalamıştır. Hala geri dönüşüm endüstrisinin en büyük yapı taşı olsa da, sensör temelli ayırıcılar artıları ile pek çok endüstriye göz kırpmaktadır. Bu tip ayırıcılar temel itibarıyla benzer yöntemler üzerine inşa edilmiş ekipmanlardır (Şekil 1.) (Petra vd., 2005).



Şekil 1. İşleme tekniğinde algılamaya dayalı Ayıklama (Binder Co.)

Ekipmandan ekipmana farklılık gösteren hususlar çoğunlukla dizayn ve kullanılan sensör ile ilgilidir. Beslemenin taşıma bandı veya dönel disklerle yapılması, besleme açıklığına bağlı kapasite

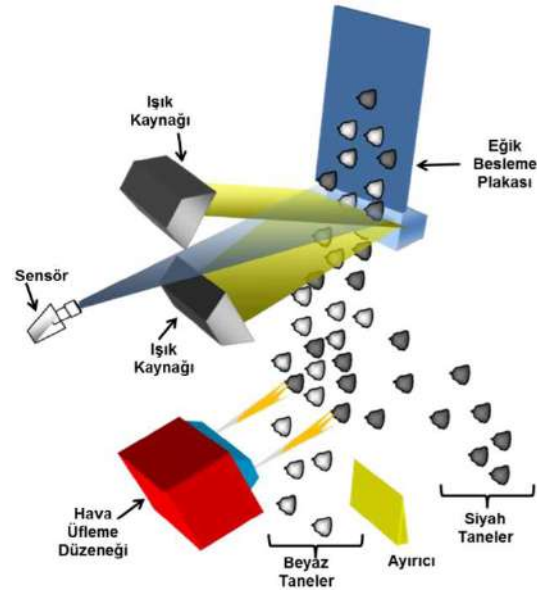
farklılıkları, sensöre bağlı olarak kullanılan ışık kaynağındaki farklılıklar ve akıştan tanelerin vanalar veya mekanik kollarla uzaklaştırılması gibi temel yapısal değişkenlerden söz etmek mümkündür. Ayrıca ekipmanlar arası temel farklılık yazılımdan kaynaklanmaktadır. Yazılım hem görüntü işleme hem de kontrol sistemleri açısından çok önemli farklılıklar yaratabilmekte, bu da ayırımın performansı ve uygulama kolaylıkları açısından önem kazanmaktadır (Blasco vd., 2007).

Sensör temelli ayırıcılar genel olarak kuru çalışan sistemlerdir. Bu ekipmanlar, bir taşıma bandı ile sisteme giren mineral tanelerinin sensör tarafından alınan görüntülerinin entegre yazılım ile dijital verilere dönüştürülmesi ve bu verilerin farklılığının uygun donanım ile değerli mineralin değersiz atıktan ayrılmasında kullanılması prensibine dayalı çalışmaktadır (Silvia vd., 2013).

## 2. SENSÖR TEMELLİ AYIRICILARIN TASARIM ÖZELLİKLERİ

İri taneli cevherlerin günümüzde el ile zenginleştirildiği uygulamalar hala mevcuttur. Sensör temelli ayırma ekipmanları el ile ayıklama (tavuklama) yöntemine önemli bir alternatiftir. Madencilikte temel olarak atık tanelerinin cevherden uzaklaştırılması veya cevherin yüksek ve düşük tenörlü olarak iki gruba ayrılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu sebeple üretilen optik (fotometrik) ayırıcıları, uranyum veya altın/uranyum cevherlerini zenginleştirmede kullanılmak üzere üretilen radyometrik ayırıcılar ve manyetik algılayıcı sensörlerin entegre edildiği ayırıcıların geliştirilmesi izlemiştir. Bunları sonraki yıllarda mikrodalga, lazer indüklenmiş floresans (laserinduced fluorescence) ve benzeri sensörlerin üretimi izler. Ticari başarı açısından değerlendirildiğinde, fotometrik (optik) prensibe dayalı üretilen sensör temelli ayırıcılar uygulamalar endüstride en popüler olan uygulamalardır (Gülcan, 2013).

Tüm sensör temelli ayırıcılar genelde ortak bir tasarıma sahiptir ve farklı uygulamalara yönelik olarak üretilmişlerdir. Bu tasarım sensöre bağlı olarak seçilen bir ışık kaynağı, gerekirse bir monokromatör ve malzeme üzerinden yansıyan veya emilen ışığı tespit etmeye yarayan bir sensörden oluşmaktadır. Işık kaynağı sensöre bağlı olarak doğal ışık, döteryum ark lambalar, kızılötesi lambalar, tungsten flamanlı lambalar, led lambalar, IR kaynakları olabilir (Gülcan, 2013).



Şekil 2. Sensör temelli ayırımın şematik olarak gösterimi (Harbeck, 2008).

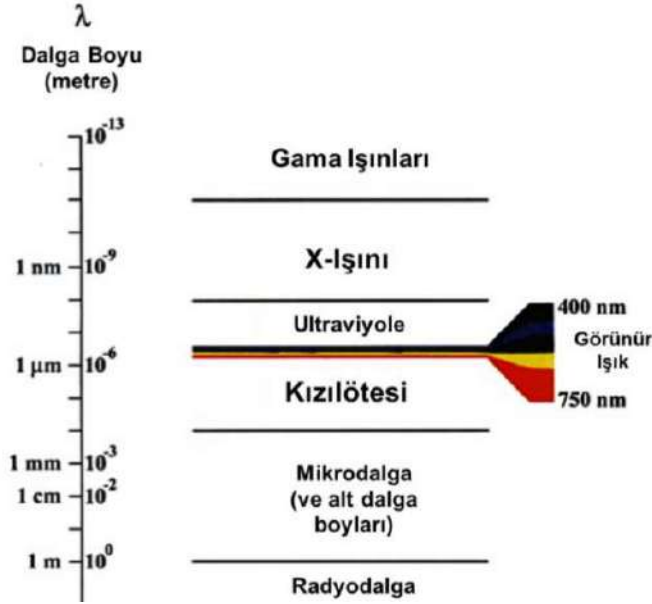
Sensör temelli Commodas Ultrasort marka Pro Secondary NIR/CCD (PS) ve Pro Granulte NIR (PG) model optik ayırıcıların (Bilgisayar üzerinden cihazlara özel geliştirilmiş yazılım ile kontrol edilen) çalışma prensibi şematik olarak Şekil.2’de verilmiştir. Sistem temelde titreşimli besleyici, ışık kaynağı ve kamera, basınçlı hava valfleri ve ürün/atık bantlarından oluşmaktadır (von Ketelhodt 2009)

Sensör temelli ayırıcılar yapısal olarak birbirlerine benzeseler de, kullanılan sensörün özelliğine göre farklı sınıflamalara tabi tutulabilirler (Şekil 3.)(Harbeck ve Kroog 2008).

[m]	Sensör	Malzeme Özelliği	Uygulamalar
$10^{-12}$	RM (Radyometrik)	Doğal gama ışınması	Uranyum, Değerli metaller
$10^{-11}$	XRT	Atom yoğunluğu	Değerli metaller, kömür, elmas
$10^{-10}$	XRF	X-ışını altında görünür floresan	Elmas
$10^{-9}$	COL(CCD Kamera)	Yansıtma, parlaklık	Elmas, endüstriyel mineraller
$10^{-8}$	PM(Fotometrik)	Monokromatik yansıtma, Emilim	Endüstriyel mineraller, elmas
$10^{-7}$	NIR*	Yansıtma, emilim	Endüstriyel mineraller, metaller
$10^{-6}$	IR*	Isı iletkenliği	Endüstriyel mineraller, metaller
$10^{-5}$	MW-IR	Isı iletkenliği	Değerli ve temel metaller
$10^{-4}$			
$10^{-3}$			
$10^{-2}$			
$10^{-1}$			
$10^1$			
$10^2$			
$10^3$	EM İletkenlik	Temel metaller	Temel metaller
$10^4$			

Şekil 3. Madencilik alanında sensör temelli ayırıcılarda kullanılan sensörler

Elektromanyetik radyasyon temelli sensör ve ayırma ekipmanları, elektromanyetik spektranın yedi temel bölgeye ayrılması ile Şekil 4'de görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadırlar.



Şekil 4.Sensörlerin çalıştığı dalga boylarına göre sınıflandırılması (Richards, 2001)

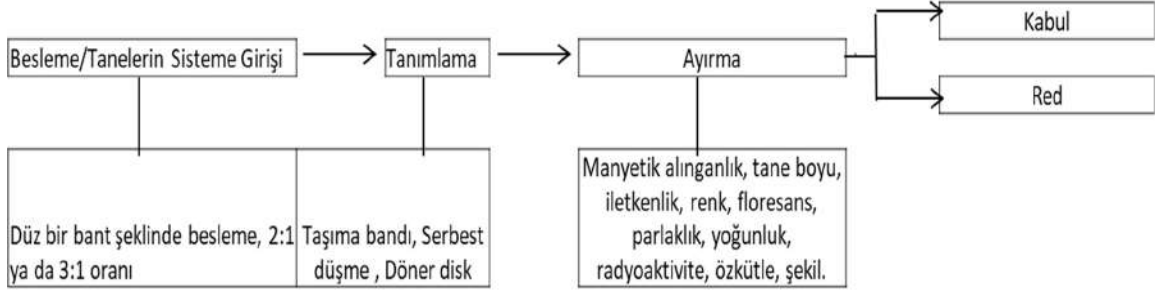
Eğer yukarıda görülen dalga boyu aralıklarından herhangi bir aralığı algılayan bir sensör kullanılabilirse bu durumda mineralleri birbirinden ayırmak mümkün olabilecektir. Farklı aralıklarda benzer özellikleri gösteren mineraller için mutlak surette farklılık gösteren bir aralık bulunabilir. Bu da sensör temelli ayırma için yeterli bir ölçüt olacaktır.

## 2.1. Sensör Temelli Ayırıcıların Bileşenleri Ve İşlevleri

Sensör temelli ayırma sistemleri dört temel bileşenden oluşmaktadır (Salter and Wyatt, 1991). Bunlar:

- Besleme sistemi
- Malzemeyi sisteme sunuş
- Tanımlama sistemi
- Ayırma sistemi

Sensör temelli ayırıcıların işleyişini şematik olarak Şekil 5’de verilmektedir.



Şekil 5. Sensör temelli ayırıcıların çalışma prensibi

## 2.2. Besleme Sistemi

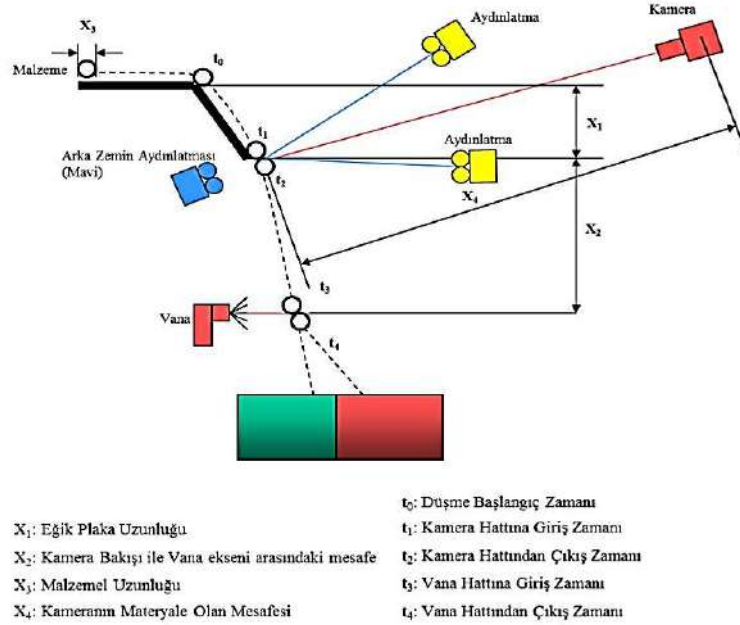
Sensör temelli ayırma sistemlerinde besleme ve ayırma tabi tutulacak malzemenin sisteme sunulması yüksek bir ayırma verimine ulaşmak açısından önemlidir. Taneler sensörün görüş alanına girmeden (sisteme sunulmadan) önce besleme oluşundan geçerler. Besleme oluşunun tasarımı malzeme içerisindeki tanelerin hızlanmasının denetlenmesi ve sabitlenmesi sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Bu sayede tanelerin zıplama, sıçrama, birbirini perdeleme veya kendi yörüngesinden sapma benzeri verimi düşürücü davranışların önüne geçilmiş olunur. Bu anlamda en ideal tane davranışı, eğer besleme bant ile gerçekleştiriliyorsa, tanelerin besleme haznesini bant hızında terketmesidir (Udoudo, 2010).

Tane tanımlamanın en az hata ile yapılması ve tanımlamanın ardından tane akışından istenmeyen tanelerin uygun şekilde uzaklaştırılması için malzemenin sisteme ayrı ayrı ve düz bir tabaka şeklinde beslenmesi gerekmektedir. Besleme tane boyu aralığı, yığındaki en büyük tanenin en küçüğüne oranı 3:1 veya 2:1 olacak şekilde besleme hazırlanmalıdır (Salter ve Wyatt, 1991; Arvidson, 2002). Bu oran ayırma verimini sağlamak için doğru vana ve hava basıncı seçimi ile doğrudan ilgilidir. Malzemeyi sisteme sunma tasarimsal bir olgudur ve hemen ardından gelecek olan tanımlama sistemine girmeden evvel malzeme içerisindeki taneleri hazırlar. Beslemeyi sisteme sunma tercihe ve ekipman geometrisine göre serbest düşme şeklinde olabileceği gibi taşıma bandı aracılığıyla da olabilir.

Serbest düşme tipi besleme konfigürasyonlarında, malzeme içerisindeki taneler sisteme tanımlama aparatından hemen sonra serbest düşmeye başlarlar. Kendi doğal yörüngelerini izleyen taneler bu yörünge üzerinde tanımlama ve ayırma tabi tutulurlar. Bu tip konfigürasyonlar gerek birden fazla sensör ile çalışmada kolaylık sağlaması bakımından, gerekse alan kısıtlamasının az olması ve kurulumda daha az yer kaplaması açısından özellikle mineral zenginleştirme de daha avantajlıdır. Serbest düşme tipi bir sensör temelli ayırıcının şematik görünümü Şekil 6’da verilmiştir.

Serbest düşme prensibine dayalı bu ayırıcılarda ekipmanın geometrik yapısı oldukça önemlidir. Tespit edilecek tanenin ışık kaynağı altında kamera/sensör tarafından görüntüsünün yakalandığı andan vanaların bulunduğu pozisyona gelene kadar geçen süreler ve tanenin her bir adımda kat ettiği yol, tanımlı tanelerin üflenerek yığından uzaklaştırılması için gereken parametrelerdir. Örneğin “a” yerçekimi ivmesi altında serbest düşen tane “t1” anında kamera/sensörün görüş alanına girer ve “t2” anında bu hattan çıkar. Aynı şekilde tanenin kamera görüş alanından çıkması ile vana hattına gelmesi arasında geçen süre “t3-t2” saniyedir.





Şekil 6. Bir besleme sistemi örneği (Udoudo, 2010)

İvmenin sabit olduğu serbest düşme hareketinde katedilen yolun hesaplanması için kullanılan matematiksel ifade Eşitlik 2.1'deki gibidir.

$$U=a.t$$

(2.1)

$$X=1/2a.t^2$$

(2.2)

Eşitlikte:

x: tanenin kat ettiği yolu

a: yerçekimi ivmesini

t: tanenin x yolunu kat etmesi için geçen süreyi

v: tanenin hızını ifade etmektedir.

Sensör tarafından tespit edilen tanelerin sistemden uzaklaştırılması için gereken süreler bu şekilde hesaplanmış olur. Burada önemli olan, tanenin serbest düşme hareketine ilk hızdan arındırılmış olarak başlayacağı besleme tipini seçmektir. Şekil 6'da verilen tasarımda düşme plakasının yatayla yaptığı açı, malzemenin plakaya yapışması ve iki bileşenli bir hız kazanarak serbest düşmeye başlamasını sağlamaktadır. Bu ayırma avantaj sağlayan bir besleme şeklidir.

Besleme tipi seçiminde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Besleme tane boyu 50 mm'den büyükse malzeme tanımlama sistemine serbest düşme şeklinde beslenmelidir. 50 mm'den küçük tane boyları için de beslemenin bir taşıma bandının çıkışının tanımlama sistemine aktarılması şeklinde olması gerektiğini öngörmektedirler (Arvidson, 2002). Taşıma bandı şeklindeki konfigürasyonlarda besleme taneleri 2 ila 5 metre arasında bir mesafeyi bant üzerinde katederler. Bu sayede tanımlama öncesinde taneler stabilize edilmiş olur ve sıçrama faktörü en aza indirilir. Beslemenin düz bir tabaka şeklinde ve stabil olarak yapılması zorunluluğu tanımlama açısından önemli bir tasarım parametresidir. Sensör temelli otomatik ayırıcıların ekonomik işletim ve yüksek kapasite gibi avantajları düşünüldüğünde, bantlardaki aşınma ve düşen kapasite bu tip tasarımların günümüz ekipmanlarında yer edinmemesinin sebebidir.

### 2.3. Numune Hazırlama

Numune hazırlanırken dikkat edilecek hususlar malzemenin tipine ve varsa sonraki zenginleştirme adımlarına göre değişmektedir. Besleme taşıma bandından ayırma kadar giden süreçte operasyonel

gereklilikleri karşılamalıdır. En önemli husus besleme içerisindeki tanelerin en büyüğünün en küçüğüne oranı 3:1 veya 2:1 sınırına uygunluğunun mümkün olduğunca sağlanmasıdır. Bu ampirik yaklaşım geniş tane boyundan kaynaklanan performans düşmelerinin önüne geçmektedir. Genel olarak bakıldığında dar tane boyu aralığında besleme yöntemi cevher zenginleştirmenin diğer yöntemleri için de geçerli olmaktadır.

Yüzey özelliklerine dayalı ayırım yapılan herhangi bir sistemde tanelerin orjinal yüzeylerinin sensör tarafından algılanabilecek şekilde tozdan arındırılması gerekir. Bunun için yıkama veya su spreyleme ile yüzey ıslatma yapılır. Yıkama işlemi sadece malzeme yüzeyinin toz veya çamur ile kaplı olduğu koşullarda düşünülmelidir (Gülcan, 2013).

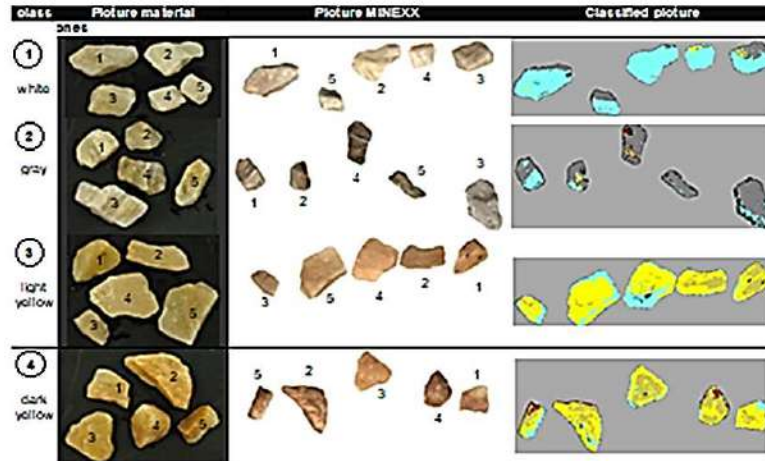
Sensör temelli ayırım için numune hazırlama, tanelerin ölçülebilir özelliklerinin maksimum düzeyde ölçülebildiği koşullarda sisteme girmesini sağlayacak şekilde olmalıdır. Besleme bandından çıkarak sensörün görüş açısına girmeden önce tanelerin birbirlerinden ayrı ve mümkün olan en geniş yüzeylerinin kameraya bakacağı şekilde beslenmesi önemlidir. Sensörün en uygun görüntüyü alması için gerekli koşullar numune hazırlama adımında sağlanır.

## 2.4. Tanımlama Sistemi

Tanımlama sistemleri bir algılayıcı sensör ve ışık kaynağından oluşmaktadır. Kullanım amacına göre sensörler iletkenliğe, tek renkliliğe (monochromatic), görünür ışığa (renge), kızıl ötesi veya yakın kızıl ötesi (IR/NIR) ışığa duyarlı olabilmektedir. Yine ışık kaynakları da kullanılan sensöre bağlı olarak floresan, NIR veya LED (light-emitting diodes) olarak seçilmektedir. Sensör besleme sisteminin bitip tanelerin tanımlama alanına girdiği noktayı görecektir şekilde besleme bandının altına veya karşısına yerleştirilebilir (Udoudo, 2010).

Serbest düşme tipi ayırıcılarda ise sensör serbest düşen tanelerin akış yörüngesini dik görecektir şekilde konumlandırılır. Serbest düşmeye tabi tutulacak her malzemenin, tanımlama ve ayırım uygulanabilmesi için belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Tane boyu, şekli, rengi, parlaklığı, iletkenliği, geçirgenliği, manyetik alınganlığı ve floresan özellikleri gibi farklılıkları tanelerin tanımlanması ve sınıflandırılması için gereken bilgiyi sağlar. Sensör ile sadece bu farklılıklar tespit edilmekte ve ayırım için veri teşkil edecek şekilde kullanılmaktadır.

Sensör temelli ayırıcıların performansı, sisteme bağlı bulunan sensör/sensörlerden alınacak gerçekçi veriler ile geliştirilebilir. Alınan görüntülerin işleme hızı ve etkin tanımlama burada birbirine bağlı iki önemli faktör olarak göze çarpmaktadır (Udoudo, 2010). Alınan görüntülerin işlenmesi esnasında kullanılan yöntem kabaca Şekil 7'deki gibidir.



Şekil 7. Görüntü tanımlama metodu

### 3.MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE SENSÖR TEMELLİ AYIRICI KULLANIMI

Sensör Temelli Cevher Ayırıcı Teknolojisi Türkiye’de de hızla yayılmaya başlamıştır.1970’li yıllarda gıda sektöründe kamera sistemiyle siyah ve beyazı tanımlayarak malzemeyi ikiye ayırması ile piyasaya giren ayırıcılar, günümüzde gıda, geri dönüşüm, özel ürünler ve madencilik sektörlerinde çok yüksek ilgi görmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle çok yüksek çözünürlükteki kameralar ile çok hassas renk tanımlama yapılabilmenin yanı sıra, aynı renk malzemede yüzeysel tanımlama yapılabilmesi için kızılötesi ve lazer sistemleri, cevherin içine nüfuz edip tanımlama yapılabilmesi için ise de X-Ray, Elektromanyetik gibi sensör sistemleri geliştirilmiştir. Gelişen elektronik ve mekanik teknolojiler ile sensör temelli ayırıcılar özellikle madencilikte son beş yılda çok büyük ilerleme gösterip çok yüksek randımana ve kapasitelere ulaşmıştır.

Sensör temelli ayırıcılar cevher hazırlamanın ilgili kademelerinde çeşitli amaçlarla kullanılabilirler. İri boylarda kaba veya ön konsantre almaktan, 1 mm’ye kadar olan ince tane boylarında nihai konsantre almaya kadar çeşitli amaçlarla kullanılabilirler. 1 mm’den daha küçük tane boylarında sensör temelli ayırıcılar ortalama besleme tane boyu ile kapasite gereksinimleri arasındaki doğrudan ilişki nedeniyle ekonomik olmamaktadırlar (Wotruba, 2006).

Sensör temelli ayırıcıların gelişim sürecinde geri dönüşüm endüstrisinin payı büyüktür. Günümüzde hala teknolojik gelişmelere ışık tutan sektör geri dönüşüm sektörüdür. Atık kağıt kazanımında kullanılan optik ayırıcılar, metal geri dönüşümünde kullanılan indükleyici (inductive) sensörler, plastik geri dönüşümünde kullanılan NIR sensörler ile yapılan uygulamalar her geçen gün daha başarılı olmaktadır. 2002-2005 yılları arasında sadece metal ayıklama için dünya genelinde öncü kuruluşlar tarafından 100’den fazla otomatik ayırıcı kurulumu yapılmıştır. Yine 2000 yılından günümüze Alman geri dönüşüm sektöründe 400’den fazla NIR sensörlü ayırıcı kurulmuştur (Wotruba, 2006).

Günümüzde madencilik sektörü bünyesindeki tesis sayısı ve işlenen malzeme miktarları düşünüldüğünde, geçtiğimiz 10 yılda dünya genelinde kurulumu yapılan 100-150 kadar sensör temelli ayırıcı (elmas ayırımında kullanılan sensörler hariç) bu anlamda oldukça azdır. Bu alanda yapılan çalışmalar ile bu sayının hızla artacağı tahmin edilmektedir.

Cevher hazırlamada sensör temelli ayırıcıların kullanımı ile potansiyel fayda sağlanabilecek önemli alanlar şöyle sıralanmıştır (Cutmore, 2002):

- Enerji tüketimi
- Maden kaynaklarının verimli kullanımı
- Su gereksinimleri
- Çevresel etki
- Kalite artırımı

Sensör temelli ayırıcıların madencilikte kullanımına ilişkin iki önemli kriter mevcuttur (Schapper, 1976):

- Kabul ve ret fraksiyonlarının ayrımının yeterli düzeyde olması.
- Ekipmanın elverdiği süre içerisinde malzemenin bu iki fraksiyonu bir ya da birden fazla sensör ile tanımlanması.

Cevheri oluşturan tanelerin verimli bir şekilde kabul ve ret fraksiyonlarına ayrılması cevher karakteristiği ile doğrudan ilgilidir. Sensör temelli otomatik ayırım tane bazında gerçekleşmektedir. Bu sebeple ekipmanın kapasitesi tanelerin büyüklüğü ve sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Otomatik ayıklama işlemi yüksek çözünürlüklü çizgisel okuma yapan kameraların/sensörlerin kullanımı ile teorik olarak 0.5-2 mm’ye kadar mümkün olsa da, düşen kapasiteleri nedeniyle bu boylarda bazı minerallerde (endüstriyel mineraller gibi) kullanımı tercih edilmez.



Şekil 8. Optikayıklama 2 – 120 mm (Minexx Fine < 10 mm için)

Sensör temelli ayırıcıların iri tane boylarında kullanımı daha yaygın ve kabul gören bir uygulamadır. 300 mm'ye kadar taneler bu ayırıcılar ile ayrılabilir. İri boy tercihinin sebebi serbestleşme maliyetinin düşmesi kadar artan kapasitelerdir. Mineral endüstrisinde kullanılan ayırıcıların kapasitesi 250 t/s'e kadar çıkabilmektedir. 1200 mm genişliğe ulaşan besleme açıklıkları ile bu ekipmanlar 100-300 mm arasındaki tanelerden oluşan besleme yığınlarında kullanılabilmektedir (Şekil 8) (Wotruba, 2006).

Uygulamanın minerallerin çoğunluğu düşünüldüğünde ekonomik olması için tane boyunun minimum 10-20 mm olması gerekmektedir. Bununla birlikte 1-2 mm tane boyunun da ekonomik olarak ayrıldığı uygulamalar mevcuttur (elmas, değerli taşlar, kaya tuzları gibi).

Sensör temelli ayırıcıların optimum serbestleşme ve kapasite gerekçeleriyle tüvenan cevherde kullanımının ekonomik olmadığı durumlar mevcuttur. Bununla birlikte otojen ve yarı otojen değirmenlerde değersiz çakılların değirmene geri dönüşünü önlemek amacıyla kullanıldığı özel uygulamalar da vardır.

Madencilikte sensör temelli ayırıcıların kullanımının hafiflik, taşınabilirlik, yeraltı uygulamalarına uygunluk, mobilize kullanılabilirlik, farklı tane boylarına yönelik paralel ve temizleme amacıyla seri uygulanabilirlik gibi avantajları bilinmektedir. Madencilikte bilinen kullanım alanları Çizelge 1'de verilmiştir.

İkinci kriter olan kabul ve ret edilecek tanelerin tanımlanması çok önemlidir. Tüm cevher hazırlama yöntemlerinde önemli olan bu kriter, sensör temelli ayırım için de geçerlidir. Bunun sağlanması yüksek çözünürlüklü ve hızlı sensör/kameralar, donanım ile uyumlu yazılımlar ve uzman ekip ile mümkündür.

Sensör temelli ayırıcıların madencilikte kurulum ve kullanım alanları ise şunlardır (Salter ve Wyatt, 1991):

- Beslemeden ön konsantre kazanımı
- Ara ürün elde etme
- Nihai ürün eldesi

Çizelge 1. Optik ayırıcılar malzeme özelliklerine göre sensör tipleri

Sensör	Malzeme Özelliği	Uygulama
Radyometrik	Doğal gama radyasyonu	Uranyum, değerli metaller
XRT (X-ray transmission)	Atom yoğunluğu	Temel/değerli metaller, kömür, elmas vb.
Enerji Saçılımlı XRF (X-ray fluorescence)	Elemental bileşim	Temel/değerli metaller
XRF (X-ray fluorescence)	X-ışınları altında görünür floresan	Elmas
VIS (Visible light)	Görünür radyasyonun yansımaya ve emilimi	Metaller, endüstriyel mineraller, değerli taşlar
CCD Renk (Charge coupled device)	Renk, yansımaya, parlaklık, saydamlık	Temel/değerli metaller, endüstriyel mineraller, değerli taşlar
Fotometrik	Monokromatik yansımaya, emilim	Endüstriyel mineraller, değerli taşlar
NIR (Near infrared)	NIR radyasyonunun yansımaya/emilimi	Temel metaller, endüstriyel mineraller
TIR (Thermal infrared)	Mikrodalga ile uyarım ve ısı farklılıkları	Temel metaller, değerli metaller

### 3.1. Taşıma Maliyetinin Düşmesi

Cevher yığınının hemen açık ocak veya yeraltında hacim ve ağırlıkça azaltılması ile birim taşıma maliyetleri ciddi olarak azalmaktadır. Özellikle yer altında uygulanması durumunda, sınırlı alanda gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinin optimum düzeyde gerçekleştirilmesine olanak verir. Açık ocaklarda ise, sahanın hemen kenarına kurulabilecek mobilize bir tesis ile cevher hazırlama tesisine ocakta hazırlanan bu ön konsantre gönderilebilmektedir (Salter, 1991; Cutmore, 2002).

### 3.2. Öğütme Maliyetinin Düşmesi

Flotasyon ve liç yöntemleriyle yapılan cevher zenginleştirme uygulamalarında değirmenin enerji gereksinimi ve değirmen içerisindeki astarların zamana bağlı aşınması ekonomik açıdan önemli birer faktördür. Verimli bir şekilde alınan ön konsantre ile değirmenin gereksiz atığı da öğütmesinin önüne geçilmiş olmaktadır.

H. Wotruba'nın (2006) endüstriden elde ettiği bilgiler doğrultusunda hava vanalarının tanelerin boyutuna ve ağırlığına bağlı olarak 1-3 kWh/t enerji tüketimine karşılık 1 ton atık malzemenin flotasyon amacıyla öğütülmesi için 12-15 kWh/t enerji gerekmektedir. Ş. Selmanoğlu, Ö. Gülsoy ve L. Ergün (2010) tarafından bakır cevheri ile yapılan optik ayırma çalışmalarında iri boyda flotasyon devresine aktarılan tonajın genel verimde çok büyük bir kayıp olmaksızın % 53'e kadar azaltılabildiği belirtilmektedir.

### 3.3. İleri Safhalardaki Zenginleştirme Maliyetlerinin Düşmesi

Sensör temelli ayırma ile miktarı azalan ve tenörü artan konsantratör beslemesinin, önkonsantre alınmaksızın yapılan uygulamalara kıyasla ekonomik açıdan avantajları bilinmektedir. Kimyasal kullanımının azalması, su ve enerji kullanımında tasarruf edilmesi, susuzlandırma maliyetlerinin düşmesi, ince atıkların uzaklaştırılması sırasındaki maliyetlerin düşmesi gibi konularda ekonomik açıdan avantaj elde edilmektedir. Bunlara ek olarak, sensör temelli ayırıcı ile önkonsantre kademesinde ayrılan atık kalitesine ve yerel pazar koşullarına bağlı olarak dolgu malzemesi, inşaat malzemesi ve benzeri amaçlarla kullanılabilir. Atığın ilk kademede tüvenandan uzaklaştırılması, sonraki zenginleştirme

adımlarındaki cevher hazırlama ekipmanlarının yüksek verim ve kapasite ile kullanımına olanak verir (Salter, 1991; Cutmore, 2002).

### **3.4. İşlenmesi Mümkün Olmayan Düşük Tenörlü Kaynakların İşlenebilir Rezervlere Yükseltgenmesi**

Günün koşullarında yerkabuğundan çıkarılması ve işlenmesi ekonomik olarak mümkün olan cevher kaynaklarına rezerv denir (Wills, 2007). Bir rezervin nihai ürüne dönüşmesi sürecinde ekonomik olarak en önemli faktörler besleme miktarı ve tenördür. Bu bilgiler ışığında zenginleştirme yapılacak tesise ilişkin parametreler, ekipman büyüklükleri ve kapasiteleri ile ekonomik analizler gerçekleştirilir.

Çıkarılması ve zenginleştirilmesi ekonomik olarak uygun olmayan maden kaynakları olduğu gibi bırakılır. Kesme tenörü (cut-off grade) bu hesaplamalarda karlılığın olduğu sınırdır ve sensör temelli ayırıcılar ile kesme tenörü düşürülerek daha düşük ortalama tenöre sahip işlenebilir cevher sınıfına yükseltilebilir.

### **3.5. Nihai Konsantre ve Temizleme Kademesi**

Sensör temelli ayırıcılar ile nihai konsantre almak amacıyla yapılan uygulamalar, zenginleştirilmek istenen malzemenin serbestleşmesi ile doğrudan ilgilidir. Elmas ve bazı değerli metaller ile parlaklığı yan kayaçlardan farklı endüstriyel mineraller genellikle 1 mm altındaki boylarda tamamen serbestleşirler. Bu tip uygulamalarda olası en büyük tane boyu ile kapasitenin çok fazla düşmesin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. İri boyda serbestleşen manyezit, yüksek kalitedeki kaya tuzları, kuvars ve kimi karbonatlı mineral yığınlarından da nihai konsantre alınması mümkün olmaktadır.

Çizgisel okuma yapan optik sensörlerin veya X-ışını floresansı sensörlerin entegre edildiği sensör temelli ayırıcılar endüstride uzun yıllar boyunca elmas ayıklamada kullanılmıştır. Günümüzde ise talk, kalsit, feldspat, kuvars, kaya tuzu gibi endüstriyel mineraller ve değerli taşların zenginleştirilmesinde kullanılan optik ayırıcıların sayısı çok fazladır (Salter, 1991; Cutmore, 2002).

## **4.SONUÇ**

Optik ayırıcılar, teknolojik olarak yeni olmaları ve üzerlerinde yapılan akademik çalışmaların son derece kısıtlı olması nedeniyle uygulamaya yönelik detayları tam olarak ortaya konulmamış ekipmanlardır. Bu ekipmanlarda performans, verimlilik ve kapasite gibi klasik zenginleştirme yaklaşımlarının uygulanabilirliği ve somut verilerle ifade edilmesi, sektörde bu ekipmanların daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu amaçla gerçekleştirilen kapasite, tekrarlanabilirlik ve performans çalışmaları ekipmanın endüstriyel anlamda güvenilirliğinin ve gerçekleştirilen test çalışmaları da endüstride uygulanabilirliğinin bir göstergesi olmuştur. Kalsit ve kuvars gibi atık ve değerli taneleri arasında belirgin bir renk farkı bulunan cevherler için optik ayırma yüksek verimli ve uygun bir ayırma yöntemidir.

Yapılan endüstriyel ölçekte zenginleştirme çalışmaları maden tesisi atıklarının son derece başarılı ve yüksek verimle zenginleştirilmesi, atık cevherlerin optik ayırma ile kazanımına ilişkin önemli sonuçlar vermiştir ve cevherin uygunluğu durumunda oldukça düşük maliyetli optik ayırma birimleriyle atıkların değerlendirilmesinin mümkün olduğu görülmektedir. Cevheri oluşturan atık ve değerli taneler arasında önemli bir renk farkı varsa, optik ayırma çok verimli bir ayırma tekniği olmaktadır.

Optik ayırıcı ekipmanın hem ön zenginleştirmede hem de nihai ürün üretimde kullanılabilir, uygulamaya alınması son derece kolay, metalik cevherlerden endüstriyel ham maddelere kadar çok geniş bir uygulama alanı için mevcut ve yeni tesislere eklenebilecek önemli bir cevher zenginleştirme ekipmanıdır.

## KAYNAKLAR

- Arvidson B., (2002). Photometric Ore Sorting, Plant Design Practice and Control Proceedings, Editörler: Andrew L. Mular, Doug N. Halbe, Derek John Barratt, SEM, 2002, 2422s.
- Barry,A. W., Tim,N. M. (2006). Ore Sorting, Wills' Mineral Processing Technology 7th Edition, Burlington, A.B.D.
- Barış, M., Metin F.C.,Karabulut N.K., ve Özyücel, F.,(2018). 8-125 mm Kolemanit Cevherinin NIR/CCD Optik Ayırıcı ile Zenginleştirilmesi.*Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2): 414-425.
- Blasco, J., Aleixos, N.,Gomez, J. ve Molto,E. (2007). Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision, *J. Food Eng.*, (83)384-393.
- Cutmore N.G. ve Eberhardt J.E., (2002). The Future of Ore Sorting in Sustainable Processing. Green Processing Conference, Cairns, Qld, Australia.
- Harbeck H. ve Kroog H., (2008). New Developments in Sensor Based Sorting, Montan University Loeben, Austria.
- Lane,G. R., Martin,C., Pirard,E. (2008). Techniques and applications for predictive metallurgy and ore characterization using optical image analysis, *Miner. Eng.*, (21) 568-577.
- Mage,I., Wol,J. P., Bjerke,F., ve Segtnan,V.(2013) On-line sorting of meat trimmings into targeted fat categories, *J. Food Eng.*, (115)306-313.
- Murphy,B., Zyl,J., (2012). Domingo,G. Underground preconcentration by ore sorting and coarse gravity separation, Narrow Vein Mining Conference , Perth-West Aust., 26-27 Mart, 2012.
- Petra,T. Markus, W. ve Thomas, P. (2005). Industrial application for inline material sorting using hyperspectral imaging in the NIR range, *Real-Time Imaging*, (11),99-107.
- Salter J.D. ve Wyatt N.P., (1991). Sorting machines in the minerls industry: Problems or opportunities?, *Proc. XVII International Mineral Processing Congress*, Vol.5, Dresden, Germany.
- Silvia, S., Daniela, C., Federico, M.,ve Giuseppe,B. (2013) Classification of oat and groat kernels using NIR hyperspectral imaging, *Talanta*, (103).276-284.
- Tessier,J., DuchesneC., Bartolacci,G.(2007). A machine vision approach to on-line estimation of run-of-mine ore composition on conveyor belts, *Miner. Eng.*,(20)1129-1144.
- Udoudo O.B., (2010). Modelling the Efficiency of an Automated Sensor Based Sorter, Doktora Tezi, The University od Exeter Earth Resources Department, İngiltere, 215s.
- Veerendra,S., Rao,S. M., (2005). Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification, *Miner. Eng.*, (18)1412-1420.
- Vonketelhodt, L., (2009). Viability of optical sorting of gold waste rock dumps. World Gold Conference 2009, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Wotruba, H., Riedel, F., (2006). Sensor based Sorting of Metalliferous Ores – an Overview. *Sensorgestützte Sortierung*, Eurogress, Aachen, March 28-30.

## INVESTIGATION OF BRIQUETTING BEHAVIOR FOR CHROMITE AND MAGNETITE CONCENTRATOR TAILINGS

**Ihsan Toroglu, Mehmet Bilen, Dilek Cuhadaroglu, Serdar Yılmaz**  
*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

### Özet

Bu çalışmada kromit ve manyetit tozlarının briketleme özellikleri araştırılmıştır. Kromit ve manyetit numuneleri sırasıyla Karagedik ve Divriği tesislerindeki konsantratörlerden toplanmıştır. Çalışma kapsamında aynı zamanda briketlerin mekanik dayanım özellikleri de araştırılmıştır. Karagedikkromitkonsantratöründen alınan örneğin %51.30  $Cr_2O_3$  içerdiği bunun yanında %15.2FeO içerdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Divriği konsantratöründen alınan manyetit örneğinin %64.2 Fe içerdiği belirlenmiştir. Pilot briketleme tesisinde çeşitli harmanlar denenerek ferrokrom tesisleri için yeterli düzeyde mekanik dayanım değerlerine sahip briketler elde edilmiştir. Bu kromit tozu harmanlarından %88 kromit, %2 kireç ve %10 kömürün olduğu harman en uygun harman olarak belirlenmiş ve bu harmana %12 oranında melas katılımla mekanik dayanımların (aşınma sağlamlığı %80.1 ve düşme sağlamlığı %93.2) ferrokrom tesisleri için uygun düzeyde olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde yüksek fırın için yeterli sağlamlıkta manyetit briketleri için harman yüzdeleri pilot briketleme tesisinde çeşitli harmanlar denenerek belirlenmiştir. Yapılan pilot ölçekli testler sonucunda en uygun harmanın %88 manyetit+%2 kireç ve %10 kömür tozu harmanı olduğu ve bu harmana %14 melas katılarak elde edilen briketlerin mekanik dayanımlarının (aşınma sağlamlığı %85.7 ve düşme sağlamlığı %92.3) yüksek fırın için uygun olduğu gözlemlenmiştir. Kromit ve manyetit toz konsantrasyonlarına ilave edilen katkı maddesinin miktarı ve boyutu arttıkça, briketleme işlemi pilot tesiste sorunsuz yürütülmekte, ancak elde edilen briketlerin mekanik dayanımı düşmektedir.

**Anahtar Kelimeler:**-Kromit atığı, Manyetit atığı, Briket, Pilot Tesis, Mekanik Dayanımı

### Abstract

In this study, briquetting behavior of chromite and magnetite powders was investigated. Chromite and magnetite powder samples were collected from concentrators of Karagedik and Divriği, respectively. In the context of this study, mechanical strength of the briquettes was also investigated. It was determined that the sample taken from the Karagedik chromite concentrator contained 51.30%  $Cr_2O_3$  and 15.2% FeO. Similarly, the magnetite sample taken from the Divriği concentrator contained 64.2% Fe. Various blends were tested in the pilot briquetting plant and briquettes with sufficient mechanical strength values were obtained for ferrochrome plants. Of these chromite powder blends, 88% chromite, 2% lime and 10% coal were determined as the most suitable blend and mechanical strengths (wear strength 80.1% and drop strength 93.2%) were determined to be suitable for ferrochrome plants with 12% molasses. Similarly, blend percentages for magnetite briquettes of sufficient strength for the blast furnace were determined by testing various blends in the pilot briquetting plant. As a result of the pilot scale tests, it was observed that the most suitable blend was 88% magnetite + 2% lime and 10% coal dust blend and the mechanical strength (abrasion strength 85.7% and drop strength 92.3%) of the briquettes obtained by adding 14% molasses to this blend were found to be suitable for blast furnace. As the amount and size of the additive added to chromite and magnetite powder concentrates increases, the briquetting process is being operated with no problem at the pilot plant, but the mechanical strength of the briquettes obtained decreases.

**Keywords:**-Chromite tailings, Magnetite tailings, Briquette, Pilot plant, Mechanical strength.



## Introduction

Total amount of fine chromite gravity tailings in Turkey is around 3 000 000 tons with a significant amount of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  content (9-20 %) (Cicek and Gocen 2002). According to Guney et al (2001), many research has been focused on recovery of chromite from the plant tailings in terms of mineral conservation, utilization and environmental protection. Chromite plant tailings were treated in the multi gravity separator by the researchers (Cicek and Gocen 2002, Ozkan and Ipekoglu 2001, Cicek et al 1998, Belardi et al. 1995) and in the Wilfey table by the researchers (Tripathy et al. 2011). Altin et al. (2018) has investigated the recovery of chromite from plant tailings by vertical ring and pulsating high gradient magnetic separation.

The necessity to grind the ores to finer sizes results in the generation of ultrafines (Arol and Aydogan 2004). According to Arol and Aydogan 2004, although unquestionable way for the concentration of magnetic ores is magnetic separation, there should be an efficient method to recover the ultrafine particles. The authors (Arol and Aydogan 2004) have investigated the effect of proper size enlargement process on the recovery of ultrafine particles in wet low intensity magnetic separation. Arol and Aydogan (2004) has considered polymer flocculation using a natural corn starch was selected as the size enlargement. Rao et al. (Rao et al. 2010, Rao et al. 2012, Rao et al. 2013, Rao et al. 2014, Rao et al. 2016 (a), Rao et al. 2016 (b)) carried out researches on the beneficiation of low-grade and sub-grade iron ores to produced pellet grade concentrate using spiral concentrator, Flotex Density Separator, and Multi Gravity Separator (Rao et al. 2018).

In addition to abovementioned tailings (chromite or magnetite) treatments, briquetting is also an alternative way for agglomeration and size enlargement. There are also industrial methods for agglomeration such as sintering and pelletisation other than briquetting. However sintering and pelletisation have higher capital and operation cost with respect to briquetting.

### Experimental Studies

Briquetting experiments were carried out on the pilot scale briquetting plant with a capacity of 6 tons/h. This briquetting pilot scale plant has a double roll, a silo, a mixer, a feeder, additive tanks and belts for the produced briquettes. This pilot plant is operated at a flow diagram as provided in Figure 1. The produced briquettes from this pilot plant are in the form of eggs. Corresponding representation of the pilot scale briquetting plant is provided with some photos given in Figure 2.

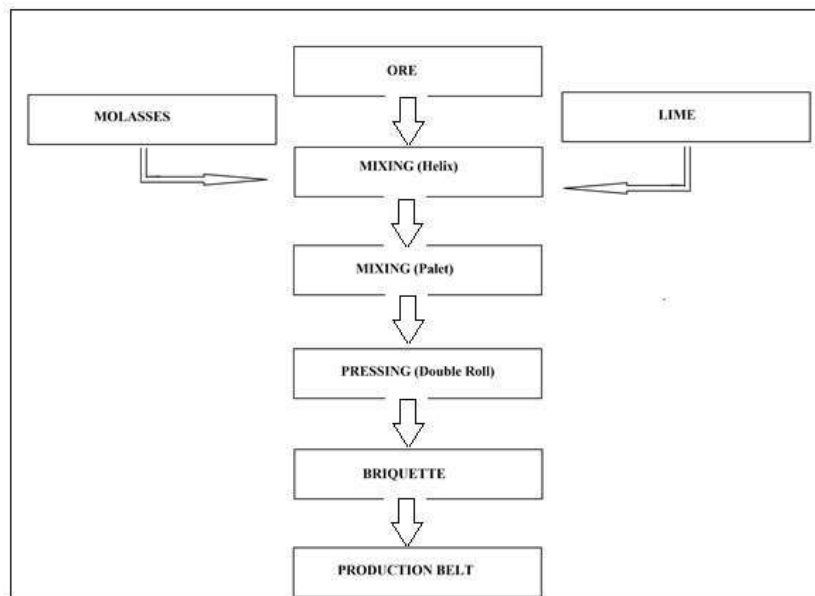


Figure 1. Flow chart of the pilot briquetting plant.

## Material

Briquetting experiments were performed with chromite and magnetite powders. Chromite powders were collected from the Karagedik Concentrator, which is operated by Eti Mine. Powder concentrates were being obtained by shaking tables at the plant. Chromite powders were taken from the shaking table stocks and briquetting experiments carried on these samples without performing any size reduction. Magnetite powder concentrates were taken from Divriği Iron Concentrator. Hematite concentrates were taken from the Erdemir plant which is originally exported concentrates of sintered powders.

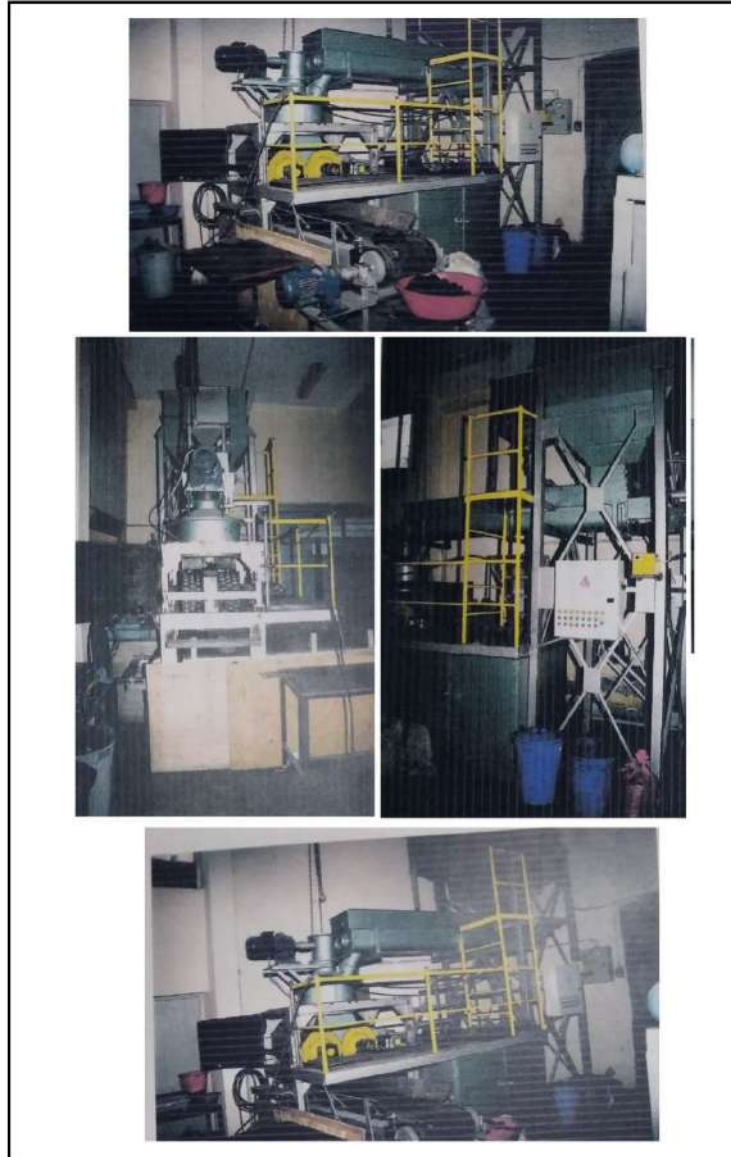


Figure 2. Some photos from the briquetting pilot plant

Coke powder was also taken from the Erdemir plant and this was produced by this company. This coke powder was crushed step by step to below 3.15 mm and 0.5 mm and corresponding experiments were carried out accordingly. Bituminous coal powder is taken from the central coal cleaning plant of Turkish Bituminous Coal Enterprise (TTK) and it was crushed step by step to 3.15 and 0.5 mm. Additive material bentonite was taken from TokatReşadiye and the lime was taken from Bartın Lime Plants. Molasses are taken from Kayseri Sugar Plant and sodium silicate is taken from Mersin Soda Company.

## Briquetting Experiments

Briquetting experiments carried out on the pilot scale plant and conditions regarding to these experiments were arranged previously with some trials on hydraulic press. These trials were carried out to restrict the number of briquetting experiments on pilot plant. Molasses were used as additive material and the corresponding experiments were named as hot briquetting while sodium silicate used ones were named as cold briquetting. Moisture content of chromite and magnetite powders which are used in the briquetting experiments was kept at 5% for each respectively. Both products either from hot or cold briquetting experiments did not have slake durability. However briquetting experiments were carried out to perform mechanically strong products, i.e. wear and drop strength. The rotational speed of the double rolls within the body of pilot plant was kept at 5 rpm. Each run of the experiment resulted as 15 kg of briquette product. These products were kept at laboratory conditions for 24 hours and then they were dried at 105 °C for 6 h. Wear strength and drop strength tests of the briquettes were carried out on the dried samples. As additive material, many alternatives have been considered. However as regards to additive material employed in the pilot plant are as following: lime, coke powder, coal powder, bentonite, hematite powder (-6 mm) concentrate.

Chromite powder blends (coded as KK1...KK8) are prepared as following (corresponding additive type and percentage):

KK1: 98 % chromite powder +2% lime

KK2: 88 % chromite powder+ 2% lime +10% coke powder

KK3: 88 chromite powder+2 %lime+10 %fine coke powder

KK4: 78 % chromite powder+ 2% lime +10% coke powder+ 10 %fine chromite powder

KK5: 82 % chromite powder+ 3% lime +15% coke powder

KK6: 96 % chromite powder+ 2% lime +2% bentonite

KK7: 88 % chromite powder+ 2% lime +10% coal powder

KK8: 88 % chromite powder+ 2% lime +10% fine coal powder

Magnetite powder blends (coded as MK1...MK8) are prepared as following (corresponding additive type and percentage):

MK1: 98 % chromite powder +2% lime

MK2: 88 % chromite powder+ 2% lime +10% coke powder

MK3: 88 chromite powder+2 %lime+10 %fine coke powder

MK4: 78 % chromite powder+ 2% lime +10% coke powder+ 10 % hematite

MK5: 82 % chromite powder+ 3% lime +15% coke powder

MK6: 96 % chromite powder+ 2% lime +2% bentonite

MK7: 88 % chromite powder+ 2% lime +10% coal powder

MK8: 88 % chromite powder+ 2% lime +10% fine coal powder

### Results and Discussion

Chemical analysis results of chromite powder concentrates, magnetite powder concentrates, coke powder, chromite concentrate (-3.15 mm), hematite (-6 mm), coal powder and bentonite are provided in Table 1-7 respectively.

Table 1. Chemical analysis result of chromite powder concentrate.

Component	Amount (%)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51.30
FeO	15.22
MgO	17.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.39
SiO <sub>2</sub>	2.12
CaO	0.14

Table 2. Chemical analysis result of magnetite powder concentrate.

Component	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P	Mn	Cu	S	As
Amount (%)	64.16	3.20	1.14	0.74	0.55	0.05	0.03	0.25	-	1.29	0.05

Table 3. Chemical analysis result of coke powder.

Ash (%)	10.83
Volatile Matter (%)	1.65
Fixed Carbon (%)	88.53
Total S (%)	0.92
Calorific Value	6486 kcal/kg

Table 4. Chemical analysis result of chromite concentrate (-3.15 mm)

Component	Amount (%)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.45
FeO	13.08
MgO	15.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.89
SiO <sub>2</sub>	3.20
CaO	0.38

Table 5. Chemical analysis result of magnetite powder concentrate.

Component	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P	Mn	Cu	S	As
Amount (%)	66.52	2.85	0.95	0.02	0.01	0.02	0.03	0.11	-	-	0.01

Table 6. Chemical analysis result of coal powder

Ash (%)	10.10
Volatile Matter (%)	31.50
Fixed Carbon (%)	68.40
Total S (%)	0.49

Table 7. Chemical analysis result of bentonite (provided from the production company)

Component	Amount (%)
SiO <sub>2</sub>	54.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.82
FeO	5.32

Table 8. Depending on the molasses amount (%) and depending on the sodium silicate amount (%) the corresponding chromite briquettes mechanical strengths

Sample	Molasses Amount (%)	Wear Strength (%)	Drop Strength	Sodium Silicate Amount (%)	Wear Strength (%)	Drop Strength
KK1	8	60.1	77.3	14	63.1	75.6
KK1	10	62.3	78.4	16	65.3	80.6
KK1	12	65.2	82.3	18	68.8	83.3
KK1	14	69.3	84.9	20	69.9	82.4
KK2	8	56.0	60.1	14	57.2	65.7
KK2	10	58.0	68.9	16	59.6	68.2
KK2	12	59.9	78.3	18	64.5	70.8
KK2	14	65.7	79.1	20	67.8	80.3
KK3	8	62.2	73.1	14	62.3	72.0
KK3	10	69.4	79.6	16	67.2	74.0
KK3	12	70.0	83.7	18	69.7	78.8
KK3	14	71.1	88.6	20	72.5	81.3
KK4	8	57.2	66.2	14	50.7	58.6
KK4	10	60.6	72.8	16	58.1	63.0
KK4	12	63.9	74.2	18	59.3	68.2
KK4	14	64.2	78.7	20	60.4	71.5
KK5	8	66.0	82.0	14	50.3	70.6
KK5	10	67.3	83.9	16	59.0	75.3
KK5	12	69.8	85.5	18	68.3	80.6
KK5	14	69.9	86.0	20	72.9	88.8
KK6	8	78.4	82.5	14	70.8	79.7
KK6	10	79.0	83.2	16	77.3	90.7
KK6	12	79.6	85.8	18	80.5	92.5
KK6	14	79.9	87.9	20	82.6	99.4
KK7	8	78.2	88.7	14	67.2	80.1
KK7	10	79.7	88.0	16	70.0	85.2
KK7	12	80.1	93.2	18	73.7	89.1
KK7	14	80.3	97.8	20	74.5	91.9
KK8	8	81.0	88.2	14	60.8	71.5
KK8	10	82.2	89.4	16	63.2	78.4
KK8	12	83.6	90.0	18	68.8	80.5
KK8	14	87.8	90.5	20	70.1	82.7

Other than chemical analysis, sieve analysis for chromite powder, magnetite powder, hematite powder, coal and coke was also obtained, however the corresponding analysis results are not given in this

paper since it is not the main focus presented. Rather, depending on the molasses amount (%) and depending on the sodium silicate amount (%) the corresponding chromite briquettes mechanical strengths are provided in Table 8. Depending on the molasses amount (%) and depending on the sodium silicate amount (%) the corresponding magnetite briquettes mechanical strengths are provided in Table 9.

Table 9. Depending on the molasses amount (%) and depending on the sodium silicate amount (%) the corresponding magnetite briquettes mechanical strengths

Sample	Molasses Amount (%)	Wear Strength (%)	Drop Strength	Sodium Silicate Amount (%)	Wear Strength (%)	Drop Strength
MK1	8	55.2	68.1	14	62.1	74.5
MK1	10	56.2	69.3	16	64.4	76.3
MK1	12	57.6	73.1	18	69.8	80.4
MK1	14	60.6	77.8	20	73.2	80.6
MK2	8	51.1	67.6	14	44.2	67.2
MK2	10	55.3	68.0	16	46.3	69.3
MK2	12	63.4	68.9	18	47.6	70.8
MK2	14	65.9	72.3	20	49.9	72.6
MK3	8	65.2	77.2	14	60.3	77.5
MK3	10	66.1	79.0	16	62.2	78.1
MK3	12	69.2	82.6	18	67.1	84.4
MK3	14	69.6	83.8	20	74.6	88.4
MK4	8	60.9	67.8	14	52.5	60.6
MK4	10	68.0	70.0	16	59.8	67.2
MK4	12	75.7	75.2	18	61.3	68.9
MK4	14	79.6	79.2	20	64.2	69.2
MK5	8	60.0	77.5	14	40.3	69.2
MK5	10	65.5	82.7	16	42.6	70.4
MK5	12	67.2	82.9	18	50.6	77.5
MK5	14	69.1	84.3	20	55.8	80.6
MK6	8	75.6	85.4	14	74.3	80.1
MK6	10	77.2	87.2	16	76.9	83.3
MK6	12	78.3	88.2	18	82.9	90.1
MK6	14	83.5	89.4	20	85.7	92.9
MK7	8	78.0	80.8	14	71.2	82.4
MK7	10	79.2	83.7	16	72.6	88.0
MK7	12	79.5	88.4	18	74.4	89.6
MK7	14	85.7	92.3	20	79.1	95.8
MK8	8	73.2	79.1	14	64.7	74.0
MK8	10	76.7	82.0	16	68.8	77.6
MK8	12	78.6	84.8	18	69.9	78.2
MK8	14	80.0	85.4	20	70.3	80.1

As a result of chemical analysis on concentrates obtained from Karagedik Chromite Concentrator; Chromite concentrate was found to contain 51.30% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 15.22% FeO. As a result of the chemical analyzes performed on the pelletic magnetite concentrate obtained from Divriği Concentrator Plant; Magnetite concentrate contained 64.16% Fe (Table 1 and Table 2). The results of chemical analyzes performed on coke powder are as following: 10.83% ash, 1.65% volatile matter, 88.53% fixed carbon, 0.92% total sulfur and it was found to have a calorific value of 6486 kcal/kg.

Chromite powder blends and molasses were used as binder materials. It was found as 88% Chromite + 2% lime and 10% coal powder the most suitable blend and 12% molasses is added to this blend, the abrasion strength of the corresponding briquettes produced is 80.1% and the drop strength is 93.2%. These mechanical strength values of chromite briquettes can be considered to be sufficient for ferro-chrome plants. As a result of experiments using chromite powder blends and sodium silicate as binder; the most suitable blend consists of 96% chromite + 2% lime and 2% bentonite and 16% sodium silicate is added to this blend. Produced briquette wear resistance is 77.3% and drop strength is 90.7%.

Experiments of magnetite powder blends and molasses as binder resulted as the the most suitable blend with the composition of 88% Magnetite + 2% lime and 10% coal powder. And 14% molasses are added to this above mentioned blend, and the produced briquettes have the wear strength of 85.7% and drop strength is 92.3%. These obtained mechanical strength values of the magnetite briquettes can be considered to be sufficient for the blast furnace. As regards to the results of experiments using magnetite powder blends and sodium silicate as binder, the most suitable blend consist of 88% Magnetite + 2% lime and 10% coal powder. Sodium silicate (20%) is added to this blend and the briquettes produced have 79.1% wear strength and 95.8% drop strength. However, it should be noted that sodium silicate results in an increase of the alkali value in magnetite briquettes.

### **Conclusion**

Nowadays, the most consumed raw material in ferro-chromium plants is large-sized (rosin) chromite concentrate. Low-grade chromite ores are usually milled to below 1 mm and then enriched by gravity methods (jerky table, spiral, cone, etc.). The concentrates obtained are named as chromite powder concentrate. Consumption of chromite powder concentrates as raw material in arc type ferro-chrome plants is quite limited. In order to consume chromite powder concentrates in ferro-chrome plants, increase the grain size is technological requirement. By pelleting and briquetting, the particle size of the chromite powder concentrate can be enlarged. The briquetting work was carried out at pilot plant (specifications of the pilot plant is provided in Experimental Studies Section). In iron and steel plants, raw iron is produced in furnaces called blast furnaces. During the production of crude iron, iron ore (iron ore (-100 + 30 mm), iron ore in the form of sinter and pellets), coke and limestone are the most important raw materials fed into the blast furnace. As regards to iron ore production, iron ore grade is decreasing and the production of magnetite powder concentrate is increasing. The traditional method of agglomeration of magnetite powder concentrates is the pelleting technique. In this study, agglomeration of chromite powder concentrate and magnetite powder concentrate by briquetting technique was investigated.

As the amount and size of the additive added to chromite and magnetite powder concentrates increases, the briquetting process is operated easily at the pilot plant, but the mechanical strength of the briquettes obtained decreases. The mechanical strength values of the briquettes produced on pilot scale should be tested on ferro-chromium and blast furnace scale. It was concluded that pre-reduction process on chromite and magnetite briquettes will increase the mechanical strength values and will also result in an increase on the furnace capacities. Therefore, systematic pre-reduction tests on chromite and magnetite briquettes can be considered to be beneficial.

## References

- [1]. Cicek, T. C. and Cocen, I.; Applicability of Mozleymultigravity separator (MGS) to fine chromite tailings of Turkish chromite concentrating plants, *Minerals Engineering* 15, pp 91–93 (2002).
- [2]. Guney A., Onal G., and Atmaca T, New aspect of chromite gravity tailings re-processing; *Minerals Engineering*, Vol 14. No 11. pp 1527 -1530, 2001.
- [3]. Ozkan S.G. and Ipekoglu B; Concentration Studies on Chromite Tailings by Multi Gravity Separator, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey- IMCET2001,pp 765-768, 2001.
- [4].Cicek, T, Cocen, I and Samanli; (1998), Gravimetric concentration of fine chromite tailings. *Innovation in mineral and coal processing*, pp 731-736, Atak, Onal and Celik (eds), Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- [5]. Belardi. G, Sheau. N, Plescia. P, and Vegilo. F, Recent developments in gravity treatment of chromite fines, *Minerals and Metallurgical Processing*, Aug. 1995, pp. 161-165.
- [6]. Sunil Kumar Tripathy\*, Y. Ramamurthy and Veerendra Singh Recovery of Chromite Values from Plant Tailings by Gravity Concentration, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 10, No.1, pp.13-25, 2011
- [7]. Altın G, Inal S, Alp I, Lekili M.E. Recovery of chromite from processing plant tailing by vertical ring and pulsating high-gradient magnetic separation, *MT BilimselYerAltıKaynaklarıDergisi, Journal of Underground Resources*, Year 7, Number 13, January 2018, pp:23-35
- [8]. G.V. Rao, et al, Beneficiation of BHQ fromBacheli, Bailadila,Chattisgarh, India. XI International Seminar on MineralProcessing Technology (MPT-2010), NML Jamshedpur,December 2010
- [9]. G.V. Rao et al., Process amenability studies of sub grade iron orefromBacheli complex, Bailadila sector, India.XXVI IMPC 2012Proceedings, New Delhi, India. Paper No. 793, pp 1842–1860(2012)
- [10]. G.V. Rao, R. Markandeya, S.K. Sharma, Application of gravitymethods for beneficiation of sub grade iron ore. InProceedingsofXIII International Conference on Mineral Processing Technol-ogy, MPT-2013, CSIR – IMMT, Bhubaneswar
- [11]. G.V. Rao, S.K. Sharma, R. Markandeya, Modeling and optimisation of Multi Gravity Separator for recovery of Iron values fromSub grade Iron ore. InProceedings of XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC 2014), 2014, Santiago, Chile
- [12]. G.V. Rao, R. Markandeya, R. Kumar, Feasibility studies on beneficiation of Sub Grade iron Ore from Deposit 5,BacheliComplex, Bailadila, Chattisgarh using Mozley Mineral Separator.InProceedings of XV International Conference on MineralProcessing Technology, MPT – 2016, TCS- TRDDC Pune during05-01-2016 to 07-01-2016 (2016 (a))
- [13]. G.V. Rao, R. Markandeya, Rajan Kumar, Optimisation of processvariables for Recovery of Iron Values from Sub Grade Iron Oreby using Enhanced Gravity Separation. *Int. J. Eng. Res. Technol.(IJERT)*5(1), 900–909 (2016 (b)).
- [14]. G.V. Rao, R. Markandeya, Rajan Kumar, Feasibility Studies for Production of Pellet Grade Concentratefrom Sub Grade Iron Ore Using Multi Gravity Separator. *J. Inst. Eng. India Ser. D (January–June 2018)* 99(1):63–70.



**Kömür Hazırlama Tesislerinde Kullanılan Sınıflandırma Ekipmanları ve Salıncak Tipi Elek Hakkında Bilgi**  
**Serdar Yılmaz<sup>1</sup>, Bahattin Kurnaz<sup>2</sup>, İhsan Toroğlu<sup>1</sup>, Mehmet Bilen<sup>1</sup>**  
*Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**Özet**

Bu çalışmada kömür yıkama tesislerinde kullanılan boyut sınıflandırma araçları ve bu araçların çalışma prensipleri ile bunların randımanları ele alınmıştır. Kömür yıkama tesis elemanlarının belli tane boyut aralıklarındaki kömürler için etkili ve efektif olduğu bilinen bir gerçektir. Boyut aralığı optimum olmayan bir sınıflandırma yöntemi bir sonraki işlem olan kömürün gravite ayırımında güçlüklerle sebebiyet vermekte ve bu ayırımın (yıkamanın) verimini düşürmektedir. Özellikle ince tane kömür yıkama işlemlerinin istenen yüksek performansı için ince tane sınıflandırma işleminin iyileştirilmesi gerekmektedir. İnce tane sınıflandırma işlemlerinde genellikle su kullanılmaktadır ve kullanılan bu suyun uygun tükenerlerle ve susuzlandırma işlemleri ile geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu bahsi geçen ince tane sınıflandırma işlemlerindeki suyun geri dönüşümü son yıllarda gerek bu su hacminin fazlalığı, maliyeti ve çevresel etkileri açısından daha fazla önem arz etmiştir. Bu kapsamda kömür yıkama işlemleri öncesi yapılacak olan tane boyutu sınıflandırma işlemlerinin iyileştirilmesinin, hem daha temiz kömür üretimi açısından hem de susuzlandırma ve tükener işlemlerinin maliyetlerinin düşürülmesi açısından etkili olacağı düşünülmektedir.

Genellikle boyut sınıflandırmalarını üç ana başlıkta incelemek mümkündür. Bunlar santrifüjle boyut sınıflandırma, hidrolik yöntemlerle boyut sınıflandırma ve eleklerle boyut sınıflandırmadır. Bu çalışma kapsamında bahsi geçen sınıflandırma yöntemlerine ait bilgiler verilecektir. Aynı zamanda Karbomet Madencilik tarafından kullanılmakta olan patentli (Türk Patent Enstitüsü No:TR 2011 04993 B) salıncak tipi elek hakkında bilgiler verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:**-Elek, Kömür Yıkama, Salıncak Elek, Verim

**Abstract**

In this study, classification equipments which are commonly used in coal preparation/cleaning plants and working principles along with their efficiencies are taken into consideration. It is very much of a known fact that coal cleaning process equipments are effective for specific size fractionated coals. Classification method especially if it is not optimized in terms of size distribution would result in difficulties in each process afterwards and basically in gravity separation. Due to abovementioned difficulties, it causes a decrease of the efficiency of coal cleaning at the end. For especially fine coal cleaning desired high performance, improvement in the fine coal classification beforehand should be taken into consideration. Water is employed for the fine coal cleaning purposes and used water should be recycled with proper thickeners or by means of proper dewatering agents. This abovementioned water recycling is gaining importance recently due to the huge volume of water consumption, its cost and environmental constraints. In this context, any improvement regarding fine coal classification before coal cleaning processes not only would help to produce more clean coals but also it has a definite role in terms of cost reduction for the thickener and dewatering processes.

Generally classification in coal cleaning plants are divided into 3 groups: centrifuge assisted classification, hydraulic assisted classification and screens. In this study, these three types of classification methods would be discussed in detail. In addition more emphasis would be given to screens in this context and a brief information about a swing type sieve (screen) which is employed by Karbomet Madencilik with a patent number (Turkish Patent Institution No: TR 2011 04993 B) would be provided.

**Keywords:**-Sieve, Coal Cleaning, Swing type sieve, Efficiency

Son elli yılda ince taneli kömür ayırıcı teknolojilerinden birçok gelişme olmuştur. Bunlara örnek olarak Kömür Spiral Ayırıcı (Coal Spiral Separator), İnce Kömür Ağır Ortam Siklonu (Fine Coal Heavy Medium Cyclone), Geliştirilmiş Gravite Ayırıcı (Enhanced Gravity Separator), Sendeli Yatak Ayırıcı (Teetered Bed Separator), Refluks Sınıflandırıcı (Reflux Classifier) vb. verilebilir (Honaker ve Forrest 2003). Kömür yıkama tesislerinde bir çok süreç kömür tane boyutundan etkilenir ve bu süreçler öncesi kömür tane boyutu sınıflamasının optimum şartlarda yapılması bu süreçlerin ve ekipmanların performansları açısından son derece önemlidir. Kömür gravite ayırıcılarının ayırma performansları da kömür boyut sınıflandırıcılarının optimum şartlarda çalışmalarından oldukça etkilenmektedir. Bahsi geçen sebepler nedeniyle sınıflandırıcılarda yüksek performans beklenmektedir, örneğin kömür spiral ayırıcıları için bu değer 1 mm x 150 mikron boyut grubudur.

Bu çalışmada geniş kapsamda sınıflandırma yöntemleri ve ince tane kömür yıkamaya ait akış diyagramları ele alınarak, Karbomet Madencilik tarafından kullanılmakta olan patentli Salıncak Elek hakkında bilgiler verilmiştir.

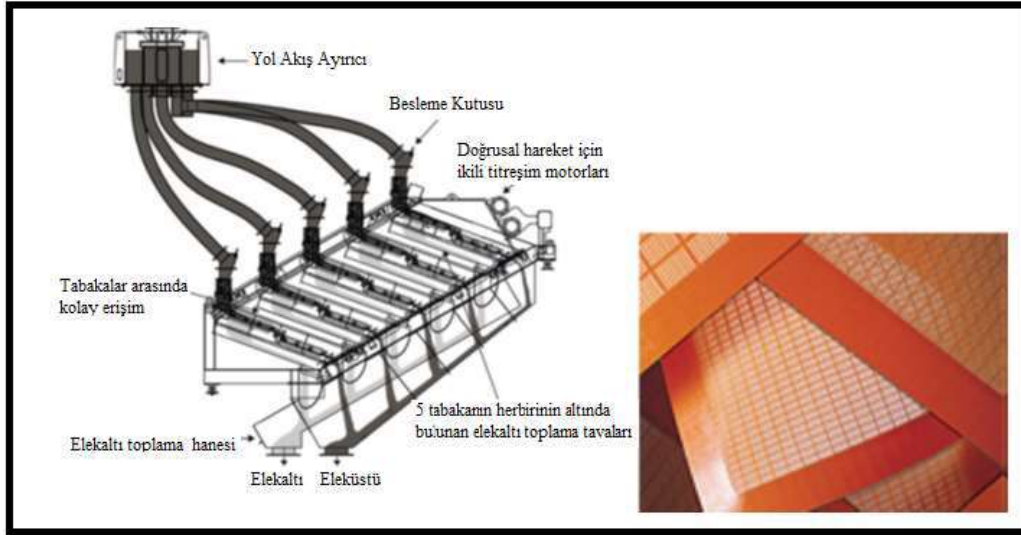
### SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Hidrosiklonlar, en yaygın kullanılan santrifüj sınıflandırma cihazlarıdır. Hidrosiklon, daha iri veya daha büyük kütleli taneleri daha ince veya daha küçük kütleli tanelerden ayırmak için bulamacın girişteki salınım başlangıcının siklonun içinden geçen spiralleş halindeki geçişe dönüştürülmesiyle oluşturulan merkezkaç kuvvetini kullanır. Santrifüj kuvveti altında, daha iri veya daha büyük kütleli taneler silindirik duvarına dışarı doğru hareket eder ve daha sonra aşağı doğru apeks boşluğuna doğru hareket eder. Sıvı ve çok ince ve hafif parçacıkların büyük çoğunluğu merkezkaç kuvveti nedeniyle merkeze çekilir ve daha sonra vorteks bulucu vasıtasıyla taşmaya karşı yukarı doğru zorlanır. Hidrosiklon, yüksek kütle ve hacimsel verim kapasitesi, küçük taban alanı gereksinimi ve nispeten etkili sınıflandırma nedeniyle, uzun yıllar boyunca ince tane kömür sınıflandırması için ilk akla gelen ekipman olmuştur. Siklon yapısal tasarımındaki gelişmelerle birlikte devre (tesis akış diyagramı) tasarımındaki gelişmeler, siklonların boyut sınıflandırma performansını büyük ölçüde geliştirmiştir (Rong ve Naper Munn 2003, Mohanty vd. 2002). Bununla birlikte, sınıflandırma açısından siklonların iki temel sınırlaması vardır. Bunlar *i. hidrolik sürüklenme (ince hafif kömür taneleri ve yoğunluk etkisiyle hareket eden ince yüksek yoğunluklu atık taneler ve ii. akış altındaki ince tanelerin yoğunluk etkisi nedeniyle üst akımda iri hafif ince taneler*. İnce temiz kömür akışıyla hareket eden ince parçacıklar (yüksek kül ultra ince tane kömür = kil) genellikle temiz olarak alınan ürünlerdeki kirletici madde olarak belirir. Bunun yanında iri malzeme akışıyla hareket eden ince veya ince-iri malzeme atık olarak akıştan alınır ve bunların yüzdürme yoluyla etkin bir şekilde kazanılması zordur.

Hidrolik sınıflandırıcılar da ince parçacıklar için boyut sınıflandırma amacıyla kullanılır. Hidrolik sınıflandırıcıların çalışma prensibi, farklı boyutta ve kütledeki katı parçacıkların diferansiyel terminal çökme hızı kavramına dayanır. Düşük sınıflandırma verimliliği ve aynı zamanda geniş taban alanı gereksinimi nedeniyle, kömür yıkama tesislerinde tercih edilen sınıflandırıcılardan değildir.

İnce tane sınıflandırma açısından siklon ve hidrolik sınıflandırıcıların yanında bir de elekler kullanılmaktadır. Elekler kömür yıkama tesislerinde genelde ağır ortamı kömürden ayırmada, susuzlandırmada ve spiral ürünlerinin boyutlandırılmasında kullanılmaktadır. Bulamaç eğimli elek yüzeyinin üzerinde yerçekimi ile akar, burada elek telleri yoğunlukla akışa diktir. İçbükey kavimli elek yüzeyi, ince parçacıkların ve bulamacın katmanlarını keser. Ancak Firth vd. (2012) çalışmalarında eleklerin kömür yıkama tesislerinde daha az verimli, düşük kapaistede çalıştıklarını ve yüksek bakım ve işletme maliyetleri olduklarını belirtmişlerdir. Son zamanlarda geliştirilen elek teknolojileriyle eleklerin 150 mikronda veya daha da ince boyutlarda tatmin edici performansını sınıflandırma sağlayabildiği kanıtlanmıştır. Mohanty vd. (2002) Pansep elek teknolojisini pilot laboratuvarında ve bir Illinois kömür işleme tesisinde değerlendirmişler

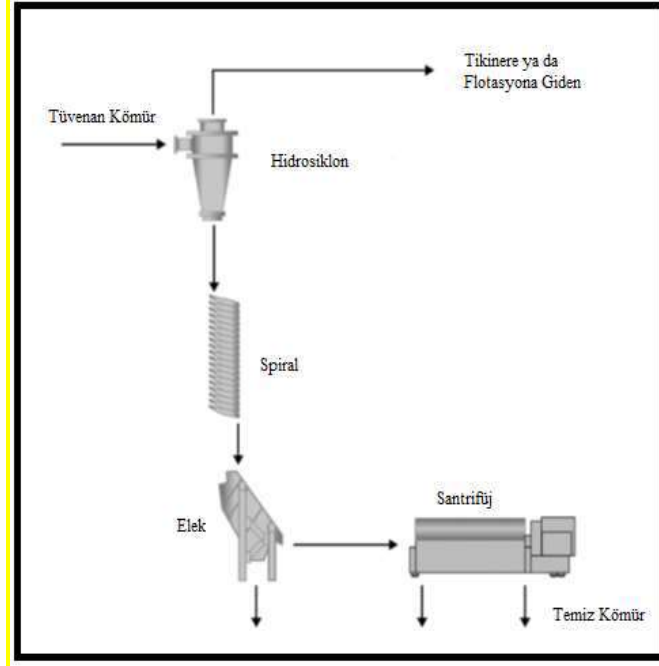
ve deneysel sonuçlarla 45 mikron'luk bir ayırıştırma boyutunda çok iyi elek verimlerinin elde edilebileceğini göstermişlerdir. Bu arada, tanınmış bir elek üreticisi olan Derrick Corporation, Stack Sizer™ olarak bilinen yeni bir ince tane kömür elek teknolojisini ticarileştirdi. Stack Sizer, 1000 ila 45 mikron aralığında Derrick Polyweb™ üreten elek yüzeyleriyle donatılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, Stack Sizer birbirine paralel çalışan çoklu (beşe kadar) elek yüzeyinden oluşur. Derrick Corporation'ın Super G™ titreşimli motorları tarafından elek tabakalarına sağlanan lineer hareket, 15 ila 25 derece arasında bir eğim açısı ile birlikte, yüksek büyüklükte mükemmel eleme verimliliği sağlar. Zhang vd. (2011), 75 mikron ve 100 mikron üreten elek tabakalarını kullanarak bir tesis sahasında Stack Sizer elek teknolojisini başarıyla değerlendirmişlerdir. Adı geçen yazarlar (Zhang vd. 2011) hem 100 mikron hem de 75 mikron (dikdörtgen açıklık) elek tabakaları kullanılarak boyut ayırma işlemlerinde yüksek verim elde edildiği ve kül azaltma sağlandığını belirtmişlerdir (Zhang vd. 2014).



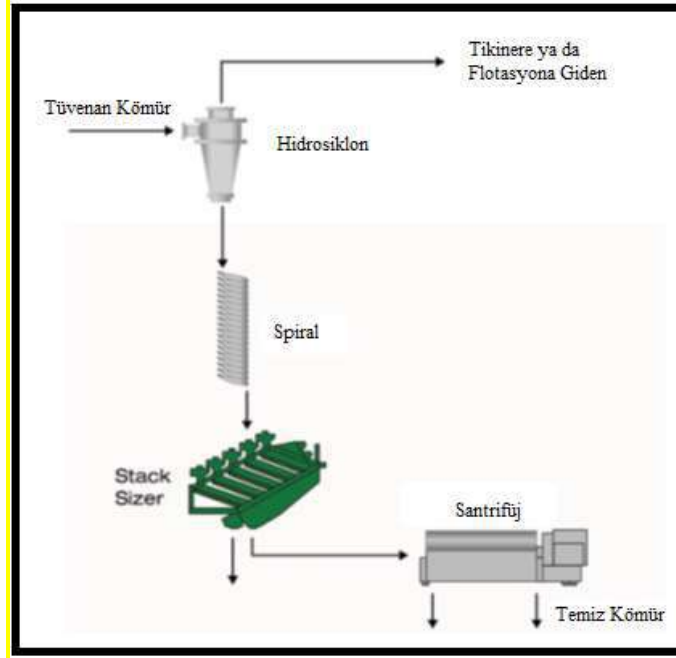
Şekil 1. Paralel tabakalı (5 adet) Izgaralı Sınıflandırıcı (Stack Sizer) şematik gösterimi (Zhang vd. 2014)

### İNCE TANE KÖMÜR YIKAMA AKIM ŞEMALARI

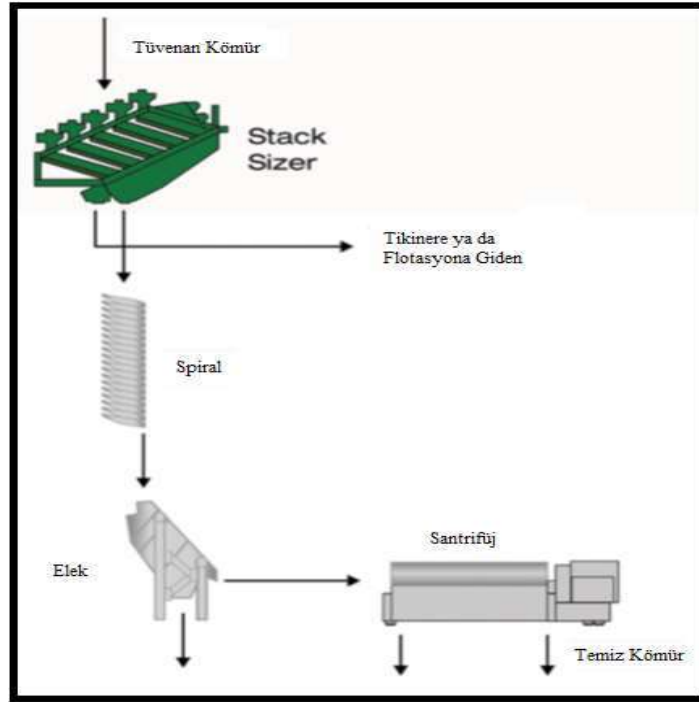
İnce kömür (1mm x 150 mikron) tipik olarak, bir Hidrosiklon-Spiral-Elek oluşan, Şekil 2'de gösterilen akış diyagramı kullanılarak temizlenir. İnce kömür beslemesinden 150 mikron boyutunda bir sınıflandırma elde etmek için siklon kullanılır. Daha ince fraksiyon (<150 mikron) flotasyon veya tükine bir sonraki işlemler için beslenmektedir. 1 mm x 150 mikron büyüklüğündeki kısım, bir gravite ayırıcısı, örneğin bir spiral ayırıcısı kullanılarak temizlenmektedir. Yüksek küllü ultra ince taneleri uzaklaştırmak için spiral ürün 150 mikrona boyutlandırılır. Beslemede çok miktarda yüksek küllü ultra ince taneciklerin varlığı nedeniyle, Hidrosiklon-Spiral-Elek devre ürünü hala bir miktar ultra ince tane içerir ve kül içeriği yüksektir. Bu nedenle günümüzde pek çok ABD ve Çin kömür yıkama tesislerinde Şekil 3'te gösterilen Hidrosiklon-Spiral-Stack Sizer (Izgaralı Elek) oluşan değiştirilmiş bir akış diyagramı kullanılmaktadır. Zhang vd. (2014) çalışmada, bu diyagramla (Şekil 3) sınıflandırma verimliliğinin artırılmasından dolayı, önemli miktarda yüksek küllü ultra ince tanelerin elendiği ve Çin ince temiz kömür ürününde %2-4, ABD ince temiz kömür ürününde %4-10 arasında kül giderimi sağlandığı rapor edilmiştir. Zhang vd. (2014) çalışmada ince temiz kömür yıkaması için Şekil 2 ve Şekil 3'ün yanında iki farklı akış diyagramı daha önerilmiştir. Bunlardan ilki Şekil 4'te verildiği gibi Stack Sizer-Spiral-Elek üçlüsünden oluşan bir akış diyagramıdır. Şekil 5'te verilen Stack Sizer-Spiral-Stack Sizer üçlüsünden oluşan devre de ince tane kömür yıkama işlemlerinde Zhang vd. (2014) tarafından kullanılması önerilen bir akış diyagramıdır.



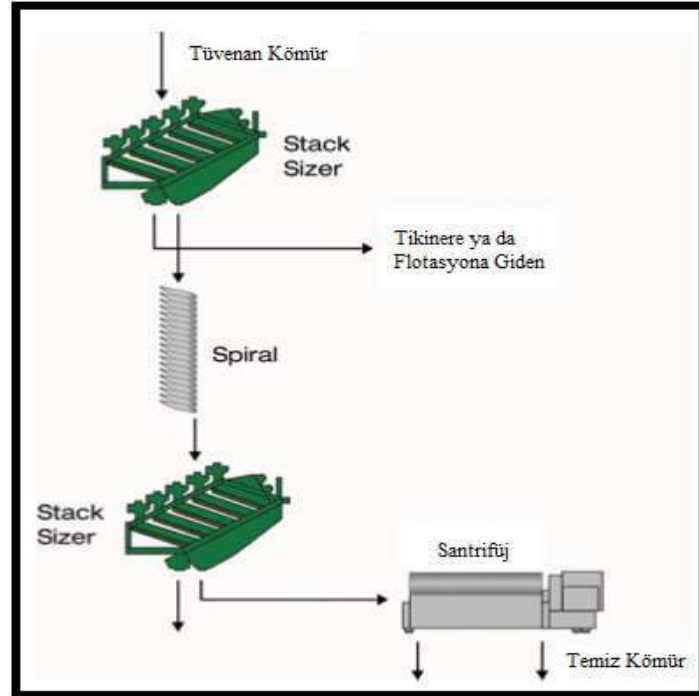
Şekil 2. Hidrosiklon spiral ve elekten oluşan tipik bir ince tane kömür yıkama akış diyagramı (Zhang vd. 2014).



Şekil3. Zhang vd. (2014) tarafından önerilen Iızgaralı Eleğin (Stack Sizer) kullanıldığı modifiye Hidrosiklon-Spiral-Stack Sizer üçlüsünden oluşan ince tane kömür yıkama akış diyagramı.



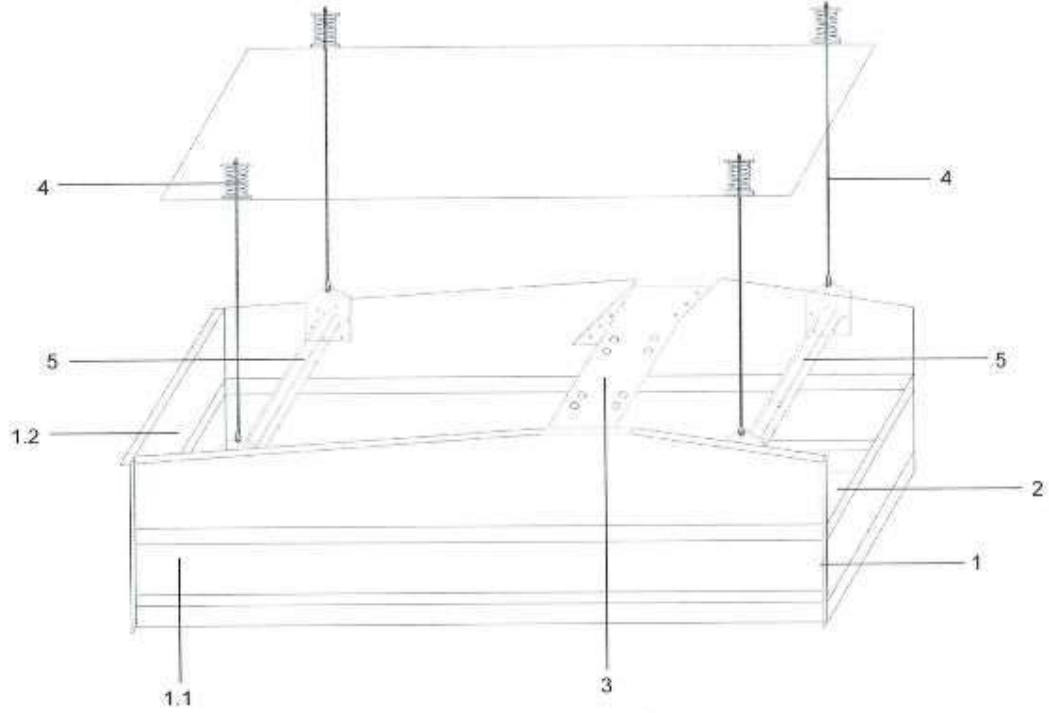
Şekil 4. Zhang vd. (2014) tarafından önerilen Izgaralı Eleğin (Stack Sizer) kullanıldığı modifiye Stack Sizer Spiral ve Elek üçlüsünden oluşan ince tane kömür yıkama akış diyagramı.



Şekil 5. Zhang vd. (2014) tarafından önerilen Izgaralı Eleğin (Stack Sizer) kullanıldığı modifiye Stack Sizer Spiral ve Stack Sizer üçlüsünden oluşan ince tane kömür yıkama akış diyagramı.

## SALINCAK ELEKLER HAKKINDA BİLGİ

Salıncak elek perspektif görünümü Şekil 6'da verilmiştir. Bu eleğin yapısında yan gövde sacı (1.1) ve arka gövde sacından oluşan makine gövde sacı (1) mevcuttur. Bunun yanında, salıncak elekte makine alt yüzey şasesi (2) vibromotor şasesi (3), makine yay ve askı tertibatı (4), makine destek mesnedi (5) kısımları bağlanmış durumdadır (Şekil 6) ve bu elemanları bir arada tutan ve elenecek malzemenin yerleştirildiği makine gövde sacı (1) salıncak eleğin yapısını oluşturmaktadır.



Şekil 6. Salıncak elek perspektif görünümü\*.

\*Makine gövde sacı (1), yan gövde sacı (1.1), arka gövde sacı (1.2), makine alt yüzey şasesi (2), vibromotor şasesi (3), makine yay ve askı tertibatı (4), ve makine destek mesnedi (5) ile gösterilmiştir.

Salıncak elek kömür veya benzeri maddelerin elenmesinde boyutlandırılmasında ve ürünü yıkama amaçlı kullanılan suyu üründen uzaklaştırmada (susuzlaştırma, dewatering) kullanılmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde benzer elekler de bu amaçlarla kullanılmaktadır. Ancak salıncak elek kullanılan diğer eleklerden farklı olarak daha düşük enerji tüketimine ve yüksek performans ve verime sahiptir. Salıncak eleğin avantajlarından biri de işletme ortamında çok az bir yer kaplamasıdır. Ufak ve kolay bir makine olmasından dolayı montaj kolaylığının yanı sıra bakım ve onarım kolaylığı da sunmaktadır. Salıncak elek kömür yıkama tesislerinde %60 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Salıncak elek ile ilgili detaylı bilgi Karbomet Madencilik tarafından alınan patentte (Türk Patent Enstitüsü No:TR 2011 04993 B) verilmiştir.

## DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada kömür yıkama tesislerinde sıklıkla kullanılan boyutlandırma ve sınıflandırma ekipmanlarına ve bunlara ait akış diyagramlarına yer verilmiştir. Çalışma kapsamında ABD ve Çin'deki kömür yıkama tesislerinde günümüzde kullanılmakta olan ızgaralı elekler (Stack Sizer) hakkında bilgi Zhang vd. (2014) çalışmasında rapor edildiği haliyle verilmiştir. Aynı zamanda Karbomet Madencilik kömür yıkama tesislerinde kullanılmakta olan ve patenti Karbomet Madencilik tarafından alınmış olan Salıncak Tipi eleklerden ve bunların yapısından bahsedilmiştir. Elekler özellikle kömür yıkama tesislerinde ve cevher hazırlama tesislerinde prosesin hazırlama kısımlarında görev aldıkları için prosesi olumlu veya olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Eleklerin veya eleme veriminin yüksekliği sürecin gerektirdiği bir sonraki işlemin verimiyle doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda eleme veriminin düşüklüğü işletme maliyetlerini artmasına ve temiz kömür üretim randımanı düşüklüğüne sebebiyet verebilmektedir. Aynı zamanda kömür yıkama tesislerinde ağır ortamın kömürden ayrılmasında ya da susuzlaştırma işlemlerinde de elekler kullanılmaktadır. Bu kapsamlarda düşünüldüğünde elek teknolojilerindeki gelişmelerin güncel tutulması ve kömür yıkama tesislerinde bu güncel teknolojilerin çalıştırılması hem ekonomik açıdan hem de çevre açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında gerek literatüre değinilerek alternatif akış diyagramları üzerinde durulmuş, ızgaralı Elek (Stack Sizer) olarak ticarileşen ürün hakkında bilgiler verilmiş ve aynı zamanda Karbomet Madencilik tarafından kullanılmakta olan patentli Salıncak Eleğe ait teknik özellikler özetlenmiştir. Salıncak elek kullanılarak kömür yıkama tesislerindeki enerji tüketiminde önemli ölçüde tasarruf edilebileceği vurgulanmıştır.

### Kaynaklar

1. Honaker, R. Q., and Forrest W. R. (2003). Advances in gravity concentration. Englewood, Colorado USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration
2. Rong, R., and Naper-Munn T. J. (2003). Development of a more efficient classifying cyclone. Coal Preparation 23: 149–165.
3. Mohanty, M.K., Palit A., and Dube B. (2002). A comparative evaluation of new fine particle size separation technologies. Minerals Engineering 15: 727–736.
4. Firth, B. A., O'Brien M., and O'Brien G. (2012). Fine coal processing—Technical developments in Australia. In Challenges in Fine Coal Processing, Dewatering, and Disposal, eds. M. S. Klima, B. J. Arnold, and P. J. Bethell, 123–136. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
5. Zhang B, Brodzik P., Mohanty M.K. (2014) Improving Fine Coal Cleaning Performance by High-Efficiency Particle Size Classification, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 34:3-4, 145-156, DOI: 10.1080/19392699.2014.869927

## AKIŞKAN HAVA ORTAMINDA KÖMÜRÜN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YENİ BİR CİHAZ TASARIMI

**Mehmet Bilen<sup>1</sup>, Emre Tazegül<sup>2</sup>, Dilek Cuhadaroglu<sup>1</sup>, Serdar Yılmaz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

<sup>2</sup>*Devlet Karayolları Müdürlüğü, Bursa*

### Özet

Havanın süpürme kaldırma ve taşıma özelliği geçmiştenberi değişik amaçlarla kullanılagelmiştir. Nesnelere özgül ağırlıklarına, hacimlerine bağlı olarak farklı hava debilerinden farklı oranlarda etkilenirler. Örneğin rüzgarlı bir havada yere atılan özgül ağırlığı düşük bir nesnenin hareketi hem yerçekimi hem de rüzgarın etkisi altında gelişecektir. Bukapsamda, farklı hava debileriyle oluşturulan ortamda serbest düşmeye bırakılan nesnelere, farklı debi koşullarının kazandırdığı hareket ile daha fazla veya daha az ötelenebilecektir. Kömür hazırlamada kullanılan kuru yöntemler halageliştirilmeye devam edilmekte, düşük kapasite gibi dezavantajların çözümüne çalışılmaktadır. Bu çalışmada, kuru yöntemle zenginleştirme işleminde kullanılabilecek yüksek kapasite ve düşük boyut ve yüksek kontrol kapasitesine sahip bir teçhizat tasarlanmıştır. Tasarlanan donanım bir büyük silindir ve onun içinde kademeli olarak büyüyen silindirlerden oluşmaktadır. Kademeli olarak farklı debilerde hava beslemesiyle kömür ve kömüre eşlik eden safsızlıkların ayrılması hedeflenmektedir. Aynı şekilde geliştirilen cihaz çeşitlicevherlerin zenginleştirilmesinde de alternatif olabilecektir. Tasarlanan bu cihazın optimizasyonu, verimi kapasitesi ve uygulanabilirliği proje kapsamında araştırılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:**-Havalı Kuru ayırma, Kömür Zenginleştirme, Gravite Ayırması, Hava Akımı

### Abstract

Air drag, move and carry force has been widely used for variety of purposes. Particles which are object to different magnitude of airflow tend to move in a different regimes. For example in a windy weather conditions, a low specific gravity particle which is leaved to air from a height moves with the effect of gravity and wind. In this scope, particles in a flowing air tank with different flow meters are moved a part in a different distance as it is very long or very short depending on their specific gravity. Coal preparation Technologies still consider dry beneficiation with air and the capacity problem of dry beneficiation method still keep its validity. In this study, a specific dry beneficiation equipment is designed in order to overcome the problems of low capacity, fine particle size and less control. This equipment is considered as it can be a solution to the above mentioned problems. Designed equipment has either bigger cylinder which consist of smaller one sineach or bigger rectangular prisms with smaller prisms inside. With an increasing flow of air either from top to bottom or from bottom to top, coal particles and some impurities would be placed in different collection tanks. The designed equipment could be an alternative to beneficiate the other type of ores. The objective of this project is to investigate the optimum conditions, efficiency and capacity of this designed equipment.

**Keywords:**-Dry Beneficiation with Air, Coal Beneficiation, Gravity Separation, AirFlow



## Giriş

Kömürün eşlik eden safsızlıklardan ayrılması ve kömürün olabildiğince zenginleştirilmesi gerek ekonomik kaygılar anlamında gerekse çevresel kaygılar anlamında son yıllarda daha da önemli hale gelmiştir. Gelişen teknolojilerle kömür kullanımı, enerji ihtiyacını karşılama noktasında günümüzde önemini korumaktadır ve gelecekte de kömür kullanımının, enerji arzı açısından daha da önem kazanacağı düşünülmektedir. Alternatif enerji kaynakları her ne kadar yaygınlaşmaya başlamış olsa bile artan enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz kalması ve gelişen teknolojilerin kömür kullanımındaki dezavantajları azaltacağı beklentisi, maliyetinin çok uygun olması gibi sebeplerle kömüre olan ilgi azalmayacak, aksine artış gösterebilecektir.

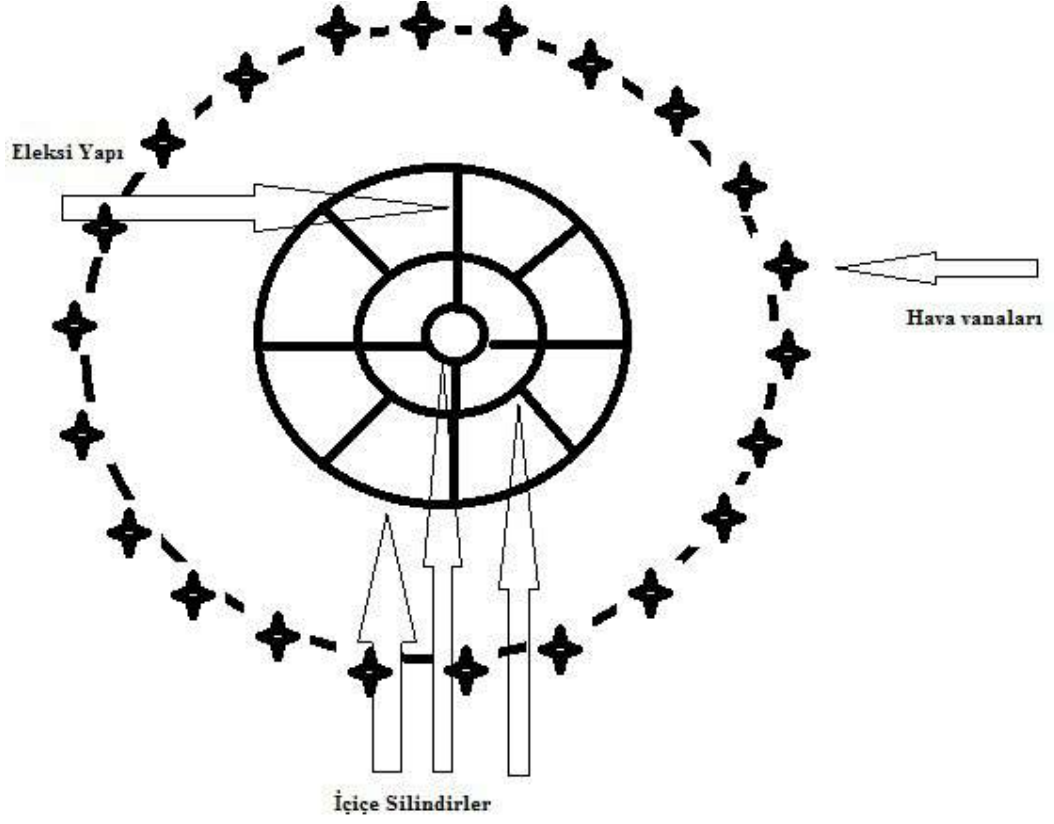
Kömür, maliyet açısından ekonomik bir enerji hammaddesidir. Gelişen kömür kullanım teknolojileriyle kömürden elde edilen enerjinin artmasının yanında, gelişen kömür hazırlama teknolojileriyle daha ucuz ve temiz bir enerji hammaddesi olabilecektir.

Kömür yıkama olgusu kömür ve kül yapıcı kısmın ayrılması esasına dayanır. Kömür üretildiği haliyle genellikle kullanım alanına uygun olmayan yüksek miktarda kül içerir. Kül içeriği lavvar denilen kömür yıkama tesislerinde kül yapıcı kısımların ihtiyaca uygun olacak düzeyde uzaklaştırılmasıyla azaltılır ve piyasaya sunulur. Belli bir maliyetle üretilen kömürün yıkama tesisinde işlemlerden sonra maliyeti artmakta ancak kaliteli ve temiz kömür pazarda daha yüksek fiyatlarla yer almaktadır. Kömür yıkama tesislerinin gerek kullandıkları su itibarıyla gerekse kullandıkları ağır ortam yapıcı malzemeler nedeniyle çevre kirliliği kaçınılmaz olmaktadır. Kömür yıkama işlemi basitçe belli yoğunlukta hazırlanan ortamda kömürün yüzmesi ve kömüre eşlik eden kül yapıcı malzemelerin batması ilkesine dayanır. Ayırmada kullanılan bu ağır ortam farklı şekillerde hazırlanabilmektedir. Örneğin lavvarlarda manyetit kullanılarak ağır ortam hazırlanır ve bu manyetitin geri kazanımı sağlanarak tekrar kullanımıyla maliyet azaltılmaya çalışılır. Laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalarda çinko klorür, kalsiyum nitrat vb. inorganik tuz çözeltileri ve karbon tetra klorür ve bromoform gibi organik ağır sıvılarla oluşturulan karışımlar da kullanılabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla geliştirilmeye kuru ayırma işlemleri akışkan hava ortamı esas olarak kömürle şisti ortam yoluyla ayırma esasına dayanır. Hava kullanılarak geliştirilen kuru ayırma yöntemlerinin yanında Çizelge 1’ de de görüldüğü gibi değişik etkileri kullanan kuru ayırma yöntemleri de geliştirilmiştir.

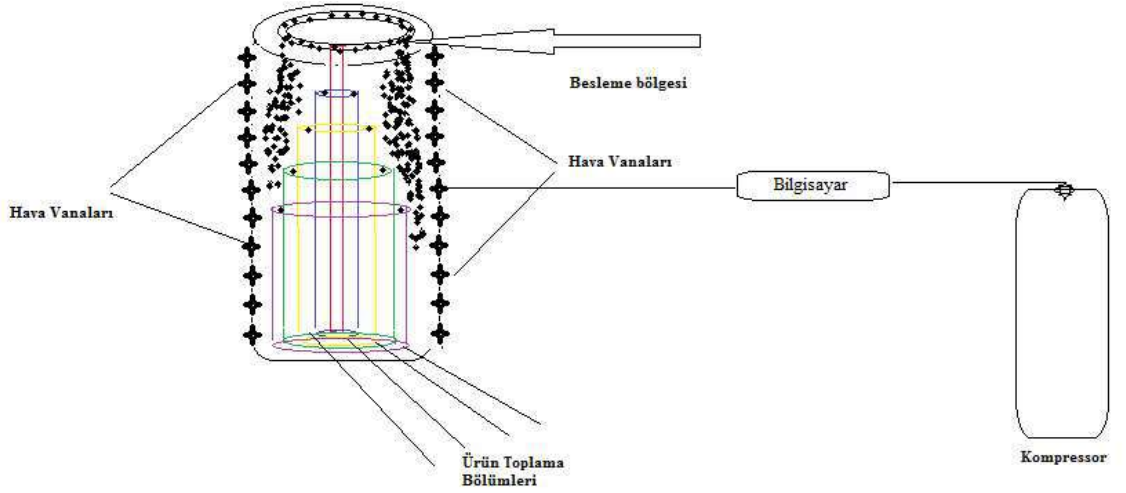
Kömürlerin ağır ortamda hareketlerine yerçekimi kuvveti ve kaldırma kuvveti etki eder. Ağır ortama bırakılan kömür ve şist taneciklerine farklı şekilde bu iki kuvvetin etkimesiyle ayırım gerçekleşir. Cisimlerin hava ortamında serbest düşmeleri incelendiğinde ise cisimlere etki eden direnç (kaldırma kuvveti) ihmal edilebilir (büyük yüzey alanlarına sahip cisimler hariç), ve cisimlerin sadece yerçekimi kuvvetinin etkisinde hareket ettikleri (düşükleri) söylenebilir. Ancak rüzgarlı bir havada serbest düşmeye bırakılan cisim yerçekiminin etkisinde düşme eğilimi kazanırken, rüzgarın şiddetine bağlı olarak yatayda hareket eğilimi kazanabilecektir. Ağır ortamda kömür ve şist parçacıklarına farklı şekilde etkiyen kaldırma kuvveti ve yerçekimi kuvvetine benzer şekilde farklı hava debilerine sahip hava besleyicilerle sarmalanmış bir silindir içinde serbest düşmeye bırakılan kömür ve şist parçacıklarına hava ve yerçekimi farklı bileşke vektörlerle etkiyecektir. Bu çalışmada bahsi geçen esaslara dayalı yeni bir kuru ayırma cihazı tasarlanmış ve uygulanabilirliği tartışılmıştır. Tasarlanan kuru ayırma cihazının üstten ve karşıdan görünümü sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kuru kömür zenginleştirme yöntemleri [1]

Kuru Zenginleştirme Metodu	Alternatif Tipleri	Ayırma Farklılığı	Uygulama Boyutu (mm)
Elle Ayıklama	Ocakta (yerinde) Bant üstünde Döner tablada	Görünüş Renk Yoğunluk	30-300
Optik Ayırma	RhewumDatasort OptosortGmbH Sortex-Z	Görünüş, Renk, Radyoaktivite, Manyetik rezorans, Mikrodalga, NMR- hydrogen	1-250
Eleme (Elekler)	Derric Elek, Metso Elek HeinLehmann	Boyut, Şekil, Ufalanma	0.2-300
Hızlandırıcı	Accelerator	Ufalanma, Esneklik	10-200
Döner Kırıcı	Bradford, McNally	Ufalanma, Esneklik	10-2000
Havalı Masa	APS Masası, 3-S Masası, Berry Masası	Yoğunluk	1-10
Havalı Jig	Airflow jig, Allair jig	Yoğunluk	2-50
Spiral Ayırıcı	Pardee Spirali	Sürtünme katsayısı, Esneklik	2-50
Beresford Ayırıcısı	Beresford masası	Esneklik, Sürtünme katsayısı	10-35
Karma Kuru Temizleme Cihazları	FMC, FX, FGX, Akaflo	Yoğunluk	100-1
Kuru Ağır Ortam Ayırması	Akışkan yataklı ayırıcılar	Yoğunluk	300-0
Manyetik Seperatörler	Yüksek alan şiddetli Düşük alan şiddetli	Manyetik duyarlılık	1-100
Elektriksel Ayırıcılar	Elektrodinamik, Elektrostatik	İletkenlik	2-0



Şekil 1. Tasarlanan Cihazın üstten görünümü.

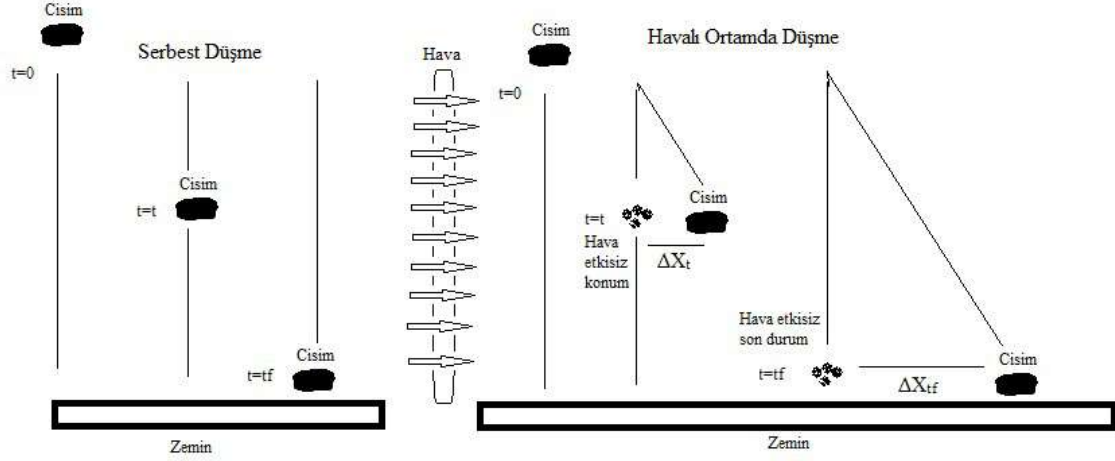


Şekil 2. Tasarlanan Cihazın karşıdan görünümü.

## TEORİ

Hava ortamında serbest düşen malzemelere sadece yerçekiminin etkisi olduğu varsayılabilir. Çok büyük hacimli ve çok büyük yüzey alanlarına sahip cisimler serbest düşerken havanın direncine daha çok maruz kalabilmektedir.

Serbest düşmekte olan bir cisme yatayda basınçlı hava uygulanırsa cisim yerçekimi ve hava basınç kuvvetinin etkisinde yatay ve düşeyde yol alır. Şekil 3’de bu hareket gösterilmiştir.



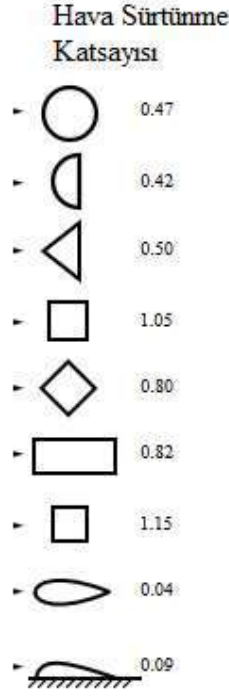
Şekil 3. Cisimlerin serbest düşmedeki ve yatay hava beslenen ortamdaki hareketleri

Şekil 3’de de görüldüğü üzere cisimlerin yatayda yol almasına yataydan etkiyen hava şiddeti sebep olmuştur. Serbest düşmenin süresi uzadıkça, mesafe arttırdıkça, beslenen havanın şiddeti fazlaştıkça ve cismin yoğunluğu azaldıkça yatay yer değiştirme ( $\Delta X_t$  ve  $\Delta X_{tf}$ ) mesafeleri artacaktır. Yatayda alınan mesafeyi beslenen havanın şiddetinin arttırdığı gerçeğinden hareketle yukardan aşağıya sıralanan farklı şiddetli hava beslemesiyle taneciğin zamanla yatayda aldığı yol fazlaştılabilecektir. Böylece farklı özgül ağırlıklara sahip cisimlerden oluşan karışımlar farklı alınan yatay mesafe farkından ayrılabilir.

Havanın uyguladığı kuvvet cismin havaya maruz kalan projeksiyon alanıyla ilgilidir. Cisimler düşerken etkiyen hava sürtünme kuvveti ( $C_D$ : dragcoefficient-sürüklenme katsayısı) eşitliğine benzer şekilde havanın yatayda etkiyen kuvveti benzer eşitlik (Eşitlik 1) faydasıyla bulunabilir.

$$c_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (1)$$

Verilen eşitlikte havanın sürüklenme katsayısı  $C_D$ , sürüklenme kuvveti  $F_d$ , cismin özgül ağırlığı  $\rho$ , cismin akışkan ortama göre hızını  $u$  ve etkiyen yüzey alanını  $A$  ile sembolize edilmiştir. Örneğin, küre bir cismin yüzey alanı  $4\pi r^2$  yerine, projeksiyon alanı olan dairenin yüzey alanı olan  $\pi r^2$  alınmalıdır. Sürtünme katsayıları farklı cisimler için ölçülmüş ve Şekil 4’de ölçülen sürtünme katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 4. Farklı şekiller için ölçülen Hava Sürüklenme Katsayıları (DragCoefficients) [2]

Eşitlik (1) kullanılarak cisimlere etkiyen farklı hava besleme hızlarında hesaplanabilir. Şekil 4’de verilen ölçülmüş hava sürtünme katsayıları cisimlerin belirtilen şekillere sahipken elde edilen sabit sayılardır ve etkiyen alan ok ile işaret edilmiştir. Tasarlanan sistem için de farklı şekilli taneler için ok yönündeki yüzey havaya maruz kalan yüzey olarak alınacak ve hesaplamalar ona göre yapılacaktır. Hesaplamalar yapılırken kömür taneciklerinin şekillerinin Şekil 4’de gösterilen hiçbir şekle benzemeyeceği ve varsayım yapılacağı unutulmamalıdır. Örneğin dar tane boyut grubunda olan kömür tanecikleri küre olarak düşünülebilir ve  $C_D$  0.47 olarak alınabilir. Hava şiddetinin ayarlanmasıyla ve havanın hızının cismin havaya göre ters yönlü hızına eşit olacağı düşünülmesiyle ve cismin yoğunluğunun bilinmesiyle ve etkiyen yüzey alanının varsayımıyla Eşitlik (2)’de tek bilinmeyen  $F_d$  olacaktır.

$$F_d = \frac{c_d \rho v^2 A}{2} \quad (2)$$

Kuvvetin hızla ve hızında yer değiştirmeye ilişkisi bilinmektedir. Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanan kuvvetler cisimler üzerinde ivmeye, hız kazanmaya ve yer değiştirmeye sebep olacaktır. Eşitlik (3) hesaplanan kuvvetin, cisimlerin yatayda havanın etkisiyle sonuçlanacak yer değiştirmelerinin hesaplanma yolunu göstermektedir.

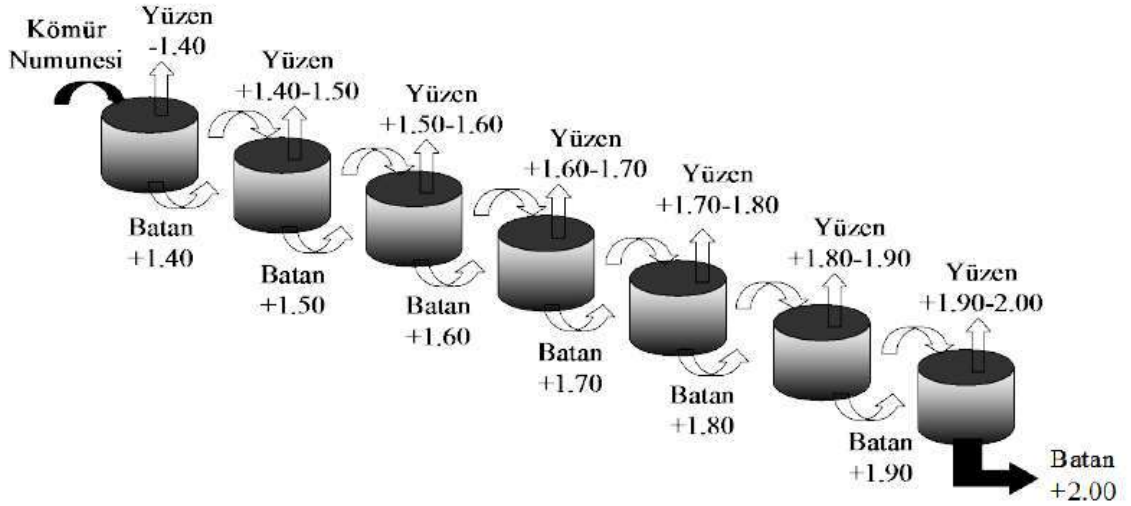
$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad \Delta X = \mathbf{v}t \quad (3)$$

Eşitlik (3)’de verilen formüller kullanılarak daha önce hesaplanmış olan kuvvet, taneciğin tahmin edilen kütlelerini ne kadar ivmelendireceğini ve bu ivmenin serbest düşme süresince cismi ne kadar bir hızla

ulaştıracağı ve bu hızında cisimde ne kadarlık bir yer değiştirme meydana getireceği kolay bir şekilde hesaplanabilir.

Dolayısıyla farklı hava şiddetlerinin etkisiyle farklı mesafelere ötelenmiş olan kömür ve şist tanecikleri kolay bir şekilde ayrılabilir. Bu ayırım için tasarlanan sistemde serbest düşme ekseninden farklı uzaklıklarda iç içe silindirler kullanılacak ve kömür taneciklerinin birikmesi beklenen silindirle, şist taneciklerinin birikmesi beklenen silindir farklı olacaktır.

Tasarlanan sistem, farklı yoğunluklarda yüzdürülen kömür şist karışımının birbirinden belli bir verimle ayrılabilmesi esasına dayanır. Hangi yoğunluğun hangi hava debileriyle elde edileceğinin deneysel olarak araştırılması ve belirlenmesiyle, yüzdürme batırma deneyleri ile ilişki kurulabilecektir. Şekil 5'de yüzdürme batırma deneylerinin şematiği gösterilmektedir.

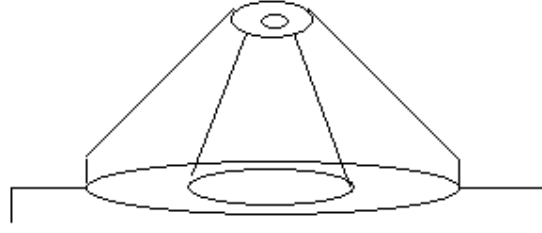


Şekil 5. Yüzdürme batırma deney akış şeması [3]

Şekil 5'de de görüldüğü gibi, kömürde yüzdürme batırma deneyleri farklı yoğunluklarda kömürün yüzdürülerek alınması ve batan kısmın ise bir üst yoğunluğa beslenmesi şeklinde gerçekleştirilir.

Farklı hava debileriyle sağlanacak farklı hava kuvvetinin etkisinde kömür tanecikleriyle şist tanecikleri yatayda değişken mesafeler izleyecektir. Tasarlanan sistemde yukardan aşağıya doğru artan hava debisinin etkisiyle, yoğunluğu daha düşük tanecikler ilk silindirle içinde olan silindirin arasına düşecek, daha yüksek yoğunluklu tanecikler ise düşeyde daha fazla alarak daha büyük silindir aralarından toplanabilecektir.

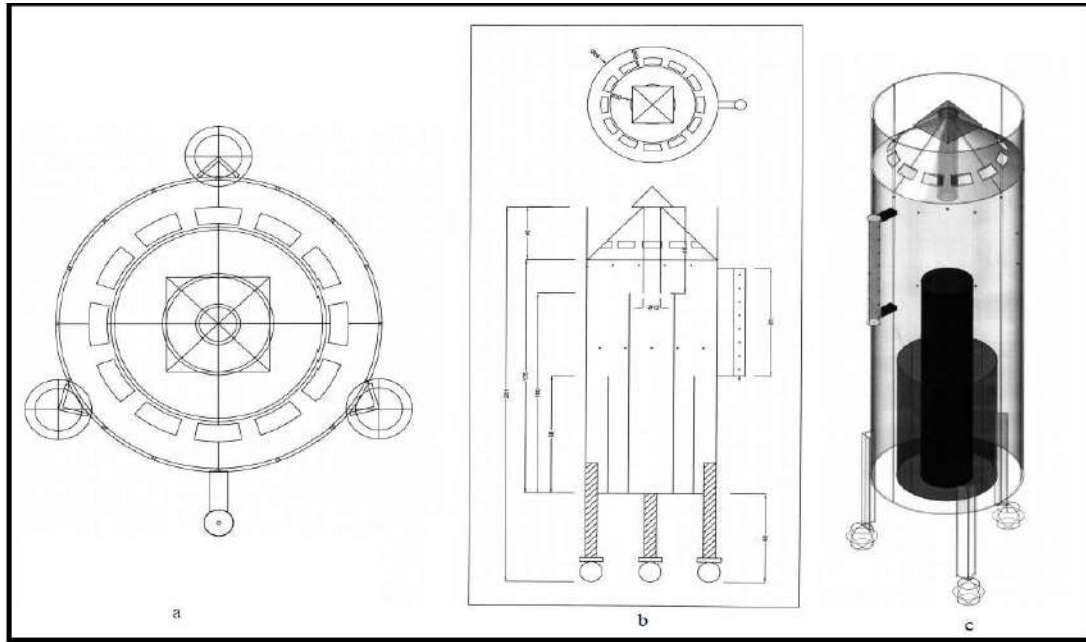
Deneysel çalışmaların gerçekleşmesiyle sistem daha da iyileştirilebilecek ve verimli ayırma için gerekli silindir çapları, hava hızları, besleme bölgesi belirlenebilecektir. Tasarlanan sistem besleme bölgesi olarak da ayrı bir değişken parametreye sahiptir. Besleme iç içe geçmiş iki koni aracılığıyla yapılarak tasarlanan sistemin üstten kapatılması düşünülmektedir. Besleme bölgesine ait farklı çaplarda iç içe geçmiş koni şeklindeki kapaklarla, ve silindir yüzeylerinin havanın hızını ve çarpan taneciklerin hızını absorbe edecek materyal ile kaplanmasıyla sistem daha efektif olarak kullanılabilir. Besleme bölgesine ait tasarlanan iç içe geçmiş koni kapak Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Besleme bölgesi kapağı.

Şekil 6'da gösterilen besleme bölgesi kapağı hem sistem içinde meydana gelecek tozun dışarı çıkmasını engelleyecek hem de farklı çaplardaki iç içe geçmiş koniler sayesinde kapasite-verim istenilen ölçüde arttırılabilecektir.

Bu tasarlanan cihaz özel yapım olarak üretilmiştir. Tasarım görselleri ile yapım aşamasındaki görselleri Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Tasarlanan havalı ayırıcıya ait tasarım görselleri (a: üstten görünüm, b: karşıdan iki boyutlu görünüm, c: 3 boyutlu model görünümü)

### Değerlendirme

Kuru kömür zenginleştirilmesi farklı bir bakış açısı katabilecek bu tasarım ile kömür zenginleştirme maliyetlerinin düşmesi, gerek kimyasal kirlilik gerekse aşırı su tüketimi engellenebilecektir. Fiziksel zenginleştirme esaslı tasarlanan bu sistem farklı cevherlerde de uygulanabilecek ve farklı cevherler için sistemin değişken parametreleri optimize edilerek verim değerlendirilebilecektir. Tasarlanan bu sistemin çalışma parametrelerinin optimizasyonu sonrası endüstriyel uygulama potansiyeli değerlendirilecektir. Tasarlanan sistemde kapasitenin sınırlı olabileceği düşünülse de bu problem kısmen besleme bölgesi haznesi sayesinde aşılabilecektir. Ancak kapasitenin arttırılması durumunda her sistemde olduğu gibi verim düşüşü gerçekleşebilecektir. kömür taneciklerinin şist taneciklerine çarpmasıyla ya da şist

taneciklerinin kömür taneciklerinin hareketine etkisiyle kömür beklenen bölmelerde şist karışımı mümkün olacaktır. Kapasite ve bölmelerden alınmak istenen tenör ile birlikte düşünülerek optimizasyon sağlanacaktır.



Şekil 8. Tasarlanan havalı ayırıcıya ait görseller.

#### Kaynaklar

- [1] Hacıfazlıoğlu H (2012) Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemlerinin Tanıtılması ve Bazı Türk Kömürlerinin Temizlenmesi için FGX Cihazının Denenmesi, Madencilik, Cilt 51 Sayı 2-3, s.29-42
- [2] URL-1 <[http://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient)>
- [3] İlgin K, Çinku K, Demir İ, Güngören C, Terzi M (2015) Kömür Yüzdürme Batırma Deneyleri-Kömür Hazırlama Dersi, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Ders Notları.



## BORON ORE GRINDABILITY AND PREDICTION THE SPECIFIC RATE OF BREAKAGE

Serdar Yilmaz

*Department of Mining Engineering, Zonguldak Bülent Ecevit University,  
67100, Zonguldak, Turkey  
serdaryilmaz@beun.edu.tr  
\*Corresponding author*

### Özet

Bu çalışmada, bor cevherinin öğütülebilirliği incelenmiştir. Değirmen dönme hızı ve öğütme ortamı şekli (küresel veya silindirik) bor cevherinin öğütülebilirliği açısından dikkate alınan parametreler olarak çalışılmıştır. Çalışılan örnek Emet kolemanit cevheridir. Dönme hızının etkisi, çeşitli dönme hızlarında, yani 50, 57, 60, 65 ve 70 rpm'de deneyler yapılarak araştırılmıştır. Buna karşılık gelen yukarıda belirtilen dönme hızları, standart Bond değirmenin kritik hızının sırasıyla% 65,% 75,% 80,% 85 ve% 90'ı olarak uygulanmıştır. Değirmen dönüş hızı arttıkça spesifik kırılma oranlarında değişim gözlenmiş ve bunun çoğunlukla cevher boyutuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. Spesifik kırılma oranı aynı büyüklükteki cevher grubundaki rotasyon hızı arttıkça artmaktadır. Tüm boyut fraksiyonları için, dönme hızındaki artış, üründe ince parçacık birikiminin (ince parçacık boyutu dağılımı) artmasına neden olmuştur. Ek olarak, daha küçük boyut gruplarında spesifik kırılma oranının öngörülmesi için yeni bir yöntem bu çalışma kapsamında önerilmiştir. Önerilen bu yeni yöntem matematiksel olarak kırılma hızının tahmininde kullanılabilecek ve değirmen modellemelerinde başvurulacak bir araç olabilecektir.

### Abstract

In this study, grindability of boron ore was investigated. Mill rotations speed and grinding medium shape (either cone or cylindrical) are the parameters considered in terms of grindability of boron ore. Sample studied was collected from Emet Colemanite Mine. Effect of rotation speed was investigated by performing experiments at various rotation speeds, i.e. 50, 57, 60, 65 and 70 rpm. Corresponding abovementioned rotation speeds were the ones that of 65 %, 75 %, 80 %, 85 % and 90 % of the critical speed of the standard Bond mill respectively. Change in specific breakage rate was observed with increasing mill rotation speed and it was found out the fact that this mostly depends on the ore size. Specific breakage rate increase with increasing rotation speed within the same size group of ore. And for all size fractions, increase in rotational speed resulted in an increase of fine particles accumulation (fine particle size distribution) in the product. In addition, a new method for the prediction of specific rate of breakage in finer size groups was proposed. This new method proposed employs size parameter, rotational speed and grinding media shape along with a reference rate of breakage.

**Keywords:** Boron ore grindability, Specific breakage rate, Grinding medium shape, Mill, Rotation Speed, Modeling.

**Introduction**

Boron minerals contains various amount of  $B_2O_3$  molecules and there are more than 150 minerals associated with these molecules in nature. However economically boron minerals are compounded with calcium, sodium, and magnesium within hydrate forms. Some of the economically valuable boron minerals are as following: tincal, colemanite, ulexite, probertit, borasit, pandemit, szyabelit, hidroborasit and kernit. Sodium based ones are called as tincal, calcium based ones are called as colemanite and sodium-calcium originated ones are called as ulexite (Taşçı 1993). Economical boron minerals are presented in Table 1.

Table 1. Economically valuable main boron minerals (URL-1).

Mineral	Formulization
Tincal	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Ulexite	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$
Colemanite	$CA_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$

Although Turkey meets the 59 % of the total boron based production of all over the world and it corresponds to 4.1 billion tones in 2018 (URL-2). However in order to produce boron based products from raw materials or minerals (as presented in Table 1) crushing and size reduction is the first steps to be taken into consideration. Milling or size reduction processes are always a must in mineral industry in terms of not only liberation but also preparation for the upcoming processes. However as regards to the size reduction, mills are crushers are equipped with some grinding media to have higher rates of size reduction and low cost of energy consumption. This is the main purpose for each initial material handling processes, since this milling and prior handling processes consume up to 53% (Yilmaz 2019, Silva and Casali (2015)) and communiton was referred by the authors Silva and Casali (2015) as the largest energy consumer in mining. Yilmaz (2019) explained the fact that amount up to 1% of the world gross generation (80 TWh) of electrical energy corresponds to mills' energy consumption (Ozer and Whiten, Yilmaz 2019).

Specific rate of breakage or specific breakage rate can be refered as the material characteristic along with the grinding environment specification. Specific breakage rate is independent of the parameters as mentioned in the following: Mill perimeter (Malgham and Fuerstenau 1976), ball density (Kelsall et al. 1973), mill filling ratio (Malgham and Fuerstenau 1976, Herbst J. A. and Fuerstenau D. W. 1972), material filling ratio (Shoji et al. 1980, Kelsall et al. 1968 and 1969, Mika et al. 1967), and mill rotation speed (Austin et al. 1984). Specific rate of breakage can be assumed to be linear at the first steps of grinding and later the slope of the rate of breakage happens to be decreasing. This can be better understood with a figure as illustrated in Figure 1.

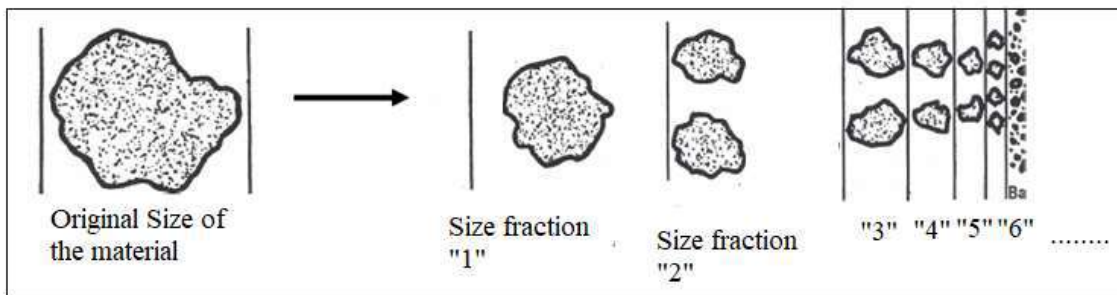


Figure 1. Specific rate of breakage tends to be decreasing as size fraction gets finer (Yıldız 1999).

Referring to Figure 1, original sized material at initial steps of size reduction has higher specific rate of breakage and then after step by step rate of breakage is decreasing. This is mainly the material characteristic but this trend is inevitable for all materials. Finer the size distribution of the feed material lower the specific rate of breakage in any grinding environment, as expected and observed in all cases.

However during any milling, for a previously determined size groups, different specific breakage rates can readily be observed. That is why it can be suggested here the fact that specific rate of breakage is a function of grinding environment specifications and the nature of the material grindability.

In this study, boron mineral colemanite was used to assess the characteristics of grinding depending on the mill rotational speed and the grinding media shape. Initial feed size distribution of the ore was also taken into consideration in order to better understand the nature of the colemanite ore grindability and grinding kinetics. In addition to these abovementioned considerations, prediction of specific rate of breakage in terms of grinding medium shape, rotational speed and size group was proposed with an employment of a reference specific rate of breakage. The proposed prediction method of specific breakage rate would be a useful tool to evaluate parameter contribution and would help one to optimize the grinding conditions for ultrafine grinding in specific.

### Material and Method

Colemanite samples (boron mineral) were taken from the ETI Mine Emet plant which is operated in Kutahya Turkey. Sample collected from the plant was about 300 kg and it was crushed to size fractions (-425+300 $\mu$ m, -300+212 $\mu$ m and -212+150 $\mu$ m). The sample collected was firstly analyzed in terms of its chemical composition. Chemical analysis result of the sample collected is provided in Table 2.

Table 2. Chemical analysis result of boron ore sample collected.

B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)
29.40	11.05	5.75	1.70	17.05	2.95	1.48

Grinding experiments were carried out as in the same methodology presented in the study by Cuhadaroglu et al. (2008). And same procedure (Cuhadaroglu et al. 2008) was applied to this study in order to get the specific rates of breakages. Laboratory mill was utilized in this study as well as Cuhadaroglu et al. (2008) and grinding conditions are provided in Table 3 (Cuhadaroglu et al. 2008).

The corresponding laboratory mill was concerned once again in this study. Likewise, cylinders and balls (grinding media) have the same physical properties as presented in Cuhadaroglu et al. (2008) study (refer to Table 2 of Cuhadaroglu et al. 2008 study for further information about cylinders and balls). This study is actually the numerical evaluation of specific rate of breakage and understanding the differentiation of it with respect to initial size group variation, at various mill rotational speed with two differently shaped grinding media.

### Results and Discussion

In the following tables (Table 4 and Table 5), the specific breakage rates for different rotational speed and different size groups are provided. Mill rotational speeds were chosen as the ratio of mill critical speed and 5 different percentage of this critical speed were employed in this study (65%, 75%, 80%, 85%, 90% of the critical speed  $N_c$ ).

Table 3. Grinding conditions employed for the laboratory mill, repeated after Cuhadaroglu et al. (2008).

<b>Mill</b>	Diameter, $D$ , (cm)			30.5
	Length, $L$ , (cm)			30.5
	Volume, $V$ , (cm <sup>3</sup> )			22270
	Critical Speed, $N_c$ , (rpm)			76
	Speed of grinding chamber, ( $\phi c$ ), (% of $N_c$ )			65, 75, 80
	Fractional ball filling, $J$			0.19
<b>Material Charge</b>	Material			Colemanite
	Specific gravity			2.42
	Powder weight, (g)			1500
	Powder filling volume fraction, $f_c$			0.046
Powder-ball loading ratio, $U$			0.6	
<b>Grinding Media</b>	<b>Cylinders</b>			
	Dimension (mm)	Number	Total Weight (g)	Surface Area (cm <sup>2</sup> )
	36.50 × 36.50	30	8958.0	1882.50
	30.10 × 30.10	45	7623.0	1920.15
	25.40 × 25.40	7	704.1	212.73
	19.05 × 19.05	48	2040.0	820.32
	12.70 × 2.70	64	800.0	485.76
	Total	194	20125.1	5321.46
	<b>Balls</b>			
	Dimension (mm)	Number	Total Weight (g)	Surface Area (cm <sup>2</sup> )
	36.50	45	8928.0	1882.35
	30.10	69	7721.1	1963.05
	25.40	10	668.0	202.60
	19.05	71	2002.2	809.40
12.70	97	805.1	490.82	
Total	292	20124.4	5348.22	

Table 4. Specific breakage rates at various mill rotational speed and different size groups.

<b>Specific Breakage Rates</b>					
Size Group ( $\mu\text{m}$ )	Mill Rotational Speeds				
	65%	75%	80%	85%	90%
	0.65 $N_c$	0.75 $N_c$	0.80 $N_c$	0.85 $N_c$	0.90 $N_c$
-425+300	0.3498	0.3758	0.3838	0.4169	0.4196
-300+212	0.2687	0.2817	0.3031	0.3406	0.3648
-212+150	0.2206	0.2290	0.2412	0.3474	0.3590

Table 5. Specific breakage rates at various mill rotational speed and different size groups for different shaped grinding media (ball, cylinder).

Specific Breakage Rates						
Size Group ( $\mu\text{m}$ )	65%		75%		80%	
	$0.65N_c$		$0.75N_c$		$0.80N_c$	
	Ball	Cylinder	Ball	Cylinder	Ball	Cylinder
-425+300	0.3498	0.4031	0.3758	0.4286	0.3838	0.4550
-300+212	0.2687	0.2976	0.2817	0.3070	0.3030	0.3146
-212+150	0.2206	0.2451	0.2290	0.2891	0.2412	0.2912

Different specific breakage rates were obtained during milling with employing different shaped grinding media. However as it can be easily observed from either Table 4 or Table 5, specific breakage rates show a decrease as the size group (feed) gets finer. This is valid at each mill rotational speed values and for each grinding medium type (ball or cylinder). This is better represented in figures (Figure 2 and Figure 3).

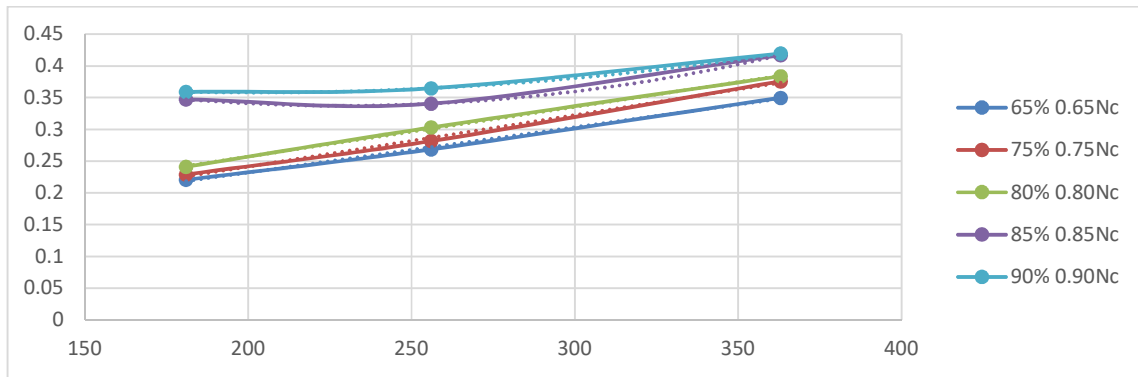


Figure 2. Specific breakage rates with respect to average particle size (feed) and mill rotational speeds.

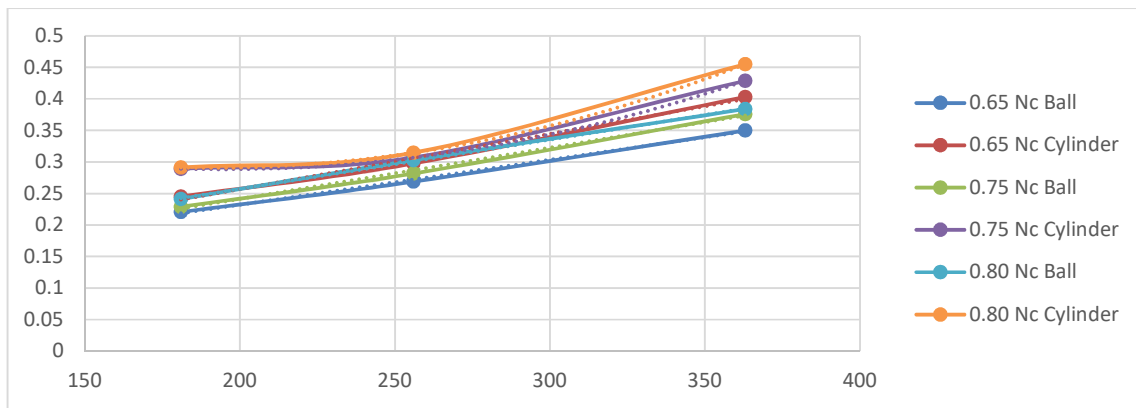


Figure 3. Specific breakage rates with respect to average particle size (feed) at different mill rotational speeds for different grinding medium type (ball or cylinder).

Although experiments were carried out for 3 different size fractions, the manner of specific breakage rates can be understood. For example, for 85% or 90% of critical rotational speeds of mill, the specific breakage rate increase in an exponential way as it shows more of a linear trends for slower speeds of mill, i.e. 80 % and the lower percentage of critical speeds.

### Proposed Model and Validation

In this study, mathematical expression were proposed in order to have initial estimates of specific breakage rates. These abovementioned mathematical expressions are actually the corresponding breakage function of the mill studied. The idea behind these mathematical expressions are the trends observed for the average particle size and the mill rotational speed. And some correction factor was introduced into the expression for the grinding medium shape. Proposed mathematical expression is as following:

$$SBR = C_1 \cdot \ln(AS * MRS) + C_2$$

Here SBR stands for specific breakage rate, AS stands for average size, MRS stands for mill rotational speed and  $C_1$  &  $C_2$  stands for constants. However this mathematical expression is valid for low mill rotational speed with just constant number of  $C_1$  and  $C_2$ . This expression should be modified as regards to constant  $C_1$ , and it should be a function of mill rotational speed as well. Here linear expression could also be employed for mill rotational speeds up to 80%, however a general expression is proposed in this study. General expression is provided as following:

$$SBR = C_1(MRS) \cdot \ln(AS * MRS) + C_2$$

$$SBR = (a * MRS + b) \cdot \ln(AS * MRS) + C_2$$

This modified general expression would have higher specific breakage rates at higher rotational speeds (high at coarse size fraction, low at fine size fractions).  $C_1$  is a strongly dependent on mill rotational speed. What being proposed in this paper is actually the linear function of  $C_1$  with respect to MRS.  $C_1$  would actually consist of 2 additional constants, since it would be a function like  $y=ax+b$ , x is MRS in this case. The contribution of average size is already introduced in the expression. So this equation should be solved for each mill rotational speed and average size. After obtaining the constants from the experimental data, specific breakage rate could be predicted for any mill rotational speed and for any

average size of the feed. Note that change within the average size is a limiting function in this case because natural logarithm restricts its contribution.

### Conclusion

In this study, a new approach for the prediction of specific breakage rate is proposed. The specific breakage rate is actually the function of feed material properties (feed size) and mill specifications (mill rotational speed in this case). In order to carry out these observations, boron ore samples were studied and a literature data was regarded. Cuhadaroglu et al. (2008) have investigated the grinding media shape contribution on specific breakage rate. This abovementioned study is further considered with a mathematical expression and the contribution of grinding medium is emphasized in terms of a constant denoted as  $C_2$ . A new calculation and prediction method for the specific breakage rate is proposed and this new method employs parameters of average size and mill rotational speed. Further in the scope of this study, considering the specific breakage variation at high rotational speeds,  $C_1$  is proposed as a function of mill rotational speed (MRS). This study might be a useful tool to address mill specifications and feed size for the desired specific breakage rates. Let alone having the desired breakage rates at the end, energy consumption as regards to milling can be optimized. This study would be a useful tool for future researches in this field and correct understanding of the effective parameters involved in this process can be achieved.

### References

1. Austin L.G., Klimpel R.R., Luckie P.T. (1984) Process Engineering Of Size Reduction: Ball Milling, p. 561. SME/AIME Publ. N. Y.
2. Malgham S. G. and Fuerstenau D. W. (1976) The scale-up of ball mills using PBM and specific power input, In: Zerkleinem. DEHEMA-Monogr., 79(11), No.1586, pp.613-630
3. Taşçı, A. (1993), Borlanmış Çeliklerin Asınma Ve Korozyon Dayanımları, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
4. URL-1 (2019) <http://www.etimaden.gov.tr/bor-mineralleri>, Webpage visited August 2019.
5. URL-2 (2019) <https://www.boren.gov.tr/Sayfa/bor-uretimi/27>, Webpage visited August 2019.
6. Ozer C.E., Whiten W.J. (2012) A multi-component appearance function for the breakage of coal Int. J. Min. Process., 104–105 (2012), pp. 37-44.
7. Silva M., Casali A. (2015) Modeling SAG milling power and specific energy consumption including the feed percentage of intermediate size particles Min. Eng., 70 (2015), pp. 156-161
8. Yıldız, N. (1999), Ögütme, TMMOB Maden Müh. Odası, 219 s.
9. Cuhadaroglu D. Samanlı S. Kizgut S. (2008) The Effect of Grinding Media Shape on the Specific Rate of Breakage, Part. Part. Syst. Charact. 25 (2008) 465–473

**MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE FİLTASYON İŞLEMİ VE ALTERNATİF FİLTRELER**  
*FILTRATION PROCESSES AND ALTERNATIVE FILTERS IN THE MINING INDUSTRY*

A. Akın (\*) H. Hacıfazlıoğlu

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Maden Mühendisliği Bölümü*  
[aydadikici@gmail.com](mailto:aydadikici@gmail.com)

**ÖZET**

Madencilik sektöründe cevherlere uygulanan hazırlama ve zenginleştirme işlemleri çoğunlukla yaş işlemler olup, bu işlemler sonrasında elde edilen ürünlerin veya atıkların büyük bir bölümü su ile karışık halde bulunmaktadır. Ürünlerin tüketim yerine ulaştırılmadan ve atığın bertarafından önce susuzlandırılması gerekir. Bu alanda filtreler, çok ince tanelerin suyundan uzaklaştırılması için kullanılan yegane ekipmanlardır. Bu çalışmada, madencilik sektöründe kullanılan ve kullanım potansiyeli bulunan filtreler ele alınmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Filtre, susuzlandırma, filtrasyon

**ABSTRACT**

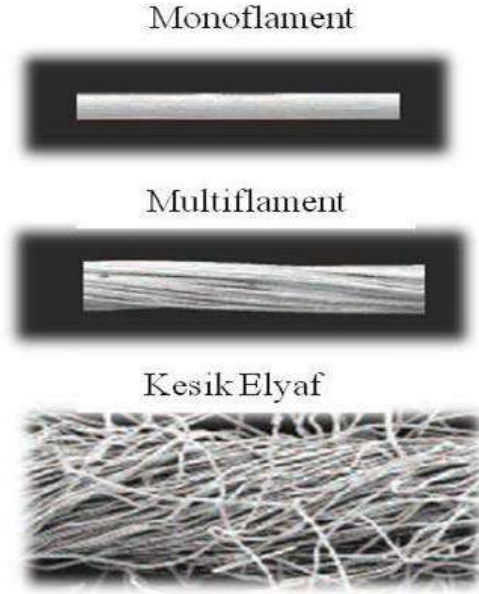
The preparation and enrichment processes applied to ores in the mining industry are mostly wet processes, and most of the products or wastes obtained after these processes are mixed with water. Products need to be dewatered before reaching the consumption site and before disposal of the waste. Filters in this field are the only equipment used to remove very fine particles from the water. In this study, the filters that are used in the mining industry and which have the potential to be used are discussed.

**Keywords:** Filter, dewatering, filtration



## 1.GİRİŞ

Cevher Hazırlama ve zenginleştirme işlemleri genellikle sulu yöntemler olup, bu işlemler sonrasında katı-sıvı karışımı ürünler ya da artıklar oluşabilmektedir. Ürünlerin sulu bir şekilde tüketim bölgesine nakli ya da atıkların sulu bir şekilde bertarafı mümkün olmayıp, zaruri olarak susuzlandırılması gerekir. Filtrasyon işlemi olarak bilinen bu susuzlandırma yöntemde, gözenekli bir ortamdan (elek, bez vb) katı-sıvı karışımı geçirilmekte ve katı (kek) bez üzerinde kalırken, sıvı (filtrat) filtre bezinin altına geçmektedir. Filtrasyon makinelerinin süzme hızı, tane iriliğine, tane şekline, katı madde miktarına, pülpün sıcaklığına, ortam basıncı ve süzme alanı büyüklüğü gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Filtrasyon ortamı olarak bilinen filtre dokusu; pamuk, yün, keten, jüt, naylon, ipek, cam elyaf, gözenekli karbon metaller, çelik teller, seramik ve diğer birçok sentetik malzemedan üretilebilmektedir. Filtre dokusunun cinsi ve geçirgenliği filtrasyonun başarısını önemli derecede etkileyen bir parametredir (İpekoğlu, 1994; Ateşok, 2009; Wills, 2006; Nittami vd., 2015). Filtre bezi üretiminde temelde 3 tip iplik türü kullanılır. Bunlar; monofilament, multiflament ve kesik elyaf'dır (Şekil 1). Endüstriyel ölçekte kil, çamur gibi yapışkan keklerin susuzlandırılmasında monofilament (misina) iplikle dokunmuş bezler tercih edilmelidir. Monofilament ipliklerin kullanıldığı filtre bezlerinin en büyük özelliği pürüzsüz, kaygan bir yüzeye sahip olmalarıdır. Bu özellik sayesinde kek bırakma çok rahat gerçekleşmekte ve tıkanma çok uzun sürelerde gözlemlenmektedir. Sektörde kullanılan diğer bezler ise multiflament ve kesik elyaf iplikleri ile üretilmektedir. Multiflament iplikleri bir çok liften oluştuğu için daha uzun süre dayanır, ama liflerin arasında kalan şlamdan dolayı tıkanmaları daha kısa sürede olur. Kesik elyaftan üretilen filtre bezleri ise geniş yüzey yapısı sayesinde küçük partikülleri tutma konusunda daha başarılıdır. Ancak bu bezlerin dayanıklılığı düşük, tıkanma riski daha yüksektir (Süzerteks, 2016).



Şekil 1. Filtre bezi üretiminde iplik türleri

Filtrasyon makinelerinde süzme verimini etkileyen çok çeşitli faktörler vardır. Örneğin taneciklerin iri olması ve sıkışmaya karşı dayanıklı olması süzmeyi kolaylaştırır. İnce taneciklerin ayrılması iri tanelerin aksine çok güç olur. İnce taneler süzme ortamı içerisinde çok sıkı, taneler arasında gözenek olmayan bir kek meydana getirdiklerinden süzme işlemi çok yavaş gerçekleşir.

Tanelerin kristal veya amorf yapıda olmaları da çok önemlidir. Kristal taneler, eğer sert ve köşeli ise süzme ortamı içerisinde kaba yapılı, gözenekli ve süzüntüyü kolayca geçirebilen bir filtre keki meydana getirebilir. Kristallerin yassı veya yaprak şeklinde olması süzmeyi güçleştirir.

Diğer taraftan vizkozitesi yüksek olan pülpür süzme ortamının gözeneklerini çok çabuk tıkar ve süzme ortamının üzerinde çok ince ve süzüntüyü geçirmeyen bir tabaka meydana getirirler. Bu gibi durumlarda ince taneleri daha kolay süzme yapabilecek iri taneler haline getirmek flokülasyon ve

koagülasyon tekniklerinden faydalanılır. Pülpün vizkozitesini düşürmek ve beslemenin akışkanlığını arttırmanın bir yolu da pülp sıcaklığının arttırılmasıdır. Sulu süspansiyonlarda sıcaklığın 10 dereceden 40 dereceye arttırılması ile süzme hızı yaklaşık 2 kat, 10 dereceden 70 dereceye arttırılmasıyla yaklaşık 3 kat artar. Filtrasyon makinelerinde oluşturulan basıncın arttırılması ile süzme hızı artar. Ancak basıncın çok yüksek tutulması bazı durumlarda ters etki yapabilir. Bu durum daha çok sıkışarak gözenekliliğini kaybeden kekler için önemlidir. Böyle durumlarda belirli bir basıncın üzerinde çalışmak sakıncalı olabilir (Arslan, 2002).

Bu çalışmada, cevherlere uygulanan hazırlama ve zenginleştirme işlemleri sonucunda elde edilen ürün ve atıkların filtrasyonu için kullanılan filtreler ele alınmıştır.

## 2. ALTERNATİF FİLTRE TİPLERİ

Filtreler vakum ve basınçlı tip olmak üzere temelde 2 tiptir. Filtre edilecek olan malzemenin tane boyutuna bağlı olarak vakum yada basınç tipi filtrelerden biri tercih edilir. Basınç tipi filtreler çok ince boyutlu taneler ( $d_{80} \sim 15-20$  mikron) için uygunken, vakum tipi filtreler nispeten daha iri boyutlu tanelerin susuzlandırılmasında kullanılır. Ayrıca basınç tipi filtreler ile daha yüksek susuzlandırma oranları elde edilebilir.

### 2.1. Vakum Tipi Filtreler

Vakumlu filtreler çok çeşitli sektör ve proseslerde kullanılırlar ve sürekli çalışan filtrelerdir. Temel olarak sıvıyı vakum gücü ile emip katıdan ayırırlar. Filtre edilmesi istenen malzemenin yapısına göre çok çeşitli tipte vakum filtreler mevcuttur. En yaygın kullanılan tipleri vakum tambur filtre ve vakum disk filtredir.

#### 2.1.1. Vakumlu Tambur Filtre

Vakum tambur filtre; vakum filtreler arasında en yaygın kullanılan filtre tipidir. Karbon çelik ve çeşitli paslanmaz çelik malzemelerden üretilebilecek olan üflemeli tip vakum tambur filtreleri standart süzme yüzeyleri  $4.5 \text{ m}^2$  ile  $66 \text{ m}^2$  arasında değişir. Vakum tambur filtreler günümüzde ağırlıklı olarak maden ve kimya sanayisinde kullanılmakta olup en önemli özellikleri sürekli çalışan tipte olmalarıdır.

Silindir şeklinde delikli metalik malzemedan yapılmış olan tamburun üzeri filtre bezi ile sarılmıştır. Tambur pülpün içerisine verildiği bir tank içinde yavaş bir hızla (0.1-1 dev/dak.) döner. Tambur pülpün içinde bulunduğu tankta iken, tamburun içine doğru vakum oluşturularak pülp emilir ve bezin üzerinde bir kek tabakası oluşur. Keki ayrılma işlemi bez altına verilen basınç ve ayırıcı bıçaklar yardımıyla yapılır. Kek tabakasının kalınlığının artması ve filtre bezinin gözeneklerinin tıkanması durumunda elde edilen ürünün nem içeriği artmaktadır. Tambur filtrelerin çapları 1-3 m, boyları 1-6 m arasında değişir ve çap-boy arttıkça kapasiteleri artar (Ateşok ve Kangal, 2012).  $1 \text{ m}^2$ 'lik bir filtrasyon alanında saatte ortalama 0.3-0.5 ton malzeme susuzlandırılabilir.



Şekil 2. Vakum tambur filtrenin görüntüsü

Tambur filtreler, sıvıdan kolay ayrılan ve hızlı çöken iri taneli malzemeler için üstten beslemeli olarak da imal edilebilmektedir (Şekil 3). Kullanım alanları oldukça dar olan bu filtreler genellikle maden ve kimya sektöründe tercih edilirler. Sıvı içinde çok hızlı çöken iri tanelere sahip malzemeler filtre teknelerine beslendiği zaman burada çöküp kalmaktadır. Bu sebepten bu tarz malzemeler için geliştirilen üstten beslemeli vakum filtrelerde bir filtre teknesi bulunmamakta, malzeme direk filtre tamburunun üzerindeki hazneye beslenmektedir (Ant, 2015).

### **2.1.2. Vakumlu Disk Filtre**

Vakum disk filtreler prensip olarak vakum tambur filtreler ile aynıdır. Vakum disk filtreler sürekli çalışan tip filtreler olup en büyük avantajları çok yüksek kapasiteler için üretilebilir olmaları ve yüksek kapasitelerde alan olarak vakum tambur filtrelere göre daha az yer kaplamalarıdır. Çok çeşitli sektörler için üretilen ve çok geniş kullanım alanları olan vakum disk filtrelerde standart olarak imal edilen filtre yüzeyleri 1.85 m<sup>2</sup> ile 167 m<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Ant,2015). Disk filtrede, filtre bezi çeşitli sayıdaki metalik levhalardan yapılmış disklerin etrafına sarılmıştır. Disk filtreler, pülpün içinde bulunduğu tank içerisinde dönerek filtrasyonu gerçekleştirir (Şekil 4). Oluşan kekin filtre yüzeyinden sıyırılması disk filtrelerde biraz daha zordur. Disk filtrelerin diğer filtrelere göre en önemli avantajı sürekli çalışması ve aynı boşluk için kapasitesinin daha yüksek olmasıdır. Ancak disk filtreler, basınçlı filtrelere göre bir kaç kat daha düşük basınçlarda çalıştığı için ürün nem değerleri de basınçlı filtrelere göre daha yüksektir.



Şekil 3. Üstten beslemeli tambur filtre



Şekil 4. Vakum disk filtrenin görüntüsü

Disk filtrelerdeki yeni eğilim, filtre bezi yerine mikro gözenekli seramiklerin kullanılmasıdır. Seramik filtrelerin enerji tüketimleri bezli disk filtrelere göre daha düşük ve filtre bezi maliyeti

bulunmamaktadır. Ancak, seramik filtrelerde de zamanla mikro gözeneklerin tıkanma sorunu oluşabilmektedir. Gözeneklerin tıkanması durumunda daha ince kek tabakası oluşmakta ve filtrenin süzme kapasitesi düşmektedir. Ayrıca, ürün nemi artmaktadır. Bu sorunu çözmek için son yıllarda ultrasonik göz yıkamalı seramik disk filtreler geliştirilmiştir (Outotec, 2015b). Seramik filtreler mineral çözeltilerin susuzlaştırılmasında ve peletleme tesislerinde kullanılırlar. Bu filtrelerde filtre bezi yerine kapiler prensibi ile çalışan mikro gözenekli seramik diskler bulunmaktadır bu işlem için küçük bir vakum pompasına ihtiyaç duyulduğundan enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılmaktadır. Seramik filtrelerin kurulması kolay ve işleyişi basittir. Dünyanın çeşitli yerlerindeki metal flotasyonu ile demir ve ferrokrom peletleme tesislerinde yüz elliye aşkın ünite kullanılmaktadır. Filtrasyon kapasitesi 100 t/saat e kadar çıkabilmektedir. En önemli avantajları düşük enerji tüketimi, düşük iş gücü, filtre bezi kullanılmaması, birim alanda yüksek kapasite ve düşük ses seviyesidir (Outotec, 2015b).

### **2.1.3. Vakumlu Tavalı Filtre**

Çok yaygın bir kullanımı olmayan vakum tavalı filtreler genellikle iri taneli ve kristal yapıları özel malzemelerin filtrasyonunda kullanılırlar. Filtre keki yıkama sistemi mevcuttur. Besleme bölgesinde filtre keki pülple doldurulduktan sonra su kendi ağırlığı ile tavaların altına inmekte ve kek boşaltma bölgesine kadar yıkama ve susuzlandırma işlemi devam etmektedir (Yıldız, 2014).



Şekil 5. Vakumlu tavalı filtre

### **2.1.4. Hiperbarik Vakumlu Filtreler**

Son yıllarda, disk filtrelerin filtrasyon basıncını artırmanın yolları araştırılmış ve 7 bar'lık basınçta süzme yapabilen hiperbarik disk filtreler tasarlanmıştır (Şekil 6). Hiperbarik (basınç odalı) sistemler daha sonra tambur ve bant filtrelere de uyarlanmıştır. Yüksek basınçlarda, sürekli çalışabilen bu filtrelerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir. Ancak kil minerallerinde ve kömür şlamalarında dahi %15 gibi oldukça düşük nemli ürünler verebilmektedir (Hand, 2000; Yoon, 2006; Drummond vd., 2015). Ayrıca, bu filtrelerde filtrasyon ortamının sıcaklığı 250 °C'ye kadar çıkarılabilmekte ve daha verimli filtrasyon yapılabilmektedir. Çin, Doğu Avrupa ve Rusya'da pek çok uygulaması mevcuttur.



Şekil 6. Hiperbarik vakumlu disk filtre

### **2.1.5. Vakumlu Bant Filtre**

Vakum bant filtreler genellikle kristal yapılı iri taneli katı madde içeren malzemelerde kullanılırlar. Bez üzerine beslenen malzeme içerisindeki sıvı, bez altında bulunan vakum haznesinden emilerek katıdan ayrılır (Şekil 7). Bez genişlikleri 1 m ile 3 m arasında değişmektedir. Büyüklükleri ve yüksek kapasiteleri ile verimli bir filtrasyon yaparken, aynı zamanda özel ürünler için çok rahat bir şekilde kek yıkama yapabilirler. Genellikle iki farklı dizaynda üretilen vakum belt filtrelerden biri vakum çekmeceli diğeri ise vakum kanallı taşıyıcı bantlı tiplerdir. Vakum çekmeceli tip filtrelerde filtre bezi ile birlikte aynı hızda hareket eden vakum çekmeceleri, filtre bezinin altından vakum ile filtratı emerken ileri limite gelince hızlı bir şekilde geri gelir ve yeni beslenen kısmı süzmeye başlar. Bu sırada hareket etmeye başlayan filtre bezi üzerindeki kek bir sıyrıcı ile filtre bezinden ayrılır. Vakum kanallı taşıyıcı bantlı tipte ise filtre bezi özel bir bant üzerinde ve bu bant tarafından ilerletilirken bant yüzeyinde bulunan deliklerin altındaki vakum kanalından filtrat emilir (Ant, 2015). Özellikle Avustralya'da bitümlü kömür atıklarının susuzlandırılması için kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Ancak çok killi malzemelerde bez tıkanmakta ve bezi yıkama problemi doğmaktadır. Bu bakımdan çok killi ve çok ince malzemeler için uygun değildir. Daha çok, hidrometalurjik işlem sonrası elde edilen ürünlerin susuzlandırılmasında ve asit-alkali süzme işlemlerinde, ters akışlı yıkama sisteminin olması nedeniyle özellikle tercih edilmektedir (Wills, 2006). Basit yapıda olması, kontinü çalışması ve düşük işletim maliyeti başlıca avantajlarıdır. Çok fazla yer kaplaması ve düşük nem giderim oranları ise başlıca dezavantajlarıdır. Bu filtrelerde besleme katı içeriği %1.5'e kadar düşebildiği için tikiner kullanılmasına çoğu zaman gerek kalmamaktadır. Emet bor işletmesinde borik asidin yıkanması ve susuzlandırılması amacıyla vakumlu bant filtreler kullanılmaktadır.



## Şekil 7. Vakumlu bant filtrenin görüntüsü

### 2.2 Basınçlı Tip Filtreler

#### 2.2.1. Bant Pres Filtre

Bant pres filtreler çoğunlukla arıtma sektöründe kullanılsa da maden, gıda, kağıt gibi çok çeşitli sektörlerde de kullanılmaktadır. Yatırım ve işletme maliyeti düşük olan bant pres filtreler işletilmesinde oldukça kolay ve sürekli çalışan filtrelerdir. Bez genişliği 50 cm ile 3 m arasında değişen filtrelerde süzülecek olan malzeme bir polielektrolik ile karıştırılarak filtreye beslenir. Böylece katı partiküller birleşip bant üzerinde kalabilecek büyüklüğe gelir ve süzülebilir hale geçerler. Filtreye beslenen malzeme filtrenin özel tasarımı ile önce kaba suyunu bırakır sonra iki bant arasına girerek delikli rulolardan geçerler. Delikli rulolar ilk sıkma bölümüdür ve keki inceltirken içindeki sıvının dışarı çıkmasını sağlar. Delikli rulolardan çıkan kek son sıkma rulolarına girer ve burada son nemine ulaşarak sıyrıcılar ile bezden sıyrılarak alınırlar (Şekil 8). Bant filtreler 2 bara kadar keki sıkıştırabilmektedir. Sürekli çalışabilmesi en önemli avantajı olup, fazla yer kaplaması ve bakım onarım işlerinin zahmetli olması en önemli dezavantajlarıdır. Ayrıca filtre bezelerinde yırtılmalar meydana gelebilmektedir. Bant filtrelere besleme katı oranı 5 mikronun üzerinde olmalıdır. Bu tip filtrelerde bezlerin tıkanma sorununu çözmek için basınçlı havadan veya yıkama suyundan faydalanılabilmektedir. Daha çok belediye çamurlarının susuzlandırılmasında uygulaması bulunmaktadır.



Şekil 8. Bant pres filtrenin görüntüsü

#### 2.2.2. Levhalı Pres Filtre

Bu filtreler sağlam ve güvenilir filtreler olup endüstriyel proseslerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Membransız ve membranlı olmak üzere temelde 2 şekilde üretilirler. Membranlı filtreler yüksek basınçlarda (15 bar'a kadar) başarılı sonuçlar verir. Membranlı filtrelerde su ile şişirme ve hava ile şişirme seçenekleri mevcuttur. Membranlı pres filtrelerde çevrim süresi kısadır ve daha yüksek kapasitelerde daha düşük nemli ürünler verebilmektedir. Çok çeşitli proseslerde kullanılması ile tanınan levhalı pres filtreler (Şekil 9), doldur-boşalt şeklinde kesikli çalışan filtrelerdir. Son dönemlerde otomatik doldur-boşalt yapabilen pres filtrelerde geliştirilmiştir. Pres filtrelerin filtrasyon kapasitesi, plaka boyutunun büyümesi ve boşaltma süresinin (döngü/cycle) kısalmasıyla artar. Plaka boyları 2.5 m'ye kadar, boşaltma süresi 2 dk'ya kadar düşen pres filtreler mevcuttur. Bazı pres filtrelerde borular içerisinden buhar geçirilerek filtre edilecek sıvı ısıtılır ve sıvının viskozitesi düşürülerek daha yüksek bir filtrasyon hızı elde edilebilir (Matec, 2016; Diemme, 2006). Ana kullanım alanları; şeker fabrikaları, gıda sektörü, ilaç sektörü, kil, metal konsantreler, sanayi ve şehir belediye atıklarının susuzlandırılmasıdır (Ant,2015).



Şekil 9. Lehvalı pres filtre

### **2.2.3. Kule Tipi Pres Filtre**

Yatay hareketli plakalardan oluşan ve kule tipi filtre (Şekil 10) olarak da bilinen bu filtre tipinde önce filtre bezi ile kaplı olan plakalar arasına pülp gönderilmekte ve daha sonra pülpü çevreleyen membran su veya basınçlı hava ile sıkıştırılarak filtrasyon yapılmaktadır (Flsmith, 2015b). Lehvalı pres filtrelere göre daha düşük nemli ürünler vermesi ve sürekli çalışması en önemli avantajlarıdır. İlk yatırım maliyeti lehvalı pres filtrelere göre daha yüksektir. Filtrasyon basıncı 16 bar'a ve en büyük filtrenin toplam filtrasyon alanı 252 m<sup>2</sup>'ye kadar çıkabilmektedir (Outotec-Larox, 2015). Birim alan başına yüksek üretim sağlaması ve dikey yapısı ile gerekli filtre adetini ve yerleştirme alan ihtiyacını azaltması en önemli avantajlarından. Tam otomatik olup, değişen mineroloji yapıya ve proses şartlarına karşın sabit ürün miktarını ve performansını korumaktadır. Ana kullanım alanları: metal konsantreler, endüstriyel mineraller, titanyum dioksit, çinko ve nikel rafinerileridir.



Şekil 10. Kule tipi pres filtre

#### **2.2.4. Basıncılı Cila Filtresi**

Levhalı pres filtreye benzer bir yapısı olan cila filtreleri (Pressure polish filter) sıvıların daha berrak ve askıda katı maddeden tamamen arındırılmış bir şekilde elde edilmesini sağlar. Doldur-boşalt prensibiyle çalışır ve süzülecek malzemenin yapısına bağlı olarak bazı süzme yardımcıları da sisteme ilave edilir. Basınç kontrolleriyle otomatik olarak çalıştırılan bu filtreler her şarj sonunda kendi kendini otomatik olarak yıkayıp temizler ve bir sonraki şarja hazır hale gelir (Ant, 2015).



Şekil 11. Basıncılı cila filtresi

#### **2.2.5. Tüp Tipi Pres Filtre**

Klasik lehvalı pres filtrelerde pülpe uygulana basınç 10 ile 20 bar arasında iken, tüp pres filtrede esnek bir membran yardımıyla 140 bar'a kadar basınç uygulanabilmektedir. Bu basınç sayesinde çok yüksek susuzlandırma oranları elde edilebilmektedir. Özellikle, birkaç mikron boyutlu kil minerallerinin susuzlandırılması için en ideal susuzlandırma aygıtıdır (Ateşok ve Kangal, 2012). Kesikli çalışması ve kapasitesinin düşük olması en büyük dezavantajıdır.

Metso firmasının üretmiş olduğu ve kaolenin susuzlandırılması için kullanılan tüp tipi pres filtreler Şekil 12'de gösterilmiştir (Metso, 2016).



Şekil 12. Tüp tipi pres filtre



### **2.2.6. Jeotekstil Filtre**

Değişik tiplerdeki kumaşlardan imal edilen torba şeklindeki filtre içerisine atık pülp pompa ile beslenmekte ve katı atık torba içerisinde kalırken su basıncın etkisiyle dışarıya çıkmaktadır (Şekil 13). Torba içerisinde kalan malzemenin katı oranı genellikle %65 ile %70 aralığındadır. Diğer filtre tiplerinde olduğu gibi katıların %99'una yakın bir kısmı tüp içerisinde tutulabilmektedir (Tencate, 2015). Filtre torbalar genellikle tek kullanımlık olup, önemli bir maliyet unsurudur. Ancak torba ile süzme işlemi; basit, işletme maliyeti düşük ve bakım onarım problemi olmayan pratik bir yöntemdir. En önemli üreticisi Tencate firması olup, geotube adı ile ticarileştirilen filtrenin pek çok maden atığının susuzlandırılmasında uygulaması mevcuttur.



Şekil 13. Jeotekstil filtrenin görüntüsü

## **3. SONUÇLAR**

Su kaynaklarının hızla tükenmesinin en önemli nedenlerinden biri de hızlı sanayileşmedir. Özellikle madencilik sektöründe; cevher ve kömür zenginleştirme proseslerinde aşırı miktarlarda su tüketilmektedir. Bu tüketimin farkında olan ilgili kurumlar özellikle kurak bölgelerde sulu proseslere izin vermemekte ve bu durum madencilik yatırımlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bakımdan, daha az su tüketen ya da atık barajlarındaki suyu tekrar tekrar kullanabilen proseslerin geliştirilmesi madencilik sektörünün geleceği için kaçınılmazdır. Suyun en temiz ve en verimli şekilde geri kazanımı da ileri teknoloji filtrelerle mümkündür. Ayrıca, madencilik sektöründe ürünün kalitesi de, nem sınırlaması nedeniyle önemli ölçüde filtrasyona bağlıdır. Bu bağlamda, ileri teknoloji filtreler test edilmeli ve filtrasyon projelerine daha fazla ağırlık verilmelidir.

## **KAYNAKLAR**

- Arslan, N. (2002). Gıda endüstrisinde filtrasyon işlemleri, Gıda Dergisi, 27, 6, s.451-458
- Ant, (2015). Katı Sıvı ayrımı Kataloğu. [www.antgroup.com](http://www.antgroup.com)
- Andritz, (2015). Hyperbaric disc filter - HBF Andritz Separation, Austria, <http://www.andritz.com/>
- Aes, (2015). Filtrasyon kataloğu. [www.aesaritma.com.tr](http://www.aesaritma.com.tr)
- Ateşok, G. ve Kangal, M. O. (2012). Susuzlandırma ve Kurutma, YMGV, İstanbul.
- Abbott, J. (1973). Coal preparation plant effluent disposal by means of deep cone thickeners, *6th International coal preparations congress*, Paris.
- Drummond, B., Mackinnon, W., Sorensen, C. (2015). Application of the hyperbaric disc filter for fine coal product dewatering, <http://www.acps.com.au>.

- Diemme, (2016). Automat Filter Press <http://www.water.bilfinger.com/applications/industrial-filtration/filter-presses/automat-filter-press/>
- Hand, P.E. (2000). Dewatering and drying of fine coal to a saleable product. COALTECH 2020.
- FLSmidth, (2015a). EIMCO® Deep Cone® Paste Thickeners. Minerals Processing Technology Center FLSmidth Salt Lake City, Inc.
- FLSmidth, (2015b). Pneumapress Automatic Pressure Filters.
- Keskin, Y.(1986). Kömür Hazırlama Yöntemleri, Zonguldak.
- Larox, (2015). Filtrasyon ekipmanları Kataloğu. [www.outotec.com](http://www.outotec.com)
- Matec, (2016). TT2 Fast Filter Presses, <http://www.matecamerica.com/>
- Metso, (2015). Tube press, <http://www.metso.com>
- Outotec, (2015a). Thickening Technologies: Paste Thickeners, <http://www.outotec.com/>
- Outotec, (2015b). Outotec Larox® Ceramic Filters, <http://www.outotec.com/>
- Outotec-Larox, (2015). Outotec Larox® PF filters., <http://www.outotec.com/>
- Parekh, B. K. (2009). Dewatering of fine coal and refuse slurries-problems and possibilities, *Procedia Earth and Planetary Science*, 621–626.
- Süzerteks, (2016). Filtre Bezleri, Süzerteks Mensucat Sanayi Tic. Ltd,Şti. <http://www.suzerteks.com.tr/urunler.asp?LanguageID=1&cid=3&id=1>
- Takeda, M., Matsumoto, K. (2015). Effect of compressibility of synthetic fibers as conditioning materials on, dewatering of activated sludge, *Chemical Engineering Journal* 268; 86–91.
- Tencate,(2015). Geotube® Dewatering Technology, <http://www.tencate.com>.
- TÜİK,(2015). Maden İşletmeleri Su, Atık su ve Atık İstatistikleri, 2014 <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21625>
- Wills, (2006). Mineral Processing Technology, Publisher: Elsevier Science & Technology Books.
- Yıldız, N. (2014). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, Genişletilmiş 1.Cilt. Ertem Basım Ltd.,Ankara.
- Yoon, R.H.(2006). Advanced coal coal cleaning and recovery, US-India Coal Working Group Meeting, April 4-5.

## FROM MINERALS TO NANOMATERIALS THROUGH MEHCANOCHEMISTRY

B.N. Akhgar<sup>\*1</sup>, P. Pourghahramani<sup>2</sup>, M. Pazouki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Mining Engineering Department, Engineering Faculty, Urmia University, Urmia, Iran  
([b.n.akhgar@urmia.ac.ir](mailto:b.n.akhgar@urmia.ac.ir), [b.n.akhgar@gmail.com](mailto:b.n.akhgar@gmail.com))*

<sup>2</sup>*Mining Engineering Faculty, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran*

<sup>3</sup>*Materials and Energy Research Center, MeshkinDasht, Karaj, Iran*

### Abstract

Direct preparation of nano materials from minerals can be considered as a promising issue creating new opportunities for mineral processing and nano technology due to the advantages such as preparation of advanced-new materials from raw materials and high value-added of products. Regarding to the interdisciplinary nature of the issue, the nanotechnology had to be introduced in summarize before paying attention to the mechanochemistry as branch of mechanical synthesis approach used for preparation of nano materials. Based on recent achievement, the mechanochemistry was divided to four branches of mechanical activation, mechanochemical activation, mechanical alloying and mechanochemical activation. Then, the branches were defined and their differences were distinguished based on their aims and products. In following, the required characterization methods were described. In addition to complementary analysis of TEM, SEM, BET and Zetasizer, The XRD analysis and its application in characterization of microstructural changes occurred during mechanochemistry process was explained. Finally, several research works were described in which nano particles of nano zero valent iron and titanium dioxide were prepared from raw materials of natural pyrite and ilmenite concentrate, respectively.

**Keywords:** Nano Technology, Mineral processing, Hydrometallurgy, Mechanochemistry, Nano materials

### ÖZET

Nano malzemelerin doğrudan minerallerden hazırlanması, hammaddeden yeni geliştirilmiş malzemelerin hazırlanması ve yüksek katma değerli ürünler gibi avantajlar nedeniyle, mineral işleme ve nano teknoloji için yeni fırsatlar yaratan umut verici bir gelişme olarak kabul edilebilir. Konunun disiplinlerarası doğası nedeniyle, öncelikle nanateknoloji tanıtılmış ve daha sonra nano meteryallerin hazırlanmasında mekanik sentez yaklaşımını kullanan mekanokimya anlatılmıştır. Son yıllardaki başarılarla dayanarak mekanokimya; mekanik aktivasyon, mekanokimyasal aktivasyon, mekanik alaşımlama ve mekanokimyasal aktivasyon olarak dört dala bölünmüştür. Daha sonra bu dallar tanımlanarak amaçlarına ve ürünlerine göre ayrılmıştır. Aşağıda, gerekli karakterizasyon yöntemleri açıklanmıştır. TEM, SEM, BET ve Zetasizer'in tamamlayıcı analizine ek olarak, XRD analizi ve mekanokimya sürecinde meydana gelen mikroyapısal değişikliklerin karakterizasyonundaki uygulamaları anlatılmıştır. Son olarak, sırasıyla nano sıfır valent demir ve titanyum dioksit nano parçacıklarının, sırasıyla doğal pirit ve ilmenit konsantresi hammaddelerinden hazırlandığı çeşitli araştırmalara yer verilmiştir.

## INTRODUCTION

Nanotechnology as part of the new sciences and advanced technologies aims to control and manipulate materials, instruments and approaches in a scale less than 100 nm. The technology related to various fields such as applied physics, mineral processing and materials science, chemistry, biology, biomedical engineering, surface science, electrical engineering, etc. (Subramani et al., 2019). Materials in nanoscale level present promoted and new physical and chemical properties due to the fact that there are lots of atoms and bonds in nanomaterials ready to participate in reactions. In recent years, researchers attempted to find new methods for nanomaterials synthesis having advanced and promoted properties. Also, a part of nanotechnology is mainly deal with the development and application of precise analytical instruments. Two main approaches used in nanotechnology for nanomaterials synthesis are known as the bottom-up and top-down approaches (Manoharan, 2008). In bottom-up approaches, nanomaterials are built up from atoms into molecules forming nanosized materials. Chemical and physical methods such as chemical vapor deposition, sol-gel, hydrothermal route, precipitation and deposition processes, physical vapor deposition, etc. are in the category. The approaches have advantages such as more ability to control purity, size and shape of nanomaterials in compared with second approach. In second approach of top-down, the nanomaterials are prepared based on mechanical methods breaking down of larger bulk materials by using high energy milling methods so called "mechanochemistry".

In mechanochemistry science, mechanical energy is employed for the performance of chemical reactions and physicochemical changes through high-energy ball milling process. Mechanical activation is a branch of mechanochemistry keeping chemical composition of involved powders unchanged during high-energy ball milling. Reactivity of mechanically activated minerals are promoted by affecting a wide range of changes in their structure such as formation of defects, polymorphic transformation, grain and crystallite refinements and lattice strain induced during mechanical activation, leading to a large number of positive influences on the subsequent processes in which the minerals are involved (Pourghahramani and Akhgar, 2015). Besides mechanical activation, mechanochemical reactions and mechanical alloying are other branches of mechanochemistry. The former involves preparation of desired products from initial reactant and the second approach involves making alloys from metals. In both of them, chemical composition of involved materials changed in spite of mechanical activation. The difference is attributed to the different goals of the methods whereas in mechanical activation, reactivity enhancement is main purpose while chemical reaction and alloying are conducted to synthesis new materials.

Recently, the new branch of mechanochemistry science was introduced as "mechanochemical activation" wherein a mechanochemical reaction was designed for activation of minerals, not for mechanochemically synthesis of a product (Akhgar and Pourghahramani, 2015). The mechanochemical activation was considered to be performed by co-milling of mineral and a constituent element of the mineral by using intensive grinding in short period of milling time without completion of the mechanochemical reaction, for example; Fe addition during intensive milling of chalcopyrite, ilmenite or pyrite. Although, the probable mechanochemical reaction cannot be completed due to short period of intensive milling in mechanochemical activation, capacity of related installations will be increased and energy consumption and costs will be reduced. As consequence, the mechanochemistry can be divided to four branches of mechanical activation, mechanochemical reaction, mechanical alloying and finally new branch of mechanochemical activation (Fig. 1). The mechanochemical activation and mechanical activation are performed to enhanced reactivity, but there is the hope that the chemical bonds in the mineral composition are weakened during mechanochemical activation more than mechanical activation, promoting reactivity of mechanochemically activated minerals more in shorter milling times.

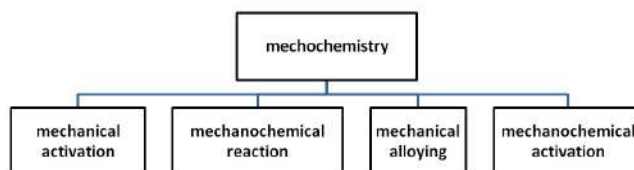


Figure 1. Introduction of branches of mechanochemistry

Although the mechanochemistry method is faced with some hindering constrains limiting their usage, the preparation of nanomaterials from natural minerals can be interesting issue making promising feature for the method regarding to the fact that the nanosized products have high level of value- addedfrom economical view point. The paper aims to describe our nearly one decade investigations on preparation of nanomaterials from minerals by using various branches of mechanochemistry in addition to brief comparison with past researches. Also, the paper makes an attempt to provide primary information about necessary analysis method for characterization of nanomaterials.

### EXPERIMENTAL METHODS USED IN DIRECT PREPARATION OF NANO MATERIALS FROM MINERALS

Obviously, there is lots of analysis methods related to nanotechnology used in nanomaterials characterization. But, the main of them are introduced here helping us to analysis nanomaterials and mechanochemistry approaches comprehensively, coherently and cost-effectively through minimum number of analysis. Regarding to the importance of structural changes of material during high energy ball milling, the related analysis of XRD is selected to be introduced with more details.

#### X-ray diffraction analysis (XRD)

The XRD analysis as an indirect and non-destructive method provides detailed information about structural changes of minerals and materials during high energy ball milling. The microstructural analysis is based on XRD peak broadening whereas the peak broadening in XRD patterns of activated materials reflects imperfections in the crystal structure of subjected materials and minerals. The broadening can be subdivided into crystallite size and microstrain portions after the removal of instrumental effects. The past studies investigated the structural changes of minerals during high energy ball milling by using the XRD line profile analysis through different approaches such as the Williamson-Hall, Warren-Averbach and Rietveld methods to extract the structural characters of activated minerals (e.g. microstrain and crystallite size). In addition to microstrain and crystallite size, more parameters such as amorphization degree and lattice parameters (lattice volume) can be applied for microstructural analysis (Pourghahramani and Akhgar, 2015).

There is no doubt that the mentioned structural changes induced during high energy ball milling have a main role in reactivity promotion of subjected materials. In activated minerals with small crystallite size, there are a large number of grain boundaries existing on more atoms which are ready to react (Zdujic et al., 1998). Also, a higher degree of amorphization can implies that the atomic bonds between minerals constituent elements are weakened indicating reactivity promotion of the minerals (Tahmasebi et al., 2009). Finally, microstrain can referred to atom positions changes when spacing between atomic planes in a minerals structure varies due to stress induction (Cullity and Stock, 2001) and its increase can be responsible for reactivity improvement of activated minerals. The microstrain of mechanochemically synthesized material also can be stored in prepared nanomaterials by mechanochemical methods (Akhgar and Pourghahramani, 2017). In general, the reactivity of mechanically activated minerals can be promoted by amorphization degree, microstrain increase and crystallite size reduction. Most of energy during high energy ball milling is consumed for amorphization having main role in reactivity enhancement of activated minerals (Akhgar and Pourghahramani, 2015). As mentioned, besides the parameters, lattice parameter can provide more information about structural changes such as point defects formation as lattice volume

increases or decreases. To extract all of valuable information from XRD patterns of activated minerals, some pretreatments have to be conducted on obtained XRD patterns such as profile fitting.

As cited before, Different information about the atomic structure of crystalline minerals and materials are obtained by XRD. The sensitivity of microstructural characterization methods depends on the accuracy of input data such as the peak position ( $2\theta$ ), maximum intensity of diffraction peaks ( $I_{max}$ ), full-width at half maximum (FWHM), integral breadth ( $\beta = A / I_{max}$ ) and the shape parameter (mixing factor-  $\eta$ ) of fitting functions (Pourghahramani and Forsberg, 2007). The shape parameter of Pseudo-Voigt function determines the portion of Cauchy and Gaussian functions in a Pseudo-Voigt profile varying between zero for the Gaussian predominant profiles and one for the Lorentzian predominant profiles. In order to exactly extract the mentioned parameters, the profile fitting has to be performed on all recorded patterns by using selected software. First of all in profile fitting step, the  $K\alpha_2$  component and background are subtracted from the obtained XRD patterns and then some of most intensive peaks have to be selected. The combination of various functions such as Cauchy and Gaussian can be applied in the profile fitting step (Pourghahramani and Akhgar, 2015).

The peak broadening of XRD patterns obtained from high energy ball milled minerals is resulted from the convolution of three main effecting sources including instrumental, crystallite size and strain contribution while the ideal peak shape have to be sharp and non-broadened. The instrumental effect has to be eliminated using free-strain standard powders such as lanthanum hexaboride, the crystallite size effect and strain can be de-convoluted and computed through different methods. Assuming that the peak broadening is attributed to one of the crystallite size effect or microstrain effect, the Scherrer equation and Stokes-Wilson approach are applied for crystallite size and microstrain measurement, respectively (Pourghahramani and Forsberg, 2006). Using the mentioned methods, the crystallite size and strain values are calculated from the FWHM and the integral breadth of a diffraction peak, neglecting possible interactions between crystallite size and strain effects. To solve the problem, the methods of Rietveld, Williamson-Hall and Warren-Averbach can be selected to compute both crystallite size and lattice strain, simultaneously, after profile fitting process (Pourghahramani and Akhgar, 2015).

### **Image analyses of scanning electron microscopy (SEM) & transmission electron microscopy (TEM)**

Despite the XRD analysis, the above mentioned analysis can be considered as direct method. In general, microscopy enables a direct imaging of various objects to provide a data set related to their properties such as shape, size, uniformity and structure, etc. and influence of synthesis methods on the prepared materials properties. The complementary analyses are not avoidable especially when preparation of materials in nanoscale has to be proved. Imagining the nanostructure materials requires electron microscopes having much higher resolving power (resolution) in compare with light microscopes and optical systems. The main differences between the microscopic methods are their resolution, electron beam interaction on samples, obtained information and sample preparation method.

The differences are mainly based on different manner of electrons on samples. In SEM, the knocked electrons are moving over the specimen surface while the electrons are passing through the sample to create an image in TEM. Higher acceleration voltage of electrons of TEM (60- 1200 kv) in comparison with SEM (0.2- 30 kv) is responsible for that different manner. As a result, the data set obtained by SEM is belong to the sample surface and its composition in spite of TEM offering valuable information on the inner structure of the sample, such as crystal structure, morphology and stress state information (Kaech, 2013). Finally, SEM & TEM can be used for chemical composition analysis of selected samples through energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS) option detecting even trace elements.

SEM mostly provides initial information about samples and it is not reliable alone to prove preparation of materials in nano scale (-100 nm) due to lower resolution. Thus, it is necessarily to perform TEM imaging revealing nanosized materials synthesis. Recently, new version of SEM instrument, so called FE-SEM (Field emission scanning microscopy), resolves the problem. The sample preparation of SEM is conducting through covering of dry sample surface by gold film while for TEM, the sample particles are injected on carbon films of TEM grid after well dispersing. Regarding to the sample preparation procedures, the

essential questions arise; dose the sample is representative sample or not? Does whole of synthesized powder is prepared in nano scale? To answer the question, additional analysis of BET can be implemented. There is the fact that nanosized materials have higher of surface area than that in bulk materials. Thus, the analysis is recommended to insure that the synthesis of materials occurs in nano scale. In addition to the surface area, the BET particle size of materials can be calculated through different equations.

Except LPSA, all of mentioned analyses are conducted on dry nano powders to measure their particle size directly or indirectly. Considering the fact that LPSA always is used for micro particles with low precise less than 100 nm, the zetasizer analysis is recommended to measure suspending particles in solution. It is clear that there are yet lots of analysis methods for characterization of nanomaterials and also for monitoring of synthesis methods but description of all of them is far from our paper aims. The table 1 summarized some of the analysis methods and their applications.

Table. 1. Summary of main analysis used in nano technology and mechanochemistry science

analysis	Application
1 XRD	Phase detection, microstructural studies
2 XRF, ICP, AAS	Chemical composition, solution concentration
3 ZETASIZER	Suspending particle size distribution, zeta potential
4 SEM&FE-SEM	Imaging, surface chemical composition, shape, size and morphology
5 TEM	Imaging, chemical composition, shape, size and morphology, structural studies
6 BET and LPSA	Surface area and particle size
7 XPS, IR	Chemical composition, state of components on surface, disordering structure

### RESULT AND DISCUASION ON SOME RESEARCH WORK

For direct preparation of nano materials from natural minerals, there are several proposed routs that some of them were be perform and others can be offered to future studies (Fig. 2).

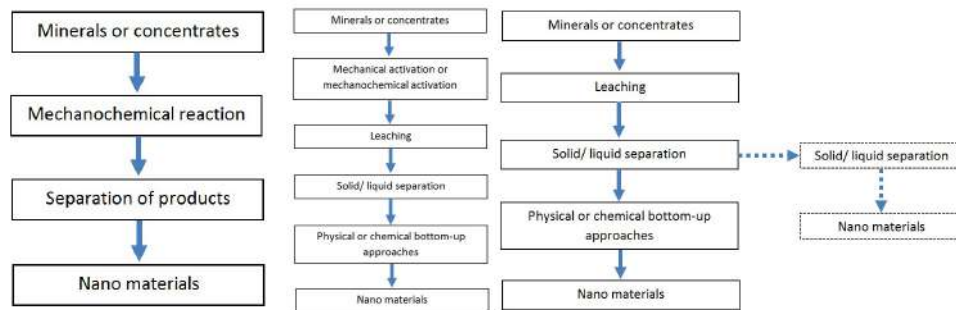
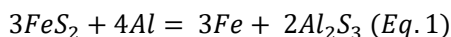


Figure 2.Schematic flowsheets of proposed approaches to prepare nano materials from minerals

As seen in Fig. 2, the approaches for direct preparation of nano materials from minerals or concentrate can be divided to three main approaches. In following, an attempt has been made to introduce all of them in addition to some practical examples. First of all, the role of mechanochemical reaction is described in direct preparation of nano materials from minerals (method A). Mechanochemical synthesis as an environment-friendly method is classified in mechanochemistry science, wherein mechanical energy is applied for performance of chemical reactions between initial reactants (Quaresma et al., 2017; Nasser and Mingelgrin, 2012). As reported in valuable historical reviews, mechanical energy brings about conversion and alteration in involving materials due to impact, compression, friction or shear (Balaz et al.,

2013; Takacs 2013). Direct preparation of nano materials from minerals by using mechanochemical reaction are often faced intrinsic problems due to dominant impact mechanism in synthesis conditions during high energy milling. The agglomeration phenomenon, as first problem, causes to sticking ultrafine particles together and hindering formation of nano particles. Also, by exerting impact during intensive milling, the solid composite phases obtained during mechanochemical reactions are not properly separable as required. Previously, methods of using additives and selection of proper mechanochemical reactions were performed to solve the agglomeration and separation problems, but they are yet essential and general challenges in mechanochemical preparation of nano structured materials (Balaz, 2008; Udhayabanu et al., 2010; Balaz et al., 2009). The complete reaction between reactant during mechanochemical reaction is first criterion to find a solution for the problems, especially the separation problem. The mechanically-induced self-propagating reaction (MSR) is a mechanochemical reactions type with high potential capability to proceed completion. The displacement type of MSR reactions are known as a powerful tool for reduction of sulfide compounds during metal-sulfide mechanochemical reaction. The reactive metals such as Al and Mg are supposed to reduce the less reactive metals in sulfide compounds (Takacs, 2002). Nevertheless, over the last years, many investigations were developed for mechanochemical reactions wherein advanced nanostructured materials were prepared (Udhayabanu et al., 2010; Balaz et al., 2009, Takacs, 2002). One of the sulfide minerals selected to prepare nanosized zero valent iron (NZVI) is natural pyrite with chemical composition of  $FeS_2$  (Akhgar & Pourghahramani, 2016; 2017).

It should be noted that natural pyrite with two main constituents of iron and sulfur is the most common gangue mineral associated with valuable minerals in ore deposits and it can be processed easily by conventional flotation methods. The pyrite concentrate is a refractory concentrate due to difficulty in its treatment (Lehmann et al., 2000). The applications of pyrite for direct preparation of NZVI have advantages e.g. it is cost-efficient, value-added of synthesized NZVI, abundant and easier to handle due to its simple chemical composition. For the mechanochemical reaction (Eq. 1), the natural pyrite and the Al powder were co-milled for 2h as described details before (Akhgar and Pourghahramani, 2016).



As a main achievement, the ZVI-aluminum sulfide compound was prepared after co-milling of pyrite with aluminum for 120 min. The XRD patterns related to the mechanochemical reaction of pyrite with Al powder proved that the peaks belonged to pyrite phase were disappeared after 120 min as promising sign for the reaction completion (Fig. 3). Finally, the FE-SEM images confirm the wide varieties in particles size of the ZVI-aluminum sulfide from 100 nm to 1  $\mu$ m (Fig. 4).

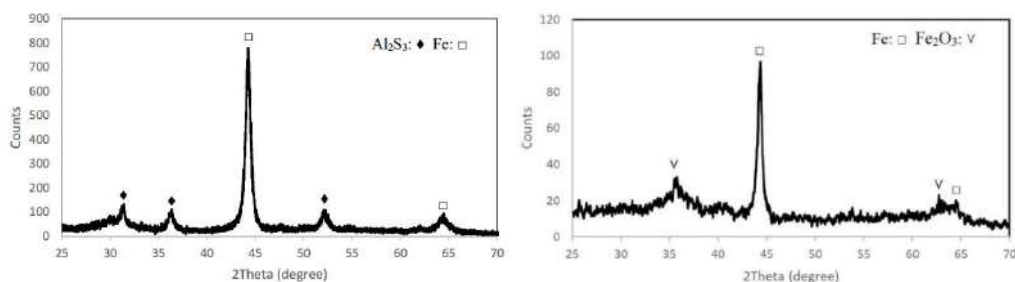


Figure 3. XRD pattern obtained from mechanochemical reaction of pyrite and Al (right) and mechanochemically prepared NZVI (left)

Although, the past investigations revealed that  $Al_2S_3$  and Fe phases were produced during displacement MSR reaction of pyrite and Al metal powder (Akhgar and Pourghahramani, 2016), the separation problems had to be solved due to the existence of extra  $Al_2S_3$  phase besides NZVI. Such extra phases would act as an additive agent during MSR reactions, preventing agglomeration of new phases produced under strong



impacts in high energy milling conditions, keeping them in nanoscale. Now, time is getting to imply the techniques for preparation of nano-sized materials by removing of extra hindering phases produced during mechanochemical reactions. Hydrometallurgical methods such as selective leaching are common methods used in chemical mineral processing to eliminate impurities or to extract minor desired constituents. For the reason, the investigation is followed by selective sonochemical leaching of Fe-Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> by using 1.5 M NaOH solution for 45 min at 80 °C to separate Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub>.

As XRF results, Al content decreased from 26.3 % in the Fe-Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> to 4.4 % in leach residue (NZVI). The results verified the selective performance of sonochemical leaching wherein more than 83% of Al was solved and Fe content increased in leach residue. Therefore, more than 80% of Al can be recovered and the remained aluminum as superconducting metal can promote the NZVI performance. The XRD analysis uncovered that major phases of Fe and Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> in the Fe-Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> compound converted to the major phases of Fe and maghemite in the leach residue (Fig. 3). Consequently, the results reconfirmed that the crystalline phase of aluminum sulfide was not remained as a major phase after the separation step.

Finally, the influence of sonochemical leaching on particle size of Fe-Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> compound and preparation of ZVI in nanoscale are presented in FE-SEM images of products before and after leaching. Although mean particle size of the Fe-Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> compound is about 1.86 µm, the NZVI (leach residue) mostly has a particle size less than 100 nm. The leach residue (NZVI) has about 116 m<sup>2</sup>/g BET surface area indicating that the ZVI was prepared in nanoscale. In conclusion, the direct preparation of NZVI was performed by using mechanochemical reaction from natural pyrite in accordance with flowsheet (A) illustrated in Fig. 2.

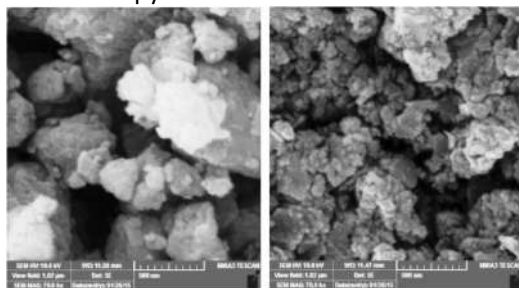


Figure 4. FE-SEM images of Fe-Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub> compound (left) and NZVI (right)

In second proposed method of B (Fig. 2), mechanical or mechanochemical activation was applied as pretreatment to promote reactivity of subjected minerals. The induced mechanical energy leads to increase surface area, microstructural changes and chemical composition variations which are responsible for the reactivity promotion. For example, the preparation of nanosized synthetic rutile, as photocatalyst, was reported from mechanically activated ilmenite concentrate (Akhgar et al., 2010, 2012 and 2013). As cited, Nanosized synthetic rutile was prepared by a reductive leaching of mechanically activated ilmenite. More than 30% of the ilmenite concentrate was converted to nanosized synthetic rutile. The nanosized synthetic rutile contained 91.1% TiO<sub>2</sub>, 1.3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6.3% SiO<sub>2</sub> and trace amounts of other impurities such as CaO, MgO, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as the XRD indicated (Fig. 5). Additionally, TEM and SEM analysis indicated that the particle size of the nanosized synthetic rutile were less than 100 nm (Fig. 6).

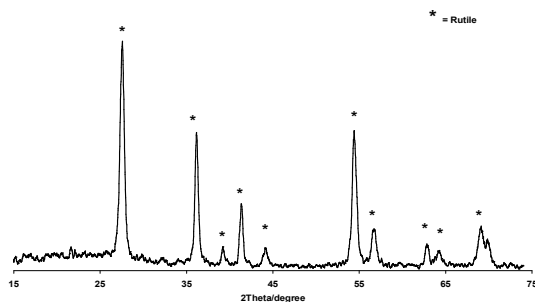


Figure 5. The XRD pattern of nanosized synthetic rutile

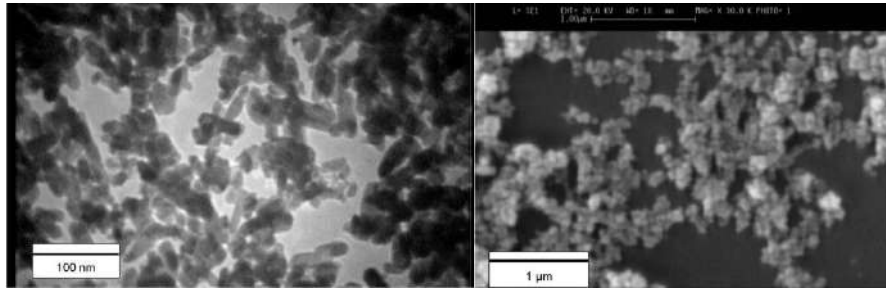


Figure 6. TEM (right) and SEM (left) images of nanosized synthetic rutile

In addition to mechanical activation, mechanochemical activation also can be used as pretreatment to prepare nanosized materials such as NZVI from minerals such as pyrite (B.N. Akhgar, P. Pourghahramani, 2015 and 2017). For instance, After the 50 min mechanochemical treatment of natural pyrite, the obtained reactive powder was leached by 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution at ambient temperature. Then, NZVI was prepared from the obtained Fe-bearing solution through titration of sodium borohydride. The XRD analysis revealed that pyrite and iron phases remained after 50 min mechanochemical treatment besides new phase of troilite. The microstructural changes of mechanochemically treated pyrite were investigated by Rietveld method. The mechanochemical treatment reduced crystallite size and increased microstrain. Total iron extraction during leaching process increased from 1% in natural pyrite to 87% after mechanochemical treatment of pyrite. The FE-SEM and XRD results indicated that the NZVI was prepared with particles less than 100 nm which are protected by an iron oxide shield (Fig. 7).

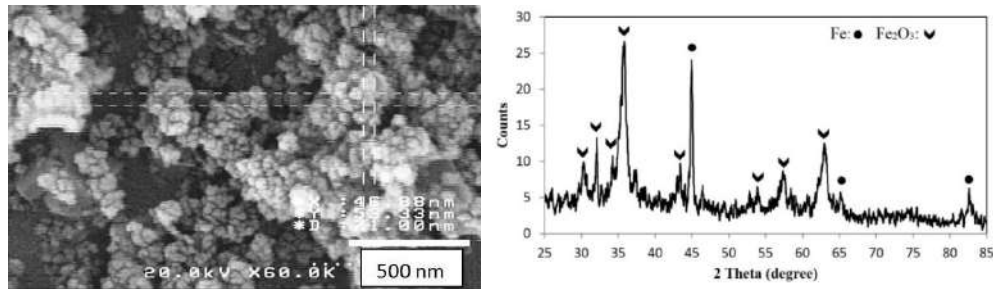


Figure 7. XRD pattern of the zero-valent iron nanoparticles

There are not lots of investigations related to third approach of (c) Fig. 2 while the obtained leach liquors can be used to synthesis nano materials from minerals. One of the rare studies is the preparation of TiOCl<sub>2</sub> solution from ilmenite concentrate (Nasser et al., 2013). The TiOCl<sub>2</sub> solution has the ability to be used in preparation of TiO<sub>2</sub> nanocomposite through sol-gel method, TiO<sub>2</sub> nano tubes by precipitation and hydrothermal methods (Uchida et al, 2003; Komarneni et al., 1999; Abbas et al., 2016). Nevertheless, the TiOCl<sub>2</sub> solution obtained from ilmenite concentrate leaching was not used to prepare nano sized TiO<sub>2</sub> (Mostafa et al., 2013). The approach (c) can be generalized upon other concentrate as presented in third method of Fig. 2 (solid lines). The approach (c) is highly recommended for future studies regarding to potential advantages such as application of cheap raw materials for preparation of high value-added nano materials. The disadvantages of the method such as impurities existence can be faded by elimination impurities wherein the impurities has unsatisfied influence on applied properties of prepared nano materials. It is notable that the impurities may have positive influence on the properties of nano materials. Nevertheless, the direct preparation of nano materials from minerals was performed through dashed path way of third approach of flowsheet (c). The hydrometallurgical processing (leaching) was sometimes implemented for eliminating impurities and purification. In these cases, nano sized materials as by-product can be seized through gravity separation methods such as centrifuging. A successful practice of the approach was preparation of micro and nanostructured titania compounds from ilmenite concentrates (Akhgar et al., 2013). In which, The double-reductive leaching of ilmenite concentrate was conducted to convert ilmenite concentrate to the titania compound with about 80% TiO<sub>2</sub> content, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

SiO<sub>2</sub> and trace amounts of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The XRD analysis confirmed the formation of rutile and pseudorutile phases in the final product (Fig. 8). The average size of suspended particles in the leach liquors was 58 nm obtained by zetasizer test (Fig. 9). These nano particles were separated as a by-product via centrifugation. The formation of nanostructure TiO<sub>2</sub> compound was indicated as TEM and SEM micrographs presented that the width of nanorods was less than 100 nm (Fig. 9).

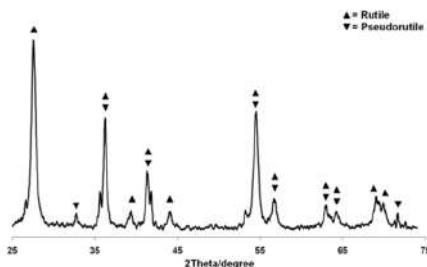


Figure 8. The XRD pattern of obtained product using double-reductive leaching technique

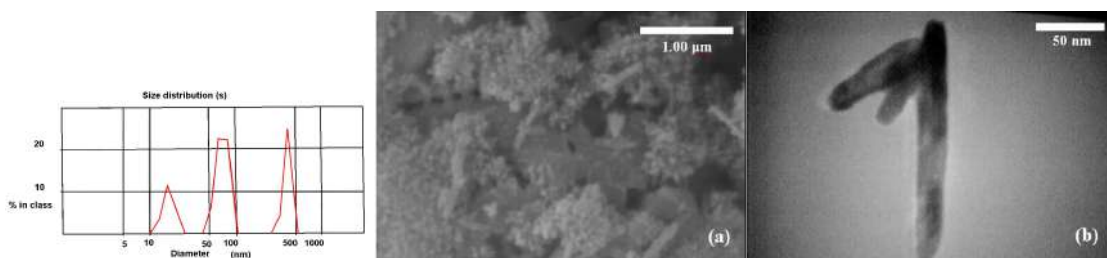


Figure 9. Zetasizer size distributions of suspended particles and SEM (a) & TEM (b) Micrographs

### CONCLUSION

The direct preparation of nano materials from minerals or concentrates was discussed as common areas of nanotechnology and mineral processing methods. As mentioned, the combination of nano technology and minerals processing can be interesting in order to preparation of advanced products with high value-added. The characterization methods of XRD, TEM, SEM, BET etc. are introduced as useful tools to insure preparation of nano sized materials and microstructure studies. Also, the following facts were additionally concluded;

- 1- Three main approaches were proposed to attain the goal of direct preparation of nano materials from minerals whereas both top-down and bottom-up methods were considered as essential approaches besides hydrometallurgical processing of leaching.
- 2- As results, mechanochemical reaction can be applied to synthesis nano materials from minerals following with selective leaching to separate products. For example, Preparation of NZVI from mechanochemically reduced natural pyrite by aluminum was described.
- 3- Also, mechanochemical and mechanical activation of concentrates, as pretreatment, are used before hydrometallurgical processing of leaching to obtain initial solution for preparation of nano materials. In the case, preparation of nanosized TiO<sub>2</sub> and NZVI from natural pyrite and ilmenite concentrate were mentioned respectively.
- 4- Finally, the application of gravity separation methods such as centrifuging was discussed to seize prepared nanosized materials produced during leaching process. As successful experience, nano sized titania was obtained from ilmenite concentrate leached by HCl solution.

## REFERENCES

- Abbas, N., Shao G.N., Haider, M.S., Imran, S.M., Park, S.S., Jeon, S.J., Kim, H.T., (2016). Inexpensive sol-gel synthesis of multiwalled carbon nanotube-TiO<sub>2</sub> hybrids for high performance antibacterial materials, *Materials Science and Engineering: C*, 68, 780-788.
- Akhgar, B. N., Pazouki, M., Ranjbar, M., Hosseinnia, A., Keyanpour-Rad, M., (2010). Preparation of nanosized synthetic rutile from ilmenite concentrate, *Minerals Engineering*, 23 (7), 587-589.
- Akhgar, B. N., Pazouki, M., Ranjbar, M., Hosseinnia, A., Salarian, R., (2012). Application of Taguchi method for optimization of synthetic rutile nano powder preparation from ilmenite concentrate, *Chemical Engineering Research and Design*, 90 (2), 220-228.
- Akhgar, Behzad, N., Pazouki, M., Akhgar, Behrang N., Ranjbar, M., Hosseinnia, A., (2013). Preparation of micro and nanostructured titania compounds from ilmenite concentrates, *International Journal of Mineral Processing*, 124 (14), 138-140.
- Akhgar, B.N., Pourghahramani, P., (2015). Impact of mechanical activation and mechanochemical activation on natural pyrite dissolution, *Hydrometallurgy*, 153, 83-87.
- Akhgar, B.N., Pourghahramani, P., (2016). Mechanochemical reduction of natural pyrite by aluminum and magnesium, *J. Alloys compd.* 657, 144-151.
- Akhgar, B.N., Pourghahramani, P., (2017). Implementation of sonochemical leaching for preparation of nano zero-valent iron (NZVI) from natural pyrite mechanochemically reacted with Al, *International Journal of Mineral Processing*, 164, 1-5.
- Balaz, P., Achimovicova, M., Balaz, M., Billik, P., Cherkezova-Zheleva, Z., Criado J.M., Delogu F., Dutkova, E., Gaffet, E., Gotor, F.J., Kumar, R., Mitov, I., Rojac, T., Senna, M., Streletskii, A., Wieczorek-Ciurowa K. (2013). Hallmarks of mechanochemistry: from nanoparticles to technology, *Chemical Society Reviews* 42, 7571-637.
- Balaz, P., (2008). *Mechanochemistry in Nanoscience and Mineral Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Balaz, P., Pourghahramani, P., Dutkova, E., Fabian, M., Kovac, J., Satka, A., (2009). PbS nanostructures synthesized via surfactant assisted mechanochemical route, *central european journal of chemistry* 7 (2) 215-221.
- Cullity B.D. & Stock S.R., (2001). *Elements of X-ray Diffraction*, 3rd ed., Prentice Hall, Inc.; New Jersey, U.S.A.
- Kaech, An., (2013). *An Introduction to Electron Microscopy Instrumentation, Imaging and Preparation*, Center for Microscopy and Image Analysis, University of Zurich.
- Komarneni, S., Rajha, R. K., & Katsuki, H. (1999). Microwave-hydrothermal processing of titanium dioxide. *Materials Chemistry and Physics*, 61(1), 50-54.
- Lehmann, M.N., Leary, S.O., Dunn, J.G., (2000). An evaluation of pretreatments to increase gold recovery from a refractory ore containing arsenopyrite and pyrrhotite, *Mineral Engineering*, 13, 1-18.
- Manoharan, M., (2008). Research on the frontiers of materials science: The impact of nanotechnology on new material development, *Technology in Society*, 30 (3-4), 401-404.
- Mostafa, N.Y., Mahmoud, M. H. H., Heiba, Z. K., (2013). Hydrolysis of TiOCl<sub>2</sub> leached and purified from low-grade ilmenite mineral, *Hydrometallurgy*, 139, 88-94.

- Nasser, A., Mingelgrin, U., (2012). Mechanochemistry: A review of surface reactions and environmental applications, *Applied Clay Science* 67–68,141–150.
- Pourghahramani P. and Forssberg E., (2006). Microstructure characterization of mechanically activated hematite using XRD line broadening, *International Journal of Mineral Processing* 79, 106–119.
- Pourghahramani P. and Forssberg E., (2007). The characterization of structural changes in hematite ground in a confined particle bed using Rietveld analysis, *Int. J. Miner. Process.* 38, 47–59.
- Pourghahramani, P., Akhgar, B.N., (2015). Characterization of structural changes of mechanically activated natural pyrite using XRD line profile analysis, *International Journal of Mineral Processing*, 134, 23–28.
- Quaresma, S., Andre, V., Fernandes, A., Duarte, M.T., (2017). Mechanochemistry – A green synthetic methodology leading to metallodrugs, metallopharmaceuticals and bio-inspired metal-organic frameworks, *Inorg. Chim.Acta.* 455, 309–318.
- Subramani, K., Elhissi, A., Subbiah, U., Ahmed, W., (2019). Chapter 1 - Introduction to nanotechnology in Nanobiomaterials in *Clinical Dentistry Micro and Nano Technologies* (2nd ed. Pp. 3-16), Elsevier.
- Tahmasebi R., Shamanian M., Abbasi M.H. and Panjepour M., (2009). Effect of iron on mechanical activation and structural evolution of hematite-graphite mixture, *J. Alloys Compd.* 472, 334–342.
- Takacs, L., (2002). Self-Sustaining Reactions Induced by Ball Milling, *Progress in Materials Science*, 47, 355-414.
- Takacs, L., (2013). The historical development of mechanochemistry. *Chemical Society Reviews* 42, 7649 – 7659.
- Uchida, S., Chiba, R., Tomiha, M., Masaki, N., Shirai, M., (2003). Hydrothermal Synthesis of Titania Nanotube and its Application for Dye- Sensitized Solar Cell, *Studies in Surface Science and Catalysis*, 146, 791-794.
- Udhayabanu, V., Singh, N., Murty, B.S., (2010). Mechanical activation of aluminothermic reduction of NiO by high energy ball milling, *Journal of Alloys Compounds*, 497, 142–146.
- Zdujic M., Jovalekic C., Karanovic L., Mitric M., Poleti D. and Skala D., (1998). Mechanochemical treatment of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder in air atmosphere, *Mater.Sci. Eng.A* 245, 199.

## SEPARATION OF BARITE-GANGUE MINERALS IN CELL FLOTATION USING SDS

M. Kecir<sup>1\*</sup>, A. Kecir<sup>1</sup>, J. Botula<sup>2</sup>

1 M'hamed Bougara University of Boumerdes , Algeria, Faculty of Oil and Chemistry  
(\*medkecir@yahoo.fr)

2VSB-Technical University of Ostrava, Czech Republic, Dept of Mining Engineering and Safety

### ABSTRACT

Barite belongs to this category of mineral substances which, neglected for a long time because of a lack of important use, are actively sought today by modern industry. The heavy mineral is appreciated by the nuclear industry, as a constituent of heavy concretes and by the paint industry. In Algeria, a member of OPEC, the heavy mineral has a great importance in the petroleum industry where it is used as weighting agent in the drilling muds.

In order to answer the requirements of this use, barite ores have to be treated and the method here applied is cell flotation.

The present work concerns a long series of tests on pure minerals of barite, calcite and quartz) in order to specify the efficiency of the sodium dodecyl sulfate (SDS) as collector, used alone and combined with various modifiers (activating agents and depressants) such as barium chloride, citric acid, potassium dichromate, sodium silicate and quebracho. Besides the nature and consumption of the reagents, the influence of pH has been also studied. At the end of this work, the conclusions which were drawn have been then verified on artificial binary and ternary mixtures of pure minerals in view of barite separation from both gangue minerals. The study finally ended with the application of the optimal flotation conditions to a natural barite ore. The best performance for this latter was reached with a SDS consumption of 200 g/t at pH 7, leading to the obtention of a barite concentrate with 95.1% BaO<sub>4</sub> grade, answering so the requirement of the oil industry.

**Keywords:** Barite, calcite, quartz, sodium dodecyl sulfate, flotation, pH.

## INTRODUCTION

Most countries are currently experiencing an acute economic crisis, especially those whose economies rely almost entirely on oil exports. This is the case of Algeria, which must imperatively favor the use of other non-hydrocarbon resources. Indeed, the country has many assets such as mineral resources, including barite.

This latter is a kind of important non-metallic mineral containing barium, which is widely used in several industrial fields such as petroleum industry (Chen et al., 2019). Because of its specific properties (high specific gravity=4.5, high chemical stability, whiteness and low abrasiveness), it is needed in big quantities in the oil industry as the major ingredient of drilling muds. Barite is also used as mineral filler (paper, paint, plastics, etc.) in barium chemistry (special glasses) and in civil engineering and public works (heavy concretes). In order to answer the requirements of these different uses, barite ores have to undergo appropriate treatment. The process used in this study is flotation. Without the development of this technique, there would be no mining industry as it is known today. That is to say the importance of this concentration process that allowed the exploitation of low grade ores and complex ores (Milliken, 1962).

The present paper deals with a series of tests which allowed to separate barite from the gangue minerals calcite and quartz, using sodium dodecyl sulfate (SDS) as collector and other modulating agents (activators and depressants) such as barium chloride, citric acid, potassium dichromate, sodium silicate and quebracho. Besides the consumption of the reagents, the influence of pH has also been studied. At the end of this work, the conclusions which were drawn have been then verified on artificial binary and ternary mixtures of pure minerals in view of barite separation from both gangue minerals. The study finally ended with the application of the optimal flotation conditions to a natural barite ore. The best performance for this latter was reached with a SDS consumption of 200 g/t at pH 7, leading to the obtention of a barite concentrate with a 95.1% BaO<sub>4</sub> grade, answering so the requirement of the oil industry.

## MATERIALS AND METHODS

### Pure Minerals and Reagents

The pure barite, calcite and quartz samples came from Belgium. Barite is a gravity concentrate from Fleurus, calcite which is virtually free from impurities comes from Couillet quarry and very pure quartz (99.9% SiO<sub>2</sub>) is from Mol. Except the latter mineral, all the others have been, after fragmentation, dry-sieved and only the particle size range from 0.074 to 0.2 mm was used for flotation tests.

The reagents used in this study are:

- Sodium dodecyl sulfate (SDS): an anionic surfactant known as lauryl (C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>SO<sub>4</sub>Na), considered as "type-collector" in non-metallic minerals flotation. It consists of a white paste, easily soluble in water.
- Barium chloride: an inorganic compound with formula BaCl<sub>2</sub>. It's a white chlorine and barium salt, soluble in water and relatively toxic.
- Citric acid: an inorganic acid with formula C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>.
- Potassium dichromate is a common inorganic chemical agent (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), with a very bright, red-orange color.
- Sodium silicate: an inorganic salt, odorless and very soluble in water (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>).
- Quebracho is an important compound of the tanins group (tanins are complex mixtures of polyphenols). It is produced from a plant grown in Mexico.

## Methods

Flotation experiments were carried out in a mechanical agitation flotation machine (Fagergren cell) with a volume of 500 ml (Figure 1).

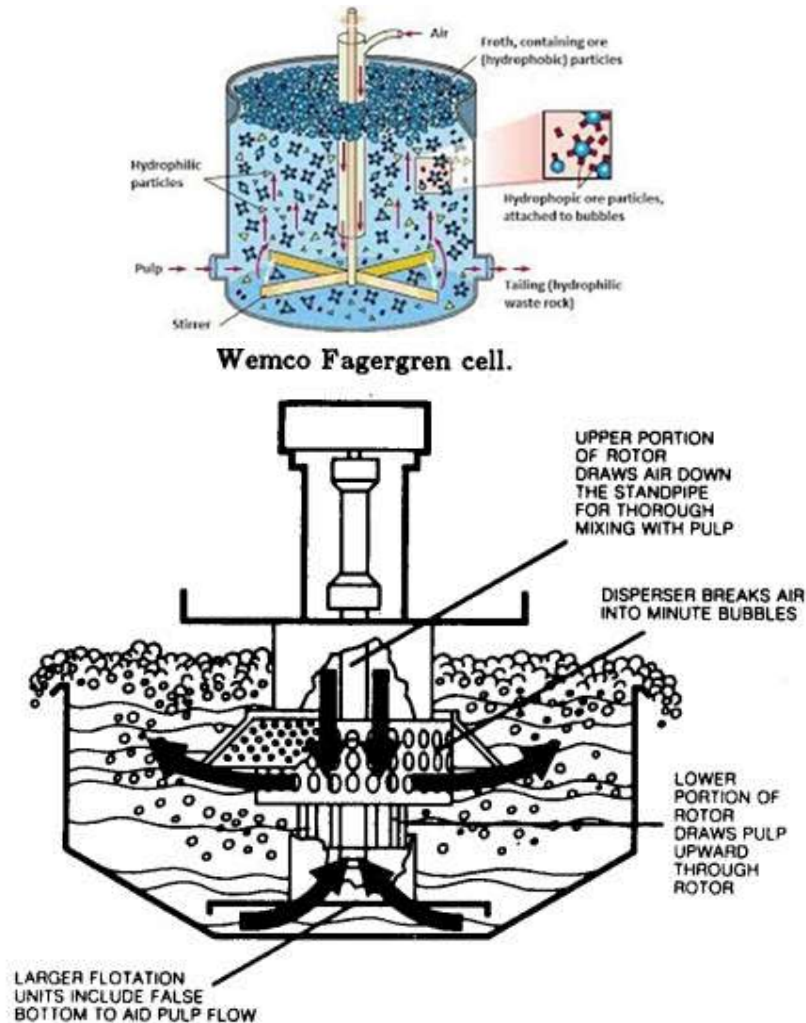


Figure 1. Wemco-Fagergren flotation machine

In order to study the efficiency of the various collectors and modifiers during the barite flotation, it is necessary to specify that all the flotation experiments have been performed in batch mode in a Fagergren cell (capacity of 500 ml), in the same following conditions :

- use of distilled water;
- solid content of the pulp = 20%;
- pH adjusted by  $H_2SO_4$  or whitewash, followed by a 5 mn conditioning;
- after an optional addition of a modulating agent, the collector is allowed to act during 10 mn;
- addition of oil pine as frother, when necessary.

## RESULTS AND DISCUSSION

The flotation experiments of the pure minerals of barite, calcite and quartz have been carried out at different pH and various consumptions and gave the results mentioned hereafter:



### The Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) is The Only Added Collector

Taking into account the low consumption used (100 and 200 g/t), SDS has given very good results in barite flotation. Indeed, from figure 2, it follows that it is particularly efficient for the flotation of the heavy mineral in the pH interval 6-9.5 (with 200 g/t). These results confirm the efficiency of SDS, already tested on Chaillacsamples (Hanna and Somasundaran, 1976) and reported by Pryor (1965), Eigeles (1957), Gaudin (1957) and Klassen and Mokrousov (1957).

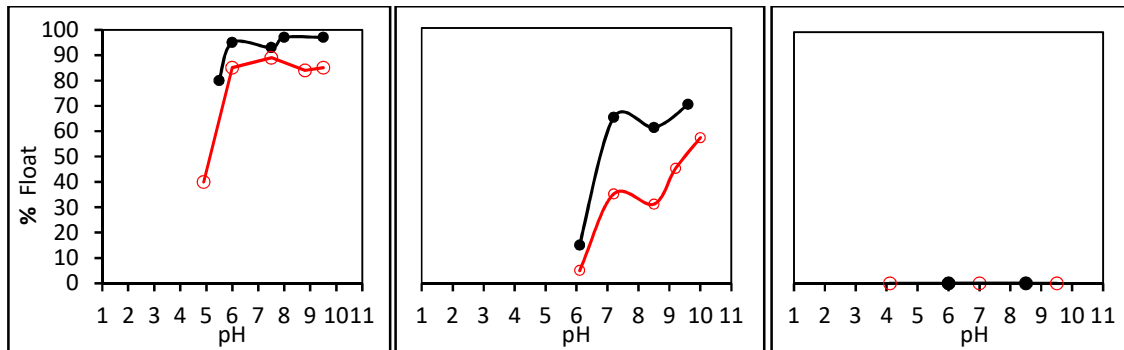


Figure 2. Flotation of barite (1), calcite (2) and quartz (3) with SDS (• 200g/t, ○ 100g/t) - Influence of pH.

SDS has also a collector action upon calcite, where it can be noticed, from the previous figure, that from natural pH 7.2, the performance increases with pH. In acid environment (pH=6.2), there is zero flotation, always for a consumption of 100 g/t. In the pH zone between 4 and 9.5, SDS didn't float quartz; this is valid, in general, for all the anionic collectors.

### A Modulating Agent is Added to The Collector

Barite being associated in the nature with gangue minerals (calcite, quartz), the use of collectors allowing its selective flotation often requires the need of modifiers. It's in the context of such separations that the action of SDS, in combination with activators and depressants mentioned in section 2.1, was systematically studied.

The Combination  $BaCl_2$  (500 g/t) % /SDS (100g/t) (Figure 3) gives good flotation recoveries for barite in basic zone with a maximum (85%) at pH 9.5. Let's point out that if we increase the barium chloride amount while keeping the same collector consumption, we obtain, on the other hand, a depressing effect on barite in pH interval 6-10. For the gangue minerals, we notice that calcite is activated and quartz doesn't at all react and this, for the same reagents combination.

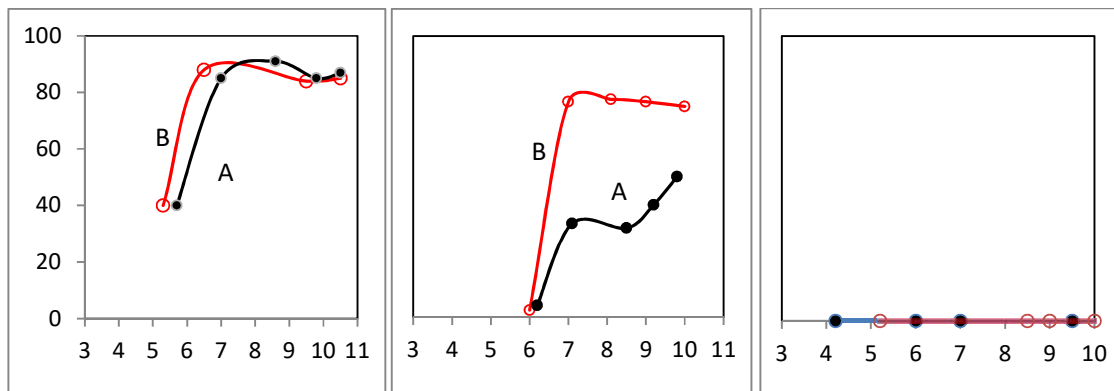


Figure 3. Flotation of barite (1), calcite (2) and quartz (3) with SDS and  $BaCl_2$  - Influence of pH. A: SDS (100); B: SDS (100) +  $BaCl_2$  (500)

In the Presence of SDS (100 g/t), Citric Acid (500 g/t)(Figure 4) is an activating agent for barite at acid pH, while it depresses it beyond pH 6 and pH 8.8 . Calcite which floats with SDS at natural pH and beyond, undergoes the depressing action of citric acid at pH 6.2 . As for quartz, it does not at all react in presence of citric acid.

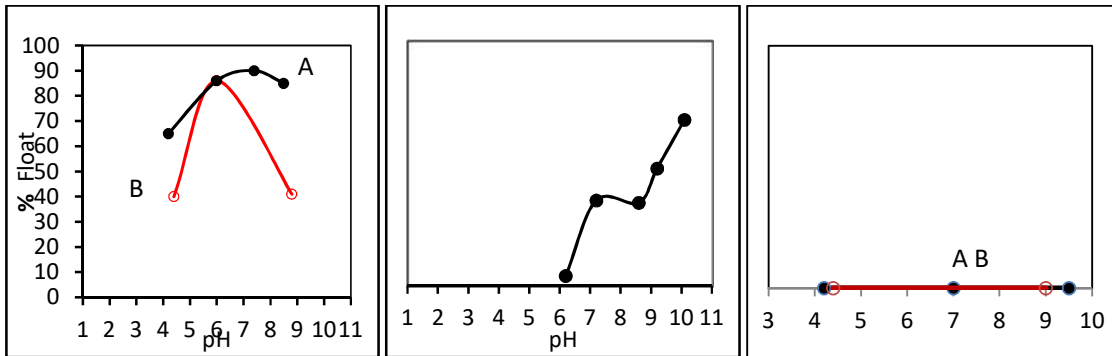


Figure 4. Flotation of barite (1), calcite (2) and quartz (3) with SDS and citric acid - Influence of pH.  
A: SDS (100); B: SDS (100) + citric acid (500)

The Potassium Dichromate, a mineral salt reported in the literature as a depressant of barite, is proving so in certain limits of pH. In our experiments, it has been used at the rate of 500 g/t and depresses calcite at pH 8 in the presence of SDS, while the flotation of quartz is not influenced by adding  $K_2Cr_2O_7$ (Figure 5).

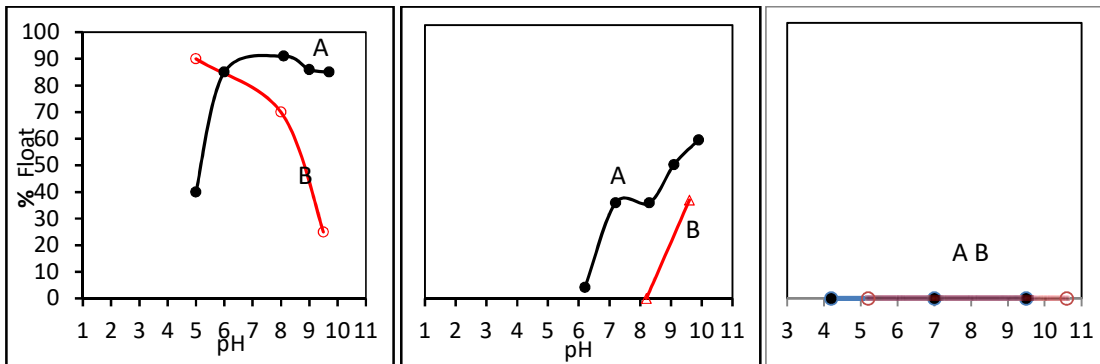


Figure 5. Flotation of barite (1), calcite (2) and quartz (3) with SDS and  $K_2Cr_2O_7$  - Influence of pH.  
A: SDS (100); B: SDS (100) +  $K_2Cr_2O_7$  (500)

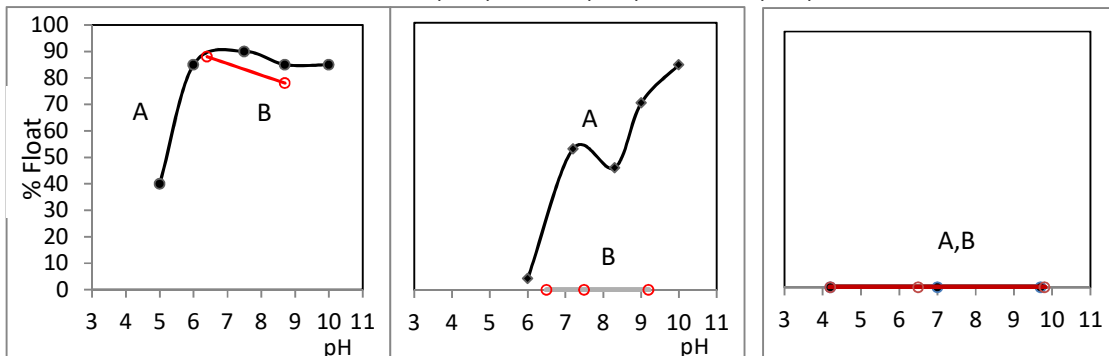


Figure 6. Flotation of barite (1), calcite (2) and quartz (3) with SDS and  $Na_2SiO_3$  - Influence of pH.  
A: SDS (100); B: SDS (100) +  $Na_2SiO_3$  (1000)

Quebracho was recognized as calcite depressant by many researchers (Bahr et al., 1968); Hanna and Somasundaran, 1976; Iskra et al., 1973; Lovell, 1982; Sautherland & Wark, 1955). This action was confirmed by experiments carried out with different collectors. Indeed, when combined, at the rate of 500 g/t with SDS (100 g/t), quebracho depresses calcite at basic pH (>7) over the entire pH range studied, i.e. 6-10. (figure 7). If addition of quebracho(500 g/t) to SDS (100 g/t) had no effect on quartz flotation, it depresses barite, especially from pH 8.

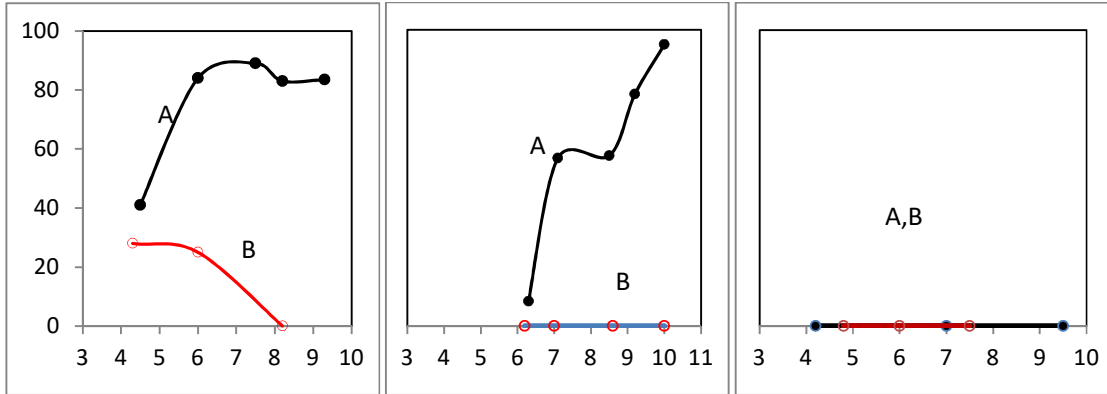


Figure 7. Flotation of barite (1), calcite (2) and quartz (3) with SDS and quebracho- Influence of pH.  
A: SDS (100); B: SDS (100) + quebracho(500)

At the end of this systematic study of flotation of pure barite, calcite and quartz with SDS which action was combined with modifying agents (activators and depressants), there lies all the interest of these latter. In fact, they would allow us to separate barite from both gangue minerals. The used conditions (nature and reagents consumption, pH) have been specified (cf. Second Level Heading).

### Artificial Mixtures Flotation

#### Operating mode

In order to verify the studied reagents efficiency for the separation of barite from gangue minerals, artificial binary and ternary mixtures of these three minerals were realized. Their particle size was comprised between 0.3 mm (48 mesh) and 0.074 mm (200 mesh) (the most fragile minerals being the finest). The proportions of the constituents in the binary and ternary mixtures were systematically 50: 50 and 40: 30: 30. The procedure adopted is the one described in paragraph 2.2. The conditions of the achieved tests, for the collector sodium dodecyl sulfate acting alone or in combination with an activator (or depressant), have been selected from the results obtained during flotation tests of pure minerals. The results of the mixtures flotations are expressed in the form of balance sheets, the grades being estimated by sieving.

#### Separation Barite/Quartz Mixture

For barite (hardness 2.5-3.5), the particle size 0.074-0.1 mm (150-200 mesh) has been selected, while the quartz grains have dimensions ranging from 0.2 to 0.3 mm (48-65 mesh). Although barite-quartz differential flotation has become an almost routine operation in industrial practice, the tests performed in this study seem to open new paths. Indeed, the best results were obtained in the following conditions, as mentioned in table 1. The calculated balance sheet of barite flotation with SDS (200 g/t) at pH 7 confirms the almost complete flotation of barite with a content in the concentrate of 99.2%  $\text{BaSO}_4$  and a recovery of 98.4%, while the content of the quartz (which constitutes almost entirely the sinking material) is 98.2% with a recovery of 99.4%.

Table 1. BaSO<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> separation using SDS (200 g/t) at pH 7

Product	Weight yield (%)	BaSO <sub>4</sub> balance		SiO <sub>2</sub> balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	49	99.2	98.4	0.6	0.6
Tailing	51	1.6	1.6	98.2	99.4
Restored feed	100	49.4	100.0	50.4	100.0
Feed		50		50	

Still in the context of the barite/quartz separation, but this time in the presence of a modulating agent (citric acid, 500 g/t), the barite floats with SDS (100 g / t) at pH 6 with a yield 86%, while quartz does not react when adding citric acid, at least up to a consumption of 500 g/t. This separation has been confirmed during our tests and allowed to obtain a satisfactory balance although with a lower recovery of barite in the floating product and a quartz lower content in the sinking material (Table 2).

Table 2. BaSO<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> separation using SDS (100 g/t) + citric acid (500 g/t) at pH 6

Product	Weight yield (%)	BaSO <sub>4</sub> balance		SiO <sub>2</sub> balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	42.4	99.5	86.1	0.5	0.4
Tailing	57.6	11.8	13.9	87.8	99.6
Restored feed	100.0	49	100.0	50.8	100.0
Feed		50		50	

Combining 100 g/t of SDS with 1000 g/t of sodium silicate at natural pH (6.5), it appears that barite could be separated from quartz. The result achieved with this collector is reproduced in table 3.

Table 3. BaSO<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> separation using SDS (100 g/t) + sodium silicate (1000 g/t) at pH 6.5

Product	Weight Yield (%)	BaSO <sub>4</sub> balance		SiO <sub>2</sub> balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	47.1	99.6	94.9	0.4	0.3
Tailing	52.9	4.8	5.1	95.0	99.7
Restored feed	100.0	49.4	100.0	50.4	100.0
Feed		50		50	

#### Separation Barite/Calcite Mixture

The mixture has been made with barite and calcite grains belonging respectively to the particle size fractions 0.2-0.3 mm (48-65 mesh) and 0.074-0.1 mm (150-200 mesh). Let's remember that in order to not dissolve calcite, precaution was taken to not go below pH 6-6.5. It is at pH close to this area that the two minerals could be separated based on the result of flotation with SDS, the balance sheet of which is shown in Table 4.

Table 4. BaSO<sub>4</sub>/CaCO<sub>3</sub> separation using SDS (200 g/t) at pH 6.3

Product	Weight yield (%)	BaSO <sub>4</sub> balance		CaCO <sub>3</sub> balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	49.6	98.0	98.0	1.6	1.6
Tailing	50.4	2.0	2.0	97.8	98.4
Restored feed	100.0	49.6	100.0	50.1	100.0
Feed		50		50	

The action of SDS has been also combined with those of barium chloride, potassium dichromate, citric acid and sodium silicate. The results of the last combination (SDS- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) gave the best result and the balance sheet is reproduced in the following table (Table 5). The SDS allowed to obtain a concentrate at 98.5%  $\text{BaSO}_4$  with a recovery higher than 91% and this for an enrichment rate of 1.97.

Table 5.  $\text{BaSO}_4/\text{CaCO}_3$  separation using SDS (200 g/t) +  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (1000 g/t) at pH 7.5

Product	Weight yield (%)	$\text{BaSO}_4$ balance		$\text{CaCO}_3$ balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	46.2	98.5	91.2	1.5	1.4
Tailing	53.8	8.2	8.8	91.8	98.6
Restored feed	100.0	49.9	100.0	50.1	100.0
Feed		50		50	

#### Separation Barite/Calcite + Quartz Mixture

Let's recall that 40% by weight of barite with a particle size of 0.074-0.1 mm (150-200 mesh), 30% of quartz and 30% of calcite were mixed to achieve the ternary mixture. The particle size of the two previous minerals is 0.2-0.3 mm (48-65 mesh); they have been taken in the same granulometric range because both have normally to be found in the sinking product.

Barite was effectively separated from the two other minerals thanks to SDS (100 g/t) at pH 6.5. The comparison of the flotation parameters (content and recovery) reported in the table 6, allows to affirm that results are excellent since barite floated with a recovery of about 94% and a  $\text{BaSO}_4$  content of 96.5%; the sinking product, comprising both quartz and calcite, has a content of about 96% with a recovery of 99%.

Table 6.  $\text{BaSO}_4/\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$  separation using SDS (100 g/t) at pH 6.5

Product	Weight Yield (%)	$\text{BaSO}_4$ balance		$\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$ balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	37.3	96.4	93.8	1.6	1.0
Tailing	62.7	3.8	6.2	95.6	99.0
Restored feed	100.0	38.3	100.0	60.5	100.0
Feed		40		60	

In the presence of  $\text{BaCl}_2$  (500 g/t), SDS (100 g/t) has floated barite in a basic environment (pH 8.5). The floating product is richer than the one obtained when the collector is used alone, but the recovery is lower (Table 7). As for the sinking product (calcite and quartz combined), it had a slightly lower grade for the same recovery.

Table 7.  $\text{BaSO}_4/\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$  separation using SDS (100 g/t) +  $\text{BaCl}_2$  (500) at pH 8.5

Product	Weight Yield (%)	$\text{BaSO}_4$ balance		$\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$ balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	35.4	97.4	89.3	1.7	0.9
Tailing	64.6	6.4	10.7	93.0	99.1
Restored feed	100.0	38.6	100.0	60.6	100.0
Feed		40		60	

The same attempts to isolate the barite from the two gangue minerals were made by combining the same alkyl sulfate with citric acid. In this case (100 g/t SDS + 500 g/t citric acid), the flotation response is almost zero at natural pH; additional 100 g of collector allow to recover 42% of barite in the floating product (Table 8) whose content is greater than 98%, unlike that of calcite + quartz of the sinking product which represents only 73%.

Table 8. BaSO<sub>4</sub>/CaCO<sub>3</sub> + SiO<sub>2</sub> separation using SDS (200 g/t) + citric acid (500) at natural pH

Product	Weight Yield (%)	BaSO <sub>4</sub> balance		CaCO <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub> balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
Concentrate	16.7	98.8	42.5	1.2	0.4
Tailing	83.3	26.8	57.5	73.2	99.6
Restored feed	100.0	38.8	100.0	61.2	100.0
Feed		40		60	

In most of the studied cases for the separation of barite / calcite + quartz mixtures, it is at pH close to 6.5 that the separation took place with very good BaSO<sub>4</sub> contents, or even excellent (always greater than 96%) of the floating product. The best results were obtained with SDS which was retained; indeed, it allowed, at pH 6.5, to almost completely depress calcite and quartz with a lower consumption and without adding depressant.

### Conclusion

In table 9 are listed all the optimal conditions for flotation of artificial mixtures of barite, calcite and quartz with the corresponding results. It is noticed that without adding depressant, the SDS allowed to isolate the barite from the two gangue minerals individually, with a content and a recovery of at least 98%. On the other hand, when calcite and quartz are simultaneously present in the gangue, barite is separated with SDS used alone with very satisfactory results.

Table 9. Optimal conditions of artificial mixtures flotation

Collector (g/t) ; pH	Depressant (g/t)	Floating product Balance (Concentrate)		Sinking product Balance (Gangue mineral)	
		C (%)	Rc (%)	C (%)	Rc (%)
BaSO <sub>4</sub> (0,074 – 0,1 mm) / SiO <sub>2</sub> (0,2 – 0,3 mm)					
Sodium Dodecyl Sulfate (200) ; 7	-	99.2	98.4	98.2	99.4
Sodium Dodecyl Sulfate (100) ; 6	Citric acid (500)	99.5	86.1	87.8	99.6
Sodium Dodecyl Sulfate (100) ; 6.5	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (1000)	99.6	94.9	95.0	99.7
BaSO <sub>4</sub> (0,074 – 0,1 mm) / CaCO <sub>3</sub> (0,2 – 0,3 mm)					
Sodium Dodecyl Sulfate (200) ; 6.3	-	98.0	98.0	97.8	98.4
Sodium Dodecyl Sulfate (200) ; 7.5	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (1000)	98.5	91.2	91.8	98.6
BaSO <sub>4</sub> (0,074 – 0,1 mm) / SiO <sub>2</sub> + CaCO <sub>3</sub> (0,2 – 0,3 mm)					
Sodium Dodecyl Sulfate (100) ; 6.5	-	96.4	93.8	95.6	99.0
Sodium Dodecyl Sulfate (100) ; 8.5	BaCl <sub>2</sub> (500)	97.4	89.3	93.0	99.1
Sodium Dodecyl Sulfate (100) ; nat	Citric acid (500)	98.8	42.5	73.2	99.6

### Application To a Natural Ore

The chosen final optimal conditions will focus on a barite ore whose sample has a particle size ranging from a fine dust to blocks of about 10 cm. This latter contains essentially barite (82.8% BaSO<sub>4</sub>) and quartz (5.5%SiO<sub>2</sub>), the remainder being various impurities (clay, iron hydroxides, etc.).

For the flotation of the concerned ore, two steps (roughing and scavenging) were necessary. Given the constitution of the ore, roughing was done in presence of SDS (200 g/t) at pH 7. Because the BaSO<sub>4</sub> content of the sinking product was still high (39.7%), it was found useful to enrich it in a scavenging step, carried out under the same conditions as those used for roughing, but with reduced collector consumption by half. The results are summarized in table 10.

Table 10. Actual barite ore cell flotation results

Product	Weight Yield (%)	BaSO <sub>4</sub> Balance		SiO <sub>2</sub> Balance		Remainder Balance	
		Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)	Content (%)	Rec (%)
R O U G H I N G							
F1	77.8	95.1	89.4	01.0	14.1	03.9	25.9
C1	22.2	39.7	10.6	21.3	85.9	39.0	74.1
Feed	100.0	82.8	100.0	5.5	100.0	11.7	100.0
S C A V E N G I N G							
F2	28.0	97.7	68.9	00.2	00.3	02.1	01.5
C2	72.0	17.1	31.1	29.5	99.7	53.4	98.5
	100.0	39.7	100.0	21.3	100.0	39.0	100.0
G L O B A L B A L A N C E							
F1	77.8	<b>95.1</b>	<b>89.4</b>	01.0	14.1	03.9	25.9
F2	06.2	97.7	07.3	00.2	00.2	02.1	01.1
C1	16.0	17.1	03.3	29.5	85.7	53.4	73.0

### CONCLUSIONS

After a series of flotation experiments of barite and associated minerals calcite and quartz, using the collector sodium dodecyl sulfate alone and in combination with various modifiers (barium chloride, citric acid, potassium dichromate, sodium silicate and quebracho), it turned out that the SDS exhibits a strong collecting capacity for both barite and calcite. Given the difficulty to separate them, some modifiers have been used, among which sodium silicate has proven to be an efficient depressant on calcite (and on quartz too) in the presence of SDS, at pH 7.5 and 6.5 respectively, with a consumption of 1000 g/t. But when SDS is used alone, this collector allowed to isolate quartz, calcite and quartz+calcite from barite, obtaining a barite concentrate with an average grade and recovery higher than 97 %. It's obvious that it is economically more advantageous to choose this reagent as barite collector. A good index that a concentrate grading 95.1% BaSO<sub>4</sub> at a recovery rate of 89.4% was obtained from an actual ore containing 82.8% BaSO<sub>4</sub> during flotation experiments (200 g/t SDS as collector at pH 7). The optimal conditions it was opted for, have allowed the obtention of a marketable concentrate answering the oil industry's requirements.

### References

- Bahr, A., ClemenT, M. and Surmatz, H. (1968). On the effect of inorganic and organic substances on the flotation of some non-sulfides minerals by using fatty acid-type collectors. 8<sup>th</sup> Intern. Min. Proc. Congr. Paper S-11. 12 pgs. Leningrad.
- Chen X., Gu G., Liu D. and Zhu R. (2019). The flotation separation of barite-calcite using sodium silicate-as-depressant in presence of SDS. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 55, 346–355.

- Eigeles, M.A. (1957). Selective flotation of non-sulfide minerals. Progress in Mineral Dressing. Trans. 4<sup>th</sup> Intern. Dress. Congr. (pp. 591-609). Stockholm.
- Gaudin, A.M. (1957). Flotation (2<sup>nd</sup> ed.). Mc Graw Hill. Book Cy. New York. 573 pgs.
- Hanna, H.S. and Somasundaran, P. (1976). Flotation of salt-type minerals. In A.M. Gaudin Mem. Vol. A.I.M.E. New York (pp.196-272).
- Iskra, J., Gutiérrez, C. and Kitchener, J.A. (1973). Influence of quebracho on the flotation of fluorite, calcite, hematite and quartz with oleate as collector. Trans. I.M.M. Vol 82, N°6.(pp. C73-C78).
- Klassen, V.J. and Mokrousov, V. A. (1973). An introduction to the theory of flotation. London. Butterworths.
- Lovell, V.M. (1982). Industrial flotation reagents. In Principles of flotation. Ed. RP King. Johannesburg. (pp. 73-89).
- Milliken, F.R. (1962). Introduction. In Froth Flotation 50th Anniv. Vol. A.I.M.E. New York (pp.1-3).
- Pryor, E.J. (1965) Mineral Processing (3<sup>rd</sup> ed.) Elsevier Amsterdam-London-New York. 844 pgs.
- Sautherland, K.L. and Wark, I.W. (1955). Principles of flotation. Australian I.M.M. Melbourne.(pp.315-340).



## HIGH PERFORMANCE VACUUM DISC FILTERS – EXCELLENT SOLUTION FOR TAILINGS DEWATERING

*Jan Pridal<sup>1,\*</sup>, Jürgen Hahn<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*BOKELAGmbH, HRB 104614 Mannheim, Germany  
(\*Corresponding author: jpridal@bokela.cz, jhahn@bokela.com)*

### ABSTRACT

The treatment of tailings and paste from ore processing has gained more and more significance in the recent years. The recovery of water from the process is an important target with respect to both economic and environmental aspects because water is a valuable resource. The dewatering of tailings allows dry-stacking which is environmentally more acceptable, safer, and cheaper. Especially with mine backfill it allows to reduce the amount of cement to be added which may save millions of dollars per year. The most common dewatering technologies for the filtration of tailings and paste from ore processing are filter presses, belt filters and rotary vacuum disc filters. Among these the vacuum disc filter is the most economical technology in most applications - both in CAPEX and OPEX – especially, when high performance disc filters of modern filter design are used. The Boozer disc filter is a modern high performance vacuum disc filter which has set the pattern in a multitude of applications. In the recent years this filter type has established itself in many applications of tailings dewatering initiated by a first reference application which started operation in 2010. In this application the use of two Boozer disc filters allowed to reduce the input of cement by about 60 %. The reasons for the successful operation of this disc filter in tailings dewatering are: the high throughput and dewatering performance, the excellent operational reliability even in case of varying feed conditions, the simple and robust design, the ease of maintenance and last but not least the small footprint.

The paper reports on operation experience and operation results of tailings dewatering with the Boozer disc filter from 3 different plants with 3 different tailings. In one of these plants a Boozer disc filter is operated in the Andes in more than 4,000 meters above sea level.

**Keywords:** Vacuum disc filter, tailings, thickened paste, dewatering, technology comparison

## INTRODUCTION

The treatment of tailings and paste from ore processing filtration and dewatering is becoming increasingly important. Firstly, the recovery of water from the process reduces the input of an important resource – water. This can make the difference between ‘yes, we can operate’ or ‘no, we cannot’. Secondly, the filtered tailings can be dry-stacked, which is safer, cheaper, and environmentally more acceptable. Thirdly, especially with mine backfill, the amount of cement to be added can be reduced, which may save millions of dollars per year.

Typically, filter presses, belt filters and rotary vacuum disc filters are used for this dewatering duty. Among these technologies, in approximately more than 80% of all applications, the vacuum disc filter type is assumed to be the most economical solution with reference to both CAPEX and OPEX aspects – especially, when modern disc filters are used. A characterizing outline and a comparison of CAPEX/OPEX data of these technologies has been presented by Hahn (2014).

## TYPICAL PROPERTIES OF TAILINGS

Tailings from ore processing are generally non-valuable products which have to be disposed of in an environmentally sound, secure and economic way. Typical properties of tailings, with respect to filtration, can be summarised as follows:

- Very fine particle sizes, mostly in the range of  $d_{50} = 1$  micron up to 50 micron.
- The formed filter cakes have a sticky behaviour and are difficult to release from filter fabric.
- The pH value is often low or high, i.e. tailings often have corrosive properties.
- Solids content is typically in the range of 50-70 wt.% due to thickening.
- Clay content depending on orebody can hinder filtration and dewatering.

## DESIGN OF THE BOOZER HIGH PERFORMANCE DISC FILTER

With the high performance disc filter Boozer BOKELA Company has developed a new generation of big diameter disc filters which have set a new standard for seed filtration in the alumina industry and in the dewatering of coal slurries. This type of disc filter is now getting more and more established in applications of paste dewatering.

The outstanding hydraulic characteristics of these modern disc filters were achieved by improving each detail of the filter design, leading to extraordinarily high performance capacity, high operational safety and reliability, and low maintenance and operation costs. The main features of this new disc filter generation are as follows:

- minimised pressure drop leading up to 100% higher pressure difference at the filter cloth, compared to conventional disc filters
- double capacity, compared to conventional disc filters
- high filter speed of 6 rpm
- high operational reliability and flexibility
- easy maintenance
- fully automatic and safe operation due to superior process philosophy realised in a programmable logic controller system

Disc diameters range from 1.7, to 4.2, to 5.6 m. For filtration of large slurry feed rates, such as tailings, a filter with large disc diameter of 5.6 m (L-type) is the appropriate filter size; this is available with one to four filter discs. A more detailed description is given by Hatzenbühler (2013).

These disc filters can be operated in a fully automated mode and thus can react online to changes in the filtration properties of the thickened tailings to maintain the required moisture. Furthermore,

modern disc filters are very reliable with regard to cake discharge, no matter how much fines are fed or how the feed solids content changes. The operation, even with high amounts of fines and the constant cake moisture, allows use of tailings for mine backfill without the need to split it into fine or coarse fractions. This reduces the process equipment required, the investment cost and the amount of cement added to the tailings.

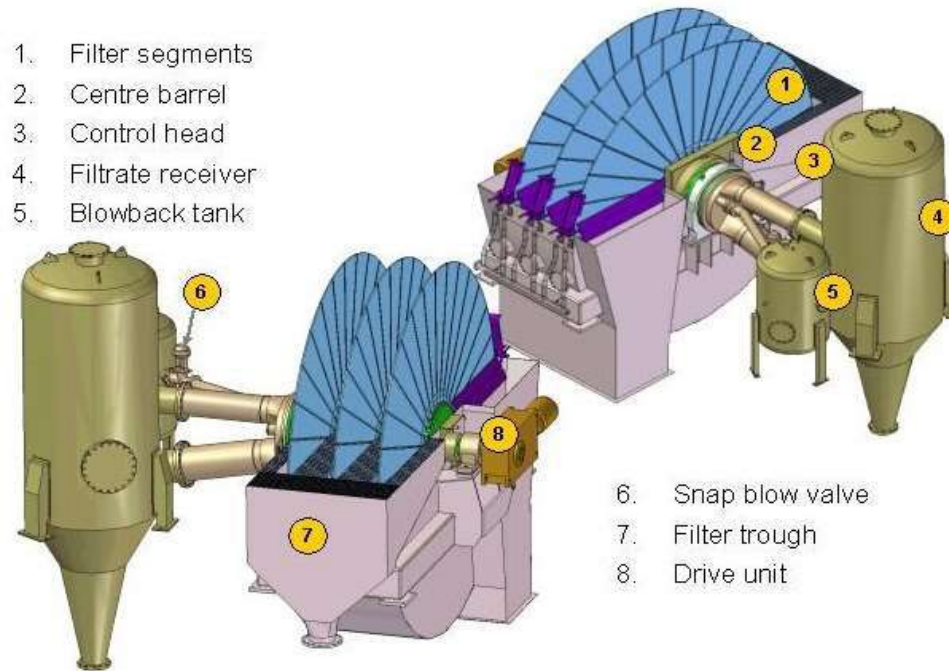


Figure 1.View of a Boozer disc filter with three discs

### Re-Design of the Boozer

After 25 years of operational experience with numerous filter units in many industries BOKELA have redesigned and upgraded the Boozer based on feedback from the operator. It was the target to improve the high standards operators associate with the Boozer by simultaneously reducing cost and weight. Motto of the new design was “high performance for less money”. To achieve this aim the proven and successful Boozer filter design has been enhanced by a series of new design features and improvements. The following targets have been the guideline for the new design:

- high,same or even increased—performance capacity
- light filter segment made of polymer considerably below 15 kg
- reduction of total weight of a filter unit
- further improvement of filter operation and maintenance
- significant cost reduction.

A detailed description of the new design is given by Hahn, Bott and Langeloh (2015).

### Lightweight Filter Segment

The new lightweight, snap-on filter segment (Figure 2) is made of fibre reinforced polymer (FRP). This novelty responds to a long-time objective of operators who always desired a lightweight filter segment for easy handling.

With less than 10 kg the new filter segment facilitates lifting and re-clothing for one person with ease and no need for crane.Characteristics and benefits of the new lightweight filter segment:



Figure 2. New lightweight snap-on segment of only 12 kg in weight (left), mounting of new segments (right)

- less than 10 kg in weight
- facilitates lifting and re-clothing for one person with ease and no need for crane
- snap on design – mounting and dismounting of segments nearly without tools
- excellent internal hydraulics to ensure fast filtrate drainage which is decisive for a high performance
- made of FRP
- reduced cost per unit.

#### **CONDITIONS FOR USE OF A DISC FILTER IN TAILINGS DEWATERING**

Vacuum disc filters are suitable for applications of tailings dewatering where the following conditions and targets apply:

- if the clay content in the solids is low
- if mine backfill is processed
- if the tonnage is > 50 t/h and big filter sizes can be applied
- if a moisture of > 18 wt.% is accepted
- if energy efficiency is important
- if there is a space constrain
- in third world countries where little know how for operation has to be assumed
- if amount of flocculent shall be limited
- if operation cost shall be minimised.

#### **TAILINGS DEWATERING WITH THE BOOZER DISC FILTER**

The Boozer disc filter has set the pattern in a multitude of applications e. g. in the alumina industry and in the dewatering of coal slurries. In the last years this type of disc filter has established itself more and more in applications of tailings dewatering. The reasons for its successful operation in tailings dewatering are: the high throughput and dewatering performance, the excellent operational reliability even in case of varying feed conditions, the simple and robust design, the ease of maintenance and last but not least the small footprint.

#### **Dewatering of Gold/Copper Tailings**

The first Boozer disc filter for tailings dewatering started operation in 2010 at Chelopechmine in Bulgaria where the tailings are used for mine backfill. For this application a Boozer L4 disc filter with 176 m<sup>2</sup> filter area and 5.6 m disc diameter is in operation. The implementation of the Boozer L4 disc filter for this dewatering duty was part of the mine upgrading and modernization project when Chelopech switched the mining method away from the environmentally challenging caving method to a drill and fill method (D. Liston) to increase both production rate, production reliability and sustainability.

During layout tests the tailings consisted of particles with a mean diameter  $d_{50}$  of 20 to 30 microns and were concentrated to > 50 wt.-% in a thickener. Target value for solids throughput was specified to 100 t/h and target cake moisture was specified to 23 wt.-%. Layout tests showed that the required 100 t/h solids throughput could be achieved with one disc filter of 176 m<sup>2</sup> filter area, which requires a minimum specific solids throughput of 568 kg/m<sup>2</sup>/h to ensure target solids throughput of 100 t/h.

Since filter commissioning the characteristics of the slurry have changed especially with respect to particle size distribution. The mean particle diameter  $d_{50}$  increased from  $d_{50} = 25 \mu\text{m}$  to  $d_{50} = 40 \mu\text{m}$  and solids throughput increased accordingly to rates higher than needed. As a consequence, flocculent dosage could be reduced stepwise and the filter can be operated even without flocculent. The achieved filter performance is 110 t/h for solids throughput rates and residual cake moisture ranges to 19-22 wt.-%. After nearly six years of operation the filters are in excellent condition thanks to the preventive maintenance concept of the plant.

A more detailed description of this application is given by Hatzenbühler (2013).



Figure 3. Disc filter (176 m<sup>2</sup> filter area) assembled in the gold/copper mine; view of control head side (left); and view of the four filter discs with walkways (right)

### Dewatering of Zinc Tailings

For dewatering of zinc tailings from a copper and zinc mine in Australia, Qld two Boozer ME8 disc filters have been installed and started operation in 2014. Each filter has a filter area of 141 m<sup>2</sup> and consists of 8 filter discs with a diameter of 4.1 m.

This project started already in 2004 when the client ordered a filter assessment to investigate the options of a capacity increase of the paste plant by retrofitting the existing vacuum disc filters. The paste plant operated 2 vacuum disc filters for zinc tailings dewatering. Each filter was filtering about 120 t/h of tailings (on dry solids basis) and both filters were separating about 240 t/h while the total plant capacity of tailings was 350 t/h. In 2013 the project was finally launched. Now the target was to replace the existing two filters with two new filters in order to meet the total plant capacity of 350 t/h of tailings. This is an almost 50 % capacity increase on basically the same filtration area. It was essential that the two filters

should fit into the existing filter floor space with a minimum of modification work. The new operating data of the two existing filters have been compared with the filter assessment back in 2004 and have shown a good relation. Additionally, a site visit confirmed filter operation still to be similar to the operation in 2004. Based on this, two new Boozer ME8 disc filter were chosen for the replacement project and were commissioned in 2014.

The tailings slurry mainly consists of silicates. Product characteristics of the feed slurry and target values with respect to solids throughput and cake moisture are as follows:

- feed solids: 60 - 65wt.-% solids
- particle size distribution ie mean particle diameter  $d_{50}$ : 50 $\mu$ m
- target solids throughput on dry solids basis: 350 t/h resp. 175 t/h per filter
- target cake moisture content: 20 – 22 wt.-%.

In table 1 both the expected performance values and operational values of the running filters are shown.

Table 1 Expected and achieved operational values of solids throughput and cake moisture

Dewatering of zinc tailings		Predicted value per filter	Operational value per filter
Solids throughput			
normal	[t/h]	175	> 175
peek (max.)	[t/h]	200	210
Filter speed for normal operation	[rpm]	1.5	< 1
Cake moisture	[wt.-%-%]	20 - 22	17 – 20
Flocculent dosage	[g/t DS]	depending on feed charge	0 - 50 depending on feed charge

The two disc filters are operated in a fully automatic way ie filter start up, filter operation and filter shut down are carried out automatically. An automatic filter operation control adapts filter performance to changing slurry and process conditions and avoids emergencies. The design and the outstanding hydraulic capacity of the Boozer disc filters is the basis of the specific operation philosophy for improved filter operation without continuous slurry overflow (Hahn 2011).

Depending on the slurry feed charge it can occur that the discharged filter cake is too dry for downstream processing in the mixer. This can be prevented by adapting ie throttling the pressure difference in the dewatering vacuum line which effects higher moisture content values of the filter cake. Experiences gained from filter commissioning and filter operation can be summarized to following recommendations to ensure safe and reliable filter operation:

- an exact mounting and fixation of the filter bags onto the filter segments prevents solids from penetrating into the filtrate piping
- routine inspections by a well trained operator and maintenance team to detect defective filter bags which should be replaced as prompt as possible to detect initiating damages through the abrasiveness of the slurry in an early stage.

#### Dewatering of Tailings from a Gold/Silver Mine in 4,800 m Above Sea Level

For dewatering of tailings from a gold/silver mine in Peru two Boozer L4 disc filters have been installed and will start operation in March 2016. Each filter has a filter area of 176 m<sup>2</sup> and 4 filter discs of

5.6 m disc diameter. The filtered and dewatered tailings will be mixed with cement and will be backfilled into the exploited mine areas.

A worldwide operating engineering company was looking for filtration equipment to dewater these tailings coming from a gold/silver mine which is located 4,800 m above sea level (MSL). This was a big challenge as the client was looking for a cost efficient filtration solution. On the one side it was required from the equipment to have a small footprint for reducing building cost and logistic efforts to get all the parts in the remote area of the plant site. This basically took the option for four large vacuum belt filters out of the focus and favoured pressure filtration. On the other side it was required from the filtration equipment to be low in operation cost as electricity is limited and the overall OPEX should be as low as possible. This disqualified the pressure filtration option. As a final result the high performance Boozer disc filter fulfilled both requirements in the best way and were chosen to be the most suitable dewatering technology for this application.



Figure 4. Two Boozer disc filter ME8 (141 m<sup>2</sup> filter area each) for zinc tailings dewatering in the filter building (left); discharged filter cake (right)

Product characteristics of the feed slurry are as follows:

- feed solids: 60 wt.-% solids
- particle size distribution  $d_{20}/d_{50}/d_{80}$ : 6.7  $\mu\text{m}/22 \mu\text{m}/52 \mu\text{m}$
- pH-value: 11

Based on filtration test work conducted by a third party and the experience of BOKELA in the field of tailings filtration the following filter lay out has been made:

- solids throughput on dry solids basis: 88 t/h resp. 44 t/h per filter
- cake moisture content: < 20 wt.-%.
- flocculent dosage: 10 – 50 g/t dry solids

The two disc filters will be operated in a fully automatic way ie filter start up, filter operation and filter shut down are carried out automatically. First test during pre-commissioning phase proved that the filter can be operated within the required and predicted performance range. Commissioning and start of operation will take place in March 2016.



Figure 5. Tailings dewatering from a gold/silver mine with a Boozer disc filter L4 (176 m<sup>2</sup> filter area) – complete cake discharge during pre-commissioning

### **CONCLUSION**

The Boozer disc filter has set the pattern in a multitude of applications in many industries e. g. in the alumina industry and in the dewatering of coal slurries. In the recent past this modern high performance disc filter has established itself more and more in applications of tailings dewatering, especially – but not exclusively - where mine backfill is processed. Among competitive technologies such as filter presses or belt filters, vacuum disc filters of modern design are the most economical solution with reference to both CAPEX and OPEX in a wide range of tailings applications. The reasons for its economic efficiency and successful operation in tailings dewatering are: the high throughput and dewatering performance, the excellent operational reliability even in case of varying feed conditions, the robust design, the ease of maintenance and last but not least the small footprint.

### **ACKNOWLEDGEMENTS**

We would like to thank our customers for their trust in our technologies and their kind support.

### **REFERENCES**

- Hahn, J, Bott, R., Langeloh T. (2015). Size Matters, Weight Too - Disc Filter Design For the Future. Tenth International Alumina Quality Workshop(AQW). Perth, Australia.
- Hahn, J, Bott, R., Langeloh.T. (2014). Economical dewatering of tailings for mine backfill with high performance disc filters. Eleventh International Symposium on Mining with Backfill. Perth, Australia.
- Liston D. (2014). Utilisation of cemented rockfill, cemented hydraulic fill and paste to successfully achieve ore production expansion to 2 Mtpa at Chelopech Mine. Eleventh International Symposium on Mining with Backfill. Perth, Australia.
- Hatzenbühler, M. (2013). Dewatering of tailings for mine backfill with the Boozer disc filter. Sixteenth International Seminar on Paste and Thickened Tailings. Belo Horizonte, Brasil.
- Hahn, J, Bott, R., Langeloh T. (2011). Paste dewatering with the Boozer disc filter. Fourteenth International Seminar on Paste and Thickened Tailings. Perth, Australia.



**TERMAL OLARAK AKTİFLEŞTİRİLMİŞ PİROFİLLİT KONSANTRESİNİN ALÜMİNA ÜRETİMİ İÇİN ASİDİK LIÇI**  
*ACIDIC LEACHING OF THERMALLY ACTIVATED PYROPHYLLITE CONCENTRATE FOR ALUMINA*  
*PRODUCTION*

Ramazan Aydoğmuş, Murat Erdemoğlu\*

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya Türkiye

(\*Sorumlu Yazar: [murat.erdemoglu@inonu.edu.tr](mailto:murat.erdemoglu@inonu.edu.tr))

**ÖZET**

Pirofillit ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ) cevherinden alümina ( $Al_2O_3$ ) üretiminin amaçlandığı bu çalışmada, liç öncesinde cevherin aktifleştirilmesi yoluyla alüminyum kazanımının artırılması hedeflenmiştir. Cevher Pütürge (Malatya-Türkiye) bölgesinden sağlanmıştır. Başlıca %20,64  $Al_2O_3$ , %72,92  $SiO_2$  ve %4,1  $H_2O$  içerdiği kimyasal analizle belirlenen cevherin X-ışınları kırınım analizi başlıca kuvars, pirofillit ve kaolinit içerdiğini göstermiştir. Çoğunluğu kuvars olarak mevcut olan  $SiO_2$  içeriğinin fazlalığını gidermek için, flotasyon reaktifi olarak sadece bir köpürtücünün kullanıldığı kollektörsüz flotasyon yöntemiyle zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Cevherde bulunan tüm silikatlar, liç sırasında asit tepkimelerine karşı çok dirençli olduklarından, köpük flotasyonu ile elde edilen yüksek  $Al_2O_3$  ve düşük  $SiO_2$  içeren pirofillit konsantresi daha sonra asidik liç sırasında alüminyum kazanımını arttırmak üzere termal olarak aktivasyona tabi tutulmuştur. Konsantre, termal aktivasyon için 1100 ° C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda bir kül fırında ısıtılmıştır. Daha sonra, zenginleştirilmiş ve ısıtma işleminden alınmış her ürün, atmosferik basınçta özdeş koşullar altında HCl çözeltileri ile liç yapılmıştır. Sonuçlar, köpük flotasyonunun pirofillit cevherinin  $Al_2O_3$  içeriğini arttırdığını ve  $SiO_2$  içeriğini azalttığını ortaya koymuştur. Konsantrenin 900 °C'ye kadar ısıtılması liç sırasında çözeltide alüminyum geri kazanımını önemli ölçüde artırmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Alümina, Pirofillit, Asidik liç, Aktivasyon

**ABSTRACT**

Alumina ( $Al_2O_3$ ) production from pyrophyllite ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ) ore was aimed and aluminum extraction with high recoveries were targeted by using activation of the ores before leaching. The ore was purchased from Pütürge (Malatya, Turkey). X-ray diffraction analysis revealed that quartz, pyrophyllite and kaolinite constitute the ore which contains mainly 20.64%  $Al_2O_3$ , 72.92%  $SiO_2$  and 4.1%  $H_2O$  as provided by chemical analysis. In order to remove excess of the  $SiO_2$  content present chiefly as quartz, concentration process by collectorless flotation where only a frother was the used as a flotation reagent was performed. The high- $Al_2O_3$  and low- $SiO_2$  containing concentrate obtained by froth flotation was then subjected to thermal activation to increase the aluminum recovery during the acidic leaching, since all of the silicates present in the ore are very resistant to acid attacks during the leaching. The concentrate was heated in a muffle furnace at various temperatures up to 1100 °C for thermal activation. Then, the concentrate and each product from heating were leached by HCl solutions under identical conditions at atmospheric pressure. The results revealed that froth flotation of the pyrophyllite ore increases the  $Al_2O_3$  content and decreases the  $SiO_2$  content. Heating of the concentrate up to 900 °C significantly increases the aluminum recovery.

**Keywords:** Alumina, Pyrophyllite, Acidic leaching, Activation

## GİRİŞ

Yerkabuğunda en bol bulunan üçüncü element olan alüminyum, modern dünyada en çok ihtiyaç duyulan hammaddelerden birisidir. Doğada 270'ten fazla farklı mineral alüminyum bileşiği içermesine rağmen, oksijen için güçlü bir afiniteye sahip olmasından dolayı doğal alüminyum varlığı oldukça nadirdir (Ashkenazi, 2019). Günümüzde yıllık üretimi 66 milyon tonu geçen alüminyum (Anonim, 2019a), çoğunlukla Bayer prosesi ile üretilen alüminanın Hall-Héroult prosesi ile elektrolitik indirgenmesiyle elde edilmektedir. Alüminyum üretiminde kullanılan alümina, büyük ölçüde boksit cevherinden elde edilmektedir. Dünya boksit üretiminin %90'ı alümina eldesinde kullanılmaktadır (Udochukwu vd., 2019).

Dünyada, yaklaşık 30 milyar ton görünür ve 25-45 milyar ton mümkün+muhtemel boksit rezervi bulunmaktadır. Bu rezervin yaklaşık %75'i Gine, Avustralya, Brezilya, Jamaika ve Vietnam'dadır (Anonim, 2019b). 1989 yılında 100 milyon tonu geçen boksit üretimi 2018 yılında 337 milyon tona ulaşmış ve 2031 yılında 500 milyon tonu geçeceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2019a).

Boksit rezervlerinin giderek artan bir hızla tükenmesi, öncelikle yüksek alümina içerikli kaynaklar üretildiği için kalan rezervin alümina içeriğinin zamanla düşmesi, bazı ülkelerde boksit rezervinin olmaması veya olup da Bayer prosesine uygun olmaması, her bir ton alümina üretimi için 1-1,5 ton kırmızı çamur oluşması gibi teknik, ekonomik ve çevresel etkilerden dolayı araştırmacılar boksit dışı kaynaklardan alümina üretimini göz önüne almışlardır (Li, 2001; Paspaliaris ve Karalis, 1993; Uysal vd., 2019).

Boksit dışı kaynaklardan alümina üretimi için şeyller (Cohen ve Mercier, 1976; Miao vd., 2011; Thomas ve Ingraham, 1946), termik santral artığı uçucu küller (Ding vd., 2016; Guo vd., 2017; Tripathy vd., 2019), alunit (Aliyev vd., 2016; Li vd., 2018; Özdemir ve Çetışli, 2005), nefelinli siyenit (Arlyuk, 1992; Jorjani ve Amirhosseini, 2007), kyanitin(Kustov vd., 2014) yanısıra başta kaolinit (Al-Zahrani ve Abdul-Majid, 2009; ElDeeb vd., 2019; Hosseini vd., 2011), olmak üzere pirofillit (Aydoğmuş, 2019; Birinci vd., 2017; Erdemoğlu vd., 2017, 2018a; Uysal, 2018), illit (Bazin vd., 2007), muskovit (Mirzoev vd., 2014) gibi yüksek alümina içerikli kil mineralleri araştırılmıştır.

Kil minerallerinden alümina üretimi için farklı yöntemler geliştirilmiştir (Bengtson, 1979; Habashi, 1993; Peters vd., 1962). Bu yöntemlerden biri, liç kinetiğini arttıran aktivasyon işlemi ile başlamaktadır (Bengtson, 1979; Habashi, 1993; Livingston vd., 1983). Kil minerallerinin aktifleştirilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi de termal aktivasyondur (Al-Ajeel ve Al-Sindy, 2006; Al-Zahrani ve Abdul-Majid, 2009; Bazin vd., 2007; Birinci vd., 2017; Numluk ve Chaisena, 2012). Aktivasyon işleminin ardından cevherde bulunan alüminyum uygun bir asitle çözeltiye alınmaktadır. Alüminyum içerikli çözeltiden alüminyum tuzu çöktürüldükten sonra kalsinasyon yapılarak alümina elde edilmektedir (Erdemoğlu vd., 2018a).

Pirofillit,  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$  mineralojik formülüne sahip bir filosilikat kil minerali olup, saf haliyle %28,3  $Al_2O_3$  içermektedir. Dünyada, genel olarak seramik sanayi için uygun olan pirofillitler üretilmekte, diğer kısımlar ise pasa olarak kalmaktadır. Bu nedenle, bu tür pirofillit cevherlerinin alümina üretimi için zenginleştirilmesi ve aktifleştirilerek kullanılması durumunda yeni bir tüketim alanı doğmuş olacak ve düşük kalitedeki cevherler katma değeri yüksek bir ürüne dönüşecektir (Erdemoğlu vd., 2018b).

## MALZEME VE YÖNTEM

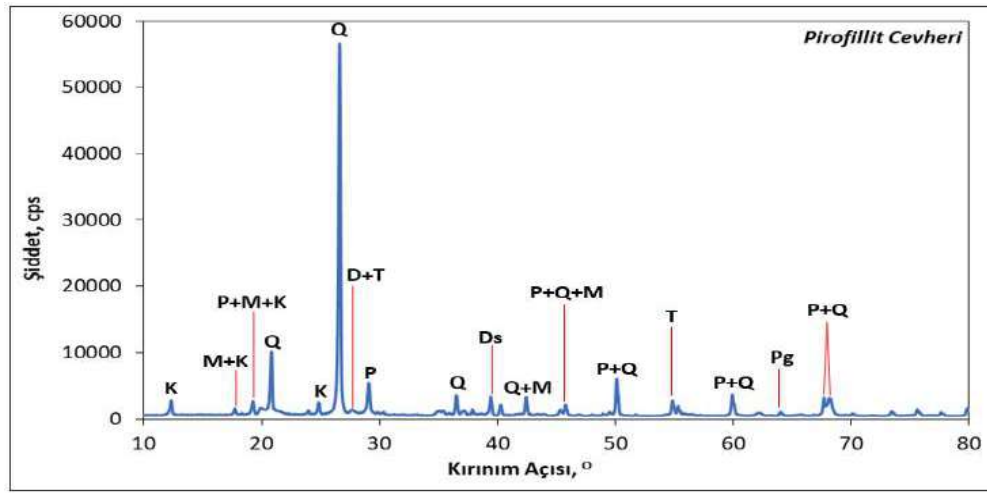
### Malzeme

Deneyisel çalışmalarda kullanılan pirofillit cevheri, Malatya ili Pütürge ilçesinde bulunan bir pirofillit ocağından temin edilmiştir. Cevherin kimyasal içeriğinin ve mineralojik bileşiminin belirlenebilmesi için sırasıyla ICP-MS ve XRD analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Pirofillit cevherinin kimyasal içeriği Çizelge 1’de ve mineral bileşimini gösteren XRD deseni Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Pirofillit cevherinin kimyasal içeriği

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	KK*
72,92	20,64	0,18	0,29	0,15	0,86	0,44	0,25	4,1

\*Kızdırma kaybı



Şekil 1. Tüvenan pirofillit cevherinin XRD deseni

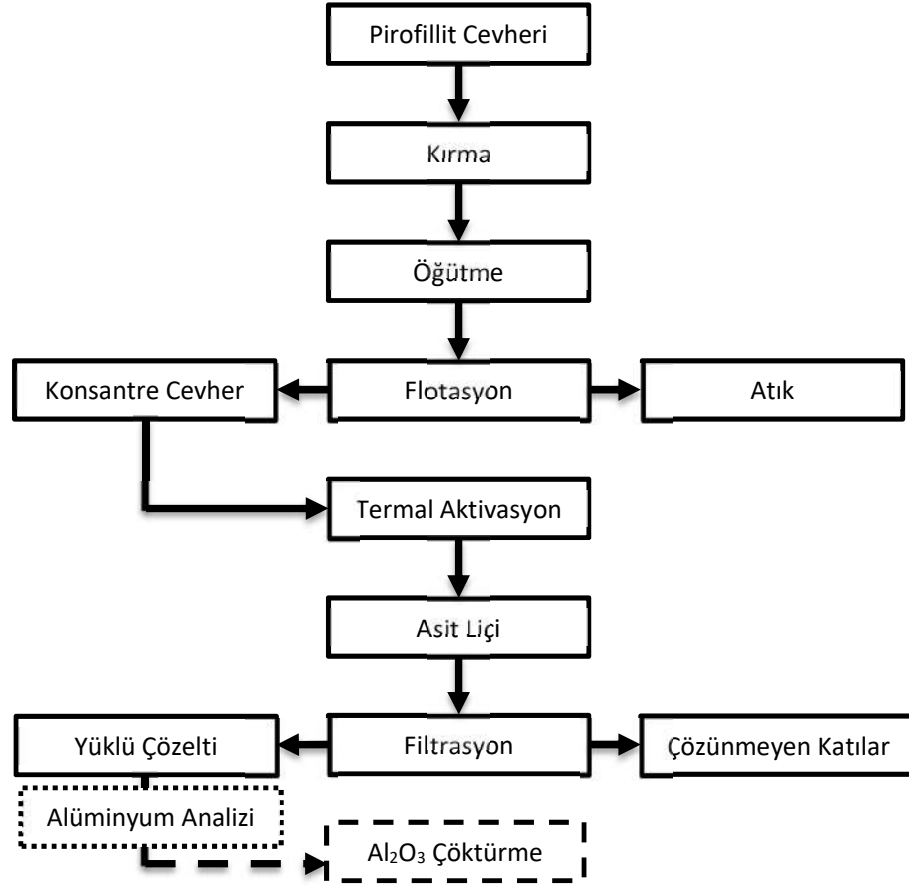
(P: Pirofillit, Q: Kuvars, K: Kaolinit, M: Muskovit, D: Disten, T: Topaz, Ds: Diaspor, Pg: Paragonit)

XRD analizine göre cevher başlıca kuvars (SiO<sub>2</sub>), pirofillit (Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>), kaolinit (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>), muskovit (KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(F,OH)<sub>2</sub>), topaz (Al<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>(F,OH)<sub>2</sub>), disten (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>), diaspor AlO(OH) ve paragonitten (NaAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>) oluşmaktadır.

### Yöntem

Pirofillit cevherinin zenginleştirilip aktifleştirildikten sonra asit liçi ile alüminyumun çözeltiye alınmasına ilişkin deneysel çalışmaların akım şeması Şekil 2’de verilmiştir. Pirofillit cevheri, kırma işleminin ardından laboratuvar tipi seramik değirmende kontrollü olarak öğütülmüş ve -150 µm tane boyutuna ufalanmıştır. Ufalanmış pirofillit cevheri, hidrofobik özelliğinden dolayı yalnızca Aerotroth65 ticari adıyla satılan PPG (polipropilen glikol) köpürtücü reaktif kullanılarak (100 g/ton) flotasyon ile zenginleştirilmiştir. Flotasyon ile zenginleştirme işlemleri, 1100 ml’lik hücreye sahip Denver tip flotasyon cihazı ile ağırlıkça yaklaşık %22,5 katı oranı, 10 dk su+cevher koşullandırması, 10 dk su+cevher+köpürtücü koşullandırması ve 30 dk köpük toplama şartlarında gerçekleştirilmiştir. Flotasyon işleminden elde edilen konsantre cevher, yüksek sıcaklıklara (1700 °C’a kadar) dayanıklı alümina kayıkçıklarla, 10 °C/dk sıcaklık artış hızında, 800-1100 °C arasında 50’şer derecelik artışlarla, 30 dk kalsinasyon süresi ile aktifleştirilmiştir. Aktifleştirme öncesinde cevher 105 °C’de bir saat süre ile kurularak desikatörde soğutulmuştur.

Termal olarak aktifleştirilen konsantre cevherin liç işlemleri, balon ısıtıcıya yerleştirilen 500 ml’lik cam balonlarda, 200 ± 2 ml 4 M HCl çözeltisine 10 ± 0,01 g cevher eklenerek, kaynama sıcaklığında (108 °C), 600 dv/dk hızında karıştırılarak 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Termal olarak aktive edilmiş konsantre cevherden alüminyumun çözeltilmeye alınması

DeneySEL çalışmalarında elde edilen ürünlerin XRD analizleri Rigaku MiniFlex600 cihazı ile  $\text{CuK}\alpha$  (40 kV, 15 mA,  $\lambda$ : 1.54051 Å) ışığında, 2°/dakika tarama hızında, 10-80° aralığında değişen difraksiyon açılarında ve  $26 \pm 4$  °C sıcaklığa sahip ortamda gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin kimyasal içeriklerinin belirlendiği ICP-MS analizleri Bureau Veirtas Mineral Laboratories'te yapılmıştır. Liç işleminin ardından çözeltilmeye alınan alüminyum miktarının tayini için Thermo marka ve ICE 3000 model FAAS cihazı kullanılmıştır.

Termal aktivasyon işlemleri sırasında meydana gelen kütle kayıpları Eşitlik 1'e göre ve Liç işlemlerinden elde edilen alüminyum kazanımları Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır;

$$\text{Kütle kaybı, \%} = \frac{\text{Kalsinasyon öncesi cevher kütlesi, g} - \text{Kalsinasyon sonrası cevher kütlesi, g}}{\text{Kalsinasyon öncesi cevher kütlesi, g}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Alüminyum kazanımı, \%} = \frac{\text{Liç çözeltisindeki alüminyum miktarı, g}}{\text{Liç reaktörüne beslenen cevherdeki alüminyum miktarı, g}} \times 100 \quad (2)$$

### BULGULAR VE TARTIŞMA

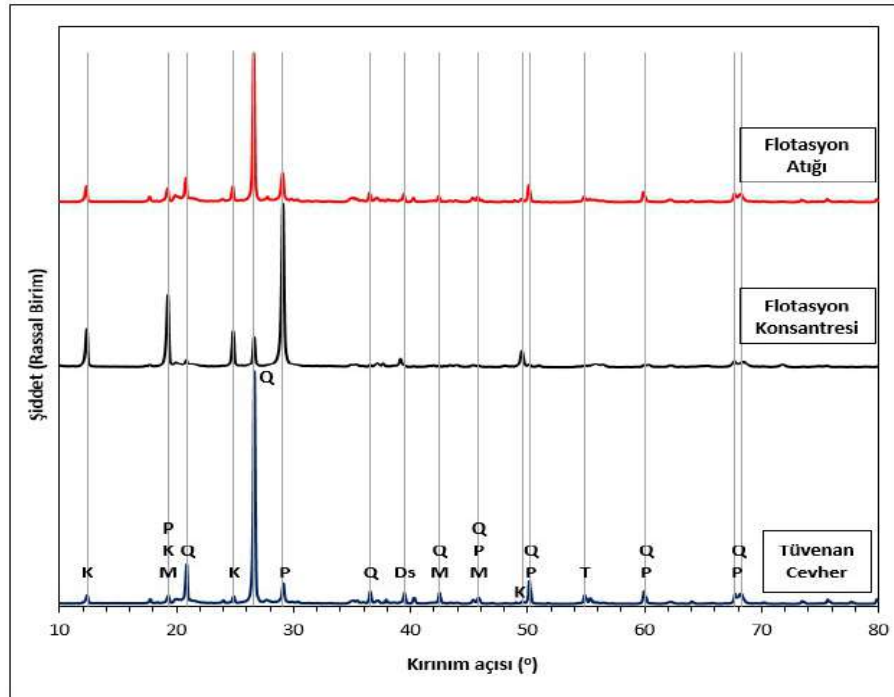
## Pirofillit Cevherinin Zenginleştirilmesi

Tüvenan pirofillit cevherinin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre cevherinve atığın kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır. Kimyasal içerikleri Çizelge 2'de ve XRD desenleri tüvenan cevherinki ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Flotasyon ürünleri kimyasal analiz sonuçları

ÜRÜN	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	KK*
Besleme	72,92	20,64	0,18	0,29	0,15	0,86	0,44	0,25	4,1
Konsantre	64,37	28,05	0,08	0,22	0,12	0,58	0,13	0,15	6,2
Artık	75,45	18,47	0,21	0,35	0,16	0,96	0,54	0,29	3,3

\*Kızdırma kaybı

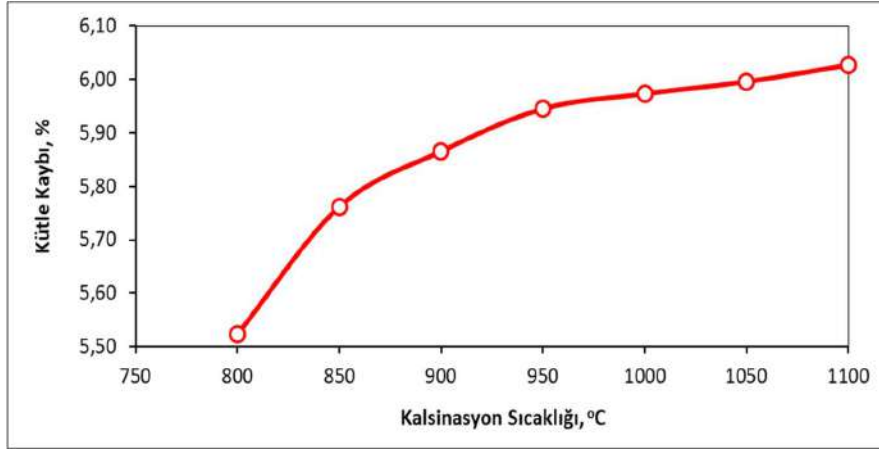


Şekil 3. Tüvenan pirofillit cevheri ile flotasyon konsantresi ve atığının XRD desenleri  
(P: Pirofillit, Q: Kuvars, K: Kaolinit, M: Muskovit, T: Topaz, Ds: Diaspor)

Kimyasal analiz sonucuna göre konsantre cevher %64,37 SiO<sub>2</sub> ve %28,05 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir. Pirofillit teorik olarak %28,3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %66,7 SiO<sub>2</sub> ve %5 H<sub>2</sub>O içermektedir. Flotasyonla zenginleştirme sonucunda konsantre cevherin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği, pirofillitin teorik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine (%28,3) oldukça yaklaşmıştır. Flotasyon konsantresi ve atığının XRD desenleri de ICP-MS analiz sonucunu desteklemektedir. Konsantre cevherin kuvars piki kırınım şiddeti tüvenan cevhere göre azalırken, cevherde bulunan kil minerallerinden pirofillit, kaolinit ve muskovit piklerinin kırınım şiddetleri artmaktadır. Flotasyon atığının kuvars piki kırınım şiddeti, konsantre cevherin kuvars pikine göre oldukça yüksektir. Buna karşılık atığın pirofillit piki kırınım şiddeti konsantre cevher pirofillit pikine göre düşüktür.

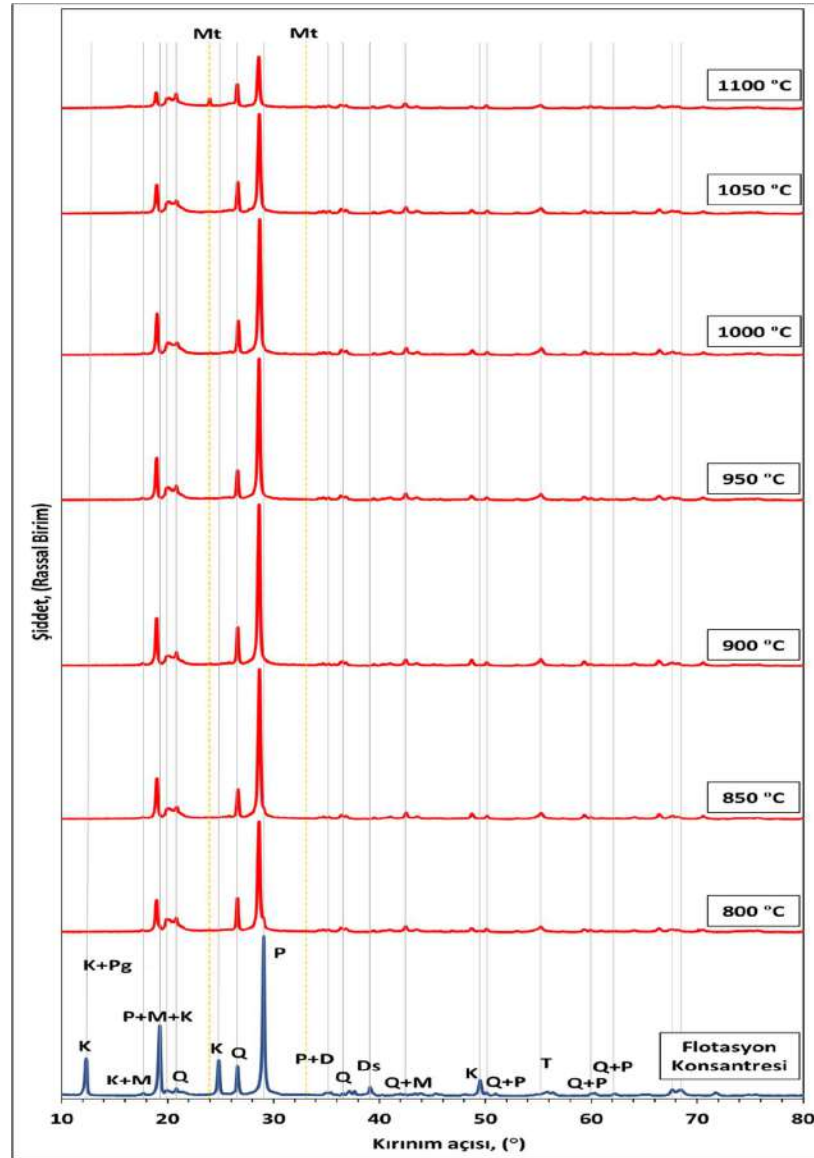
## Konsantre Cevherin Aktifleştirilmesi

Konsantre cevherin çözünürlüğünü arttırmak amacıyla 800-1100 °C arasında yapılan termal aktivasyon işlemleriyle elde edilen ürünlerde meydana gelen kütle kayıpları Şekil 4'te verilmiştir. 800 °C'ta %5,52 olarak gerçekleşen kütle kaybı, sıcaklık arttıkça artarak 1100 °C'ta %6,03'e çıkmaktadır. Sanchez-Soto ve Perez-Rodriguez (1989), pirofillitte kütle kaybının 500 °C'ta başladığını ve 1050 °C'a kadar aşamalı olarak arttığını, 700-800 °C aralığının çok önemli olduğunu, bu aralıktan önce ve sonra kütle kaybı değerlerinin çok benzer olduğunu belirtmektedir. Uysal (2018), Pütürge (Malatya) pirofillit cevherini 200-1300 °C aralığında kalsine etmiş ve kütle kaybının en fazla 500-900 °C aralığında gerçekleştiğini, bu aralık dışındaki kütle kayıplarının birbirlerine çok yakın olduğunu belirlemiştir. Kalsinasyon işleminin alt sınırı olan 800 °C sıcaklıktaki kütle kaybı %5,52 iken 850 °C sıcaklıkta %5,76'ya ve 900 °C sıcaklıkta ise %5,87'ye yükselmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda kütle kaybının artışı daha da azdır. Dolayısıyla kütle kaybının sebebi olan dehidroksilasyon, 800 °C sıcaklıkta büyük ölçüde tamamlanmıştır. Meydana gelen kütle kaybı, saf pirofillite bulunan %5'lik H<sub>2</sub>O değerine oldukça yakındır. Kütle kaybının saf pirofillitin H<sub>2</sub>O içeriğinden fazla olması, hem konsantre cevher içerisinde az da olsa farklı kil minerallerinin varlığını hem de cevherin kalsinasyon işlemleri için hazırlanırken bir miktar nem aldığını göstermektedir.



Şekil 4. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak konsantre cevherdeki kütle kaybı değişimi

Konsantre cevherin kalsinasyonu ile elde edilen ürünlerin XRD desenleri Şekil 5'te verilmiştir. XRD deseninde, en şiddetli kırınımın 29,12°'de görüldüğü pirofillit piki 800 °C sıcaklıktan itibaren sola doğru yaklaşık 0,5° kaymıştır. Aynı pikin kırınım şiddeti 1050 °C sıcaklık dahil olmak üzere bir miktar azalmış olsa da 1100 °C sıcaklıkta büyük bir değişim meydana gelmiştir. Li vd. (2014), pirofillitin tabakalı yapısının 500 °C'de değişmeden kaldığını, fakat 800 °C'de kırınım deseninin değiştiğini, 800 - 900 °C'deki piklerle karşılaştırıldığında 1000 - 1050 °C'de kırınım şiddetlerinin belirgin bir şekilde azaldığını ve 1100 °C'de dehidroksile olmuş pirofillitin tüm kırınım deseninin kaybolduğunu belirtmektedir. Pirofillit pikinde görülen sola kayma, benzer şekilde 19,30°'deki muskovit pikinde de görülmektedir. Bu pik de yaklaşık 0,3° sola kaymıştır. Bunun yanı sıra, 12,34-24,86-49,52°'lerde bulunan kaolinit pikleri 800°C sıcaklıkta tamamen kaybolmakta, bu sıcaklıkta kaolinit amorflaşmaktadır. Kaolinitin kristal yapısı, 500-600 °C sıcaklık aralığında bozulmaya başlamakta ve 700 °C sıcaklıkta tamamen amorflaşmaktadır (Udochukwu vd., 2019; Uysal, 2018). Buna karşılık, 20,88 ve 36,54°'lerdeki kuvars piklerinde hem bir kayma hem de bu derecelerdeki kırınım şiddetlerinde anlamlı bir değişim görülmemektedir. Pirofillit ve muskovitte görülen kaymalar, minerallerin kimyasal içeriğinin de değişmeye başladığını göstermektedir. Her mineralin, XRD deseninde spesifik piklere sahip olduğu da düşünüldüğünde, pirofillitin metapirofillite veya mullite dönüşümünde ortaya çıkan geçiş fazlarına ait olabileceğine ilişkin literatürde bazı bilgiler bulunmaktadır (Uysal, 2018). Mullit piki, ilk olarak 1000 °C sıcaklıkta 33,08° kırınım açısında görülmektedir. 1100 °C sıcaklıkta, 23,98 ° kırınım açısında ise belirgin hale gelmiştir.



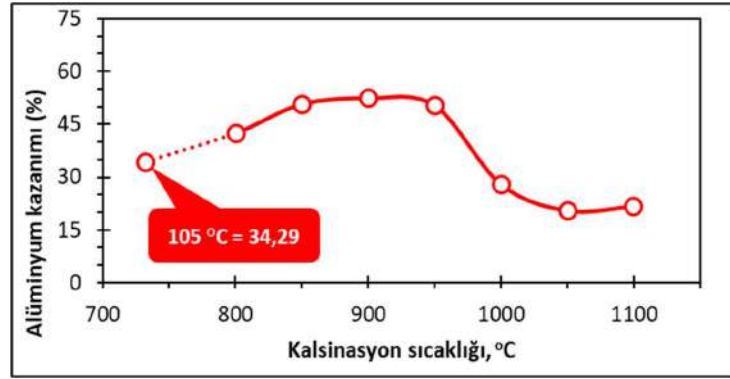
Şekil 5. Farklı sıcaklıklarda kalsine edilmiş konsantre cevherin XRD desenleri

(P: Pirofillit, Q: Kuvars, K: Kaolinit, M: Muskovit, D: Disten, T: Topaz, Ds: Diaspor, Pg: Paragonit, Mt: Mullit)

### Konsantre ve Aktifleştirilen Cevherlerin Liçi

Konsantre cevhere termal aktivasyonun etkisini görmek amacıyla, 105 °C sıcaklıkta kurutulmuş olan flotasyon konsantresi aktifleştirilmeden liç yapılmıştır. Konsantre cevherin ve termal olarak aktifleştirilmiş ürünlerin liçlerinden elde edilen alüminyum kazanımları Şekil 6'da verilmiştir. Konsantre cevherin liçinde %34,81 olarak gerçekleşen alüminyum kazanımı, en yüksek liç veriminin elde edildiği kalsinasyon sıcaklığı olan 900 °C'ta %52,45'e çıkmaktadır. 900 °C'a kadar artan alüminyum kazanımı, 950 °C sıcaklıkta az da olsa bir düşüş göstermiştir. 950 °C'tan 1000 °C'a geçişte ise keskin bir düşüş görülmektedir. Daha yüksek sıcaklıklardaki kalsinasyonlarda bu düşüş devam etmektedir. Pirofillit

cevherinin alümina üretimi için termal olarak aktifleştirilmesi çalışmalarında da benzer bir durum görülmektedir (Birinci vd., 2017; Uysal, 2018; Uysal vd., 2019).



Şekil 6. Termal aktivasyonun alüminyum kazanımına etkisi

## SONUÇLAR

Zenginleştirilmiş pirofillit cevherinin alümina üretimi için termal olarak aktifleştirilme amacıyla kalsinasyon işleminin uygulandığı bu çalışmada, 4 M HCl derişiminde, 108 °C'de 24 saat süre ile yapılan liç işlemlerinin ardından çözeltiliye geçen alüminyum miktarları dikkate alındığında en iyi sonucun 900 °C sıcaklıkta elde edildiği görülmektedir.

900 °C, pirofillitin dönüşüm aşamalarındaki kritik sıcaklıklardan birisidir. Isıtma sıcaklığına bağlı olarak amorflaşan pirofillitte, 900 °C'den daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında yeni kristaller oluşmaya başlamakta ve ortaya çıkan bu yeni kristaller asidik çözelti içerisindeki çözünürlüğü azaltmaktadır. Bununla birlikte, 950 °C sıcaklıktan sonra, alüminyum kazanımında görülen keskin düşüşün sebebi 950-980 °C sıcaklık aralığında birincil mullitleşmenin gerçekleşmesidir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, FYL-2019-1533 Projesi ile maddi desteğinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Al-Ajeel, A.W.A. ve Al-Sindy, S.I. (2006). Alumina Recovery From Iraqi Kaolinitic Clay by Hydrochloric Acid Route. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 2(1), 67-76.
- Aliyev, F.Y., Sharifova, M.T., Ismailov, C.G., Budagli, B.A., Mammadova, A.T. (2016). Combined Method for Processing Hydrochemical Alunite of Zaylık Ore Deposits. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 08(40), 19-22.
- Al-Zahrani, A.A. ve Abdul-Majid, M.H. (2009). Extraction of Alumina From Local Clays by Hydrochloric Acid Process. *Journal of King Abdulaziz University: Engineering Sciences*, 20(2), 29-41.
- Anonim, (2019a). <http://www.world-aluminium.org/statistics/> Son Erişim Tarihi: 04.08.2019
- Anonim, (2019b). [https://www.usgs.gov/centers/nmic/bauxite-and-alumina-statistics-and-information?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/centers/nmic/bauxite-and-alumina-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) Son Erişim Tarihi: 04.08.2019



- Arlyuk, B.I., So. D., Pivnev A.I. (1992). Efficiency of Nepheline Ore Processing for Alumina Production All-union Aluminum and Magnesium, Leningrad, In: Peterson, W.S. (Ed.), Light Metals, Wiley-VCH.
- Ashkenazi, D. (2019). How Aluminum Changed the World: A Metallurgical Revolution Through Technological and Cultural Perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 143, 101-113.
- Aydoğmuş, R. (2019) Zenginleştirilmiş Malatya-Pütürge Pirofillit Cevherinin Alümina Üretimi İçin Aktifleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Bazin, C., El-Ouassiti, K., Ouellet, V. (2007). Sequential Leaching for the Recovery of Alumina From a Canadian Clay. *Hydrometallurgy*, 88(1-4), 196-201.
- Bengston, K.B. (1979). A technological comparison of six processes for the production of reduction grade alumina from non-bauxitic raw materials. In: Peterson, W.S. (Ed.), Light Metals (217–312), TMS, Warrendale, PA.
- Birinci, M., Uysal, T., Erdemoğlu, M., Porgalı, E., ve Barry, T.S. (2017) Acidic Leaching of Thermally Activated Pyrophyllite Ore From Pütürge (Malatya-Turkey) Deposit. XVII. *Balkan Mineral Processing Congress*, November 1-3, Antalya.
- Cohen, J. ve Mercier, H. (1976). Recovery of Alumina from Nonbauxite Aluminum-bearing Raw Materials, Societe Aluminium Pechiney. Light Metals, Wiley-VCH.
- Ding, J., Ma, S., Zheng, S., Zhang, Y., Xie, Z., Shen, S., Liu, Z. (2016). Study of Extracting Alumina From High-alumina PC Fly Ash by A Hydro-chemical Process. *Hydrometallurgy*, 161, 58–64.
- ElDeeb, A.B., Brichkin, V.H., Kurtenkov, R.V., Bormotov, I.S. (2019). Extraction of Alumina From Kaolin by A Combination of Pyro- and Hydro-metallurgical Processes. *Applied Clay Science*, 172, 146-154.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T. (2018b). Kil Minerallerinden Alümina Üretimi: Güncel Değerlendirmeler. *Politeknik Dergisi*, 21 (2), 387-396.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T., Tüzer, E., Barry, T.S. (2017) Acid Leaching Performance of Mechanically Activated Pyrophyllite Ore for Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Extraction. 9. International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying, September 3-7, Kosice.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M., Uysal, T., Tüzer, E., Barry, T.S. (2018a). Mechanical Activation of Pyrophyllite Ore for Aluminum Extraction by Acidic Leaching. *Journal of Material Science*, 53(19), 13801-13812.
- Guo, Y., Zhao, Z., Zhao, Q., Cheng, F. (2017). Novel Process of Alumina Extraction From Coal Fly Ash by Pre-Desilicating—Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Activation—Acid Leaching Technique. *Hydrometallurgy*, 169, 418-425.
- Habashi, F., 1993. A Textbook of Hydrometallurgy. Metallurgie Extractive Québec Inc., Ste-Foy, Québec
- Hosseini, S.A., Niaei, A., Salari, D. (2011). Production of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from Kaolin. *Open Journal of Physical Chemistry*, 1, 23-27.

- Jorjani, E. ve Amirhosseini, M. (2007). Alumina Production Process from Nepheline Ore in Razgah-Iran. International Seminar on Mineral Processing Technology(pp: 111-115), Indian Institute of Mineral Engineers, February 22-24, Mumbai.
- Kustov, A.D., Parfenov, O.G., Solovyov, L.A., Vereshchagin, S.N. (2014). Kyanite ore processing by carbochlorination. *International Journal of Mineral Processing*, **126**, 70-75.
- Li, D., Jiang, K., Jiang, X., Wang, S., Fan, Y., Liu, W. (2018). The Recovery of Potassium Oxide and Alumina From Alunite Concentrate. *Hydrometallurgy*, **176**, 1-8.
- Li, G., Zeng, J., Luo, J., Liu, M., Jiang, T., Qiu, G. (2014). Thermal Transformation of Pyrophyllite and Alkali Dissolution Behavior of Silicon. *Applied Clay Science*, **99**, 282-288.
- Li, L.Y. (2001). A Study of Iron Mineral Transformation to Reduce Red Mud Tailings. *Waste Management*, **21(6)** 525–534.
- Livingston, W.R., Rogers, D.A., Chapman, R.J., Gregory, A.G., Bailey, N.T., (1983). The Use of Coal Spoils as Feed Materials for Alumina Recovery by Acid Leaching Route, 2: The Effect of the Calcinations Conditions on the Leaching Properties of the Colliery Spoil. *Hydrometallurgy*, **10**, 97–109.
- Miao, L., Ji, G., Gao, G., Li, G., Gan, S. (2011). Extraction of Alumina Powders From the Oil Shale Ash by Hydrometallurgical Technology, *Powder Technology*, **207(1-3)**, 343-347.
- Mirzoev, P.B., Ibrohim, A., Mirzoev, B., Alimov, N.O., Bobonazarov, M. (2014). Production of Alumina and by Products From The Mineral of Muscovite by Method of Sintering. *Asian American Physical Chemistry Research Journal*, **1(1)**, 1-7.
- Numluk, P. and Chaisena, A. (2012). Sulfuric Acid and Ammonium Sulfate Leaching of Alumina From Lampang Clay, *EJournal of Chemistry*, **9(3)**, 1364-1372.
- Özdemir, M. and Çetişli, H. (2005). Extraction Kinetics of Alunite in Sulphuric Acid and Hydrochloric Acid. *Hydrometallurgy*, **76**, 217-224.
- Paspaliaris, I. ve Karalis, A. (1993). The Effect of Various Additives on Diasporic Bauxite Leaching by the Bayer Process. *Light Metals*, 35–39.
- Peters, F.A., Johnson, P.W., Kirby, R.C.(1962). Methods for Producing Alumina for Clay: An Evaluation of Five Hydrochloric Acid Processes. U.S. Bureau of Mines. Report No 6133.
- Sanchez-Soto, P.J. ve Perez-Rodriguez, J.L.(1989). Thermal Analysis of Pyrophyllite Transformations. *Thermochimica Acta*, **138(2)**, 267-276.
- Thomas, G. ve Ingraham, T.R. (1959). The Alum-Amine Process for the Recovery of Alumina From Shale. Department of Mines and Metallurgy Division Technical Surveys, Ottawa Mines Branch Research Report: R45.
- Tripathy, B.K., Behera, B., Aishvarya, V., Sheik, A.R., Dash, B., Sarangi, C.K., Tripathy, B.C., Sanjay, K., Bhattacharya, I.K. (2019). Sodium Fluoride Assisted Acid Leaching of Coal Fly Ash for the Extraction of Alumina. *Minerals Engineering*, **131**, 140-145.

Udochukwu, M., Anyakwo, C.N., Onyemaobi, O.O., Nwobodo, C.S. (2019). The Thermal Activation of Nsu Clay for Enhanced Alumina Leaching Response. *International Journal of Engineering and Technologies*, 16, 34-46.

Uysal, T. (2018) Asit Liç Yöntemi İle Pirofillit Cevherinden Alümina Üretiminde Aktifleştirme Koşullarının Araştırılması. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.

Uysal, T., Erdemoğlu, M., Birinci, M. (2019). Pirofillit Cevherinden Asit Liçi Yöntemiyle Alümina Kazanımına Aktivasyonun Etkisi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 58(2), 111-120.

## TÜNEL ŞEKLİNİN ELEKTROMANYETİK SİNYAL YAYILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

### SHAPES OF TUNNEL IMPACT ON ELECTROMAGNETIC WAVE PROPAGATION

Y. Karaca <sup>1,\*</sup>, Ö. Tamer <sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü*

<sup>2</sup>*Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü*

\*Sorumlu yazar: [yusuf.karaca@deu.edu.tr](mailto:yusuf.karaca@deu.edu.tr)

<sup>2</sup> [ozgur.tamer@deu.edu.tr](mailto:ozgur.tamer@deu.edu.tr)

#### ÖZET

Bu çalışma kapsamında kömür madeni benzeri yapıların içerisindeki elektromanyetik dalgaların yayılımı incelenmektedir. Simülasyonlar kömür madenlerinin elektriksel parametreleri kullanılarak CST STUDIO yazılımında gerçekleştirildi. Çalışma frekansı olarak 435 MHz seçildi. Maden ocakları ve çalışma koşulları aynı olan; şekil ve boyutları farklı olan yapıların sinyal iletimi üzerine etkisi araştırıldı.

**Anahtar Sözcükler:** Kömür madeni, CST STUDIO

#### ABSTRACT

Electromagnetic wave propagation is investigated inside of medium similar to coal mine. Electrical parameters of coal mines were used for simulation at the CST STUDIO. Frequency at the CST STUDIO was selected as 435 MHz. The same mine and the same working conditions on the electromagnetic wave propagation are investigated but different dimensions and shapes of tunnels.

**Keywords:** Coal Mine, CST STUDIO

## GİRİŞ

Kömür ve benzeri madenleri çıkarmak için açılan maden ocakları yerin derinliklerine kadar uzanmakta ve derinlik arttıkça makine ve teçhizatın tünellere ulaştırılması, elektrik, su, hava gibi ihtiyaçların buralara ulaştırılması zorlaştığı için maden ocağı içinde çalışanlar için hayati riskler de artmaktadır (Kennedy, 2008). Bu ocakların içinde patlamalar, yanmalar, bunlara bağlı olarak göçükler meydana gelebilmektedir. Bu gibi acil durumlarda çalışanlara en kısa sürede ulaşmak hayati derecede önemlidir. Bundan dolayı, çalışanların işlerini güvenli şekilde yapabilmelerini sağlamak ve acil durumlarda çalışanlara hızlıca ulaşabilmek için elektronik takip sistemleri geliştirilmektedir (Kennedy, 2008). Kablosuz iletişimde, elektromanyetik sinyallerin ortamda yayılması ana etkindir. Elektromanyetik sinyaller yeraltı maden ocağındaki kayaç türüne (Gadani, 2010), maden ocağı boyutlarına, ocağın tahkimat yapısına (Xu, Huo, &Zheng, 2008), ocak duvarlarının nem ve su miktarına (Cheng, Zhang, &Li, 2012) ve bazı diğer etkenlere bağlı olarak zayıflamaya uğrar. Takip sistemlerinin daha güvenli ve verimli çalışması açısından yeraltında elektromanyetik sinyal yayılımı çalışmaları birçok bilim insanı tarafından yapılmıştır (Boutin, Benzakour, Despains, &Affes, 2008) (Akyildiz, Sun, & Vuran, 2009) . Teorik modeller geliştirerek sinyal yayılımı modellenmiş, deneysel ölçümler yapılarak modeller geliştirilmiş hem teorik hem deneysel çalışmalar yapılarak modeller geliştirilmiştir. Dikdörtgen dalga kılavuzu şeklindeki tünellerde teorik çalışmalar 1975'te öne çıkmaya başlamıştır. Emslie ve arkadaşları kapsamlı bir teorik model sunmuşlardır (Emslie, Lagace, &Strong, 1975). Takip eden yıllarda dalga kılavuzu yaklaşımı deneysel çalışmalarla açıklanmaya çalışılmıştır (Deryck, 1978). Bazı yazarlar yaptığı deneysel çalışmalarının yanında teorik modellerini de açıklamışlardır (Liénard&Degauque, 2000). Bu çalışmada bilgisayar benzetimi yapılarak farklı şekillerde ve boyutlarda olan aynı cins maden ocağı tünellerinde elektromanyetik sinyal yayılımı incelenmiştir. Böylelikle aynı tür maden ocaklarındaki sinyal yayılımının maden ocaklarının şekline bağlı değişimi gözlenmiştir. Giriş kısmında çalışmanın önemi açıklandı. Çalışmanın teorik altyapısı metodoloji kısmında sunulmakta ve simülasyonlar simülasyon çalışması kısmında verilmektedir. Elde edilen bulgular tartışma ve sonuç kısımlarında açıklandı.

## METODOLOJİ

Dalga kılavuzu, şekil 1 ve 2'deki yapılara benzer yapılardır. Elektromanyetik sinyallerin kılavuz içerisinde yayılmasına yardımcı olurlar. Yüksek enerji transferine ve uzun mesafe enerji aktarımına yardımcı olurlar. Yeraltı tünelleri de dalga kılavuzu benzeri yapılar olduğu için tünellerde sinyal yayılımı dalga kılavuzundaki sinyal yayılımına benzemekle birlikte bazı farklılıklar mevcuttur. Dalga kılavuzlarının iç kısımları pürüzsüz ve düzdür ve malzeme iletkenlikleri çok yüksektir. Eni ve boyu tünellere göre çok küçüktür. Çalışma frekansları genellikle 10 GHz ve üzerindedir. Yüksek geçiren filtre gibi davrandıkları için düşük frekanslarda sinyal yayılımına izin vermezler. Dalga kılavuzlarındaki sinyal yayılımı, ideal şartlarda ve yüksek iletkenliğe sahip malzeme için Maxwell denklemleri ile açıklanabilir. Bu denklemler temel denklemlerdir (Pozar, 2012).  $TE_{mn}^z$  ve  $TM_{mn}^z$  modlarını meydana getirir. Modlar ile sinyal yayılımı açıklanır. Modlarda üst simge olarak gösterilen z harfi sinyal yayılma yönünü alt simge olarak gösterilen m ve n değerleri mod sayılarını göstermektedir. Bu modların içinde, en güçlü yayılımı dominant modlar vereceği için dominant modun ( $TE_{10}^z$ ) matematiksel modeli alttaki denklemler ile açıklanacaktır. Dalga kılavuzu içinde yayılan elektrik alan ve manyetik alan denklem 2-6'da verilmektedir.

$$\beta_x = \frac{m\pi}{a}, \beta_y = \frac{n\pi}{b} \quad (1)$$

$$E_x = \frac{A_{mn}\beta_y}{\varepsilon} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-j\beta_z z} \quad (2)$$

$$E_y = \frac{-A_{mn}\beta_x}{\varepsilon} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-j\beta_z z} \quad (3)$$

$$H_x = \frac{A_{mn}\beta_x\beta_z}{\omega\mu\varepsilon} \sin(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-j\beta_z z} \quad (4)$$

$$H_y = \frac{A_{mn}\beta_y\beta_z}{\omega\mu\varepsilon} \cos(\beta_x x) \sin(\beta_y y) e^{-j\beta_z z} \quad (5)$$

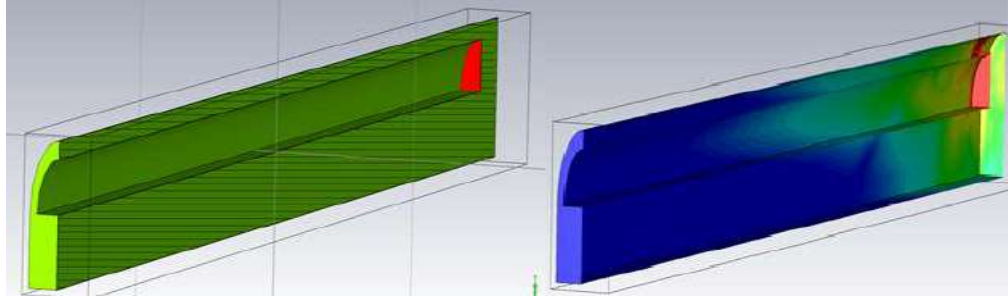
$$H_z = \frac{-jA_{mn}\beta_c^2}{\omega\mu\varepsilon} \cos(\beta_x x) \cos(\beta_y y) e^{-j\beta_z z} \quad (6)$$

$E_z = 0$ ,  $A_{mn}$  sabit,  $\omega$  frekans,  $\varepsilon$  dielektrik sabiti,  $\mu$  manyetik geçirgenlik,  $\beta_x$  x yönündeki faz sabiti,  $\beta_y$  y yönündeki faz sabiti,  $\beta_z$  z yönündeki faz sabiti,  $\beta_c$  kesim dalga sayısı. Elektrik ve manyetik alandaki alt indisler alanın hangi yönde olduğunu açıklamaktadır. Elektrik alan metre başına düşen gerilim miktarı olarak; manyetik alan ise metre başına düşen akım miktarı olarak tanımlanır.

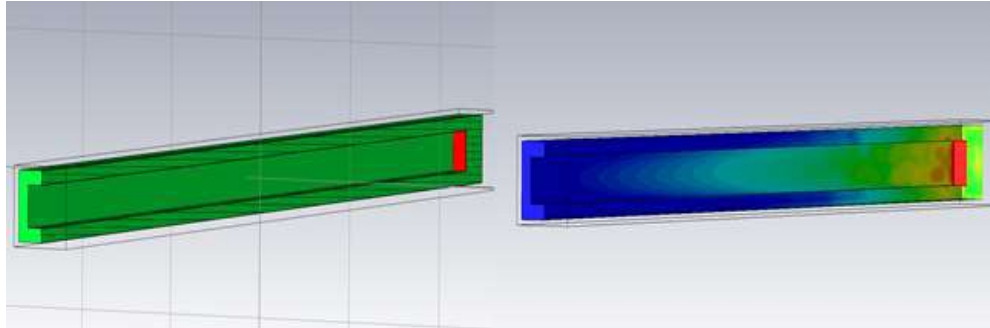
### SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Simülasyon CST STUDIO programı kullanılarak yapılmıştır. Çözümleme aşamasında zaman alanı yaklaşımı tercih edilmiştir. Zaman alanı yaklaşımı elektrik alan için, uygun çalışma frekansında kompleks elektrik alanın reel elektrik alana taşınması olayıdır. Tüneler çok küçük hücrelere bölünmüş nümerik hesaplamalar yardımıyla elektromanyetik dalga yayılımı çözümlenmiş ve modellenmiştir. Elektromanyetik dalga hem maden duvarına hem de tünel içine nüfuz etmektedir. Elektrik alan şiddetinin (E) büyüklüğü kırmızıdan maviye doğru azalmaktadır. Şekil 1, 2 ve 3'te farklı tünel kesitleri için elektrik alan dağılımları sunulmuştur. Şekil 1'de elips benzeri tünellerin merkez ve altında kalan kısımlara malzeme dolgusu yapılmış, merkez ve merkez üstünde kalan kısım elips sınırlarına kadar hava ile doldurulmuş sınır dışında kalan bölgeler tekrardan malzeme ile doldurulmuştur. Elipsin merkezi, şekil 1 de tabanın üzerinde kalmaktadır. Bu merkez, elipsin boyuna kesitinin ve taban yüzeyinin kesiştiği yerdedir. Şekil 2 de dikdörtgen tünel yapısı görülmektedir. Bu yapının içinde hava vardır. Duvarları malzeme ile kaplanmıştır. Tünel tek taraftan kapalıdır. Bu kapalı olduğu yerlerde elektriksel sinyal kaynakları mevcuttur. Bu kaynaklar şekil 1 ve şekil 2'de kırmızı olarak gösterilmiştir. CST STUDIO programında her iki tünel için malzemeler aynıdır. Kömür madeninin elektriksel özellikleri simülasyona eklenmiştir (Kennedy, 2008). Maden ocağı için kullanılan malzeme kömür olarak seçilmiş ve kömüre göre simülasyonlar yapılmıştır. Malzemenin bağıl dielektrik sabiti 12.8, elektriksel iletkenliği 0.1 dir. Her iki tünel için çalışma frekansı 435 MHz olarak seçildi. 400-450 MHz aralığında antenlerin kolay temini ve bu aralıkta özel tahsisli bantların olmamasından dolayı simülasyon frekansımızı bu aralık içinde belirledik. Malzeme herhangi bir manyetik olmayan bir yapıda ve ortamda olduğu varsayılmıştır. Şekil 1 de ve şekil 2 de tünelin sonunda elektrik alan üreten kaynaklar vardır. Bu kaynaklar şekil 1 de ve şekil 2 de tünellerin sonunda yüzey boyunca ve kırmızı renkte gösterilmektedir. Şekil 1 de ve şekil 2 de soldaki yapı tünelin boyuna kesitini sağdaki yapı tünel içindeki elektrik alan dağılımını göstermektedir. Şekil 1 ve şekil 2 de; elektrik alanın yoğun olduğu kısımlar kırmızı

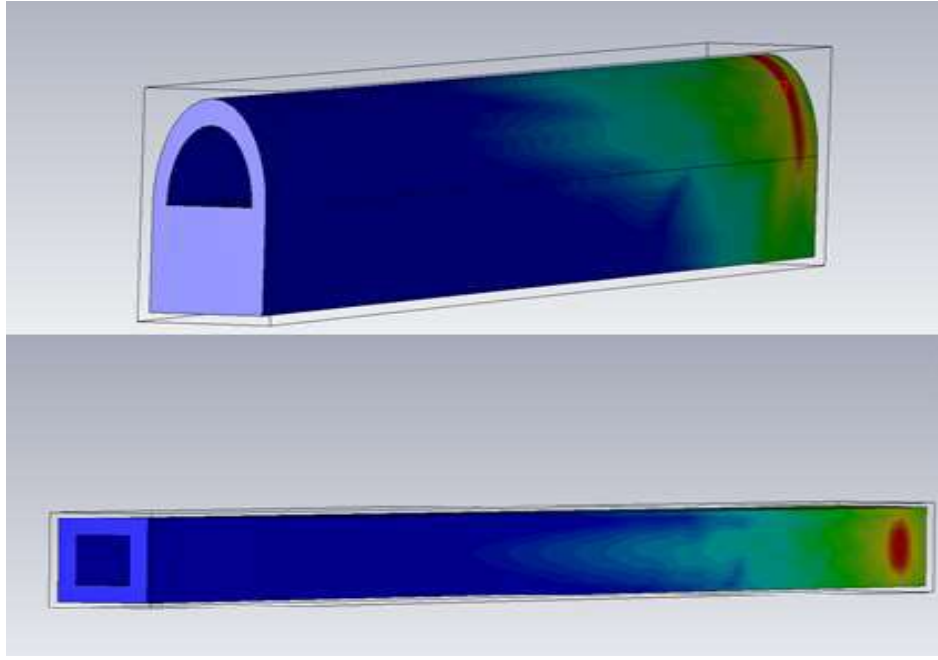
ve tonlarını, orta seviyede olduğu kısımlar yeşil ve tonlarını, az seviyede olan kısımlar mavi ve tonlarını göstermektedir. Maden tünellerinin 3 boyutlu yapısı şekil 3'te gösterilmektedir. Her iki tünelde elektrik kaynakları son kısımda bulunmaktadır. Elektromanyetik yayılımın simülasyonu sondan başa doğru yapılmıştır. Şekil 3'te gösterilen elektromanyetik yayılımın tonları, duvarın içine ve duvar dışına nüfuz eden sinyalleri 3 boyutlu göstermektedir. Tünel içinde yayılan elektromanyetik sinyalin tonları şekil 1 ve şekil 2 de görülmektedir. Şekil 4, 5 ve 6 da aynı tünelin farklı frekanslardaki elektromanyetik yayılımı incelenmiştir. Bu tünelin betondan yapılmış tahkimatlar ile hazırlandığı varsayılmıştır. Elektriksel özellikleri beton duvarların elektriksel özellikleri ile benzerdir. Sinyal kaynağının tünelin sonunda olduğu, kırmızı ve tonlarının elektrik alanının yüksek olduğu, mavi ve tonlarının elektrik alanının düşük olduğu yerleri göstermektedir.



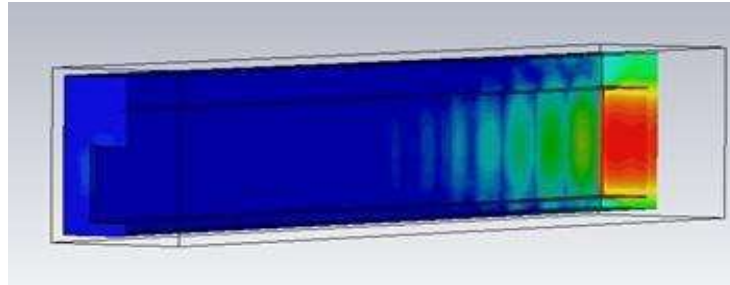
Şekil 1. Elips kesitli tünellerin 3 boyutlu boyuna kesit görünümüleri



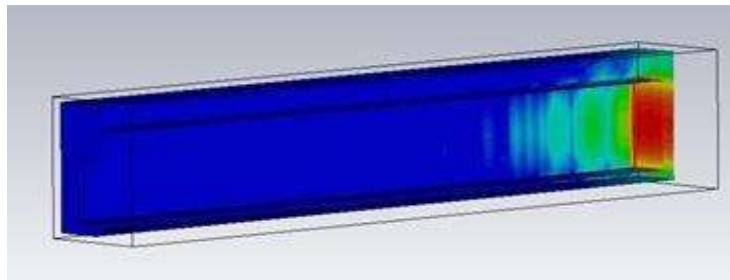
Şekil 2. Dikdörtgen tünel benzeri yapıların 3 boyutlu boyuna kesit gösterimi



Şekil 3. Elips ve dikdörtgen kesitli tünel benzeri yapıların 3 boyutlu gösterimi



Şekil 4. Dikdörtgen kesitli tünel benzeri yapıların 3 boyutlu gösterimi (350 MHz)



Şekil 5. Dikdörtgen kesitli tünel benzeri yapıların 3 boyutlu gösterimi (400 MHz)





Şekil 6. Dikdörtgen kesitli tünel benzeri yapıların 3 boyutlu gösterimi (550 MHz)

### SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Şekil 1 ve şekil 2 de tünellerin içinde yayılan sinyallerin yayılımı gösterilmiştir. Dikdörtgen kesitli tünellerin geometrisi daha düzgün olduğundan dolayı sinyaller daha iyi yayılım sağlamaktadır. Daha uzak mesafelere kadar enerji aktarımı yapılabilir. Şekil 2'deki dikdörtgen yapı sinyali 4 kenarı boyunca baskılamıştır. Bu baskı her kenar için simetrik ve orantılıdır. Sonuç olarak enerji yayılımı da simetrik olarak gözlemlenmiştir. Şekil 1'deki simetri şekil 2'deki kadar düzgün olmadığı için enerji yayılımı asimetrik olmuştur. Her iki tünelde kullanılan malzemenin elektriksel iletkenliği yüksektir. Bu nedenle, sinyal kaynağında üretilen enerjinin bir kısmı malzemenin içine nüfuz eder. Şekil 3'te malzemeye nüfuz eden ve malzemedan dışa doğru yayılan sinyal enerjisi görülmektedir. Sinyalin malzeme içine nüfuz etme oranı arttıkça tünelde yayılma mesafesi azalmaktadır. Sinyal kaynağının enerjisi tünel içi sinyal yayılımı yerine daha çok malzemeye nüfuz etmeye yoğunlaştığından dolayı bu durum gözlenir. Şekil 4, 5 ve 6 da aynı tipteki ve aynı elektriksel özellikteki tünellerin farklı çalışma frekanslardaki elektromanyetik sinyal yayılımı incelenmiş, frekans düştükçe sinyalin tünelde daha iyi yayıldığı gözlemlenmiştir. Frekansın yükselmesi sinyal yayılımı mesafesini azaltıcı yönde etki etmiştir. Sonuç olarak; çalışma frekansı yükseldikçe elektromanyetik sinyal daha çok sönmeye uğramaktadır. Ayrıca, elektromanyetik sinyaller dikdörtgen kesitli tünellerde elips kesitli tünellere göre daha düzgün daha simetrik olarak yayıldığı gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akyildiz, I. F., Sun, Z., & Vuran, M. C. (2009). Signal propagation techniques for wireless underground communication networks. *Physical Communication*, 2(3), 167–183.  
<https://doi.org/10.1016/j.phycom.2009.03.004>
- Boutin, M., Benzakour, A., Despins, C. L., & Affes, S. (2008). Radiowave characterization and modeling in underground mine tunnels. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56(2), 540–549.  
<https://doi.org/10.1109/TAP.2007.913144>
- Cheng, L., Zhang, L., & Li, J. (2012). Influence of mine tunnel wall humidity on electromagnetic wave propagation. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2012.  
<https://doi.org/10.1155/2012/734379>
- Deryck, L. (1978). Natural Propagation of Electromagnetic Waves in Tunnels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. <https://doi.org/10.1109/T-VT.1978.23737>
- Emslie, A. G., Lagace, R. L., & Strong, P. F. (1975). Theory of the Propagation of UHF Radio Waves in Coal Mine Tunnels. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(2), 192–205.  
<https://doi.org/10.1109/TAP.1975.1141041>
- Gadani, D. H. (2010). *Dielectric properties of soils in microwave region*. Thesis. Gujarat University.  
<https://doi.org/10.1007/s11136-011-9960-1>
- Kennedy, G. A. (2008). High resilience wireless mesh networking characteristics and safety applications within underground mines. *Antenna*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10036/25360>
- Liénard, M., & Degauque, P. (2000). Natural wave propagation in mine environments. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 48(9), 1326–1339. <https://doi.org/10.1109/8.898765>
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave engineering*.
- Xu, Z., Huo, Y., & Zheng, H. D. (2008). The effect of the wall roughness on the electromagnetic wave propagation in coal mine underground. *2008 IEEE International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling Workshop Proceedings, KAM 2008*, 482–485.  
<https://doi.org/10.1109/KAMW.2008.4810529>

**TTK GELİK İŞLETMESİNDE UYGULANAN DİK DAMAR KALKAN TAHKİMAT SİSTEMİNİN REHABİLİTESİ**  
*REHABILITATION OF VERTICAL COAL SEAM SHIELD SUPPORT SYSTEM APPLIED IN TTK GELİK ENTERPRISE*

C.Yamudi<sup>1</sup>, B.Tank,<sup>1</sup>K.Kibaroglu\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Türkiye Taşkömürü Kurumu, Karadon Müessesesi, Gelik İşletmesi  
(\* Sorumlu yazar:katip\_48@hotmail.com)

**ÖZET**

Bu çalışmada öncelikle taşkömürü üretiminde uygulanan dik damar mekanizasyon sistemi tanıtılmıştır. Uygulama sahası olan Türkiye Taşkömürü Kurumu Karadon Müessesesi Gelik İşletme Müdürlüğü Kurul damarında 2018 yılında başlatılmış olan “Dik Damarlarda Mekanizasyon ile Üretim Yöntemine Geçiş Projesinde” uygulama esnasında da karşılaşılan problemler ve çözüm uygulamalarından bahsedilerek halen devam eden projeden elde edilen tecrübelerle dayanarak dik damar mekanizasyonunda ikinci bir makine teçhizatın tasarımı anlatılmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Dik damar, mekanize tahkimat sistemleri.

**ABSTRACT**

In this study, firstly the vertical seam mechanization system applied in hard-coal production is introduced. Application area is Turkish Hardcoal Enterprise Karadon region, Kurul seam in Gelik. The problems and solutions encountered in the project of transition mechanization and production method in vertical seam initiated in 2018 were mentioned and based on the experience gained from this ongoing project, the design of a second vertical seam mechanization equipment is described.

**Keywords:** Vertical coal seam, mechanical support systems.

## GİRİŞ

Dik damar mekanizasyon uygulamasının yapıldığı Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), ülkemizin kamudaki tek taşkömürü üreticisi konumunda olup, havza geneli ile yurt içerisindeki diğer kömür havzaları ile kıyaslandığında yapısal jeolojisi ve teknolojik gelişimi ileri düzeyde olan kömür damarlarında çalışmalarını sürdürmektedir.

Havzanın iki kez tektonizma geçirmiş olması damarların faylarla bölünmesine, eğim ve kalınlıklarının sık sık değişmesine yol açmıştır. Bu damarlarda emek yoğun, yüksek maliyetli ve teknolojinin hakim olduğu diğer kömür madenleriyle kıyaslandığında emniyet açısından riskli koşullarda üretim çalışmaları sürdürülmektedir. 1848 den bu yana üretim kültürü olan havzada bugüne kadar klasik yöntemlerle (uzun ayak, kısa ayak, dişli ayak ve karatumba) üretim yapılmıştır. Havzanın 1940 yılında devletleştirilmesinden sonra yapılan yatırımların büyük bir kısmı makine ve teçhizat alımı şeklinde olmuştur. Bu yatırımlarla ana kuyuların açılması, nakliyat ve havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir (Yamudi,2019 ).

Jeolojik koşulların uygun olmaması nedeniyle, üretim yöntemlerinin mekanize hale getirilmesi ve damar koşullarına uygun yeni yöntemlerin geliştirilmesi yönündeki çalışmalar dönemin şartlarıyla birlikte sınırlı kalmıştır.

1980'li yıllarda havzanın modernizasyonu ve yeniden yapılanması konusunda yapılan çalışmalarda bu konu daha geniş bir şekilde ele alınmıştır.

Bu kapsamda Almanya'nın o günkü adıyla Ereğli Kömür İşletmeleri (EKİ)'nde kullanılmak üzere hibe ettiği koparıcı saban Zonguldak-Gelik Bölgesi'nde denenmiş fakat bölgenin yapısal ve jeolojik özelliklerinden dolayı etkin olarak kullanılamamıştır. Bahsi geçen sistem daha sonra 1983 yılında Orta Anadolu Linyitlerine transfer edilerek kurulmuş ve o bölgenin şartlarında verimli olarak kullanılmıştır. Orta Anadolu Linyitleri'ndeki bu yarı-mekanize uzunayak deneyimi, 1986 yılında fiili olarak üretime başlayan tam-mekanize ayaklar için bilgi birikimi sağlamıştır (Tatar,2016).

Ocakların giderek derinleşmesi ve genişlemesi dikkate alınarak "Havza Rehabilitasyon Projesi" gündeme getirilmiştir. Bu proje kapsamında ocakların alt yapılarının geliştirilmesi, üretim kapasitelerinin artırılması ile işçi sağlığı ve iş güvenliği koşullarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Temin edilecek makine ve teçhizatın finansmanında Dünya Bankası'ndan sağlanan 70 milyon dolarlık kredi kullanılmıştır. Bu proje kapsamında; elektro-hidrolik delici, elektro-hidrolik yükleyici, farklı büyüklükte akülü lokomotif, çelik sarma, muhtelif uzunlukta hidrolik direk, monoray sistemi, telesiyej sistemi, toz ölçüm aletleri, ferdi CO maskeleri gaz ölçüm aletleri yer altı haberleşme ve izleme sistemleri, otomatik hava kapıları vb. alınmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar ve yatırımlar üretim yöntemlerini kolaylaştırmada direkt olmayıp dolaylı yolla iyileştirmeye yönelik olduğu görülmektedir.

Havzadaki kalın ve dik damarlarda uygulanan üretim yöntemlerinin olumsuzluklarını ortadan kaldırmak, daha güvenli ve daha ekonomik üretim yapmak için 1990'lı yıllarda yeni üretim yöntemlerinin arayışlarına başlanmış ve günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte halen devam ederek sürdürülmektedir.

Havzanın yeniden yapılanması ve modernizasyonu kapsamında;

- Yüksek basınçlı hava patlatmalı kazı sistemi
- ANŞ dik damar mekanize kazı sistemi

- CARDOX, sıvı karbondioksitle kömür kazısı sistemlerinin denenmesine karar verilmiştir (Akçın ve Kel,1999).
- Dik damarda esnek tahkimat uygulamaları

Bahsi geçen bu sistemlerden Anş ve Cardox başlangıç aşamasında yaşanan olumsuzluklardan ötürü kabul görülmemiş olup yüksek basınçlı hava patlatmalı kazı sistemi ise 1990-2015 yılları arası bir takım panolarda uygulamalarına devam edilmiştir.

2012 yılında, Amasra Taşkömürü İşletme Müessesesinde uygulanmak üzere dik damarlarda mekanizasyon projesi gündeme gelmiş ve 2013 yılında proje hayata geçirilmiş ve ikisi başarılı olmak üzere dört ayrı panoda toplamda yaklaşık 130.000 tonluk rezerv çalışmasıyla uygulama deneyimleri olmuştur (Karaküp,2018). 2017'de sisteme uygun hazır pano olmadığı gerekçesi ile Karadon bölgesi Gelik işletmesine nakli yapılmıştır.

Gelik işletmesinde -150/-260 Kurul Batı panosundaki çalışmalar 2018 ilk yarısında demontaj ve montaj süreci tamamlanmış olup ikinci yarısında üretim faaliyetleri başlamış ve 2019 sonu, 2020 başında 145.350 ton rezervli panonun tamamı çalışılmış olması ve demontajı yapılarak diğer bir panoya geçişi hedeflenmiştir.

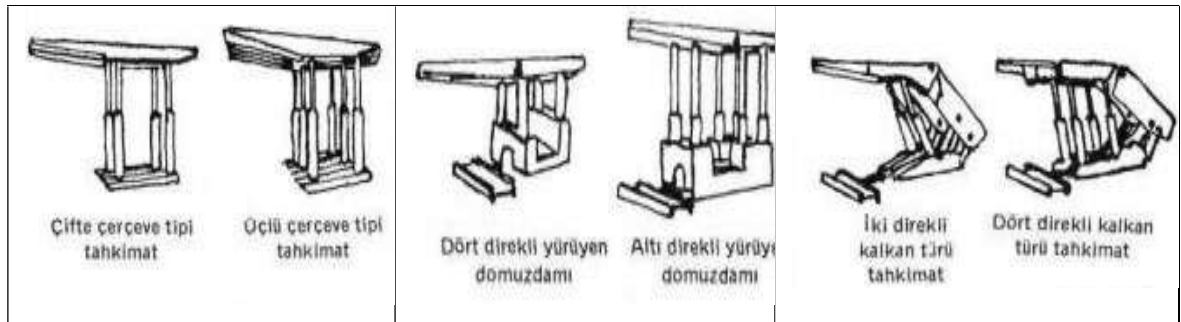
Bu makalede 2013 yılında Amasra bölgesi için dizayn edilerek alımı gerçekleşmiş olan sistemin bölgede atıl kalmasından ötürü 2018-2019 yılında Gelik İşletmesi dik damarlarında uygulaması yapılarak mekanize tahkimat sisteminden edinilen tecrübe ve birikimle birlikte Gelik İşletmesindeki dik damarlarda daha verimli olacağı düşünülerek yeni bir sistemin tedariğine gidilmiştir.

İki sistemin kıyaslanmasındaki amaç günden güne gelişmekte olan teknoloji ve deneyimlerden yararlanılarak işlerin kolaylaştırılması olup bir sistemi kötülemek ya da diğerini yüceltmek olmayıp çalışmalar sırasında karşılaşılan problemler ve bununla beraber çözüm arayışlarının paylaşılmasıdır.

## MEKANİZE SİSTEMİN TANITIMI

### Genel Olarak Yürüyen Tahkimat Üniteleri

Yeraltı madenciliğinde yürüyen tahkimat ünitelerini 1950'li yıllarda görmekteyiz. Tarihsel gelişimiyle beraber sırasıyla, çerçeve türü yürüyen tahkimatlar, domuzdamı türü yürüyen tahkimatlar ve kalkan türü yürüyen tahkimatlardır(Şekil 1) (Ahıska,1987).



Şekil 1. Yürüyen tahkimat üniteleri

Bu çalışmada bahsi geçen her iki tahkimat üniteleri kalkan tipi tahkimattır. 2013'te alımı gerçekleşen Çek Cumhuriyeti'nde üretilmiş olup üniteler üretici firmanın MV4 isimlendirmesiyle anılmaktadır. Karşılaştırmalarını yapacağımız ikinci kalkan tahkimat üniteleri ise Çin Halk Cumhuriyeti'nde üretimi halen devam etmekte olup sözleşme gereği 2020 yılı başında karo sahasında olması beklenmektedir. Bahsi geçen her iki sistemin teknik özellikleri çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Üretimde kullanılan (birinci sistem) ve tedarik aşamasında olan (ikinci sistem) teknik özellikleri

Sistem Teknik Özellikleri	1. Sistem	2. Sistem
Asgari yükseklik	950 mm	1500 mm
Azami yükseklik	2200 mm	3200 mm
Asgari çalışma yüksekliği	1100 mm	1800 mm
Çalışma dereceleri	40 ° - 110 °	60 ° - 90 °
Kömür alanı cephesi negatifi	15 ° - 18 °	Damar azami meyil
Bölümlerin aralığı	1200 mm	1570 mm
Bölümün ilerlemesi	800 mm	800 mm
Çalışma basıncı	32 MPa	31.5 MPa
Kalkan tahkimatın piston çapı	130 mm	230 mm
Kalkan tahkimatın yük yoğunluğu	477 kN	450 kN
Zemine uygulayacağı basınç	0,46 MPa	0.94 MPa
Ağırlığı	3850 kg	11.500 kg

### SİSTEMİN YENİLENMESİNDE ETKİN OLAN KONULAR

#### Uygun Damar yapısı ve yüksekliği:

Uygulaması yapılan kurul damarının dayanımı yüksek karakterdedir. Sert gre özelliği taşımakla beraber damar içersinde ara kesme barındırmaktadır. Damar kalınlığı pano boyunca değişkenlik arz etmekte olup ortalama kalınlığı 3 metre ve ara kesme kalınlığı 0,5 -1,2 metredir. Ayak boyunca 4 adet 2 ile 3,5 metre arasında atımlar bulunmaktadır. Bu atımlar çalışma yönüne paralel bir şekilde devam etmektedir. Ortalama meyil 48 °dir. Ancak yer yer artarak atımlarda 72° yi bulmaktadır. Eğimin en düşük olduğu nokta ise 37°dir. Ayağın yapısında ondülasyonlar görülmektedir.

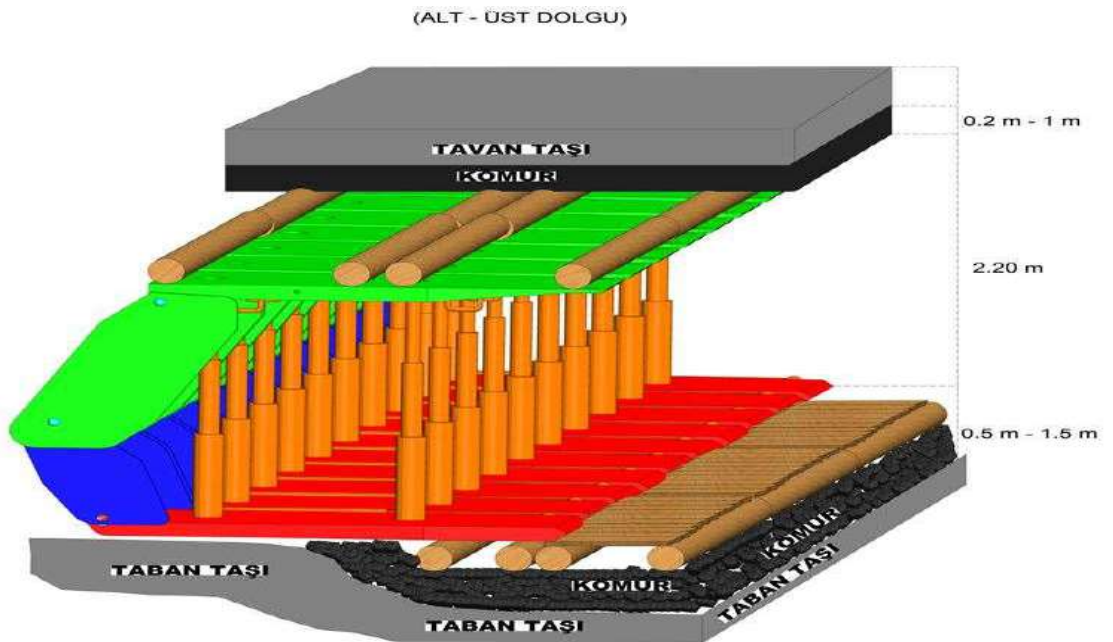
İlk uygulamada Tahkimat ünitesinin azami yüksekliği 2,2 metre olup ortalama kalınlığı 3 metre olan damarda tahkimatın aktif olarak tavan ve taban taşında sıkılanması için ancak tavan dolgusu ya da taban dolgusu şeklinde gerçekleşmiştir. Yeni sistemin daha kalın damarlardaki uygulamasının etkin, kolay ve işlevli olması açısından azami çalışma yüksekliği 3,2 metre olarak seçilmiştir.

## Manuel kazı ilerleme mesafesinin sabitlenmesi

Mevcut sistemde kullanılan kalkan tahkimat ünitelerinin ilerleme pistonlarının tam açılmasının çalışanın inisiyatifinde olması ve bununla birlikte zaman zaman 0,8 metrenin altında have ilerlemesi yapılması ayak içi ilerlemesinde keskin bir hattın oluşmasına engel teşkil ederek tavan yükü dağılımının stabil olmaması yönünden riske sokması tehlike arz edebilmektedir. Yeni sistem tahkimatların ilerleme pistonları önlerinde bulunan sigma konveyör oluğuna ilerleme pistonu ile bağlanmıştır. Bu sayede önce sigma profil ilerletilmekte daha sonra tahkimat bu profile bağlı olarak arına çekilmektedir. İlerleme mesafesi 0,8 metredir.



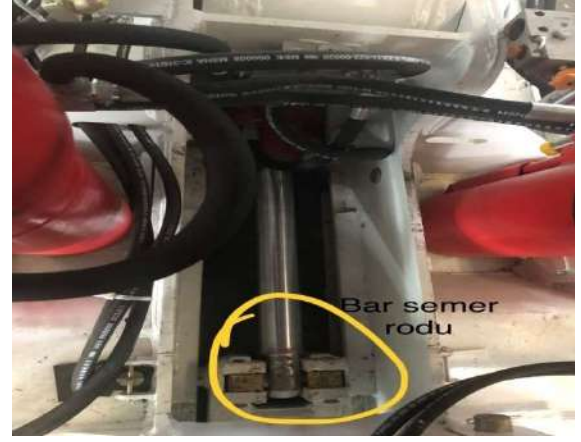
Şekil 1. 41315 -260/-150 Kurul Batı ana başyukarı kesiti



Şekil 2. Tavan ve taban dolguları



Şekil 3. Sigma kayıtlı oluk



Şekil 4. Bar-semer sistemi

### Taşıyıcı Pistonların Konumlandırılması

Prototip tahkimat ünitesinde teleskopik pistonların konumlandırılma şekli arına paralel olup önceki ünitelerde piston konumlandırma şekli arına dik olarak dizayn edilmiştir. Konumlandırmanın arına paralel olması arın ve ünite arasında kalkan içerisinde mekan kazanılarak piston ilavesi ile ondülasyondan stabiliteyi düzeltmek için strok boyu 0,5 metre olan iticiler için yer kazanılmıştır.



Şekil 5. Birinci sistem konumu



Şekil 6. İkinci sistem konumu



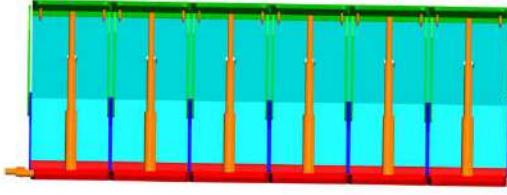
Şekil 7. İkinci sistem iticisi

### Yan Kanopi ve Yanal İtici Pistonlar

İlk siteme tahkimat ünitelerinin yanal yüzeylerinde herhangi ilave tertibat olmayıp ilerleme sırasında eğim ile birlikte ünitelerin birbiri üzerine binmesi sonucu sistemin kitlenmesi yaşanmıştır. Araya ahşap takoz konularak çözüm aranmıştır. Burdan yola çıkarak yan kanopilerin sistemin kilitlememesi için önem arz ettiği aşıkardır. Düz damarlarda sadece kanopinin işlevi kafi olabilmektedir oysaki dik ve ondülasyonlu damarlarda kanopi öteleme mesafesi yeterli gelmeyeceği için ve ayrıca gravite ile tahkimat ünitesinde aşağı yönlü hareket eğilimine karşı ünitenin yukarıya çekilerek konumunu korunması açısından kolaylık olması için kanopiye ilaveten sisteme 0,5 m strok mesafesi olan bir piston daha konulması öngörülmüştür.

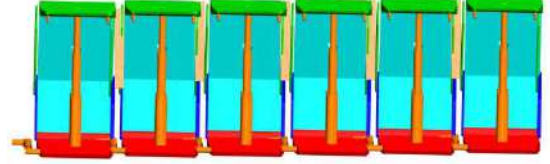


GELİK İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ  
41315 -260/-150 KURUL BATI MEKANİZE KALKAN SIKIŞMASI



Şekil 8. Kalkan tahkimatların sıkışması

GELİK İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ  
41315 -260/-150 KURUL BATI MEKANİZE ÖNLEME ÇALIŞMASI



Şekil 9. Sıkışmayı önleme çalışması



Şekil 10. Önleme çalışması yeraltı görüntüsü



Şekil 11. İkinci sistem yan kanopiler



Şekil 12. . İkinci sistem yan kanopiler  
**Kömür Yolu Kontrol Kapağı**



Şekil 13. 0,5 m strok mesafesi olan piston

Gelik işletmesi kuzey panolarının ortalama damar eğimi  $44^\circ$  olup yer yer özellikle ondülasyonlu kısımlarda atak diye tabir edilen bölgelerde  $60^\circ$  nin üzerine çıkabilmektedir. Yüksek eğimli ( $60^\circ \geq$ ) yerlerde pano içersinde posa nakliyatı gravite ile sağlanmakta ve kontrollü nakliyat işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından önem kazanmaktadır. Klasik ağaç tahkimatlı çalışan bölgelerde ahşap kapak yardımı ile bu kontrol sağlanırken aynı problem ilk kalkan tahkimat ünitesinde de yaşanarak gene ağaç kapaklar yardımıyla problem çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışma yöntemi beraberinde ilave işçilik ve zaman kaybı oluşturarak sonuçta verimliliği negatif yönde etkilediği görülmüştür. Buradan yola çıkarak arıdan gelebilecek posta ve kömürün kontrollü nakliyatı için dizayn edilen 4 pistonlu hidrolik kapak sistemi öngörülmüştür. Hidrolik kapakların çalışma şekli ise damar kalınlığına göre düşey de ayrıca ayak eğim yönünde çalışma açılma mesafeleri kontrol edilebilmekte ve yerleri değiştirilebilmektedir.



Şekil 14. Hidrolik pistonlu kapaklar

### Kayar Üst Tabla

Kazı yapılarak ilerleme ile birlikte tavanın göçmesini engellemek üzere üst tabla içerisinde hidrolik olarak çalışan ve 800 mm açılan kayar tablalı sürgü marifetiyle kırıklı tavan şartlarında asıl tahkimatın görev alma süresine kadar geçici olarak destelemesi ve bunun yanında muhtemel akıcı arını da tutabilmek adına sürgü önüne monteli 672 mm uzunluğunda arın destek ünitesi bulunmaktadır. Genel olarak bu sistemin bütününe flipper da denilmektedir.

Gelik işletmede kullanılan ilk sistemde dönemin teknolojisine göre dizayn edilmiş olan ünitelerin üzerlerinde bu sistemler bulunmayıp sadece tavan tablası marifetiyle aktif tahkimat sağlamıştır. Geçici tahkimat için herhangi bir tertibat bulunmamaktadır.



Şekil 15. Hidrolik pistonlu arın ve tavan destek üniteleri

### Kalkan tahkimat ünitesi muhafaza sitemleri

Arın tarafında kazı çalışması esnasında arından gelebilecek parçalara karşı; kalkan içerisinde bulunan hidrolik direkleri, kontrol ünitelerini ve yüksek basınç şebekelerini korumak amacıyla kalkan tahkimat ünitesinin üst tablasına monte edilmiş zincir koruma perdesi bulunmaktadır. Ayrıca kalkan ünitesi önünde bulunan birinci kademesi sabit, ikinci kademesi pim ve cıvata ile ayarlanabilen elle kumandalı olarak çıkarılıp, takılabilen muhafaza mevcuttur.



Şekil 16. Elle kumandalı muhafaza



Şekil 17. Zincir koruma perdesi

### Kalkan tahkimat kontrol üniteleri

Eski sistemde zamanın teknolojik şartlarına bağlı olarak her bir hareket için tüm bağlantı noktalarından hortumlar ile giriş-çıkış yapılmakta olup çalışma alanında hidrolik hortum kalabalığı maksimum seviyede idi bu da hidrolik hortum bakım onarım süreleri ile hortum sarfiyatını arttırmaktadır. Yeni sistemde ise multi-hose özelliğine sahip kumanda bloğundan çıkan tek bir hat ile dağıtıcı bloğa gelen yüksek basınçlı hidrolik hat mevcuttur. Bu özellik sayesinde çalışma alanında bulunan hortum kalabalığı yarı yarıya azalmaktadır.



Şekil 18. Birinci sistem kontrol ünitesi



Şekil 19. İkinci sistem kontrol ünitesi

## SONUÇ

Zonguldak taşkömürü havzasındaki teknolojik gelişme bünyesindeki yapısal jeolojisi ve teknotik gelişiminin ileri düzeyde olması sebebiyle kömür üretimindeki teknolojik gelişme akımının dışında kalmış ve gelişme gösterememiştir. Bu çalışmadan çıkarılacak öncelikli sonuç teknolojik gelişme akımının dışında kalmama çabası olarak görülmelidir. Şöyleki bölgenin jeolojik yapısı ile uyuşmayan bir sistemi çalışır hale getirilmesi ve burdan edinilen tecrübe ve deneyimler doğrultusunda işletme bünyesinde uygulanan dik damar kalkan tahkimat sisteminin rehabilitesi için gerekli çalışmaları yapıp klasik (uzun ayak, kısa ayak, karatumba) ve emek yoğun üretim sistemlerinden yeni üretim sistemlerine geçerek öncelikle daha iyi ve etkin işçi sağlığı ve iş güvenliği felsefesi ile birlikte verimliliği ve üretkenliği artırmaktır.

## KAYNAKLAR

- Ahıska, T (1987). Uzunayaklarda Yürüyen Tahkimat Sistemlerinin Gelişmesi Ve Dizayn Karakteristikleri. Madencilik dergisi Haziran Maden Mühendisleri Odası Ankara
- Akçın, N. A.KEL, K. (1999). Zonguldak Kömür Havzası'nda Klasik Üretim Yöntemlerine Alternatif Olarak Denenmekte Olan Yöntemler. Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB Kimya ve Maden Mühendisleri Odaları, Ankara
- Karaküp, F. Akçın, N. A. (2018) Amasra Dik Damar Mekanizasyon Sisteminin Tanıtımı ve Zonguldak Havzasında Uygulanabilirliği. Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi "ICCET 2018" Bildiriler Kitabı, 11–13 Nisan 2018, syf. 57 Zonguldak, Türkiye
- Tatar, Ç . (2016) Türkiye'de Maden Makinaları Kullanımı. Yer Altı Kaynakları Dergisi Ocak 2016
- Yamudi, C. (2000) Cardox Kazı Sisteminin TTK Kozlu Ocaklarında Kullanımının Araştırılması Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Zonguldak
- Yamudi, C. (2019). TTK Gelik İşletmemesinde Dik Damar Mekanizasyonu Uygulanabilirliği (*Applicability of Steep Coal Seams Mechanization in TTK Gelik Region*) Türkiye 26. Uluslar arası Madencilik Kongesi ve Sergisi.

## **SIMULATION AND ANIMATION OF SHOVEL – TRUCK OPERATIONS**

G.N. Panagiotou

National Technical University of Athens, Dept. of Mining Engineering  
(panagiotou@metal.ntua.gr)

### **ABSTRACT**

The shovel and truck mining system has been simulated during the last 50 years using various IT tools including general purpose and simulation specific programming languages and commercial simulation software.

The paper presents a simulator and animator of the shovel-truck system developed using solely Open-Source Software tools that are freely available for downloading from the Internet. At present stage of development, the simulator can accommodate a mining system that consists of any number of trucks, one shovel, a waste dumpsite or ore stockpile with more than one dumping spots and an ore crusher.

It runs on a single GUI window which is sectioned to include data input, simulation output and plots. A detailed output report for each project is generated, in pdf format, for reporting and record keeping. The simulator has been developed in Python, a mainstream Open-Source Software computing language using Salabim, a Python library for discrete event simulation being available since 2017 and runs as Microsoft Windows 10 application.

**Keywords:** Shovel, truck, simulation, python, salabim

## INTRODUCTION

The shovel/loader and truck system is the dominant material handling system used in hard-rock opencast mining, quarrying and earthmoving operations and it is characterized by high adaptability to meet the requirements of flexible operation plans. With the cost of these loading and hauling operations accounting for about 50% of the mine's production cost, the shovel and truck system has been a subject of intensive study since the late '50s both by analytical methods, mainly queueing theory (Carmichael, 1987; Czaplicki, 2009) and discrete event simulation (DES).

The stochastic nature of the events occurring during the operation of the system (truck cycle times, machinery failure frequency and repair times, truck-loads etc.) makes stochastic DES the best method to achieve results that are close to real life mine production figures.

The truck and shovel system has been simulated during the last 50 years using various IT tools including general purpose programming languages like FORTRAN, simulation specific languages like GPSS/H or commercial simulation software like ARENA® and AnyLogic® resulting into the publication of numerous papers on the topic.

Although it is beyond the scope of this paper to review the literature on the topic of shovel-truck systems simulation, it is worthwhile to mention the first ever paper published by B. K. Cross and G. B. Williamson in 1969 (Cross and Williamson, 1969) and the valuable input in this field by John Sturgul (Sturgul, 2000, 2016).

Moving into the era of Open-Source Software (OSS) the paper presents IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim, a simulator for shovel and truck system operations with a graphical user interface and animation capabilities, developed using programming tools that are freely available for downloading from the Internet.

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim has been developed in Python, a mainstream OSS computing language, using Salabim, a Python library for DES recently available and runs as Microsoft Windows 10 application.

## PYTHON

Python is an interpreted high-level programming language for general-purpose programming, created by Guido van Rossum and first released in 1991. Python interpreters are available for many operating systems and have a large and comprehensive standard library, while third-party libraries, with specific functionalities that facilitate programming, are widely available for free downloading and use by importing them into the Python code. CPython is the reference implementation of the Python programming language. Written in C, CPython is the default and most widely used implementation of the language.

Python is developed under an OSI-approved open source license making it freely usable and distributable, even for commercial use. Python's license is administered by the Python Software Foundation.

Python exists in two versions: Python 2.x and Python 3.x. Python 2.x is legacy; Python 3.x is the present and future of the language.

## SALABIM

Salabim is a Python library created by Ruud van der Ham first released in 2017 and freely available under a MIT License. The package comprises discrete event simulation, queue handling, resources, statistical sampling and monitoring, while real time animation is built-in. It runs both in Python 2.7 or 3.x

for the implementations CPython, PyPy and Pythonista (iOS). Salabim itself is provided as a single Python script, called salabim.py and this file can be placed in any directory where the simulation models reside.

Running simulation models under PyPy is highly recommended for production runs, when run time is important, since it has been found that execution is faster 6 to 7 times compared to CPython. However, for development CPython or Pythonista is recommended.

To demonstrate the basic structure, process interaction, component definition and output of a Python Salabim-based simulation model, a very simple self-explanatory example of a shovel-truck simulation model is given below:

```
# A Simple Shovel-Truck Simulation Model in Python & Salabim

import salabim as sim

# INPUT DATA SECTION
number_of_trucks = 3
truck_interarrival_time = 2 # min
number_of_shovels = 1
loading_time = 2.5 # includes spotting, min
travel_dump_return_time = 7 # min
simulation_time = 8 # hours

# SIMULATION MODEL
class Truck(sim.Component):
    """
    Inherits from the salabim class sim.Component and
    controls trucks into the wait-load-travel-dump-return cycle
    """
    def process(self):
        while True:
            self.enter(queue_for_loading)
            # Truck enters the 'Queue for Loading'
            yield self.request((shovels, 1))
            # One truck requests the 'Shovel' for loading
            self.leave(queue_for_loading)
            # Truck leaves the 'Queue for Loading'
            yield self.hold(loading_time)
            # Shovel is loading the Truck
            self.release((shovels, 1))
            # Truck departs from the 'Shovel'
            yield self.hold(travel_dump_return_time)
            # Truck travels, dumps and returns to 'Queue for Loading'

# HOUSEKEEPING STATEMENTS
env = sim.Environment(trace=True)
queue_for_loading = sim.Queue('Queue for Loading')
shovels=sim.Resource("Shovel",capacity=number_of_shovels)
for i in range(number_of_trucks):
    Truck(at=i * truck_interarrival_time)
# At most 'number_of_trucks' trucks are generated, the 1st truck arrives at the
# 'Queue for Loading' at time=0, the rest in time intervals= trucks_interarrival_time
env.run(duration=(simulation_time * 60))
# Runs simulation for 'simulation_time * 60' min
queue_for_loading.print_statistics()
# Prints statistics for the 'Queue for Loading'
shovel_utilization = (shovels.claimed_quantity.mean() / shovels.capacity.mean())
# Calculates Shovel's Utilization and then prints it as %
print('Shovel is %0.2f %% busy' % float(shovel_utilization*100))
```

The output of the shovel-truck model of the above example, for a simulation run with the given input data, is shown below:

Statistics of Queue for Loading at 480		all	excl.zero	zero
Length of Queue for Loading	duration	480	1.500	478.500
	mean	0.003	1	
	std.deviation	0.056	0	
	minimum	0	1	
	median	0	1	
	90% percentile	0	1	
	95% percentile	0	1	
	maximum	1	1	
Length of stay in Queue for Loading	entries	152	2	150
	mean	0.010	0.750	
	std.deviation	0.090	0.250	
	minimum	0	0.500	
	median	0	1	
	90% percentile	0	1	
	95% percentile	0	1	
	maximum	1	1	
Shovel is 79.17 % busy				

## MATERIAL AND METHODS

### IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim: A Quick Tour

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim is a simulator that models the operation of a mining system comprised of a shovel loading waste or ore from a muck pile and trucks travelling, following pre-defined routes, between the shovel and a waste dumpsite or an ore crusher/stockpile depending on the type of the material being loaded.

The simulator has been developed in Python using Salabim as Microsoft Windows 10 application and has a fully graphical user interface (GUI). All the action happens in the main window of the application (Figure 1). The 'menu bar' on the top of the application's window has clickable buttons that activate 'drop-down' menus, 'cascaded' sub-menus and 'pop-up' windows, when appropriate, through which the user makes selections or enters data for the model's parameters (Figure 2).

The Options button enables the user to select Units (metric/imperial), Currency (EUR, USD, TRY, AUD, BRL, CAD, CLP, CNY, GBP, INR, KZT, PLN, RUB, SEK, ZAR) and the Rock Type (waste/ore) to be loaded by the shovels, and to enter data for the Simulation Parameters, Muck Pile Parameters, Trucks-Dumpsite-Stockpile Parameters and Cost Figures for the equipment involved in the operation.

In the INPUT section of the application's window, which is sub-divided into four sub-sections, the user enters text regarding project related information and data regarding the duration of the shovels loading times and trucks cycle times, as well as data for the equipment's failures frequency and repairs duration.



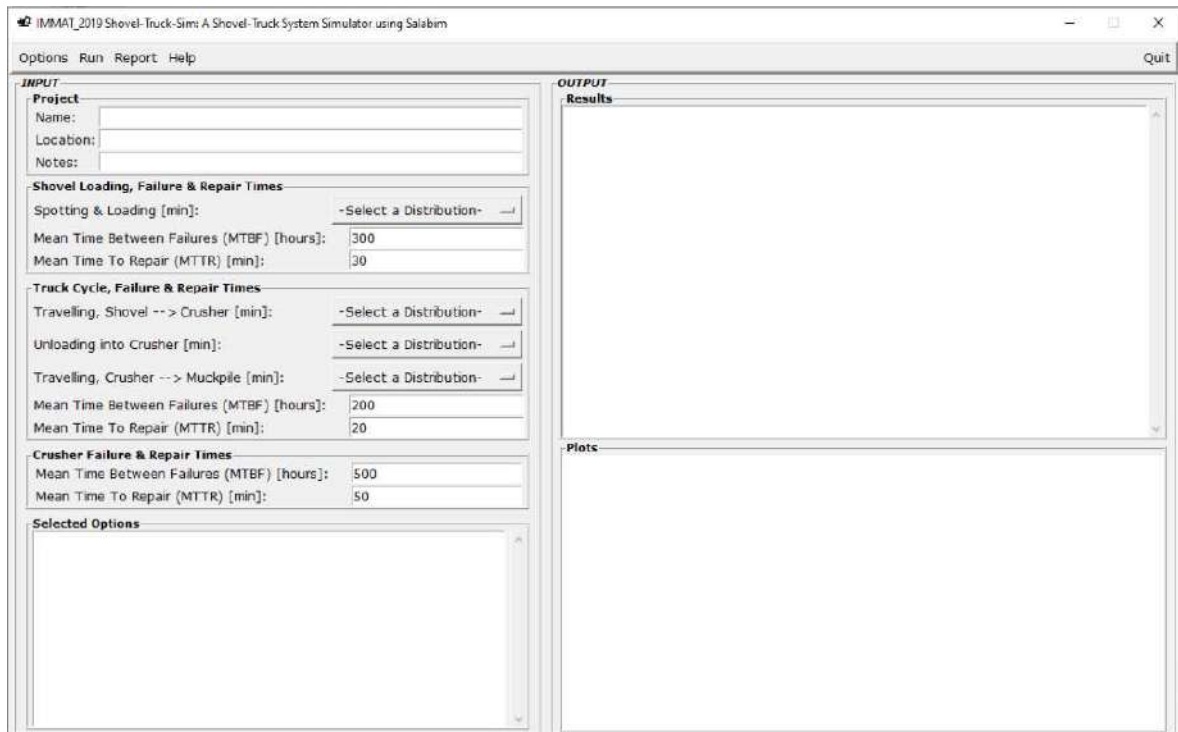


Figure 1. The IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim main window.

The Run button enables the user to execute either a Simulation run or both a Simulation & Animation run of the model. Upon clicking one of these buttons, the currently (final) selected options are

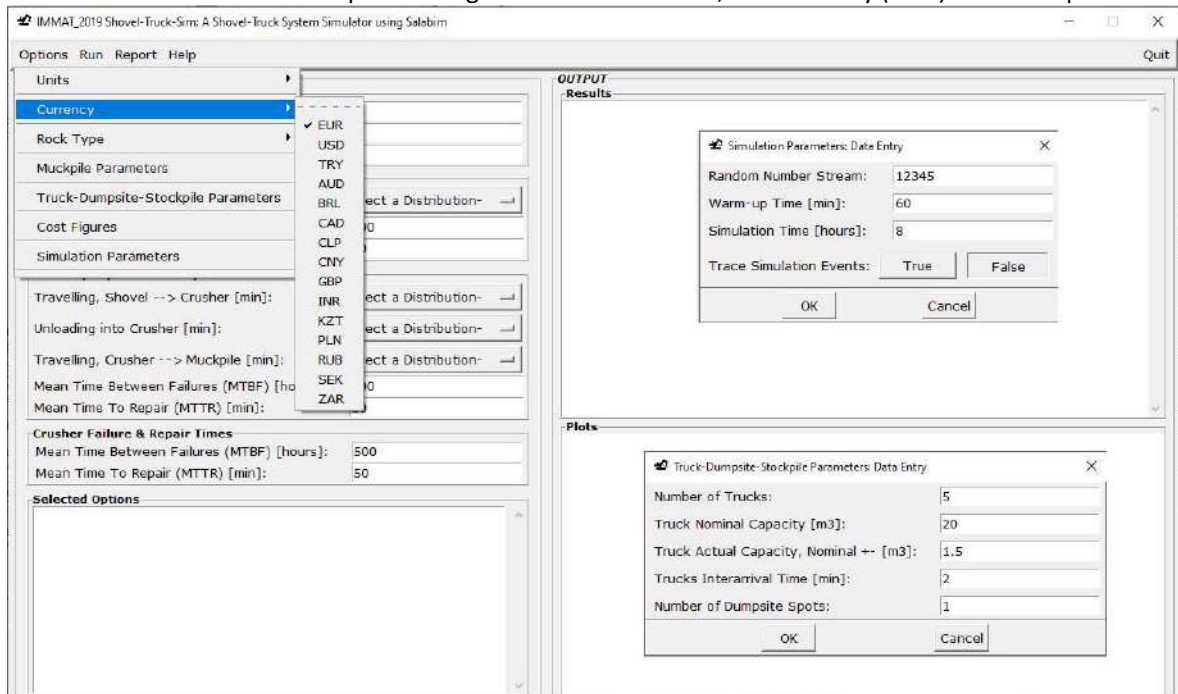


Figure 2. The IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim 'drop-down' menus, 'cascaded' sub-menus and 'pop-up' windows.

displayed in the Selected Options window, the simulation output is displayed in the Results sub-section and trucks queuing statistics at shovel, waste dumpsite and ore crusher/stockpile are plotted, over the simulation time, in the Plots sub-section of the OUTPUT section.

The Report button prepares a detailed simulation report in pdf format and opens it with a pdf Reader so that the user can 'print' and 'save as' it using standard pdf Reader procedures.

The Help button provides access to the User Manual and to information regarding IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim. Finally, the Quit button of the menu bar exits the application in a proper way.

Figure 3 shows a screenshot that displays the input values, the selected options and the simulation output for a specific project.

### **IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim: Behind the Scenes**

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim, at present stage of development, is capable to simulate a variety of shovel-truck system configurations with one loading unit, any number of trucks (same type), two different materials (ore - waste), one waste dumpsite or ore stockpile (with any number of dumping spots) and an ore crusher. Equipment breakdowns frequency and repair times for shovel, trucks and crusher are taken into account in the system's analysis.

The simulation of shovel-truck systems is based on the times of the various events occurred within the system (spot & load, haul, dump, return, breakdown, repair, queuing). As in the real world, truck-cycle times vary stochastically following a statistical distribution determined after a statistical analysis of the data collected from time studies. The user can select the appropriate one from a list of nine distributions:

- Beta
- Constant
- Erlang
- Exponential
- Gamma
- Normal
- Triangular
- Uniform
- Weibull

and the input data required for the selected distribution are entered for each unit operation via a 'pop-up' window (Figure 4).

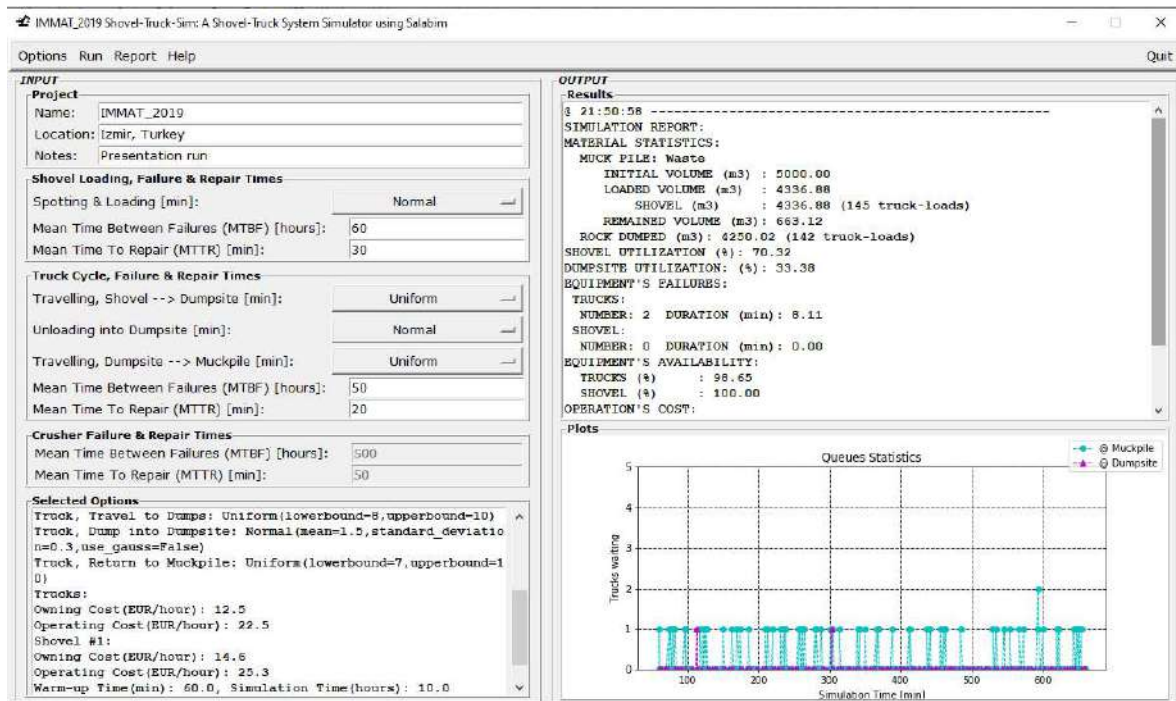


Figure 3. The IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim in action.

Equipment failures and repairs have been modelled using the exponential distribution failure model, which may be more relevant for reliability evaluation of a mine operating system due to its simplicity (Kumar & Granholm, 1988). The relevant input parameters are the mean time between failures (MTBF) and mean time to repair (MTTR) for each equipment.

Operation's cost is calculated, in a currency selected by the user, based on the owning and operating hourly costs of the equipment involved in the operation.

Following a simulation run, the user is provided with a customised simulation report which includes production and cost estimates; utilisation, availability and breakdowns/repairs of equipment; and a plot of queuing statistics at shovel, waste dumpsite and ore crusher/stockpile (Figure 3). In addition, a detailed simulation report is provided as a pdf formatted document suitable for reporting and record keeping.

The animation of a simulation run provides better means for understanding the operation of a shovel-truck system under study and allows the user to view the progress of the simulation and the response of the shovel-truck system to different operational scenarios (Figure 5).

**Truck Cycle Times Parameters: Data Entry** [X]

Spotting & Loading [min]

**Distribution: Beta**  
 Alpha: 0  
 Beta: 0

**Distribution: Constant**  
 Value: 0

**Distribution: Erlang**  
 Shape: 2  
 Scale: 4.15

**Distribution: Exponential**  
 Mean: 0

**Distribution: Gamma**  
 Shape: 0  
 Scale: 0

**Distribution: Normal**  
 Mean: 0  
 Standard Deviation: 0

**Distribution: Triangular**  
 Lower Bound: 0  
 Upper Bound: 0  
 Mode: 0

**Distribution: Uniform**  
 Lower Bound: 0  
 Upper Bound: 0

**Distribution: Weibull**  
 Shape: 0  
 Scale: 0

OK Cancel

**Figure 4.** Truck-cycle times distributions; data entry ‘pop-up’ window.

### **IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim: Programming Technicalities**

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim has been developed in Python Ver. 3.6.6 [1] using the PyCharm Professional Ver. 2019.2 [2] Integrated Development Environment (IDE) for editing, debugging and running the code as Microsoft Windows application for Windows 10.

In addition to the standard Python libraries, the following Python third-party modules have been used in developing the program’s code:

- Salabim Ver. 19.0.9 [3]: for the discrete system simulation.
- Tkinter [4] and its extension Pmw [5]: for developing the Graphical User Interface (GUI).
- Matplotlib [6]: for creating the plots.
- Fpdf [7]: for the generation of the simulation reports as pdf documents.

Finally, for viewing the animations, Pillow which is a fork of the Python Imaging Library (PIL), should be downloaded and be available to the Python interpreter [8].

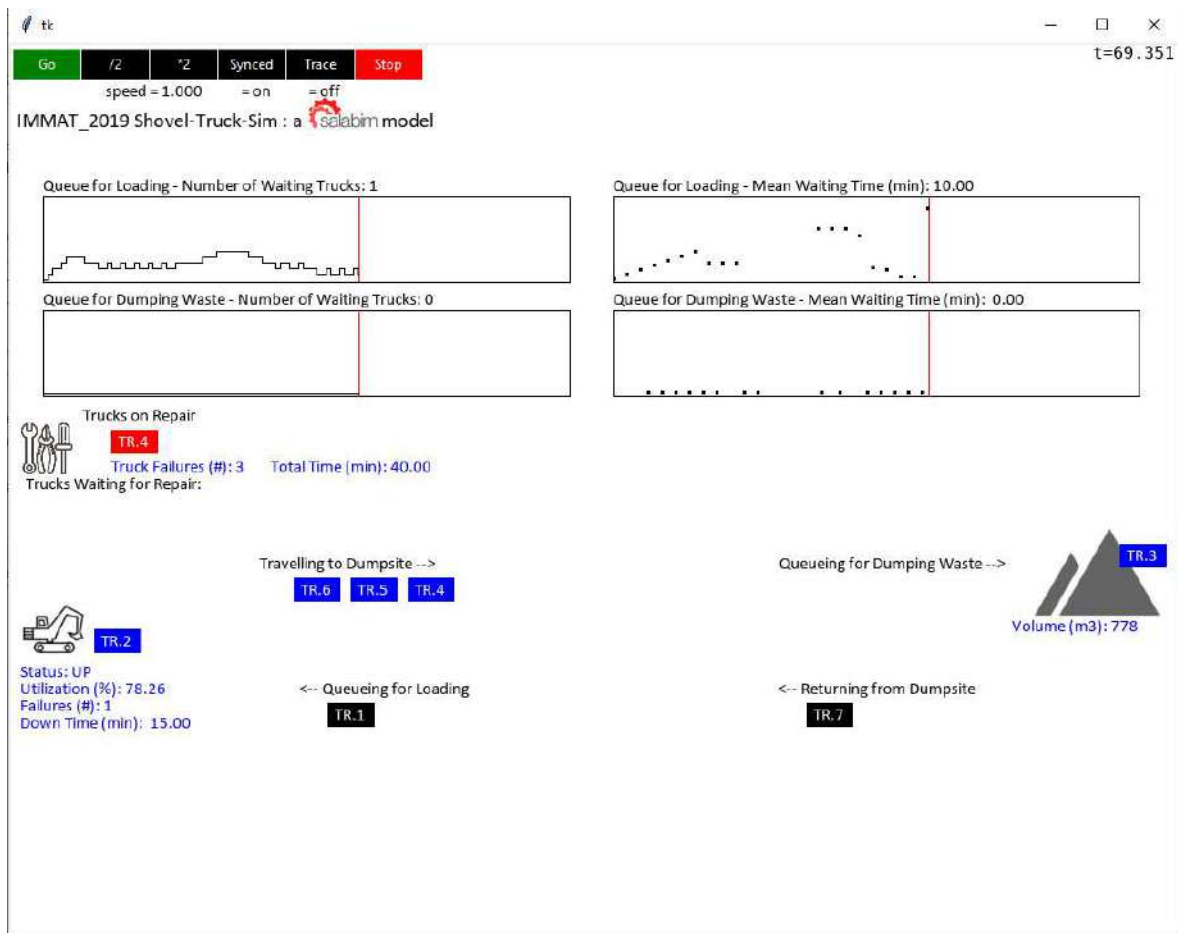


Figure 5. A screenshot of the IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim animator.

## CONCLUSIONS

The application of simulation models for studying complex mining systems under real life conditions is well accepted by modern mine management, especially in the design and planning phases of new mining projects. The dynamic character of the processes, activities and entities within a mining system and the stochastic character of the events occurring during the operation of these systems, make simulation to be the only reliable method for manipulating such systems.

Discrete-event simulation modelling can be used to evaluate the design of a new shovel-truck system or the effect of changes to the performance of existing systems. Site engineers can see how proposed changes to the layout of the shovel-truck system they supervise will affect production. Recommendations for purchasing a new larger or faster piece of equipment can first be justified as to whether will actually increase production. Mine design engineers can convince management that their figures are correct regarding the optimum mix of equipment. Various equipment and production plan configurations can be tested and critically analysed based on economic or operational criteria. To solve these problems, it will take a few seconds of computing time on a typical modern PC, while easy to use data input templates and customised simulation output, with meaningful diagrams, make simulators an engineering tool for everyday use.

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim is a simulator with animation capabilities for the planning and analysis of shovel-truck operations in opencast mines, quarries and earthmoving operations and can assist engineers and mine management in optimal equipment selection, sizing and scheduling.

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim is a tool to answer a wide range of 'what if?' type questions in order to evaluate alternatives before building or modifying the actual shovel-truck system, test the behaviour of different operation tactics, and forecast the economic and operational performance of various strategies.

IMMAT\_2019 Shovel-Truck-Sim has been developed using solely Open-Source Software tools that are freely available for downloading from the Internet and coded in Python using Salabim, a newly available and very promising package for creating discrete event simulation models in Python.

**Acknowledgments.** Special thanks to Ruud van der Ham, the developer of Salabim, for the fruitful discussions we had, his comments and guidance.

### REFERENCES

Carmichael, D.G. (1987). *Engineering Queues in Construction and Mining*. John Wiley & Sons Inc, New York.

Cross, B. K., & Williamson, G. B. (1969). Digital Simulation of an Open Pit Truck Haulage System. In A. Weiss (Ed), *A Decade of Digital Computing in the Mineral Industry* (pp. 385-400), AIME, New York.

Czaplicki, J.M. (2009). *Shovel-Truck Systems. Modelling, Analysis and Calculation*. CRC Press, Taylor & Francis Group, London.

Kumar U. & Granholm S. (1988). Reliability technique - A powerful tool for mine operators. *Mineral Resources Engineering*, Vol. 1, 13-28.

Sturgul, J.R. (2000). *Mine Design. Examples Using Simulation*. SME, Littleton, USA.

Sturgul, J.R. (2016). *Discrete Simulation and Animation for Mining Engineers*. CRC Press, Taylor & Francis Group, London.

[1] [www.python.org](http://www.python.org) (assessed: 08 October 2019)

[2] [www.jetbrains.com/pycharm/](http://www.jetbrains.com/pycharm/) (assessed: 08 October 2019)

[3] [www.salabim.org](http://www.salabim.org) (assessed: 08 October 2019)

[4] <https://wiki.python.org/moin/Tkinter> (assessed: 08 October 2019)

[5] <http://pmw.sourceforge.net/> (assessed: 08 October 2019)

[6] <https://matplotlib.org> (assessed: 08 October 2019)

[7] <https://pypi.python.org/pypi/fpdf/1.7> (assessed: 08 October 2019)

[8] <https://github.com/python-pillow/Pillow> (assessed: 08 October 2019)

## AUTHOR INDEX / YAZAR LİSTESİ

### A

Akçın, N.A.; 42, 77  
Akhgar, N.; 308  
Akın, A.; 297  
Akkaş, M.; 55  
Altunkaya, İ.; 253  
Aydın, H.; 42, 77  
Aydoğmuş, R.; 338

### B

Bacak, G.; 55  
Benbia, A. ; 17  
Bilen, M.; 92, 265, 274, 281  
Bilim, N. ; 182  
Botula, J.; 319

### C, Ç

Celep, O.; 244  
Coşkun, G.; 175  
Cuhadaroglu, D.; 265, 281  
Çağlayan, T.; 102  
Çakır, A.; 92

### D

Demirci, S.; 89  
Deveci, H.; 244  
Dikici, T. ; 89  
Duru, H.; 42, 77  
Dündar, S.; 182

### E, F

Ebeoğlugil, M. F.; 89  
Erdemoğlu, M.; 338  
Erel, A. ; 102, 190  
Eskikaya, Ş.; 1

### G

Güler, T. ; 22  
Güner, İ.; 111  
Güney, A.; 210

### H

Hacıfazlıoğlu, H.; 297  
Hahn, J.; 330

### I, İ

Issah, M.; 22  
İlhan, E.; 164

### K

Kahraman, E.; 102, 190  
Karaca, Y.; 349  
Karakoç, F.; 136  
Karakuş D.; 157  
Karaman, M.; 410  
Kayabalı, N.; 111  
Kaymakçı, E.; 92  
Kecir, A.; 319  
Kecir, M.; 319  
Kibaroglu, K.; 356  
Korkmaz, A. V.; 253  
Kun M. ; 201, 229, 237  
Kun S. ; 222, 229  
Kurnaz, B.; 274

### M, N

Makeev, M.; 30  
Mallı T. ; 127, 157  
Mohammed, M.M.A.; 22

### O, Ö,

Oruç, H.; 111  
Özfirat, M. K.; 201, 229, 237  
Öztürk, O.; 148

### P, R

Panagiotou, G.N.; 366  
Pazouk, i M.; 308  
Philipp, G.; 6  
Pourghahramani, P.; 308  
Pridal, Jan; 330  
Rounela, S.; 398

### S, Ş

Sakız, U.; 42, 77  
Saraç, M.S. ; 117  
Saruşık, G.; 175  
Su, O.; 55

Hekimoğlu, O. Z. ; 69

**T, U**

Tamer, Ö.; 349

Tank, B.; 356

Tatar, Ç. ; 237

Tazegül E.; 281

Temel, Ç.; 164

Topal, Ö. ; 210

Toroğlu, İ.; 265, 274

Tuz, C.; 102, 190

Ustabaş, F.; 164

**V, X, Y, Z**

Varol, M. K.; 117

Yamudi, C.; 356

Yaralı, O.; 42, 77

Yaşa, U.; 148

Yazıcı, E.Y.; 244

Yetkin, M. E.; 201, 237

Yılmaz, N. ; 111

Yılmaz, O.; 89

Yılmaz, S. ; 92, 265, 274, 281, 290