# *Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi "ICCET 2018"*

# *Bildiriler Kitabı*

# Proceedings of the 21st International Coal Congress of Turkey

# "ICCET 2018"

11-13 Nisan / April 2018
Zonguldak, Türkiye / Turkey


**Editörler /** Edited by

**Mehmet Erdinç BİLİR**
**Melih GENİŞ**
**Haşim DURU**
**Utku SAKIZ**
**Kebire KEL**



**TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI ZONGULDAK ŞUBESİ**
UCTEA THE ZONGULDAK BRANCH OF CHAMBER OF MINING ENGINEERS

*Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi "ICCET 2018" Bildiriler Kitabı*
*Proceedings of the 21st International Coal Congress of Turkey "ICCET 2018"*

**11-13 Nisan / April 2018**
**Zonguldak, Türkiye / Turkey**

© 2018 TMMOB Maden Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesi
Bu bildiriler kitabının yayım hakkı TMMOB Maden Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesine aittir. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

All right reserved © 2018
No parts of this book may be reproduced in any form or any means, without written permission of the UCTEA the Zonguldak Branch of Chamber of Mining Engineers of Turkey.

| | | |
|---|---|---|
| ISBN | : | 978-605-01-1196-5 |
| Kapak Fotoğrafı | : | Alaaddin KARA |
| Kapak Tasarımı | : | Alaaddin ÇAKIR |
| Baskı | : | ÖNKA Matbaacılık San. ve Ltd. Şti.<br>Büyük Sanayi 1. Cad. No: 80/32<br>06060 / İskitler – ANKARA<br>+90 (312) 384 26 85 (pbx)<br>onka@onkamatbaa.com |
| İsteme Adresi | : | TMMOB Maden Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesi<br>Liman Cad. No: 25, 67100 / ZONGULDAK |
| Tel | : | +90 (372) 251 13 55 - 259 45 52 |
| Faks | : | +90 (372) 253 10 80 |
| Web | : | http://www.maden.org.tr |
| E-Posta | : | zonguldak@maden.org.tr |

## SUNUŞ

Maden Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesi'nin düzenlediği, Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi 11-13 Nisan 2018 tarihleri arasında Zonguldak'ta yapılmaktadır. Kongre, Dedeman Otel konferans salonlarında yapılacak olup, aynı mekanda Maden Makinaları ve Donanımı Sergisi de, kongre süresince ziyaret edilebilecektir.

40 yıl önce ulusal ölçekte başlayan Türkiye Kömür Kongresi, zaman içinde uluslararası bir organizasyona dönüşmüştür. 1978 yılından bu yana iki yılda bir yapılmakta olan Kömür Kongresi'nin temel amacı, kömür madenciliği ve teknolojisiyle ilgili bilgi alışverişini özendirmek ve desteklemektir.

Kongremizde bu yıl, bilimsel kurul tarafından seçilen 44 adet teknik bildiri sunulacak ve kongre kitabında yer alacaktır. Ayrıca, ana teması Maden Mevzuatındaki son değişiklikler ve Zonguldak Havzası kömür madenciliği potansiyeli olan, iki adet çağrılı bildiri de sunulacaktır.

Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresinin gerçekleştirilmesinde, maddi ve manevi destek veren tüm kişi, kurum ve kuruluşlara; kongrenin amaçlarına ulaşabilmesi için katkıda bulunan Yürütme, Danışma ve Bilimsel Kurul üyelerine, oturum yöneticilerine ve tüm yazarlara teşekkür ederiz.

Kongrenin Ülkemiz ve Dünya kömür madencilik sektörüne yararlı olmasını dileriz.

**Dr. Erdoğan KAYMAKÇI**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Zonguldak Şubesi Başkanı

**Prof. Dr. Melih GENİŞ**

Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi
Yürütme Kurulu Başkanı

## PREFACE

The 21st International Coal Congress of Turkey, organized by the Zonguldak Branch of the Chamber of Mining Engineers of Turkey, is held between April 11-13, 2018 in Zonguldak. The Congress takes place at the Conference Halls of Dedeman Hotel, where the Mining Machinery and Equipment Exhibition is also open to delegates during the Congress.

The Coal Congress of Turkey was started 40 years ago. Over time, The Coal Congress turned into an international organization and the primary objective of The Coal Congress, which has been held biannually since 1978, is to promote and support the information exchange related to coal mining and technology.

During the Congress, 44 papers, which have been selected by the Scientific Committee, will be presented in technical sessions and these are printed in the Proceedings of the Congress. In addition, two invited papers will be presented in special session. Invited papers will focus on recent changes in mine legislation and the coal mining potential in Zonguldak Coal Basin.

We thank to the people and firms who have supported and helped The 21st International Coal Congress in various ways; to the people who have served in the Executive, Scientific and Advisory Committees; and to the chairpersons and authors for helping to achieve the Congress goals.

The Organizing Committee hopes that the Congress will be beneficial to the coal mining sector in Turkey and in the World.

**Dr. Erdoğan KAYMAKÇI**

President of UCTEA the Zonguldak Branch of Chamber of Mining Engineers

**Prof. Dr. Melih GENİŞ**

Chairman of the Executive Committee of the 21st Int. Coal Congress of Turkey

**TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU**
UCTEA DIRECTORIAL BOARD OF CHAMBER OF MINING ENGINEERS

| | | |
|---|---|---|
| Başkan/President | : | Ayhan YÜKSEL |
| II. Başkan/Vice President | : | Emre DEMİR |
| Yazman/Secretary | : | Mehmet Erşat AKYAZILI |
| Sayman/Treasurer | : | Veyis SIR |
| Üyeler/Members | : | Öznur AKÇA |
| | | Ümit KILIÇ |
| | | Talat KARATAŞ |

**TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**
**ZONGULDAK ŞUBESİ YÖNETİM KURULU**
UCTEA DIRECTORIAL BOARD OF ZONGULDAK BRANCH
OF CHAMBER OF MINING ENGINEERS

| | | |
|---|---|---|
| Başkan/President | : | Dr. Erdoğan KAYMAKÇI |
| II. Başkan/VicePresident | : | Hüsnü MEYDAN |
| Yazman/Secretary | : | Sadık SARIMEHMET |
| Sayman/Treasurer | : | Sabri ÇATMA |
| Üyeler/Members | : | Hanefi ORUÇ |
| | | Sedat KAPANCI |
| | | Kamil DERE |

## KONGRE YÜRÜTME KURULU
EXECUTIVE COMMITTEE OF THE CONGRESS

| | | |
|---|---|---|
| Başkan/Chairman | : | Prof. Dr. Melih GENİŞ |
| Başkan Yrd./Vice Chairman | : | Doç. Dr. M. Erdinç BİLİR |
| | | Dr. Kebire KEL |
| Yazman/Secretary | : | Haşim DURU |
| Sayman/Treasurer | : | Ziya ERDEMLİ |
| Üyeler/Members | : | Dr. Alaaddin ÇAKIR |
| | | Levent USMAN |
| | | Emine UZUN |
| | | Dr. Serdar YILMAZ |
| | | Utku SAKIZ |
| | | Ekin KÖKEN |
| | | Mehmet ÇEBİ |
| | | Çiğdem KARAKURT TAŞKIRAN |

## KONGRE DANIŞMA KURULU
ADVISORY COMMITTEE OF THE CONGRESS

| | |
|---|---|
| Prof. Dr. Vedat DİDARİ | Dr. Hakan AKÇIN |
| Prof. Dr. Hasan GERÇEK | Levent YAĞCI |
| Prof. Dr. Sait KIZGUT | Bülent ÖZGÜMÜŞ |
| Prof. Dr. Yadigar V. MÜFTÜOĞLU | Enver KARAÇAM |
| Prof. Dr. İhsan TOROĞLU | Kemal Reşit KUTLU |
| Prof. Dr. Tuğrul ÜNLÜ | Yaşar UZUNKAVAKLI |
| Prof. Dr. Dilek ÇUHADAROĞLU | Çağlar ÖZTÜRK |

## BİLİMSEL KURUL
## SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. A. Dilek ÇUHADAROĞLU (Turkey)
Dr. Abdullah FİŞNE (Turkey)
Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ (Turkey)
Dr. Alaaddin ÇAKIR (Turkey)
Dr. Ali UÇAR (Turkey)
Aydın KASAPOĞLU (Turkey)
Dr. Ayhan Ali SİRKECi (Turkey)
Dr. Ayşen YAVUZDOĞAN (Turkey)
Dr. Bahtiyar ÜNVER (Turkey)
Baki ALTIPARMAK (Turkey)
Dr. Bekir GENC (South Africa)
Dr. Bülent ERDEM (Turkey)
Dr. Cem ŞENSÖĞÜT (Turkey)
Dr. Cemal BALCI (Turkey)
Çağlar ÖZTÜRK (Turkey)
Dr. Ekrem YÜCE (Turkey)
Dr. Erdoğan KAYMAKÇI (Turkey)
Dr. Erhan TERCAN (Turkey)
Dr. Erkan ÇETİNER (Turkey)
Dr. Erkan ÖZKAN (Turkey)
Dr. Feridun BOYLU (Turkey)
Dr. Frank OTTO (Germany)
Dr. Gündüz ÖKTEN (Turkey)
Dr. Gürkan BACAK (Turkey)
Dr. Hakan AKÇIN (Turkey)
Dr. Hale SÜTÇÜ (Turkey)
Dr. Hamit AYDIN (Turkey)
Dr. Hanifi ÇOPUR (Turkey)
Dr. Hüseyin KURT (Turkey)
Hüsnü MEYDAN (Turkey)
Dr. Igor Yurievich RASSKAZOV (Russia)
Dr. İbrahim ONUR (Turkey)
Dr. İhsan ÖZKAN (Turkey)
Dr. İhsan TOROĞLU (Turkey)
Dr. İlgin KURŞUN (Turkey)
Dr. İlker ŞENGÜLER (Turkey)
Dr. Jose KORTNIK (Slovenia)
Dr. Kemal BARIŞ (Turkey)
Dr. Kemal BİLİR (Turkey)
Dr. Kerim AYDINER (Turkey)
Dr. Levent ERGÜN (Turkey)
Dr. Kourosh SHAHRIAR (Iran)
Dr. M. Kemal ÖZFIRAT (Turkey)
Dr. Mahmut Suat DELİBALTA (Turkey)
Dr. Mahmut YAVUZ (Turkey)
Dr. Marek MARCISZ (Polond)
Dr. Mehmet Erdinç BİLİR (Turkey)
Dr. Mehmet Kemal GÖKAY (Turkey)
Dr. Melih GENİŞ (Turkey)
Dr. Metin ÇELİKİZ (Turkey)
Dr. Nejat TAMZOK (Turkey)
Dr. Nuh BİLGİN (Turkey)
Dr. Nuray DEMİREL (Turkey)
Dr. Nuri Ali AKÇIN (Turkey)
Dr. Okan SU (Turkey)
Dr. Olgay YARALI (Turkey)
Dr. Osvaldo SENNECA (Italy)
Dr. Ömer AYDAN (Japan)
Dr. Özen KILIÇ (Turkey)
Dr. P. H. S. W. KULATILAKE (USA)
Dr. Ramazan ASMATULU (USA)
Dr. Raşit ALTINDAĞ (Turkey)
Dr. Sait KIZGUT (Turkey)
Dr. Selçuk SAMANLI (Turkey)
Dr. Serkan SAYDAM (Australia)
Dr. Seyhan ÖNDER (Turkey)
Sibel BUZKAN (Turkey)
Dr. Suphi URAL (Turkey)
Dr. Tevfik GÜYAGÜLER (Turkey)
Dr. Theodore MICHALAKOPOULAS (Greece)
Dr. Tuğrul ÜNLÜ (Turkey)
Dr. Turgay ONARGAN (Turkey)
Dr. Vedat DİDARİ (Turkey)
Dr. Yadigar Vasfi MÜFTÜOĞLU (Turkey)
Dr. Yaşar UÇBAŞ (Turkey)
Volkan KAYA (Turkey)

Bildiriler en az iki hakem değerlendirmesinden geçmiştir.
Papers has been sent to at least two referees.

## MADEN MAKİNALARI VE DONANIMI SERGİSİNE KATILAN FİRMALAR

COMPANIES PARTICIPATING
IN THE EXHIBITION OF MINING MACHINERY

ALAGRUP
BEY1GRUP MAD. MÜH. İNŞ. İTH. İHR. SAN. A.Ş.
BİLFER MADENCİLİK VE TURİZM A.Ş.
KARBOMET MADENCİLİK
DRÄGER SAFETY- KORUNMA TEKNOLOJİLERİ LTD. ŞTİ.
ER-Dİ MAKİNA İMALAT SANAYİ LTD. ŞTİ
ERKOM KOMPRESÖR MAKİNE İMALAT SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
LABRİS MADENCİLİK VE SANAYİ LTD. ŞTİ.
MEPA İŞ GÜVENLİĞİ VE TEKNİK MALZEME PAZ. TİC. LTD. ŞTİ.
MTM MAKİNA TİC. MÜM. MÜŞ. LTD. ŞTİ.
PANEL A.Ş.
SETERM TEKNİK HİZ. TİC. LTD. ŞTİ.
ŞEN PLASTİK LTD. ŞTİ.
TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU - TTK
ZİTRON HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ TİC. LTD. ŞTİ.

## KATKIDA BULUNAN KURUMLAR VE FİRMALAR
CONTRIBUTING ESTABLISHMENTS AND COMPANIES

İMBAT A.Ş. (Ana Sponsor-Main Sponsor)

BEREKET ENERJİ ÜRETİM A.Ş.

PARK TERMİK-CİNER GRUP

ZONGULDAK BELEDİYESİ

MFA

NETCAD

ÖZALEVSAN

# İÇİNDEKİLER
CONTENTS

## Kömür Madenciliğinin Bilim ve Teknolojisi
## *Science and Technology of Coal Mining*

Establishing Relationship Between Spontaneous Combustion Liability Indices …… 1
*Kendiliğinden Yanma Yatkınlığı İndeksleri Arasında Kurulan İlişkiler*
M. Onifade, B. Genc

Spontaneous Combustion Risk in South African Coal Fields: Part 2 ……... 13
*Güney Afrika Kömür Sahalarında Kendiliğinden Yanma Riski: Bölüm 2*
B. Genc, M. Onifade, A. Cook

Zonguldak Taşkömürü Havzasında Ani Püskürme Olaylarının Kümele Analizi ile Değerlendirilmesi ……. 27
*Assessment of Gas and Coal Outbursts in Zonguldak Hard Coal Basin Using Cluster Analysis*
N. Kurşunoğlu, M. Önder

Kömür Madenlerinde Gaz ve Kömür Püskürmelerini Etkileyen Faktörler …… 39
*Factors Affecting the Gas and Coal Outbursts in Coal Mines*
İ. Karakurt, G. Aydın, S. Kaya, F. Yıldırım

Evaluation of Light Duty Mining Vehicles Power Systems Using Fuzzy Inference System in Underground Coal Mining ……. 47
*Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kullanılan Hafif İş Makinalarının Güç Sistemlerinin Bulanık Mantık ile Değerlendirilmesi*
C. Doğruöz

Amasra Dik Damar Mekanizasyon Sisteminin Tanıtımı ve Zonguldak Havzasında Uygulanabilirliği …… 57
*The Introduction of Amasra Steep Seam Mechanization System and Its Applicability in Zonguldak Region*
F. Karaküp, N.A. Akçın

Türkiye Taşkömürü Kurumu'nda Galeri İlerlemelerinde Kollu Galeri Açma Makinası Kullanımının Analizi ……. 69
*Analysis of the Use of Roadheader in Driving the Galleries at Turkish Hardcoal Enterprises*
O. Yaralı, U. Sakız, H. Duru, H. Aydın, O. Su, M. Geniş

Kömür Madenlerinde Korozyonu Hızlandıran Değişkenlerinin İncelenmesi ... 85
*Investigation of Variables Speeding Corrosion in Coal Mines*
A.E. Arıtan, M.F. Can, M. Tümer

Enerji Kaynağı Olarak Kömür Kullanımının Etkinlik Değişimi ……... 93
*Efficiency Change of Coal Use as Energy Resource*
Y. Kasap

Tüfün Yeraltı Madenlerinde Baraj Malzemesi Olarak Kullanımı …..……... 105
*Use of Tuff in Underground Mines as a Sealed Material*
G. Daloğlu, M. Önder

Kömür Kökenli Metan Üretimini Etkileyen Rezerv Özellikleri …… 117
*Reserve Characteristics Influencing the Coal-Based Methane Production*
İ. Karakurt, G. Aydın, S. Kaya, F. Yıldırım

Zonguldak Havzasının Metan Potansiyeli ve Metan Üretimi Çalışmaları …… 125
*Methane Potential and Methane Production Studies of Zonguldak Basin*
A. Baltaş

Dünya ve Türkiye'de Kömür Rezervleri ve Elektrik Üretimindeki Yeri …….. 139
*Coal Reserves in the World and Turkey and Place in Electricity Production*
A.M. Kılıç, E. Kahraman, Ö. Kılıç

Dünyada ve Türkiye'de Birincil Enerji Arzı ve Kömürün Payı …… 151
*Primary Energy Supply in the World and in Turkey and the Share of Coal*
Y. Kasap

Kömür, Enerji ve Çevresel Etkileri ……... 165
*Coal, Energy and Environmental Impacts*
H. Kurt

Dünyada ve Türkiye'de Kömür Tüketiminin Küresel Isınmaya Etkisi ……. 179
*The Effect of Coal Consumption on Global Warming in the World and Turkey*
H. Eryılmaz, K.O. Demirarslan

Yeraltı Kömür Madenlerinde Zararlı Gazların İzlenmesi İçin Kablosuz Algılayıcı Ağlar Teknolojisinin Kullanılması ……... 193
*Using of Wireless Sensor Networks for Monitoring of Harmful Gases in Underground Coal Mines*
A.E. Dursun, H. Terzioğlu, M. Çalkaya

Netcad/Madios Modülünün Örnek Bir Maden Sahasına Uygulanması …… 207
*Application of The Netcad/Madios Module to an Example Mining Area*
A.C. Özdemir, S. Ural, A. Dağ, T.E. Toptaş, Y. Töre

Düşük Sıcaklık Koklaştırması ve Manyetik Ayırma ile Tekirdağ Kömüründen Kükürdün Uzaklaştırılması …….. 219
*Removing Sulphur from Tekirdag Coal with Low Temperature Coking and Magnetic Separation*
Ü. Horasan, M. Çınar

Termik Santrallerden Elde Edilen Artıkların $CO_2$ Gazını Depolama Potansiyelinin Mineral Karbonatlaştırma Yöntemi ile Belirlenmesi ……. 229
*Determination of $CO_2$ Sequestration Potential of Tailings Obtained from Thermal Plants by Mineral Carbonation Method*
M. Altıner, A. Teymen

Comprehensive Approach for the Far Eastern Coal Ash Utilization ……..... 237
*Uzak Doğu Kömür Külü Kullanımı için Kapsamlı Yaklaşım*
I.J. Rasskazov, A.V. Rasskazova, A.G. Sekisov, N.M. Litvinova, N.A. Lavrik

Halojen ve Elektrikli Fırınlarda Çanakkale (Çan) Linyit Toz Kömürünün Kurutulması ve Sonuçların Karşılaştırılması ..……..... 249
*Comparison of Çanakkale (Çan) Fine Coal Drying Using Halogen and Electric Ovens*
H. Hacıfazlıoğlu, İ. Kurşun, M. Terzi, C. Aksoy

Şlam Kömürün Agloflotasyonunda Bitkisel Kökenli Yağların Toplayıcılık Performansının Verimlilik İndeksi ile Belirlenmesi ……..... 259
*Performance Analysis of Vegetable Oils by Efficiency Index in Aggloflotatıon of Slime Coal*
H. Hacıfazlıoğlu, İ. Kurşun, M. Terzi

Linyitlerin İz Element İçerikleri – Kömür Yıkama ile Cıva Uzaklaştırma Örneklemesi ……..... 267
*Trace Elements Contents of Lignites – A Case Study for the Removal of Mercury by Coal Washing*
G. Özbayoğlu

Kükürt Uzaklaştırmada Alkali Ortamın Etkilerinin İncelenmesi ……..…… 277
*Investigation of Effects of Alkaline Media on Desulfurization*
U. Demir, A. Aydın

Kükürt ve Kül Uzaklaştırmada Asidik Ortamın Etkilerinin İncelenmesi …….. 291
*Investigation of Effects of Acidic Media on Desulfurization and Deashing*
U. Demir, A. Aydın

Ses Ötesi Dalgaların Farklı Tane Boyutlarındaki Kömürün Flotasyonunda Kullanılması ……... 305
*Utilisation of Ultrasonic Waves in Coal Flotation at Different Particle Sizes*
E. Şahinoğlu

Şlam Göleti Malzemesinden Kömürün Knelson Konsantratörü ile Kazanılabilirliğinin Araştırılması …….. 317
*Investigation of the Coal Recovery from Slime Pond by Knelson Concentrator*
A. Uçar, N. Ediz, O. Şahbaz, S. Karaca, İ.G. Ediz , C. Şensöğüt

Garp Linyitleri İşletmesi Artıklarından Humprey Spirali ile Kömürün Kazanılabilirliğinin Araştırılması …….. 327
*Investigation of Coal Recovery from Western Lignite Corporation's Wastes by Humprey Spiral*
S. Karaca, O. Şahbaz, İ.G. Ediz, A. Uçar, N. Ediz, C. Şensöğüt

*Investigation on the Coking Potantial of Zonguldak Bağlık–İnağzı Coals …..* 337
Zonguldak Bağlık–İnağzı Kömürlerinin Koklaşma Potansiyelinin Araştırılması
S. Yılmaz, E. Köken, M. Bilen, S. Kızgut, İ. Toroğlu, A.D. Çuhadaroğlu

Mikrodalga Uygulaması Yapılan Kömürlerde Manyetik Ayırma ile Kükürdün Uzaklaştırılması ……. 347
*Removal of Sulphur from Microwave Heated Coals with Magnetic Seperation*
İ. Toroğlu, A.D. Çuhadaroğlu, S. Kızgut, S. Yılmaz, M. Bilen, C.E. Yılmaz

Normal Dağılıma Uymayan Temiz Kömür Kısa Analiz İçeriklerinin Normal Dağılıma Dönüştürülmesi …….. 355
*Transformation of Nonnormal Proximate Analysis Contents of Clean Coals to Normal Distribution*
A. Taşdemir, D. Atalay

Muğla - Yatağan (Türkiye) Kömürleri ve Küllerinin Tehlikeli Hava Kirletici Element İçeriklerinin Kömür Hazırlama İşlemleri Sonucunda Değişimlerinin Araştırılması …….. 367
*Investigation of Changes in the Content of Hazardous Air Pollutant Elements in Muğla-Yatağan (Turkey) Coal and Ashes as a Result of Coal Preparation Processes*
İ. Demir, İ. Kurşun

**Kömür Madenciliğinde İş Sağlığı ve Güvenliği**
***Occupational Health and Safety in Coal Mining***

Zonguldak'ta Bir Üniversite Hastanesine Başvuran Madencilerde İşe Giriş Yılı ve Çalıştığı Birime Göre Pnömokonyoz Analizi ……..…….. 381
*Analysis of Pneumoconiosis for Miners Referred to A University Clinic in Zonguldak According to Their Employment Year and Working Department*
F. Erboy, B. Altınsoy

Şırnak Kömür Madeni Kazası Işığında Kömür Madenciliğindeki Uygunsuzluklar Hakkında Öneriler ……... 387
*Recommendations in Compliance about Coal Mining After Coal Mine Accident in Şırnak*
K. Koçali

Türkiye'de Yeraltı Kömür Madenlerinde Gaz Patlamalarının Neden Olduğu Ölümlü İş Kazalarının Analizi ve Karşı Önlemler ……... 401
*Analysis and Countermeasures of Fatal Accident Caused by Gas Explosion in Underground Coal Mines in Turkey*
A.E. Dursun

İş Kazaları ve Meslek Hastalıklarında Madencilik Sektörünün Yeri - TTK Karadon Örneği ……. 417
*The Role of Mining Sector in Occupational Accidents and Diseases – TTK Karadon Example*
S. Önder, F. Günaydın, H. Pusat, M. Önder

Gürültü Maruziyetinin İncelenmesi: Garp Linyitleri İşletmesi Örneği ……. 431
*Investigation of Noise Exposure: Western Lignite Corporation Case*
A.E. Arıtan, N. Şensöğüt, C. Şensöğüt

Garp Linyitleri İşletmesinde Yeraltı Harici Karo Tesisinde Aydınlatma ve Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi …..……... 439
*Investigation of Lightining and Thermal Comfort Conditions at the External Maintenance Workshop of Underground Workings, Western Lignite Corporation*
A.E. Arıtan, C. Şensöğüt, N. Şensöğüt

Türkiye Kömür Madenciliğinde Ölümlü İş Kazalarının Değerlendirilmesi ….. 449
*Evaluation of Fatal Work Accidents at Turkish Coal Mining*
A.M. Kılıç, E. Kahraman, Ö. Kılıç

3 Boyutlu Maden Haritası Kullanılarak Maden İş Yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği İçin Topuk ve Güvenlik Sınırı Belirleme ……. 459
*Determination of Pillar and Safety Borderline for Occupational Health and Safety in Mine Workplaces Using 3-Dimensional Mine Map*
H. Akçın, S. Sargınoğlu, H.M. Bardız

**Kömür Madenciliğinde Ekonomi Politikaları ve Hukuki Sorunlar**
***Economic Policy and Social Problems in Coal Mining***

Maden Mevzuatı Üzerine …….. 473
*About Mine Regulations*
Ö. Günay

6552 Sayılı Torba Yasanın Zonguldak Havzası Kömür Madenciliğine Etkileri ……... 485
*The Effects of the Omnibus Bill Numbered 6552 to Zonguldak Basin Coal Mining*
P. Yılmaz, N. Baş

**Çağrılı Bildiri**
***Invited Paper***

Zonguldak Havzası Kömür Madenciliği Potansiyeli ……. 501
*The Coal Mining Potential in Zonguldak Basin*
V. Didari, N.A. Akçın

**MADENCİ MARŞI**

Selam ver selam ver, sesin gür
Kara elmas siyah nur demek kömür
Kara elmas siyah nur demek kömür
Alnını sür, alnını sür

Açık gül alnının kırışıkları
Sönük lambam yanar hep ışıkları
Sönük lambam yanar çıksan dışarı
Hep ışıkları, hep ışıkları

İçinde önünde, cevherle maden
Elinde toprağı altın yapar fen
Elinde toprağı altın yapar fen
Yap taç dilersen, yap taç dilersen

O taçta arma, şu kazma çekiç
Onun saltanatı kimde vardır hiç
Onun feyyazlığı nerde vardır hiç
Bu nuru iç, bu nuru iç

**Behçet Kemal ÇAĞLAR**
**(1908 – 1969)**

***Bu güzel marşı bize kazandıran meslektaşımız,***
***Maden Yüksek Mühendisi – Şair Behçet Kemal ÇAĞLAR'ı saygıyla anıyoruz.***

# ESTABLISHING RELATIONSHIP BETWEEN SPONTANEOUS COMBUSTION LIABILITY INDICES

## *KENDİLİĞİNDEN YANMA YATKINLIĞI İNDEKSLERİ ARASINDA KURULAN İLİŞKİLER*

**Moshood Onifade, Bekir Genc***
*University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa*

**ABSTRACT** Spontaneous combustion liability indices have been used as one of the tools to predict the propensity of coal and coal-shales to spontaneous heating. This paper establishes the relationship and interrelationship between spontaneous combustion liability indices (Wits-Ehac index and Wits-CT index), Crossing Point Temperature (CPT) and carbon content. The linear regression analysis has been used to establish the relationship between these variables. It was found that carbon content provided better correlation coefficients with the Wits-CT index, Wits-Ehac index and the CPT for the coal-shale than for the coal samples. The carbon content has been evaluated as one of the intrinsic factors influencing the propensity of coal and coal-shales to spontaneous combustion. It was found that no clear relationship exists between the results of the Wits-Ehac, the Wits-CT index, and the crossing point temperatures. However, the two spontaneous combustion liability indices provide reliable results to predict coal and coal-shales liable to self-heating.

**ÖZET** Kendiliğinden yanma indeksleri, kömür ve kömür-şistlerinin kendiliğinden yanmaya olan yatkınlığını tahmin eden araçlardan biri olarak kullanılmıştır. Bu makale kendiliğinden yanma sorumluluk indeksleri (Wits-Ehac indeksi ve Wits-CT indeksi), Geçiş Noktası Sıcaklığı (CPT) ve karbon içeriği arasındaki ilişkiyi ve ilişkileri kurar. Bu değişkenler arasındaki ilişkiyi kurmak için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Kömür-şist örneklerinin karbon içeriği kömür örneklerinin karbon içeriğine göre Wits-CT indeksi, Wits-Ehac indeksi ve CPT ile daha iyi ilişki katsayıları sağladığı bulunmuştur. Karbon içeriği, kömür ve kömür-şistlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığını etkileyen içsel faktörlerden biri olarak değerlendirilmiştir. Wits-Ehac, Wits-CT indeksi ve geçiş noktası sıcaklıkları arasında net bir ilişki yoktur. Bununla birlikte, kendiliğinden yanma yatkınlığı indekslerinin her ikisi de kömür ve kömür şistlerin kendinden yanmaya yatkınlıklarını tahmin etmek için güvenilir sonuçlar vermektedir.

* *Bekir.Genc@wits.ac.za*

## 1. INTRODUCTION

The spontaneous combustion of coal is a major challenge during coal mining operations in leading and coal producing countries, which generally causes significant economic and environmental impacts (Liu and Zhou 2010). This occurrence involves a range of complex physical and chemical processes, caused by the chemical reaction between coal and oxygen and the associated heat liberated to the surroundings (Carras et al. 2009). If adequate oxygen is available but the energy is not sufficiently dissipated either by conduction, convection, or radiation, a further increase in temperature arises to promote the reaction rate of coal oxidation and generation of heat (Yuan and Smith 2012).

The measure of the propensity of coal to self-heating necessitates the identification of different coals on the basis of their inherent properties, but no particular standard technique is used for evaluating the susceptibility of coal to spontaneous heating. Past researcher's efforts to measure the liability of coal stockpiles, spoil heaps and run-of-mine have been based on laboratory tests of one or more characteristics associated with the self-heating behaviour. The occurrence of various intrinsic factors affecting the start of self-heating is the reason for the difficulties in understanding the mechanism of spontaneous combustion. These parameters have been reported by different researchers (Gouws and Wade 1989, Kaymakci and Didari 2002, Genc and Cook 2015, Beamish and Blazak 2005, Uludag 2007, Panigrahi and Sahu 2004, Panigrahi and Sexana 2001, Ren et al. 1999) to predict the self-heating characteristics of coal. In this study, the relationship between the carbon content of coal and coal-shales and spontaneous combustion liability indices were established. The interrelationship between the liability indices with respect to spontaneous combustion was also evaluated experimentally and statistically. This can be used to establish relations between coal and coal-shales in terms of spontaneous combustion.

## 2. MATERIALS AND METHODS

The coal and coal-shale samples used for this study were collected from three selected coal mines in the eMalahleni (Witbank) area of South Africa and kept in airtight bags to avoid oxidation. The samples for testing were collected in a selected band of a coal seam and highwalls. The experimental investigations were carried out immediately after the samples were collected from the mine sites to avoid oxidation. Eight coal and eight coal-shale samples were studied using the Wits-Ehac, CPT and the Wits-CT apparatus. The determinations of the volatile matter, ash content and moisture content of the coal and coal-shale samples were also carried out according to the American Society for Testing and Material Standards (ASTM). In this study, only the percentage air-dried carbon content present in coal and coal-shales was used in the analysis. The results of the carbon content and the spontaneous combustion tests conducted on these samples are given in Table 1 and Table 2, respectively.

### 2.1. Wits-Ehac Tests

The testing apparatus consisted of an oil bath, six coal and inert material cell assemblies, an oil circular, a heater, a flowmeter used for airflow monitoring, an air supply compressor and a computer (Wade et al. 1987). The temperatures are recorded every 20 seconds by the microcomputer during an average four hours of testing. The test apparatus is used to test coals under predefined conditions and the combustibility index is obtained. The system incorporates the determined crossing point temperatures and differential thermal analysis from selected coal samples with periodic measurement of temperatures to obtain a consistent self-heating liability index called the Wits-Ehac index. Although the Wits-Ehac index has been used since the late 80s, it is often not successful to obtain an index when it comes to predicting the propensity of coal-shales. Hence, the Wits-CT index has been developed.

### 2.2. Wits-CT tests

This technique of preparation gives a closely sized sample that would be preferable to measure the rate of oxidation and it ensures the samples are representatives of the coal beds. A representative sample was weighed and loaded into the autoclave. The particle size used is based on the study reported by Kunni and Levenspiel (1991) to determine the surface-volume average particle size from the size distribution of coal. The system is sealed at the base and loaded with a sample from the top. The process was repeated till the column was filled to the marked point. Temperature probes were inserted into the column as the correct sample level was reached. The position of each temperature probe to the column was placed vertically and uniformly spaced to the center as soon as the coal level was reached. Oxygen was supplied and controlled at a fixed flow rate (20ml/min) by means of a flowmeter before being fed into a manifold attached below the lid of the autoclave. The logging began and the variation in temperatures distribution of the sensors was stored in a computer file every minute. The test period lasts for 24 hours. The results obtained from this apparatus are in-line with work done by (Sensogut and Ozdeniz 2005, Ozdeniz et al. 2015) in coal stockpiles.

### 2.3. Crossing point temperatures

The technique involves heating of coal samples in an oxidized condition to cause the oxidation process of coal either at an automatic heating rate or at a particular temperature from the room temperature to the ignition point temperature of the coal. It has been found from different experimental studies that coal with lower liability index to spontaneous combustion has a higher crossing point temperature. The crossing point temperatures used in this study were obtained from the Wits-Ehac tests.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Results

The results of carbon content and spontaneous combustion tests carried out on coal and coal-shale samples are presented in Table 1 and Table 2.

Table 1. Results of carbon content and spontaneous combustion tests for coal samples.

| Samples | Carbon content (%) | Wits-Ehac index | Wits-CT index | CPT (°C) |
|---|---|---|---|---|
| CA | 54.4 | 4.64 | 6.29 | 145.4 |
| CB | 61.4 | 4.64 | 6.96 | 149.4 |
| CD | 61.4 | 4.6 | 6.80 | 146.3 |
| CE | 53.6 | 4.76 | 5.42 | 140.4 |
| CF | 35.9 | 4.49 | 3.97 | 153.1 |
| CK | 69.7 | 4.44 | 9.10 | 146.9 |
| CL | 58.9 | 4.87 | 9.59 | 148.6 |
| CN | 65.8 | 4.84 | 7.91 | 139.0 |

Table 2. Results of carbon content and spontaneous combustion tests for coal-shale samples.

| Samples | Carbon content (%) | Wits-Ehac index | Wits-CT index | CPT (°C) |
|---|---|---|---|---|
| SA | 11.5 | 3.09 | 1.33 | 178.7 |
| SB | 11.0 | 3.06 | 1.30 | 187.7 |
| SD | 10.8 | 3.27 | 0.70 | 174.4 |
| SE | 15.8 | 3.73 | 1.60 | 164.1 |
| SF | 11.8 | 3.10 | 1.36 | 186.6 |
| SK | 9.75 | 2.98 | 1.18 | 189 |
| SL | 10.5 | 2.99 | 1.34 | 189.8 |
| SN | 33.7 | 3.77 | 3.99 | 161.8 |

### 3.2. Discussion

The carbon content varies between 35.9% to 69.7% and 9.75% to 33.7% for coal and coal-shales respectively as seen in Table 1 and Table 2. Coal CF has the lowest carbon content and second to the last with respect to the Wits-Ehac value (4.49). It has the highest CPT and the lowest Wits-CT index value. The liability of this coal to spontaneous combustion is low compared to other tested coal samples. Coal CK has the highest carbon content (69.7%) and has the lowest Wits-Ehac index (4.44). The sample has a high Wits-CT index and the third highest of CPT values (146.9). Coal-shales SN has the highest content (33.7%) and the highest Wits-Ehac index and Wits-CT Index and the lowest CPT among all the coal-shales. Coal-shale SE is the immediate sample with high carbon content (15.8 %). Coal-shale SK has the lowest carbon content and is the least reactive sample with respect to the spontaneous

combustion test results among the coal-shale samples. As expected, carbonaceous materials with a high amount of carbon are more liable to spontaneous heating than those with a very low carbon content. The spontaneous combustion test results show that based on the liability index, all the coal samples are more liable to spontaneous combustion except for coal CF. Furthermore, coal-shale SN is more liable to spontaneous heating than other coal-shale samples based on the spontaneous combustion tests results. The Wits-Ehac and the Wits-CT index shows a high propensity for coals CL, CN and CK more than the other coal samples. In addition, the CPT value shows a high propensity for coal CN than the other samples. Furthermore, the Wits-Ehac index, the Wits-CT index and the CPT indicates high liability values for coal-shales SN and SE more than other coal-shales. It was found that the coal samples displayed high spontaneous combustion liability indices due to their high carbon contents compared to the coal-shales with considerably low carbon content. The coal and coal-shales studied indicate that the capacity to self-heat appears to be directly related to the amount of carbon content. It was found that coal-shales with high carbon and low carbon contents show similar characteristics to coal containing high and low carbon content with respect to spontaneous combustion.

Table 1 and Table 2 shows that as the Wits-Ehac index increases for coal samples, the Wits-CT index and CPT either increases or decreases and vice- versa. For the coal-shales samples, as the Wits-Ehac increases, the CPT increases, and vice-versa. As the Wits-CT increases, the Wits-Ehac and CPT either decreases or increases. These findings show there is no clear relationship between the Wits-Ehac index, the Wits-CT index, and CPT that is been used to measure the liability of coals to spontaneous heating. This is not the case for CPT and Wits-Ehac index that shows a significant relationship for the coal-shale samples. This does not imply that these methods are not reliable to measure the propensity of coals to spontaneous combustion. However, the results obtained from these liability indices are in-line with the records revealed at the mines where samples were collected, where an incident of spontaneous combustion has been experienced in these coals and coal-shales in recent times.

### 3.3. Statistical Analysis

The study of coal and coal-shales carbon content with respect to spontaneous combustion test results as determined in the laboratory were used to establish relationships with the spontaneous combustion liability indices (Wits-Ehac index, Wits-CT index, and CPT). The data were divided into dependent and independent variables in order to make the analyses easy. The statistical analysis was carried out by correlating coal and coal-shale carbon content as independent variables with the values of the Wits-CT index, Wits-Ehac index and CPT as dependent variables. The overall database contains the spontaneous combustion test results and carbon content of 16 samples.

### *3.3.1. Linear regression analysis*

The results of the linear regression analysis for both the coal and coal-shale samples are presented in Table 3 and Table 4.

Table 3. Coefficient of correlation between independent and dependent variables obtained from linear regression for coal samples.

| Independent variable | Dependent variables - Coefficients of correlation | | |
|---|---|---|---|
| Carbon (ad) | Wits-Ehac index | Wits-CT index | CPT |
| | 0.0366 | 0.6713 | 0.2266 |

The experimental data were analyzed using linear regression methods to evaluate if the carbon content of the samples was linearly correlated to the oxidation potential of the coal and coal-shales. The correlations between independent and dependent variables are seen in Table 3 and Table 4. The linear regression analysis shows the absolute linear relations between dependent and independent variables with a high correlation coefficient found in some areas. Logically, the carbonaceous material behaves differently when subjected to similar atmospheric conditions due to variations in their intrinsic properties.

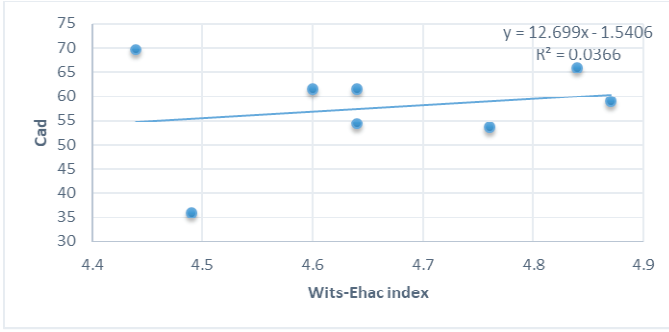
Table 4. Coefficient of correlation between independent and dependent variables obtained from linear regression for coal-shale samples.

| Independent variable | Dependent variables - Coefficients of correlation | | |
|---|---|---|---|
| Carbon (ad) | Wits-Ehac index | Wits-CT index | CPT |
| | 0.6339 | 0.9518 | 0.5588 |

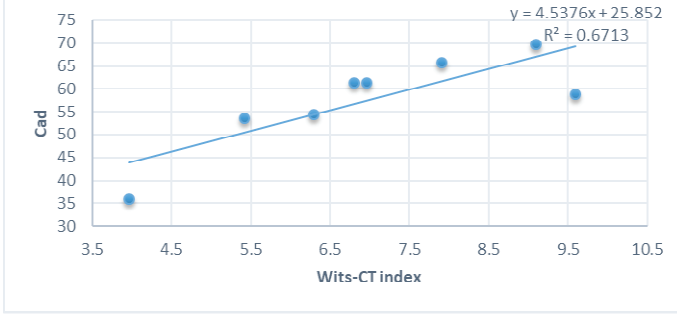
It was observed that carbon content is one of the major factors affecting coal spontaneous combustion with the Wits-CT index while the Wits-Ehac and CPT show no significant correlation with the carbon content. Furthermore, the linear regression analyses show that carbon content is one of the major factors influencing coal-shale spontaneous combustion with better correlation coefficients using the Wits-CT index, Wits-Ehac index, and the CPT. The linear regression indicates that the Wits-CT index shows a higher correlation coefficient with the carbon content for both coal and coal-shale samples than the CPT and the Wits-Ehac index. Therefore, identifying carbon content as one of the major intrinsic factors affecting their propensity to spontaneous combustion. Studies reported by (Uludag 2007, Guows and Wade 1989, Sahu et al. 2005, Kaymakci and Didari 2002, Nimaje and Tripathy, 2016) indicated the coal properties as a measure of spontaneous combustion liability. This study found that carbon content may be used as a tool to measure the liability of spontaneous combustion.

The Wits-CT index may be more suitable to predict the spontaneous combustion liability index of coal and coal-shale than the Wits-Ehac and CPT.

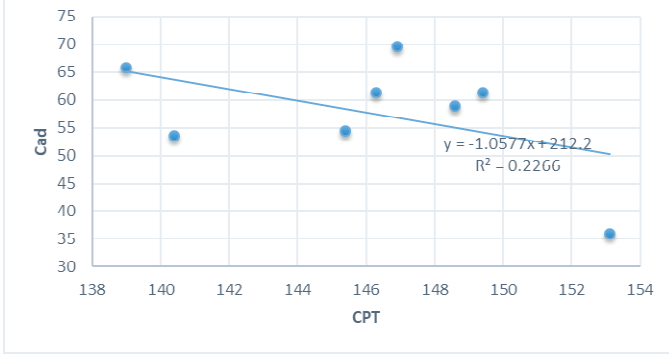
Figure 1 and Figure 2 show the relationships between carbon content and liability indices (Wits-Ehac, Wits-CT index, and CPT) using linear regression analysis.




a. Linear relationship between the Wits-Ehac index and carbon content of coal.

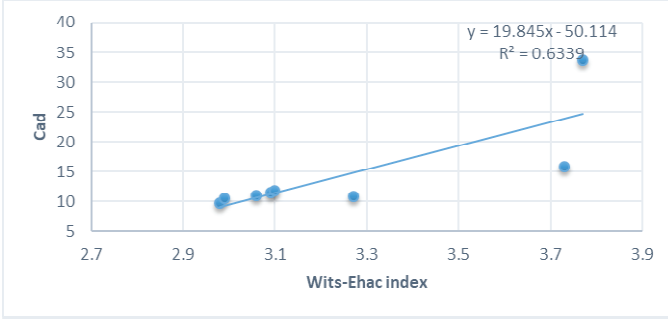



b. Linear relationship between the Wits-CT index and carbon content of coal.

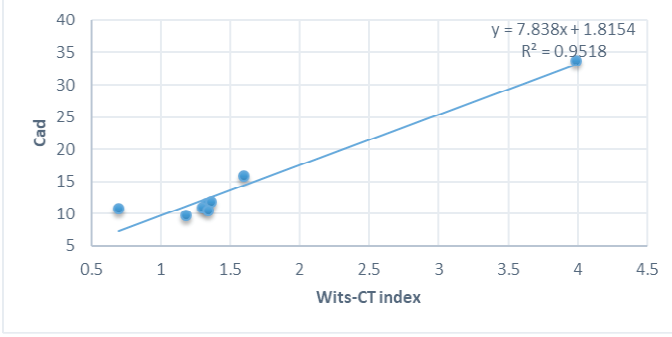



c. Linear relationship between the CPT index and carbon content of coal.

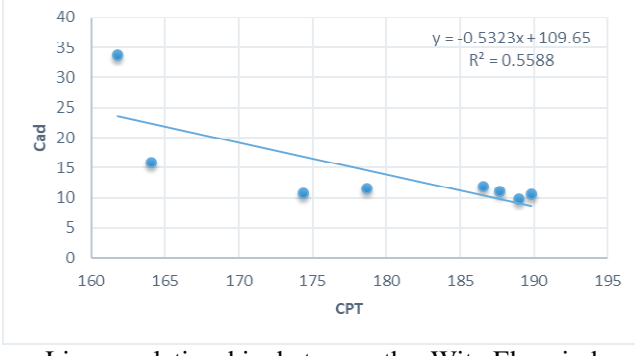
Figure 1. Relationship between spontaneous combustion liability indices and carbon content of coal.




a. Linear relationship between the Wits-Ehac index and carbon content of coal-shale.




b. Linear relationship between the Wits-Ehac index and carbon content of coal-shale.

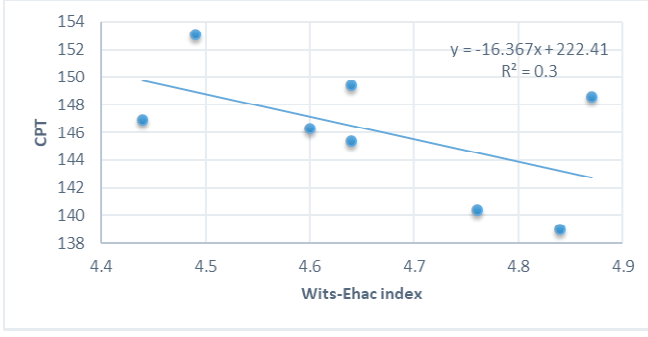



c. Linear relationship between the Wits-Ehac index and carbon content of coal-shale.

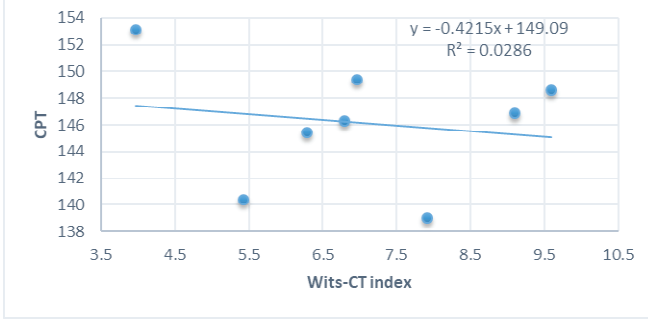
Figure 2. Relationship between spontaneous combustion liability indices and carbon content of coal-shale.

### *3.3.2. Relationship between Wits-Ehac, Wits-CT, and CPT using linear regression analysis*

It was found in Figure 3 and Figure 4 that only CPT and Wits-Ehac index for the coal-shale show significant correlation (0.9255), followed by CPT and Wits-CT index (0.376) for the coal-shale samples. The CPT and Wits-Ehac index show a correlation coefficient of (0.3) for the coal, while CPT and Wits-CT index shows a very low coefficient (0.0286) for the coals. The study observed that there is no clear relationship between the Wits-Ehac, the Wits-CT index, and the crossing point temperature.

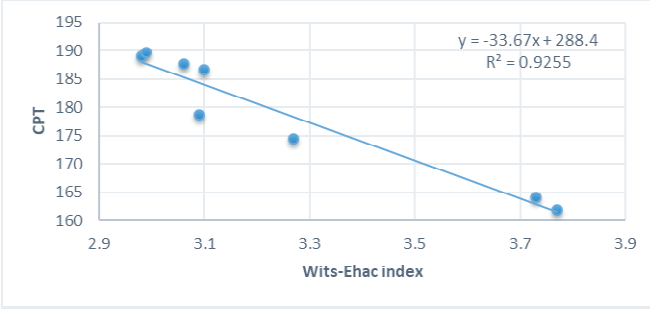



a. Linear relationship between the Wits-Ehac index and CPT of coal-shale.

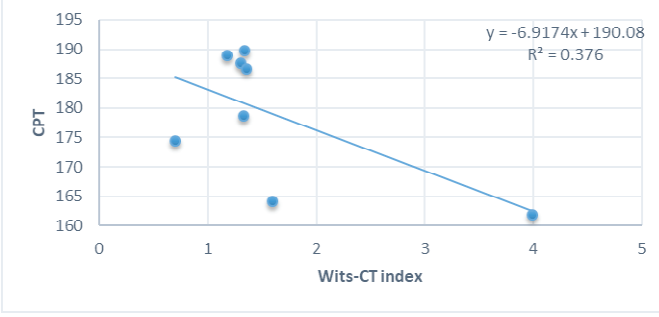



b. Linear relationship between the Wits-CT index and CPT of coal.

Figure 3. Relationship between Wits-Ehac, Wits-CT, and CPT using linear regression analysis.




a. Linear relationship between the Wits-Ehac index and carbon content of coal-shale.




b. Linear relationship between the Wits-CT index and carbon content of coal-shale.

Figure 4. Relationship between Wits-Ehac, Wits-CT, and carbon content of coal-shale.

## 4. CONCLUSION

This paper has analyzed and showed the relationships between the dependence of spontaneous combustion liability indices and carbon content. It has been observed that carbon content is one of the major factors affecting coal spontaneous combustion with the Wits-CT index; while the Wits-Ehac and CPT show no significant correlation with the carbon content. Furthermore, the linear regression analyses show that carbon content is one of the major factors influencing coal-shale spontaneous combustion with better correlation coefficients using the Wits-CT index, Wits-Ehac index, and the CPT. The study observed no clear relationship between the Wits-Ehac, the Wits-CT index and CPT both experimentally and statistically.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was conducted in the context of coal-shale spontaneous combustion in the eMalahleni (Witbank) coalfields, South Africa and was funded by Coaltech. The authors wish to express gratitude to Coaltech and the staff of the selected coal mines for their supports. The work presented here is part of a Ph.D. research study in the School of Mining Engineering at the University of the Witwatersrand.

## REFERENCES

Carras, J.N., Day. SJ., Saghafi. A., Williams. D.J. 2009. Greenhouse Gas Emissions from Low-temperature Oxidation and Spontaneous Combustion at Open-cut Coal Mines in Australia, International Journal of Coal Geology, 78, pp. 161–8.

Beamish, B.B., Blazak, D.G. 2005. Relationship Between Ash Content and R70 Self-Heating Rate of Callide Coal, Int. J. Coal Geol., 64, pp. 126–132.

Genc, B., Cook. A. 2015. Spontaneous Combustion Risk in South African Coalfields, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115, pp 563-568.

Gouws, M.J., Wade. L. 1989. The Self-Heating Liability of Coal: Predictions Based on Simple Indices, Mining Science and Technology, 9, pp. 75-80.

Kaymakci, E., Didari. V. 2002. Relations between Coal Properties and Spontaneous Combustion Parameters, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 1, pp. 59-64.

Kunii, D., Levenspiel, O. 1991. Fluidization Engineering, Krieger, New York.

Liu, L., Zhou. F.B. 2010. A Comprehensive Hazard Evaluation System for Spontaneous Combustion of Coal in Underground Mining, International Journal of Coal Geology, 82, pp. 27–36.

Nimaje, D.S., Tripathy, D.P. 2016. Characterization of some Indian Coals to Assess their Liability to Spontaneous Combustion, Fuel*,* 163, pp. 139-147.

Ozdeniz. A.H., Sivrikaya. O., Kelebek. S. 2015. Statistical Modeling of Spontaneous Coal Combustion due to the Effect of the Sunrays. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 37, pp. 2114-2122.

Panigrahi, D.C., Sahu. H.B. 2004. Classification of Coal Seams with Respect to their Spontaneous Heating Susceptibility – A Neural Network Approach, Geotech. Geol. Eng. 22, pp. 457–476

Panigrahi, D.C., Saxena. V.K. 2001. An Investigation into Spontaneous Combustion Characteristics of Coals Using Differential Thermal Analysis, Proceedings, 7th International Mine Ventilation Congress, Krakow, Poland, pp. 495–500.

Ren, T.X., Edwards. J.S., Clarke. D. 1999. Adiabatic Oxidation Study on the Propensity of Pulverized Coal to Spontaneous Combustion, Fuel, 78, pp. 1611-1620.

Sahu, H.B., Panigrahi, D.C., Mishra, N.M. 2005. Assessment of Spontaneous Heating Susceptibility of Coal Seams by Experimental Techniques: A Comparative Study, International Symposium on Advances in Mining Technology and Management, pp. 459-465.

Sensogut, C., Ozdeniz. A.H. 2005. Statistical Modelling of Stockpile Behaviour under Different Atmospheric Conditions-Western Lignite Corporation (WLC) Case. Fuel 84, pp. 1858-1863.

Uludag, S. 2007. A Visit to the Research on Wits-EHAC Index and its Relationship to Inherent Coal Properties for Witbank Coalfield, The South African Institute of Mining and Metallury 107, pp. 671-679.

Wade, L., Gouws. M J., Phillips. H.R. 1987. An Apparatus to Establish the Spontaneous Combustion Propensity of South African Coals, Symposium on Safety in Coal Mines, CSIR, Pretoria, pp. 7.1-7.2.

Yuan, L., Smith. A.C. 2012. The Effect of Ventilation on Spontaneous Heating of Coal, Journal of Loss Prevention in the Process; 25, pp. 131-7.

# SPONTANEOUS COMBUSTION RISK IN SOUTH AFRICAN COALFIELDS: PART 2

## *GÜNEY AFRİKA KÖMÜR SAHALARINDA KENDİLİĞİNDEN YANMA RİSKİ: BÖLÜM 2*

**Bekir Genc, Moshood Onifade***
*University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa*

**Alan Cook**
*Latona Consulting Pty. Ltd., Johannesburg, South Africa*

**ABSTRACT** Spontaneous combustion of coal is one of the challenges faced by the coal mining industry in South Africa. One-hundred and fifty-eight (158) coal samples from different mines have been tested and evaluated to predict the areas with a high risk of spontaneous combustion using the Wits-Ehac index and the crossing point temperatures between the period of 2013 and 2017. The results have indicated that the tested samples possess a medium to high-risk proneness to spontaneous combustion. The study has established an extensive database for comparing coal samples on relative rating scales with respect to spontaneous heating. The database is frequently being updated as more coal samples are tested and will provide the basis for an improved risk evaluation practice for the event of spontaneous combustion.

**ÖZET** Kömürün kendiliğinden yanması, Güney Afrika'daki kömür madenciliği endüstrisinin karşılaştığı zorluklardan biridir. 2013-2017 yılları arasında farklı madenlerden elde edilen yüz elli sekiz (158) kömür numunesi Wits-Ehac indeksi ve geçiş noktası sıcaklıkları kullanılarak yüksek yanma riski olan alanları tahmin etmek için test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Sonuçlar, test edilen örneklerin, kendiliğinden yanmaya orta ve yüksek riskli bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma, kendiliğinden ısınmaya bağlı olarak kömür örneklerinin nispi değerlendirme ölçekleri üzerinde karşılaştırılması için kapsamlı bir veritabanı oluşturmuştur. Daha fazla kömür örneği test edildiğinden veritabanı sıklıkla güncellenmektedir ve kendiliğinden yanma olayı için gelişmiş bir risk değerlendirme uygulamasının temelini oluşturacaktır.

* *Bekir.Genc@wits.ac.za*

## 1. INTRODUCTION

Spontaneous heating is a well-known phenomena in the South African coal mining industry. For many years, it was the major cause of underground fires and it is also a frequent concern in open cast mines, generally in the run-of-mines coal and, coal stockpiles, waste dumps and spoil heaps. The spontaneous heating of coal arises under definite atmospheric conditions. In an open cast mining, the ingress of oxygen in the air into discontinuities and exposure of the highwall for long periods are among the factors affecting spontaneous heating. In underground coal mines, the combination of an insufficient ventilation system and self-heating areas of coal can cause spontaneous combustion.

The experience of spontaneous combustion has approached into a phase that makes practical illustrations feasible as a result of the re-established awareness of the frequent occurrence of self-heating in open cast mines. Recent reports show that spontaneous heating incidents are not common in South African underground coal mines (Genc and Cook 2015, Stenzel 2002). However, open-cast mines in the Sasolburg and eMalahleni (Witbank) area experiences self-heating in areas earlier mined by bord and pillar methods. The occurrence of spontaneous heatings within these mines is rarely reported due to the control practice used in minimizing the incident. Researches on the particular issue on spontaneous heating and ignition in South African open cast mines are uncommon (Genc and Cook 2015, Gouws and Wade 1989a, Gouws and Wade 1989b, Gouws 1987, Wade 1989). However, Stenzel (2002) undertook an evaluation of past events of spontaneous heating at the New Vaal Colliery which is relevant to this study. A study by Phillips et al. (2011) in South Africa was restricted to the study of the problem of surface mining of previously mined seams where a number of coal operators and mines implemented some control measures to manage such incidents.

One-hundred and fifty-eight (158) spontaneous combustion tests were conducted between 2013 and 2017 in South African coalfields in order to evaluate both the crossing point temperatures and the Wits-Ehac index of various coal seams. These results are combined to determine the liability of different coal samples to undergo spontaneous combustion. This has led to an extensive database to review, compare and evaluate South African coal seams on relative rating scales and expand the database of coal characteristics being developed in South Africa. Using this database, the coal seams more liable to spontaneous combustion can be identified.

## 2. SELF-HEATING EXPERIMENTATION

The Wits-Ehac tests at the School of Mining Engineering, University of the Witwatersrand is a small-scale test in which freshly pulverized (<212µm) and dried coal samples of 20-25g in weight is used. The testing apparatus consisted of an oil bath, six coal and inert material cell assemblies, an oil circular, a heater, a flowmeter used for airflow monitoring, an air supply compressor and a computer. The

temperatures are recorded every 20 seconds by the microcomputer during an average four hours of testing. The test apparatus is used to test coals under predefined conditions and combustibility index is obtained (Wade et al. 1987). The system incorporates the determined crossing point temperatures and differential thermal analysis from selected coal samples with periodic measurement of temperatures to obtain a consistent self-heating liability index called the Wits-Ehac index. The equation for the index is shown in Equation 1 (Wade et al. 1987).

$$\text{Wits-EHAC Index} = (\text{Stage II slope} / \text{XPT}) \times 500 \quad (1)$$

Where XPT is the crossing point temperature.

This index studies two characteristics, the stage II slope, and the crossing point temperature. The index makes use of the fact that coals highly prone to self-heat have a steeper stage II slope and lower crossing point temperature than coal not highly prone to self-heat. When the temperature difference between the inert material and the coal sample is plotted against the inert temperature, the part of the graph where the coal is heating faster than the inert sample (where an exothermic reaction occurs) is termed the Stage II. According to the Wits-Ehac index, coals with a spontaneous combustion liability index below 3 are considered to be low risk, 3-5 medium risk, and coals with values greater than 5 are considered to be highly susceptible to spontaneous combustion. Genc and Cook (2015) have used this index to predict the risk of spontaneous combustion in the South African coalfields.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Results

The spontaneous combustion tests were conducted over five consecutive years, between 2013 and 2017 for all 158 samples.

Thirty-eight spontaneous combustion tests were conducted in 2013. The names of the mines have been abbreviated. The test results include the Wits-Ehac test and the crossing point temperatures in degrees celsius ($^{o}$C) for different coal mines. The lowest Wits-Ehac index was 3.02 at the SP S1 mine and the highest was 5.98 at the Va mine. The coal samples tested produced results that varied from medium to high propensity to spontaneous combustion. It was found that most of the mines tested have a medium spontaneous combustion risk (28 out of 38). Table 1 shows spontaneous combustion test results for 2013.

Table 2 represents 40 spontaneous combustion test results conducted in 2014. The coal samples tested produced results that varied from low, medium or high propensity to spontaneous combustion. The results of spontaneous combustion from the tested coals show the year recorded the highest spontaneous combustion risk out of the five

years database. Mine Sam ZD has the lowest Wits-Ehac index of 2.83 while mine VU 6 has the highest Wits-Ehac index of 5.96.

Table 1. Spontaneous combustion test results for 2013.

| Mine | Wits-Ehac index | CPT (°C) | Spontaneous combustion liability |
|---|---|---|---|
| M2 | 4.97 | 119.2 | Medium |
| Pe 2013 | 5.41 | 118.4 | High |
| Bra | 4.77 | 127.4 | Medium |
| De | 4.68 | 131.3 | Medium |
| El | 3.91 | 140.4 | Medium |
| WCK | 4.22 | 123.1 | Medium |
| Bra | 4.38 | 127.8 | Medium |
| KiNE | 4.27 | 131.1 | Medium |
| KiC | 3.42 | 157.9 | Medium |
| M1 S41 | 5.23 | 133.9 | High |
| M1 S42 | 5.28 | 127.1 | High |
| M1 S43 | 4.33 | 127.8 | Medium |
| GGV2 | 4.65 | 124.2 | Medium |
| GGV4 | 4.41 | 132.2 | Medium |
| SW4 | 4.52 | 129.7 | Medium |
| ToC | 5.08 | 121.1 | High |
| ToZ | 4.56 | 122.1 | Medium |
| 5S | 5.44 | 123.1 | High |
| Tu | 4.29 | 127.8 | Medium |
| Va | 5.98 | 126.2 | High |
| Ar8 | 4.44 | 134.2 | Medium |
| Ar10 | 5.16 | 127.8 | High |
| FoC | 3.45 | 160.1 | Medium |
| ND | 4.25 | 137.9 | Medium |
| Mi | 4.72 | 134.9 | Medium |
| Mo | 4.58 | 141.2 | Medium |
| Sp S1 | 3.02 | 199.9 | Medium |
| Sp S3 | 4.08 | 140.4 | Medium |
| JiR | 3.68 | 149.4 | Medium |
| JiF | 3.51 | 168.2 | Medium |
| JIM | 3.95 | 140.4 | Medium |
| Goe 11 | 4.55 | 160.6 | Medium |
| Goe 14 | 5.03 | 139.3 | High |
| Goe 6 | 4.58 | 145.2 | Medium |
| Goe 13 | 3.81 | 158.4 | Medium |
| Kr | 5.13 | 137.3 | High |
| Gr | 5.39 | 130.9 | High |
| Tu | 4.35 | 143.5 | Medium |

Table 2. Spontaneous combustion test results for 2014.

| Mine | Wits-Ehac index | CPT (°C) | Spontaneous combustion liability |
|---|---|---|---|
| Pe 2014 | 5.08 | 136.7 | High |
| BBE | 3 | 197.5 | Low |
| TwT | 5.22 | 139.2 | High |
| TwE | 5.43 | 136.6 | High |
| VuD | 5.52 | 139.4 | High |
| Vu6 | 5.93 | 129.2 | High |
| DCM | 5.22 | 134.3 | High |
| FZN | 5.35 | 139.6 | High |
| FZS | 4.35 | 143.5 | Medium |
| M3 | 5.15 | 132.2 | High |
| M1 S41 | 4.67 | 142.7 | Medium |
| M1 S42 | 5.05 | 143.8 | High |
| M1 S43 | 4.34 | 144.5 | Medium |
| M1 B10 | 5.01 | 140.8 | High |
| Ku | 5.06 | 141.7 | High |
| SaG | 4.43 | 149.1 | Medium |
| SaD | 5.2 | 133.2 | High |
| SamJD | 3.43 | 174.9 | Medium |
| SamZD | 2.83 | 193.2 | Low |
| SamAB | 3.08 | 180.6 | Medium |
| SamAP | 2.99 | 184.6 | Low |
| SamCB | 3.04 | 198.1 | Medium |
| NDC | 4.71 | 140.9 | Medium |
| OptB | 5.85 | 132.2 | High |
| OptP | 4.34 | 147.8 | Medium |
| Si64 | 5.39 | 135.3 | High |
| Si65 | 4.35 | 143.5 | Medium |
| Si66 | 5.24 | 132.2 | High |
| Si67 | 3.45 | 164.5 | Medium |
| Si69 | 5.11 | 137.3 | High |
| Kps DS | 5.85 | 126.1 | High |
| Kps CD | 3.55 | 171.6 | Medium |
| Kps NE | 3.92 | 151.9 | Medium |
| NDO | 4.91 | 138.9 | Medium |
| SW | 4.53 | 127.8 | Medium |
| Ar8 | 5.56 | 130.7 | High |
| Ar10 | 4.78 | 142.7 | Medium |
| Ar10 | 5.65 | 132.3 | High |
| Ar10 S12 | 4.47 | 148.1 | Medium |
| Ar10 S14 | 5.04 | 134.9 | High |

Table 3 presents 22 spontaneous combustion test results conducted in 2015. The coal samples tested produced results that varied from low, medium or high propensity to

spontaneous combustion. Mine Sp 21 has the lowest Wits-Ehac index of 3.0 while mine 0pb 6 has the highest Wits-Ehac index of 5.95.

Table 4 shows the spontaneous combustion test results for 24 coal samples conducted in 2016. Mine TOC NP and TOC CP have the lowest Wits-Ehac index of 2.99 while mine DCMS1 has the highest Wits-Ehac index of 5.96. The coal samples tested produced results that varied from low, medium or high propensity to spontaneous combustion.

Table 3. Spontaneous combustion test results for 2015.

| **Mine** | **Wits-Ehac index** | **CPT (ºC)** | **Spontaneous combustion liability** |
|---|---|---|---|
| Kr | 4.65 | 118.2 | Medium |
| DE | 5.55 | 138.2 | High |
| Sa | 5.56 | 130.7 | High |
| M2 | 4.78 | 142.7 | Medium |
| Bra | 5.17 | 125.9 | High |
| FZS | 4.52 | 142.1 | Medium |
| DCM | 4.48 | 145.8 | Medium |
| M3 | 5.21 | 123 | High |
| TU | 4.25 | 139.6 | Medium |
| Sp S1 | 3 | 200 | Low |
| Sp S3 | 4.07 | 140.4 | Medium |
| Sp S4 | 5.02 | 123.2 | High |
| OpK | 5.88 | 127.9 | High |
| OpB | 5.95 | 132.2 | High |
| SW | 4.35 | 143.5 | Medium |
| KFN S1 | 4.14 | 142.9 | Medium |
| KFN S7 | 5.06 | 123.1 | High |
| Sp | 3.57 | 153.7 | Medium |
| Nu | 5.04 | 134.9 | High |
| SA RC2 | 4.84 | 113.6 | Medium |
| NC | 3.62 | 153.7 | Medium |
| Pe | 5.25 | 138.6 | High |

Table 4. Spontaneous combustion test results for 2016.

| Mine | Wits-Ehac index | CPT (°C) | Spontaneous combustion liability |
|---|---|---|---|
| KFN | 4.04 | 138.3 | Medium |
| Avi | 3.5 | 168.2 | Medium |
| Mag | 3.98 | 140.4 | Medium |
| FZS S44 | 4.37 | 144.5 | Medium |
| FZS S43 | 5.01 | 140.8 | High |
| FZS S4142 | 4.36 | 143.5 | Medium |
| TUGO | 4.15 | 142.9 | Medium |
| GGV R6 .4S | 3.42 | 157.9 | Medium |
| GGV N2S | 4.33 | 127.8 | Medium |
| ND | 4.27 | 131.1 | Medium |
| TOC NP | 2.99 | 184.6 | Low |
| TOC CP | 2.99 | 200 | Low |
| TOC DEPD | 3.11 | 180.6 | Medium |
| DCM S1 | 5.96 | 119.8 | High |
| DCM S2 | 4.68 | 122.4 | Medium |
| DCM S3 | 4.65 | 118.2 | Medium |
| DCM S4 | 4.46 | 137.1 | Medium |
| TOC KP | 4.33 | 127.8 | Medium |
| M2 S21 | 5.18 | 125.9 | High |
| TOC SEP | 3.41 | 160.1 | Medium |
| Vu | 4.49 | 127.8 | Medium |
| Ui | 3.89 | 149.8 | Medium |
| NC | 3.95 | 148.8 | Medium |
| FZS45 | 4.45 | 134.4 | Medium |

Twenty-five spontaneous combustion tests were conducted in 2017. The lowest Wits-Ehac index was 3.39 at KFN S17 mine and the highest was 5.64 at ND mine. The coal samples tested produced results that varied from medium to high propensity to spontaneous combustion. It was found that most of the mines tested have a medium spontaneous combustion risk (17 out of 25).

Table 6 presents the summary of the spontaneous combustion test results conducted between 2013 and 2017. During this period there were very low-risk samples. The low-risk rating occurred in the year 2014 (3), 2015 (1) and year 2016 (2). This makes a total of 6 low rating out of 158 samples tested. In 2013 and 2017, records of low spontaneous risk were not recorded. The highest spontaneous combustion risk was recorded in the year 2014. It was observed that the coal samples tested produced results that varied from low, medium or high propensity to spontaneous combustion. It was found that 52 out of the 158 coal mines tested had a high spontaneous combustion risk while 100 had a medium spontaneous combustion risk. Figure 1 is the graphical representation of Table 6.

Table 5. Spontaneous combustion test results for 2017.

| Mine | Wits-Ehac index | CPT (°C) | Spontaneous combustion liability |
|---|---|---|---|
| KFN S7 | 3.79 | 163.1 | Medium |
| KFN S8 | 4.19 | 144.6 | Medium |
| Tse S4 | 3.99 | 153.1 | Medium |
| FZS S41 | 4.47 | 141.1 | Medium |
| FZS S42 | 4.23 | 141.9 | Medium |
| FZS S43 | 4.65 | 145.5 | Medium |
| FZS S44 | 5.05 | 135.5 | High |
| M3 | 4.02 | 148.8 | Medium |
| DCM | 4.92 | 135.6 | Medium |
| Kr | 5.17 | 143.6 | High |
| M2 21 | 4.72 | 141.1 | Medium |
| M2 22 | 5.25 | 136.3 | High |
| M2 23 | 5.39 | 137.5 | High |
| M2 24 | 4.7 | 139.8 | Medium |
| M2 SW | 5.08 | 137.7 | High |
| Vu1 | 4.49 | 148.8 | Medium |
| Vu5 | 5.18 | 136.4 | High |
| Ku | 4.55 | 136.1 | Medium |
| KFN | 4.37 | 150.8 | Medium |
| ND | 5.64 | 140.7 | High |
| TOC CP | 4.33 | 142.4 | Medium |
| TOC M | 4.65 | 148.7 | Medium |
| TOC KP | 4.25 | 147.6 | Medium |
| TOC TS15 | 5.4 | 142.7 | High |
| TOC TST | 4.35 | 145.7 | Medium |

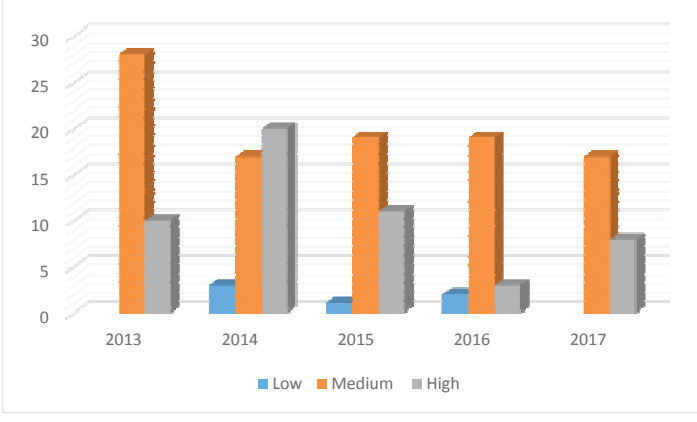



Figure 1. Spontaneous combustion liability test results between 2013 and 2017.

### 3.2. Discussion

Table 6 shows the spontaneous combustion tests results of 158 coal mines between 2013 and 2017 according to the Wits-Ehac index that has been in use in South African coal mines. The analysis indicates that only six samples out of the 158 samples fell in the low-risk category. One-hundred tested samples possess a medium risk of spontaneous combustion while the remaining samples fell in the high-risk rating. The variation in the liability of the tested samples is due to the intrinsic properties of the individual sample. It is confirmed by the test results that most of the coal mines in the Witbank area of South Africa have a medium-high risk of spontaneous combustion. It was observed that only six mines have low-risk spontaneous combustion during the five years testing period. The Recent occurrence of spontaneous heating in South African coal mines has been reported but the results obtained from this study indicate that 100 out of the 158 mines have a medium risk rating. Therefore, there is a need to re-evaluate the current definition of the Wits-Ehac index (Wade et al. 1987) within the ranges of low, medium or high in order to obtain results in-line with the prehistorical information of spontaneous combustion incidents in the mines. This will enable a more reliable and accurate prediction of the spontaneous heating of coal in relation to the field experience and enable mine operators to provide effective precautionary measures to prevent the occurrence. Furthermore, it has been able to evaluate and produced an extensive database for comparing coals on relative rating scales and expand the database of coal characteristics being developed in South Africa till date.

Table 6. Spontaneous combustion test results between 2013 and 2017.

| Year | Spontaneous combustion liability index | | |
|---|---|---|---|
| | Low | Medium | High |
| 2013 | | 28 | 10 |
| 2014 | 3 | 17 | 20 |
| 2015 | 1 | 19 | 11 |
| 2016 | 2 | 19 | 3 |
| 2017 | | 17 | 8 |
| Total | 6 | 100 | 52 |

Figures 2 to 6 show the spontaneous combustion liability test results between 2013 and 2017.

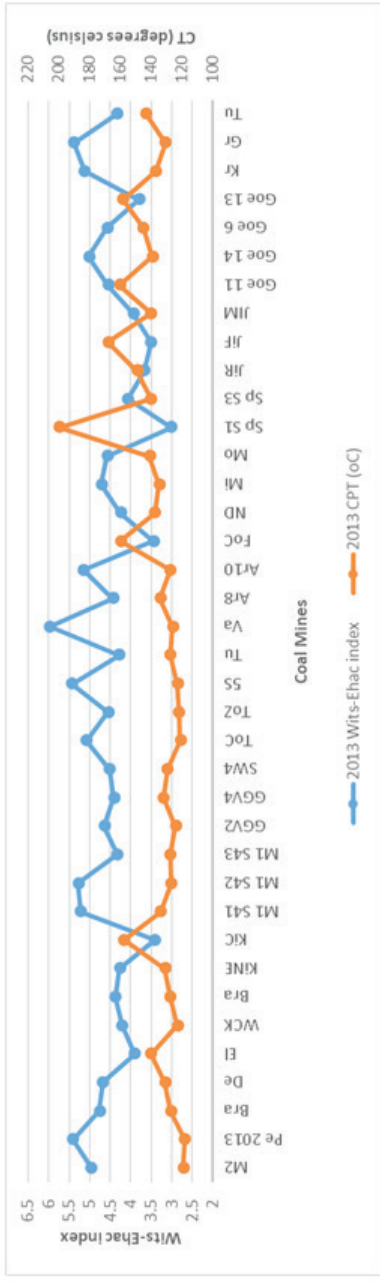



Figure 2. Spontaneous combustion liability test results, 2013.

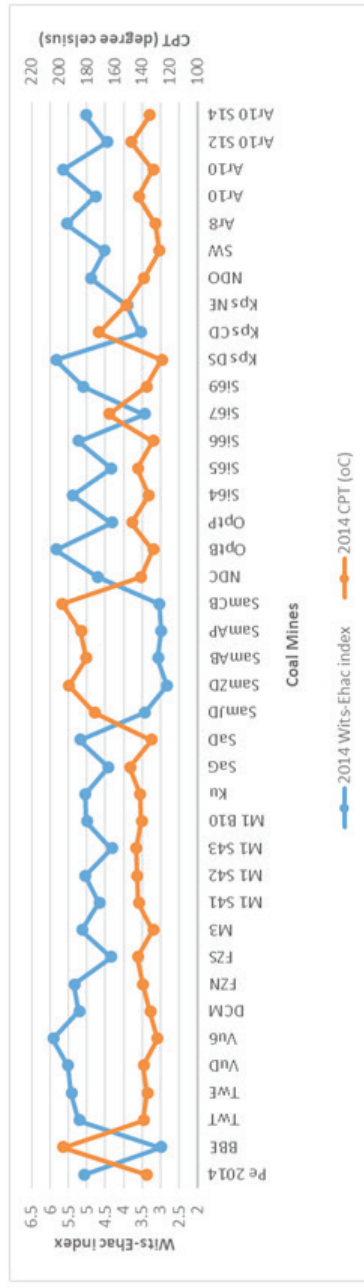



Figure 3. Spontaneous combustion liability test results, 2014.

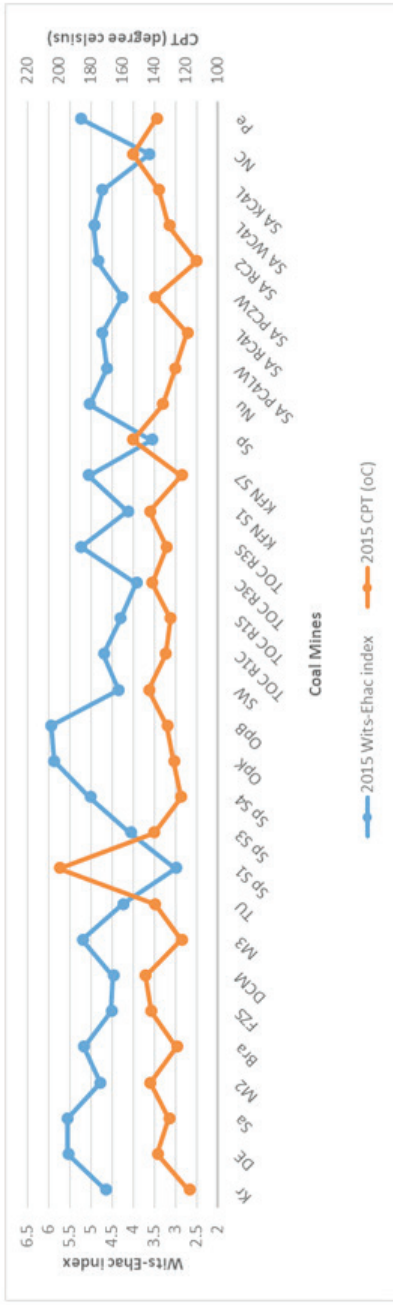



Figure 4. Spontaneous combustion liability test results, 2015.

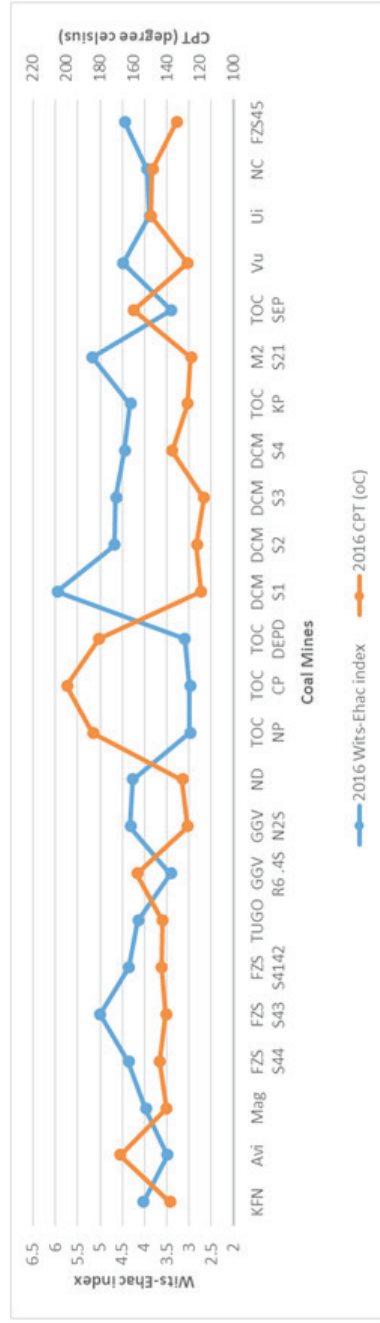



Figure 5. Spontaneous combustion liability test results, 2016.

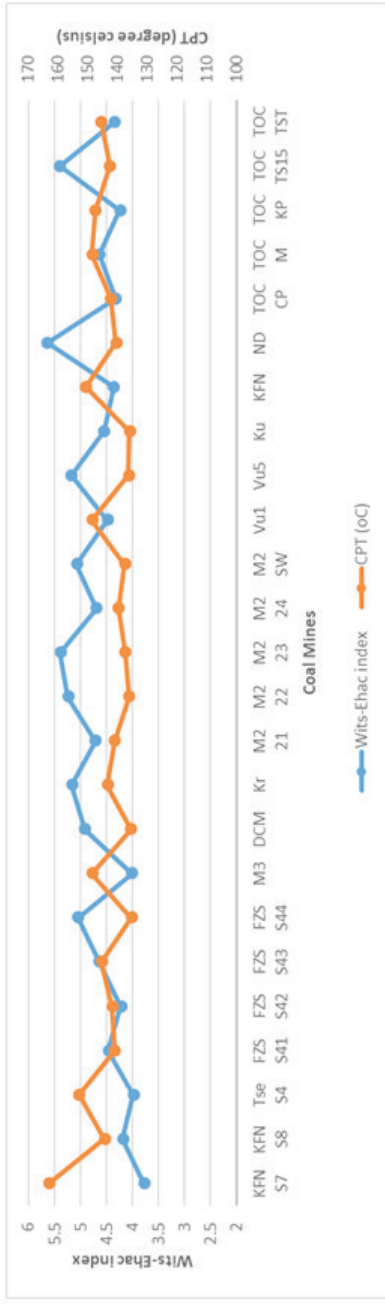



Figure 6. Spontaneous combustion liability test results, 2017.

## 4. CONCLUSION

The risk of spontaneous combustion varies from one mine to the other due to the intrinsic properties of the individual coal seam. One-hundred and fifty-eight coal samples have been analyzed and classified through the Wits-Ehac index between 2013 and 2017. The results indicated that the majority of the South African coal mines have spontaneous combustion liability ranging from medium to high in all the tests conducted. It was observed that not all the spontaneous combustion test results are in-line with the prehistorical records in the coal mines. To determine the areas where spontaneous heating risks are high, it is required to upgrade the current laboratory procedures for testing and evaluating coal samples and relate the results with the field data to better emulate South African conditions. Therefore, further research is underway to re-evaluate the definition of the Wits-Ehac index and to confirm the results with a new set up.

## REFERENCES

Genc, B., Cook. A. 2015. Spontaneous Combustion Risk in South African Coalfields, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115, pp. 563-568.

Gouws, M.J., Wade. L. 1989a. The Self-Heating Liability of Coal: Predictions Based on Simple Indices, Mining Science and Technology, 9, pp. 75-80.

Gouws, M.J., Wade, L. 1989b. The Self-Heating Liability of Coal: Prediction Based on Composite Indices, Mining Science and Technology, 9, 1, pp. 81-85.

Gouws, M.J. 1987. Crossing Point Characteristics and Thermal Analysis of South African Coals. Msc Dissertation, University of Witwastersrand, South Africa.

Phillips, H., Chabedi. K., Uludag, S. 2011. Prevention and Control of Spontaneous Combustion, Coaltech Research Association, Best Practice Guidelines for Surface Coal Mines in South Africa, Johannesburg.

Stenzel, G.J. 2002. The Effects of Spontaneous Combustion on Safety, Health and Environment of New Vaal Colliery, Mine Ventilation Society, pp. 399-431.

Wade, L. 1989. The Propensity of South African Coals to Spontaneously Combust. Ph.D Thesis, Department of Mining Engineering, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

Wade, L., Gibbon, G.A. 1987. A Computerised Approach to Determine the Self-Heating Propensity of Coal, Johannesburg, APCOM 87, Proceedings of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries, Volume 1: Mining.

# ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA ANİ PÜSKÜRME OLAYLARININ KÜMELE ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

## *ASSESSMENT OF GAS AND COAL OUTBURSTS IN ZONGULDAK HARD COAL BASIN USING CLUSTER ANALYSIS*

**Nilüfer Kurşunoğlu**[*], **Mustafa Önder**
*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

**ÖZET:** Bu çalışmada, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen ani metan ve kömür püskürmesi olayları kümeleme analizi yöntemiyle incelenmiştir. Kümeleme analizi, verileri sınıflandırma ve gruplandırma işlemlerinde kullanılan çok değişkenli bir istatistiksel analiz tekniğidir. Kümeleme analizinin genel amacı, sınıflandırılmamış verileri benzerliklerine göre gruplandırmak ve araştırmacıya özetleyici bilgiler elde etmede yardımcı olmaktır. Ani püskürme olaylarına etki eden birçok faktör bulunması sebebiyle çok değişkenli veri analizi tekniği tercih edilmiştir. Verilerin çözümlenmesinde Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri'nden Ward's yöntemi kullanılmış, uzaklık ölçüsü olarak Karesel Öklid uzaklığı seçilmiştir. Sonuç olarak birbiriyle benzer özellikler gösteren kümeler oluşturularak, ani püskürme olayına etki eden faktörler değerlendirilmiş ve tehlike zonları belirlenmiştir.

**ABSTRACT**: In this study, gas and coal outbursts occurred in Zonguldak Hard Coal Basin were investigated using Cluster Analysis. Cluster analysis is a multivariate analysis in data classification and grouping. The overall objective of clustering analysis is to assist for researcher about classified data and summarizing the classification of similarities. Because of many factors affecting gas and coal outbursts, multivariate analysis technique was chosen. In the analysis of data Ward's method of hierarchical clustering was used and Squared Euclidian distance was chosen as a distance measure. As a result, clusters with similar characteristics are created, factors affecting outbursts were evaluated and hazard zones were identified.

[*]*nkursunoglu@ogu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Kömür, bitki ve hayvan organizmalarının "Kömürleşme Olayı" olarak adlandırılan bir süreçte, karmaşık kimyasal olayların geliştiği bir ortamda oluşmuş organik bir kayaçtır. Kömürleşme sürecinde bitki artıkları, yüksek ısı ve basınç altında, bakterilerin etkisi sonucunda önce turbaya ve daha sonra sert kömüre dönüşür (Yalçın 2012). Kömürleşme sürecinin değişik basamaklarında; turbalar, bataklıklar ve ince veya kalın örtü tabakalı ortamlar gibi oluşum ortamlarına bağlı olarak açığa çıkan gazlar, önceleri çoğunlukla atmosfere karışmakta, sonraları ise kömür içerisinde depolanmaktadır. Kömürleşme sürecinde toplam olarak 500-1300 $m^3$/ton kadar gaz oluştuğu belirlenmiştir. Kömür içerisinde metan dışında; karbondioksit, etan, propan, bütan gibi ağır hidrokarbonlarla birlikte bir miktar azot, karbonmonoksit, kükürtlü hidrojen ve bazen de hidrojene rastlanmasına karşın, toplam miktarın %90-98'ini metan oluşturmaktadır (Çakır 1994).

Kömür oluşumunda mevcut metan gazı, kömür içerisinde serbest gaz ve soğurulmuş gaz (sorpsiyon) olarak iki şekilde bulunmaktadır. Serbest gaz molekülleri ile tutunan gaz molekülleri arasında, aynı gaz basıncında ve denge durumunda sürekli bir yer değiştirme söz konusudur. Doğal koşullardaki metan, basınç altında duraylı bir dengededir (Güldal 1998). Ancak madencilik faaliyetleri sonucunda doğal gerilmeler sisteminin bozulması, metan gazının, bulunduğu bölgedeki basınç değerinden daha düşük değerdeki basınç bölgelerine göçüne neden olur (Çakır 1994). Basınç altındaki metanın ocak içerisine yayılımı; emisyon şeklinde, üfleyerek ve ani metan püskürmesi olmak üzere üç farklı şekilde olabilir. Ani metan püskürmesi, kömür içerisinde ve arın ilerisinde yüksek basınç altında bulunan metan gazının arındaki kömürü parçalayarak, kömür tozu ve yan taş ile birlikte ocak boşluğunu doldurması şeklinde tanımlanır (Yalçın 2012).

Ani püskürme olayının meydana gelmesinde rol oynayan birçok faktör mevcuttur ve bu faktörler her maden ocağı için değişkenlik göstermektedir. Üretim derinliği, kömürün sorpsiyon/desorpsiyon özellikleri, gaz basıncı, geçirgenlik, nem içeriği, jeolojik yapı, gaz içeriği, damar kalınlığı, damarın eğim açısı gibi faktörler olayların meydana gelmesinde rol oynamaktadır (Xue vd. 2014, Nie vd. 2014, Wang vd. 2013, Cao vd. 2001, Jianchun vd. 2012, Zhai vd. 2016, Lama ve Bondziony 1998, Guan vd. 2014, Esen 2013). Meydana gelen ani püskürme olayları çalışma kapsamında; birçok araştırmada öne çıkan "üretim derinliği, damar kalınlığı ve damarın eğim açısı" faktörleri ile değerlendirilmiştir. Düşey gerilmeler madencilik çalışmaları derinleştikçe artmakta, bu gerilmeler arttıkça ani püskürme olayının meydana gelme olasılığı da yükselmektedir. (Esen 2013). Ani püskürmeler damar kalınlığı arttıkça artış göstermekte, çoğunlukla kalın ve orta kalınlıktaki damarlarda ortaya çıkmaktadır (Wang vd. 2013). Olayın meydana gelmesinde etkili faktörlerden birisi de damar eğimidir. Yerçekimi, eğimli damarlarda eğim yukarı yapılacak üretim çalışmaları sırasında ani püskürmeyi kolaylaştırıcı etki yapar (Lama ve Bondziony 1998).

Bu çalışmada, Zonguldak taşkömürü havzasında meydana gelen ani püskürme olayları kümeleme analizi yöntemiyle kümelenerek, üretim derinliği, damar kalınlığı ve damarın eğim açısı faktörlerinin olaylara etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, incelenen olayların hangi derecede ani püskürme tehlikesi taşıdığı belirlenmiştir.

## 2. KÜMELEME ANALİZİ YÖNTEMİ

Kümeleme analizi X veri matrisinde yer alan ve doğal grupları kesin olarak bilinmeyen birimleri, değişkenleri ya da birim ve değişkenleri birbirleri ile benzer olan alt kümelere (grup, sınıf) ayırmaya yardımcı olan yöntemler topluluğudur. Kümeleme analizi, birimleri değişkenler arası benzerlik ya da uzaklıklara dayalı olarak hesaplanan bazı ölçülerden yararlanarak homojen gruplar oluşturmaya çalışır (Özdamar 2004). Kümeleme analizi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında fark ya da üstünlük gözetmez. Tersine birbirine bağımlı tüm ilişkileri inceler. Kümeleme analizi, hedefi belirlenmiş değişkenler grubuna dayanan nispeten homojen grupların içine nesneleri sınıflandırmaktadır. Aynı grup içinde yer alan nesneler; değişkenler bakımından nispeten birbirlerine benzerlik gösterirken diğer gruptaki nesnelerden ise farklıdırlar (Akın 2008).

Kümeleme yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür. Bunlardan biri "hiyerarşik kümeleme yöntemleri" diğeri ise "hiyerarşik olmayan yöntemleri" dir. Aşağıda bu iki grup içerisinde yer alan yöntemler verilmiştir.

1. Hiyerarşik Yöntemler
    - Birleştirici / Toplamalı Yöntemler
      a) Bağlantı Teknikleri
        - Tek Bağlantı (En yakın komşuluk)
        - Tam Bağlantı (En uzak komşuluk)
        - Ortalama Bağlantı

      b) Varyans Teknikleri
        - Ward's Yöntemi

      c) Merkezileştirme Teknikleri
        - Medyan
        - Centroid
    - Ayrıcı / Ayrımlı / Bölünmeli Yöntemler
      a) Bölünmüş Ortalamalar
      b) Otomatik Etkileşim Belirleme

2. Hiyerarşik Olmayan Yöntemler
    - K-Ortalama Yöntemi
    - Metoid Parçalama Yöntemi
    - Yığma / Yığılma Yöntemi
    - Bulanık Kümeleme Yöntemi

Hiyerarşik kümeleme yöntemleri özellikle küçük örneklemler (tipik olarak n<250) için uygundur. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinin, araştırmacının incelediği veri setinde kaç grup bulunduğunu başlangıçta bilmediği durumlarda çok uygun bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Ayrıca bu yöntemin araştırmacılara, inceledikleri veri setinde daha önce gözlemlenmemiş ilişkileri gözleme ve ilkeleri keşfetme olanağı vermesi nedeniyle de faydalı olduğu belirtilmektedir (Yalçın 2013). Aşamalı kümeleme yöntemlerinde birimlerin birleştirilmesinde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. En yaygın kullanımı olan Ward's yöntemidir. Minimum varyans yöntemi olarak da bilinen bu yaklaşım, bir kümenin ortasına düşen gözlemin, aynı kümenin içinde bulunan gözlemlerden ortalama uzaklığını ele alır ve toplam sapma karelerinden yararlanır. Yoğun olarak kullanılan hiyerarşik kümeleme yöntemidir (Yılmaz ve Patır 2011).

Kümeleme analizinde birey ya da nesneler arasındaki uzaklıkları hesaplamak için en yaygın kullanılan uzaklık ölçüsü Öklid uzaklığıdır. Öklid uzaklığı iki obje arasındaki benzerliği ölçmede en yaygın kullanılan uzaklık ölçüsü olup iki obje arasına çizilecek bir düz doğrunun uzunluğunu temel alır. Bu uzaklık ölçüsü dışında birey ya da nesnelerin kümelere dahil edilmesi işlemini gerçekleştirmede kullanılan diğer uzaklık ölçüleri de vardır (Ünlükaplan 2008).

## 3. UYGULAMA

Çalışma kapsamında, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen ani püskürme olayları kümeleme analizi yöntemiyle incelenecektir. Araştırmada verilerin analizi için kümeleme analizi yöntemlerinden hiyerarşik kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Verilerin analizi ve incelenmesi SPSS paket programında gerçekleştirilmiştir. Değişkenlere ait veriler TTK İş Güvenliği Daire Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Ward's yöntemi uygulanmıştır. Ward's yöntemi daha anlamlı küme yapıları ortaya çıkardığı için bu yöntem tercih edilmiştir. Birimler arasındaki uzaklıkların hesaplanmasında karesel öklid uzaklığı seçilmiştir. Değişkenlere ait ölçü birimleri sonucu doğrudan etkilediği için ham verilerin standardize edilmiş bir forma getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle değişkenlere z-dönüştürmesi uygulanmıştır. Ani püskürme olaylarının hangi sınıflara kümelendiği dendogram yardımıyla gösterilmiştir. Dendogram, kümeleme analizi sonuçlarının grafik olarak özetidir. Dendogram yardımıyla küme sayıları belirlenmiştir.

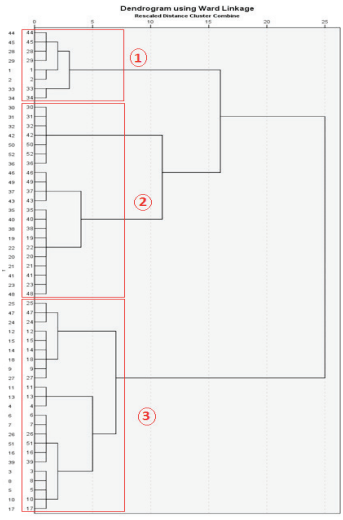
### 3.1. Karadon İşletmesi'nde Meydana Gelen Ani Püskürme Olaylarının Analizi

Karadon işletmesinde meydana gelen 52 adet ani püskürme olayına ait veriler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Karadon İşletmesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.

| Olay No | Olay Yeri |
|---|---|
| 1 | -360/42400 çatalağzı lağım (çay) |
| 2 | -360/42417 güney lağım (çay) |
| 3 | -260/-160 çay batı bşk |
| 4 | -150/41217 acılık başyuk |
| 5 | -260/-160 sulu bşykrı |
| 6 | -360/51105 çay başyk |
| 7 | -360/51105 çay başyk |
| 8 | -260/42314 çay bşyk |
| 9 | -260/42319 acılık taban |
| 10 | -260/51059 domuzca bşyk |
| 11 | -150/41228 sulu batı bşyk |
| 12 | 42036/43311 acılık bşyk |
| 13 | -150/41228 sulu batı bşyk |
| 14 | -260/-150 42319 acılık ayak |
| 15 | 42036/42319 acılık bşy |
| 16 | -360/51105 çay bşy |
| 17 | -260/-160 acılık bşy |
| 18 | -260/-150 42319 acılık bşy |
| 19 | -360/51100 batı taban (acılık) |
| 20 | -360/51050 büyük doğu ayak bşy |
| 21 | -360/42417 acılık doğu bşy |
| 22 | -360/42417 acılık batı taban |
| 23 | -360/42417 acılık batı bşyk |
| 24 | -150/41230 sulu doğu bşy |
| 25 | -260/42319 sulu doğu bşy |
| 26 | -460/42505 çay bşy |
| 27 | -360/51107 büyük bşy |
| 28 | -460/51510 lağım (acılık) |
| 29 | -460/51510 lağım (acılık) |
| 30 | -360/42418 acılık doğu bşy |
| 31 | -360/42418 acılık doğu bşy |
| 32 | -360/424170 sulu bşy |
| 33 | -460/42506 güney lğ (acılık) |
| 34 | -460/51507 kuzey lğ (kdağ) |
| 35 | -460/42506 unudulmuş bşy |
| 36 | -460/51507 tv. Akdağ pasajı |
| 37 | -460/-360 çay doğu ayak önü bşy |
| 38 | -460 batı ayak hazırlık bşy (çay) |
| 39 | -360/260 domuzcu piçi a.ö. Bşy |
| 40 | -460/42506 çay doğu bşy |
| 41 | -360/-460 kurul batı ayak önü bşk |
| 42 | -460/42505 acılık bşy |
| 43 | -560 messoğlu bşy (kdağ) |
| 44 | -540/42604 lağım (kdağ) |
| 45 | -540/42607 lağım (kdağ) |
| 46 | -460/51506 sulu ayak önü bşy |
| 47 | -260/41305 sulu doğu bşy |
| 48 | -360/41419 sulu doğu ana bşy |
| 49 | -540/51506 yeni kuyu hz lağım (acılık) |
| 50 | -360/41406 acılık batı taban |
| 51 | -360 sulu ayak önü bşy |
| 52 | -460/42504 acılık batı taban |

Ward's yöntemiyle yapılan kümeleme analizinin dendogram grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Dikey eksen olay numaralarını, yatay eksen ise yeniden ölçeklendirilmiş bağlantı uzaklıklarını temsil etmektedir.




Şekil 1. Karadon İşletmesi dendogram grafiği.

Şekil 1 incelendiğinde, yatay eksen boyunca sağa doğru gidildikçe birbirine uzaklıkları daha az olan ve çok sayıda olayı içine alan yeni küme oluşumlarının ortaya çıktığı görülmektedir. Küme içerisindeki homojen yapıyı ve kümeler arasındaki heterojen yapıyı bozmamak suretiyle küme sayısı belirlenmiştir. Karadon işletmesinde meydana gelen ani püskürme olayları üç kümede toplanmıştır. Oluşturulan kümelere göre meydana gelen olaylar Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Olayların kümelere göre dağılımı.

| Küme 1 | Küme 2 | | Küme 3 | |
|---|---|---|---|---|
| Olay 1 | Olay 19 | Olay 38 | Olay 3 | Olay 15 |
| Olay 2 | Olay 20 | Olay 40 | Olay 4 | Olay 16 |
| Olay 28 | Olay 21 | Olay 41 | Olay 5 | Olay 17 |
| Olay 29 | Olay 22 | Olay 42 | Olay 6 | Olay 18 |
| Olay 33 | Olay 23 | Olay 43 | Olay 7 | Olay 24 |
| Olay 34 | Olay 30 | Olay 46 | Olay 8 | Olay 25 |
| Olay 44 | Olay 31 | Olay 48 | Olay 9 | Olay 26 |
| Olay 45 | Olay 32 | Olay 49 | Olay 10 | Olay 27 |
| | Olay 35 | Olay 50 | Olay 11 | Olay 39 |
| | Olay 36 | Olay 52 | Olay 12 | Olay 47 |
| | Olay 37 | Olay 48 | Olay 13 | Olay 51 |
| | | | Olay 14 | |

Çizelge 2 incelendiğinde, Küme 1'i oluşturan olayların üretim derinliği değerleri 360-540 m arasında değişmektedir. Damar kalınlığı değerleri 1.5-3 m arasında, damar eğim açısı değerleri ise 0°'dir. Bu kümenin oluşmasında etkili olan faktörlerin üretim derinliği ve damar kalınlığı olduğu görülmektedir. Ani püskürme olayının meydana gelmesinde iki faktör etkili olmuştur.

Küme 2'yi oluşturan olaylar incelendiğinde, üretim derinliği değerleri 315-560 m arasında, damar kalınlığı değerleri 2-3.5 m arasında, eğim açıları ise 24-60° arasında değişmektedir. Değerlere bakıldığında, ani püskürme olaylarının meydana gelmesinde üç faktörün de etkili olduğu söylenebilir. Üç faktörün birlikte etkili olması yönüyle bu küme diğerlerinden ayrılmaktadır.

Küme 3'ü oluşturan olayların üretim derinliği değerleri 110-360 m arasında değişmektedir. Damar kalınlığı değerleri 1.2-2.8 m arasında, damar eğim açısı değerleri ise 24-70° arasında değişmektedir. Bu kümeyi oluşturan olaylar damar kalınlıkları ve üretim derinlikleri düşük, eğim açıları ise yüksektir. Bu kümenin oluşmasında etkili olan faktör eğim olmuştur. Karadon işletmesinde meydana gelen olayların tehlike derecelerini belirlemek amacıyla Çizelge 3 oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Karadon işletmesi tehlike dereceleri.

| Küme | Etki Eden Faktör | Tehlike Durumu |
|---|---|---|
| 1 | Üretim Derinliği - Damar Kalınlığı | 2. Derece |
| 2 | Üretim Derinliği - Damar Kalınlığı - Eğim | 1. Derece |
| 3 | Eğim | 3. Derece |

Küme 1'de yaşanan olayların oluşumuna iki faktör etki etmiştir. Bu nedenle bu kümeyi oluşturan olayların meydana geldiği bölgeler 2. Derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir. Küme 2'yi oluşturan olayların meydana gelmesinde üç faktör etkili olmuştur. Bu nedenle bu kümeyi oluşturan olayların meydana geldiği bölgeler 1. Derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir. Küme 3'de yaşanan olayların oluşumuna tek faktör etki etmiştir. Bu sebeple bu kümeyi oluşturan olayların meydana geldiği bölgeler 3. Derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir.

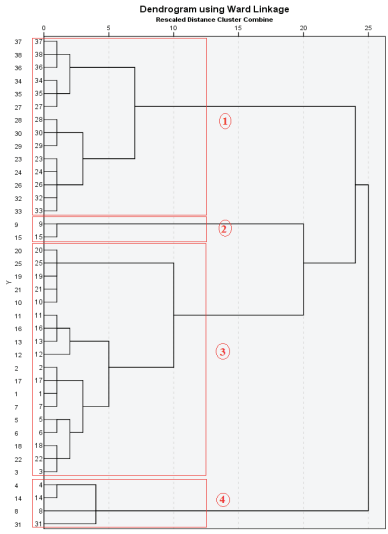
### 3.2. Kozlu İşletmesi'nde Meydana Gelen Ani Püskürme Olaylarının Analizi

Kozlu işletmesinde meydana gelen 38 adet ani püskürme olayına ait veriler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kozlu İşletmesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.

| Olay No | Olay Yeri |
|---|---|
| 1 | -425/22924 sulu bşy |
| 2 | -425/22924 sulu bşy |
| 3 | -425/22924 sulu bşy |
| 4 | -360/22823 çay 3k hazırlık taban |
| 5 | -360/-300/22823 çay 5k bşk |
| 6 | -360/-300/22823 çay 3k bşk |
| 7 | -425/-369 22944 acılık bşy |
| 8 | -360/22825 gökcan arakat lağım |
| 9 | -414/-358 22945 çay hazırlık |
| 10 | -425/-360/22923 domuzca bşk |
| 11 | -425/22926 acılık bşy |
| 12 | -425/22925 acılık rekup lağım |
| 13 | -416/22926 acılık bşy |
| 14 | -425/22926 acılık arama lağımı |
| 15 | -422/21946 çay rekup bşy |
| 16 | -417/22926 acılık bşy |
| 17 | -417/22923 büyük bşy |
| 18 | -425/22929 çay rekup lağım |
| 19 | -425/22945 domuzca bşy |
| 20 | -485/211004 piriç bşy |
| 21 | -425/22926 kuzey lağım |
| 22 | -485/21100 çay 5k bşy |
| 23 | -485/221036 sulu rekup lağım |
| 24 | -485/221036 rabut tavan rekup lğ |
| 25 | -485/221009 lağım arını |
| 26 | -485/221036 dibek ayak önü bşy |
| 27 | -560/211127 lağım arını |
| 28 | -560/211127 lağım arını |
| 29 | -485/211004 lağım |
| 30 | -560/-485 çay pano |
| 31 | -560/112056355 lağım |
| 32 | -560/21127 büyük bşy |
| 33 | -560/112056355 messoğlu bşy |
| 34 | -560/355 lağım |
| 35 | -560/112056355 milopero bşy |
| 36 | -630/111063405 lağım |
| 37 | -630/111063405 lağım |
| 38 | -630/111063405 lağım |

Ward's yöntemiyle yapılan kümeleme analizinin dendogram grafiği Şekil 3'te verilmiştir.




Şekil 3. Kozlu işletmesi dendogram grafiği.

Şekil 3 incelendiğinde, Karadon işletmesinde olduğu gibi, küme içerisindeki homojen yapıyı ve kümeler arasındaki heterojen yapıyı bozmamak suretiyle Kozlu işletmesi için küme sayısı belirlenmiştir. Kozlu işletmesinde meydana gelen ani püskürme olayları 4 kümede toplanmıştır. Oluşturulan kümelere göre meydana gelen olaylar Çizelge 5'te özetlenmiştir.

Çizelge 5. Olayların kümelere göre dağılımı.

| **Küme 1** | **Küme 2** | **Küme 3** | **Küme 4** |
|---|---|---|---|
| Olay 23 | Olay 9 | Olay 1 | Olay 4 |
| Olay 24 | Olay 15 | Olay 2 | Olay 8 |
| Olay 26 | | Olay 3 | Olay 14 |
| Olay 27 | | Olay 5 | Olay 31 |
| Olay 28 | | Olay 6 | |
| Olay 29 | | Olay 7 | |
| Olay 30 | | Olay 10 | |
| Olay 32 | | Olay 11 | |
| Olay 33 | | Olay 12 | |
| Olay 34 | | Olay 13 | |
| Olay 35 | | Olay 16 | |
| Olay 36 | | Olay 17 | |
| Olay 37 | | Olay 18 | |
| Olay 38 | | Olay 19 | |
| | | Olay 20 | |
| | | Olay 21 | |
| | | Olay 22 | |
| | | Olay 25 | |

Çizelge 5 incelendiğinde, Küme 1'i oluşturan olaylar incelendiğinde, üretim derinliği değerleri 459-630 m arasında, damar kalınlığı değerleri 1-2.6 m arasında, eğim açıları ise 40-60° arasında değişmektedir. Değerlere bakıldığında, üretim derinliği ve eğim değerlerinin yüksek, damar kalınlıklarının düşük olduğu görülmektedir. Ani püskürme olayının meydana gelmesinde üretim derinliği ve eğim faktörleri etkili olmuştur.

Küme 2'yi oluşturan olaylar iki adettir. Bu olayların değerleri incelendiğinde, üretim derinliği 401 m ve 414 m, damar kalınlıkları 5 m, eğim açıları ise 40 ve 60°'dir. Değerlere bakıldığında; üç faktöre ait değerin de yüksek olduğu görülmektedir. Bu kümenin oluşmasında üç faktörün de etkili olduğu söylenebilir. Ani püskürme olayının meydana gelmesinde üç faktör etkili olmuştur.

Küme 3'ü oluşturan olaylar incelendiğinde; üretim derinliği değerleri 325-485 m arasında, damar kalınlığı değerleri 0.5-2.8 m arasında, eğim açıları ise 30-70° arasında değişmektedir. Değerlere bakıldığında; damar kalınlığı ve üretim derinliği değerlerinin düşük, eğim değerlerinin ise yüksek olduğu görülmektedir. Bu kümenin oluşmasında etkili olan faktörün eğim olduğu söylenebilir. Ani püskürme olayının meydana gelmesinde eğim faktörü etkili olmuştur.

Küme 4'ü oluşturan olayların üretim derinliği değerleri 360-560 m arasında değişmektedir. Damar kalınlığı değerleri 0.6-3 m arasında, damar eğim açısı değerleri ise 0 dır. Değerler incelendiğinde; damar kalınlığı ve eğim değerlerinin düşük, üretim derinliği değerlerinin ise yüksek olduğu görülmektedir. Bu kümenin oluşmasında etkili olan faktörün üretim derinliği olduğu söylenebilir Ani püskürme olayının meydana gelmesinde üretim derinliği faktörü etkili olmuştur. Kozlu işletmesinde meydana gelen olayların tehlike derecelerini belirlemek amacıyla Çizelge 6 oluşturulmuştur.

Çizelge 6. Kozlu işletmesi tehlike dereceleri.

| Küme | Etki Eden Faktör | Tehlike Durumu |
|---|---|---|
| 1 | Üretim Derinliği - Eğim | 2. Derece |
| 2 | Üretim Derinliği - Damar Kalınlığı - Eğim | 1. Derece |
| 3 | Eğim | 3. Derece |
| 4 | Üretim Derinliği | 3. Derece |

Küme 2'de yaşanan olayların oluşumuna üç faktör etki etmiştir. Bu nedenle bu kümeyi oluşturan olayların meydana geldiği bölgeler 1. Derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir. Küme 1'i oluşturan olayların meydana gelmesinde iki faktör etkili olmuştur. Bu nedenle bu kümeyi oluşturan olayların meydana geldiği bölgeler 2. Derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir. Küme 3 ve 4'de yaşanan olayların oluşumuna tek faktör etki etmiştir. Bu sebeple bu kümeleri oluşturan olayların meydana geldiği bölgeler 3. Derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir.

## 4. SONUÇLAR

Kümeleme analizi araştırmacıya verileri düzenli, yorumlanabilir ve grafiksel zenginlikte sunduğundan dolayı önerilebilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen ani püskürme olayları Karadon ve Kozlu işletmeleri için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve yapılan analizler sonucunda Karadon işletmesi üç, Kozlu işletmesi ise dört kümeye ayrılmıştır. Kümelerin oluşumuna etki eden faktörler belirlenerek her iki işletme için tehlike dereceleri oluşturulmuştur. Bu bağlamda, birden fazla faktörün birlikte değerlendirilmesi ani püskürme olaylarının incelenmesinde önem arz etmektedir. Çalışmada incelenen damarlardan hangilerinin ne derece ani püskürme tehlikesi taşıdığı tespit edilmiştir. Karadon ve Kozlu işletmeleri birlikte değerlendirildiğinde, her iki işletme için de "üretim derinliği, damar kalınlığı ve eğim" faktörlerinin birlikte etki ettiği damarlar 1. derecede tehlikeli olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, tek başına "eğim" faktörünün de ani püskürme olayının meydana gelmesine etki ettiği tespit edilmiştir. Bu nedenle önlem olarak üretim sırasında arından ya da tavan-taban yollarından ayak ilerisine delinen kontrol sondajlarıyla damarın gaz yükünün azaltılması sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

Akın, Y.K. 2008. Veri Madenciliğinde Kümeleme Algoritmaları ve Kümeleme Analizi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, s. 6.

Cao, Y., He, D., Glick D.C. 2001. Coal and Gas Outbursts in Footwalls of Reverse Faults, International Journal of Coal Geology, 48, pp. 47– 63.

Çakır, A. 1994. TTK Karadon İşletmesi -303/-360 Büyük Damarının Gaz İçeriğinin ve Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, s. 3-8.

Esen, O. 2013. Türkiye Taşkömürü Kurumu Ocaklarındaki Ani Gaz Ve Kömür Püskürmesi Olaylarının Değerlendirilmesi ve Olayları Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 11-12.

Guan, Y., Wang, S., Zhou1, Z. 2014. Research on the Prediction Model of Coal and Gas Outburst Based on Principal Component Analysis and Radial Basis Function Neural Network, Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, China, pp. 260-264.

Güldal, G. 1998. Zonguldak Havzası Kömürlerinde Gaz Depolanmasını Kontrol Eden Parametreler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 83-84.

Jianchun, O., Mingju, L., Chunru Z., Yanwei, L., Jianping W. 2012. Determination of Indices and Critical Values of Gas Parameters of the First Gas Outburst in a Coal Seam of the Xieqiao Mine, International Journal of Mining Science and Technology, 22, pp. 89–93.

Lama, R.D., Bodziony, J. 1998. Management of Outburst in Underground Coal Mines, International Journal of Coal Geology, 35, pp. 83-115.

Nie, W., Peng, S.J., Xu, J., Liu, L.R., Wang, G., Geng J.B. 2014. Experimental Analyses of the Major Parameters Affecting the Intensity of Outbursts of Coal and Gas, The Scientific World Journal, s. 1-9.

Özdamar, K. 2004. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 2, Kaan Kitabevi, Eskişehir, s. 279.

Ünlükaplan, Y. 2008. Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Peyzaj Ekolojisi Araştırmalarında Kullanımı, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, s. 21-25.

Wang, H., Cheng, Y., Yuan L. 2013. Gas Outburst Disasters and the Mining Technology of Key Protective Seam in Coal Seam Group in the Huainan Coalfield, Natural Hazards, 67, pp. 763–782.

Xue, S., Yuan L., Wang Y., Xie J. 2014. Numerical Analyses of the Major Parameters Affecting the Initiation of Outbursts of Coal and Gas, Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, pp. 1505-1510.

Yalçın, E. 2012. Yeraltı Havalandırması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir, s. 279-283.

Yalçın, N. 2013. Kümeleme Analizi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, s. 8-15.

Yılmaz, Ş.K., Patır, S. 2011. Kümeleme Analizi ve Pazarlamada Kullanımı, Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2, s. 91-113.

Zhai, C., Xiang, X., Xu, J., Wu, S. 2016. The Characteristics and Main Influencing Factors Affecting Coal And Gas Outbursts in Chinese Pingdingshan Mining Region, Natural Hazards, 82, pp. 507-530.

# KÖMÜR MADENLERİNDE GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMELERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

## *FACTORS AFFECTING THE GAS AND COAL OUTBURSTS IN COAL MINES*

**İzzet Karakurt**[*], **Gökhan Aydın, Serkan Kaya, Furkan Yıldırım**
*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon*

**ÖZET:** Metan, kömürde oluşan en etkili gazlardan bir tanesidir. Bu gaz, kömür matrislerinde yüzeye adsorbe halde bulunabildiği gibi kömür ve çevreleyen kayaçlardaki boşluklarda serbest veya çözülmüş halde de bulunabilir. Kömür veya yan kayaçlarda bulunan metan, madencilik işlemleri sonucu oluşan kırıklar/çatlaklar aracılığı ile açığa çıkar. Uygun koşularda, ani bir şekilde püskürmeyle de açığa çıkabilir. Bu tür püskürmeler, kömür madenlerinin güvenliğini tehdit eden doğal felaketlerden biridir. Kömür madenlerinde meydana gelen bu gaz/kömür püskürmeleri, çeşitli parametrelerden veya faktörlerden etkilenmektedir. Gaz içeriği, gaz basıncı, kömür damarı dayanımı, gerilme koşulları ve jeolojik koşullar gaz/kömür püskürmelerini etkileyen önemli parametreler arasındadır. Bu çalışmada, kömür madenlerinde meydana gelen gaz/kömür püskürmeleri ve etki eden faktörlere yönelik bilgiler sunulmuştur. İlave olarak, gaz/kömür püskürmelerine karşı alınabilecek tedbirlerden ve dünya geneli meydana gelen gaz/kömür püskürme vakalarından da bahsedilmiştir.

**ABSTRACT:** Methane is one of the predominant gases occurred in coal. This gas is adsorbed to the coal matrix and occurs within voids in both coal and surrounding rock as free and dissolved state. The gas is released through cracks/fractures as a result of mining activities. In certain conditions, the gas is released suddenly, known as gas and coal outburst. This kind of outburst is one of the natural disasters that threaten the safety of coal mines. The gas and coal outbursts occurred in coal mines are affected by various parameters or factors. Gas content, gas pressure, coal strength, stress condition and geological conditions are among the most significant factors influencing the gas and coal outbursts. In this study, an overview on the gas and coal outbursts occurred in coal mines and affecting factors are presented. Additionally, safety precautions against the gas and coal outbursts and worldwide gas and coal outbursts occurrences are discussed.

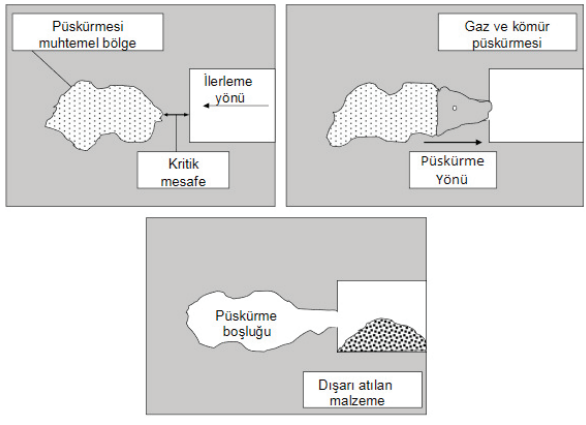
[*]*karakurt@ktu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Kömür madenlerinde gaz/kömür püskürmesi, kömür damarında belli bir denge halinde bulunan gazın (genellikle metanın), üretim esnasında yüksek hız ve basınçla çalışma ortamına doğru kömür ve/veya yan kayaç ile birlikte püskürmesi/akması olarak tanımlanır (Xue vd. 2014). Bu tür bir püskürme; ekipmanların ya da maden açıklıklarının zarar görmesinden, gaz ve toz problemlerine, grizu riskinden, işçilerin yaralanmasına/ölmesine ve üretim kayıplarına neden olabilmektedir. Üretim ve derinlik artması da bu risklerin oluşma ihtimalini arttırmaktadır (Cheng vd. 2015). Kömür madenlerinde meydana gelen gaz/kömür püskürmeleri; tabakanın gaz içeriği, gaz basıncı, damarın dayanımı, gerilme koşulları, derinlik ve jeolojik koşullar gibi birçok faktör tarafından etkilenir (Sereshki 2005, Jiabo vd. 2017). Bu faktörler aynı zamanda birbirlerini de etkiler. Öte yandan, her bir faktörün gaz/kömür patlamalarına olan etkisi kömür damarının bulunduğu formasyona göre de değişiklik gösterebilir. Kömür madenlerinde gaz/kömür püskürmelerinin her zaman ve hangi boyutlarda olacağını söylemek neredeyse imkansızdır. Ancak, eldeki yeterli ve sağlam verilere dayanarak püskürme ihtimalini tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Dolayısıyla; gaz/kömür püskürmelerinin önceden tahmin edilmesi ve gereken önlemlerin alınabilmesi, püskürmeye katkıda bulunan ve formasyona göre değişiklik gösterebilen faktörlerin iyi analiz edilmesini ve etkilerinin iyi bir şekilde anlaşılmasını gerektirir.

## 2. GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMELERİ

Gaz/kömür püskürmesi, kömür içerisinde ve arın ilerisinde belli bir denge halinde bulunan metanın, yüksek basınç ve hızla arını parçalanması ve yoğun bir gaz ile birlikte kömür ve yan kayacın ocak boşluğunu doldurmasıdır (Şekil 1). Daha basit bir ifadeyle; büyük miktarlarda kömür, yan kayaç ve gazın üretim alanına doğru ani boşalması olarak tarif edilebilir.




Şekil 1. Kömür damarlarında temsili gaz ve kömür püskürmesi gelişimi.

Gaz ve kömür püskürmelerinin meydana gelmesi için belli şartların bir araya gelmesi gerekir. Bu şartlar; i) kömür damarı içerisinde yeterli bir gaz konsantrasyonu ve basıncına sahip olan bir zonun bulunması, ii) kayaç basıncı yardımı ile gaz ve kömür arasındaki bağıntının kalkması, iii) kömür içerisinde bulunan gazın yeterli bir hızla çıkması, iv) yeterli gaz konsantrasyonu ve basınca sahip olan zon ile kazı arını arasında yeterli bir mesafenin bulunmasıdır.

Gaz ve kömür püskürmesi olayında açığa çıkan kömür, yan kayaç ve gaz miktarları püskürmenin büyüklüğü başta olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir. Kayıtlara geçen en büyük gaz ve kömür püskürme vakası, Donetsk (Rusya) Gagarin kömür havzasında meydana gelmiştir. Bu püskürme olayında, yaklaşık 14.500 ton kömür ile birlikte 60.000 $m^3$ metan gazı boşalması yaşanmıştır (Lama ve Saghafi 2002). Kömür madenlerinin güvenliğini tehdit eden doğal felaketlerden biri olan gaz ve kömür püskürmeleri, kömür üretimi yapan dünyanın farklı ülkelerinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Çizelge 1'de, dünya kömür üretiminde önemli yerleri olan ülkelerin kömür madenlerinde farklı zaman dilimlerinde meydana gelen gaz ve kömür püskürmesi olaylarına yönelik bilgiler verilmiştir (Fisne ve Esen 2014, Ören vd. 2016). İlgili Çizelge incelendiğinde; vakalar arasında ilk üç sırayı Çin, Fransa ve Ukrayna'daki kömür madenleri alırken en az vaka sayısı ise beş vaka ile İspanya sıralamada yer almıştır.

Çizelge 1. Dünyadaki gaz ve kömür püskürme vakası örnekleri.

| **Ülke** | **Bölge** | **Püskürme tipi** | **Vaka sayısı** |
|---|---|---|---|
| Çin | Çok sayıda kömür havzası | Kömür+Kaya+Gaz | >20.000 |
| Fransa | Çok sayıda kömür havzası | Kömür+Kaya+Gaz | >6814 |
| Ukrayna | Donetsk | Kömür+Kaya+Gaz | 5866 |
| Polonya | Upper Silesia | Kömür+Gaz | >2000 |
| Japonya | Hokkaido ve Kyushu | Kömür+Gaz | 920 |
| Avustralya | Sidney ve Bowen | Kömür+Gaz | >730 |
| Rusya | Çok sayıda kömür havzası | Kömür+Kaya+Gaz | 646 |
| Çek Cumhuriyeti | Ostrava, Slany, Oslavany | Kömür+Kaya+Gaz | 626 |
| Macaristan | Mecsek | Kömür+Gaz | 600 |
| Kanada | Nanaimo, Crows N. Canmore | Kömür+Kaya+Gaz | >548 |
| Belçika | Güney Kömür Sahası | Kömür+Gaz | 487 |
| Almanya | Ruhr ve Aachen | Kömür+Kaya+Gaz | 419 |
| Bulgaristan | Balkan | Kömür+Gaz | >250 |
| İngiltere | West Wales | Kömür+Gaz | 250 |
| Türkiye | Zonguldak | Kömür+Gaz | 89 |
| Kazakistan | Karaganda | Kömür+Gaz | 55 |
| Yeni Zelanda | Mount Davy | Kömür+Gaz | 21 |
| İspanya | Asturian | Kömür+Gaz | 5 |

## 3. GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMELERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kömür damarlarında meydana gelen gaz ve kömür püskürmeleri, birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Bu faktörler maden ocaklarına göre değişiklik gösterebilseler de yaygın ve çoğunlukla kabul görmüş olanlar aşağıdaki faktörlerdir (Lama ve Saghafi 2002). Bu faktörlere yönelik detaylı değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

i) Gaz içeriği
ii) Damar özellikleri (derinlik, kalınlık, dayanım vb.)
iii) Jeolojik yapı
iv) Gerilme koşulları

### 3.1. Gaz İçeriği

Gaz içeriği; hidrojeolojik faktörler, oluşum derinliği, kömürün metamorfik derecesi ve jeolojik faktörler gibi parametrelerden büyük oranda etkilenen bir rezerv özelliğidir ve gaz/kömür püskürmelerini etkileyen en önemli faktörlerin başında yer alır (Scott 2002). Metan içeriği fazla olan damarların gaz/kömür püskürmelerine daha elverişli olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmalar ve dünya genelinde yaşanmış gaz/kömür püskürme örnekleri, gaz içeriği 8 $m^3$/t'dan daha fazla damarların gaz/kömür püskürmelerine eğilimli olduğunu göstermiştir (Lama ve Saghafi 2002). Fakat belirtilen bu rakamın aksine Zhou vd. (2017); kömür dayanımı, gaz basıncı ve damardaki etkin gerilmeler gibi faktörleri, gaz/kömür püskürmeleri için gerekli minimum gaz içeriğinin daha da düşmesine ya da artmasına sebep olabileceğini belirtmişlerdir.

### 3.2. Gaz Basıncı

Damar yada yan kayaçlarda bulunan gazın sahip olduğu enerji veya basınç, gaz/kömür püskürmesinin gelişimi açısından önemli bir yere sahiptir. Çünkü, gaz/kömür püskürmelerini kontrol eden ana faktör, gazın sahip olduğu basınçtır (Wold vd. 2008). Zhou vd. (2017), gaz basıncındaki artışın tabaka gözenekliliğinin artmasına yol açacağını, böylelikle gözenekliliği artan tabakada adsorblanmış durumda bulunan gazın kolaylıkla serbest hale geçebileceğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, serbest halde yoğun olarak bulunan gazında püskürme için uygun koşullar yaratabileceğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Yin vd. (2016) gerçekleştirdikleri çalışmalarında, gaz basıncı için bir eşik değer olduğunu (0.5 - 1.0 MPa arası) tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, gaz püskürme ihtimalinin artmasını gaz basıncının bu eşik değerden yüksek olmasına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde Nie vd. (2014)'de gaz basıncı artışının gaz/kömür püskürmelerine pozitif yönde etki ettiğini ifade etmişlerdir.

### 3.3. Damarın Derinliği ve Kalınlığı

Depolamaya daha elverişli olan geniş çaplı zonlar içermeleri nedeniyle kalın kömür damarları, ince kömür damarlarına nazaran gaz/kömür püskürmelerine daha yatkındırlar. Benzer şekilde, dik veya dike yakın eğimli damarlarda düşük gaz içeriklerinde bile gaz/kömür püskürme olasılığı düz damarlara göre daha yüksektir. Kalınlığı 1 m'nin altında olan damarlarda ise gaz/kömür püskürmelerine rastlanılmamıştır. Benzer şekilde damar derinliğinin artması, gaz/kömür patlama riskini arttırmaktadır. Çünkü yüzeye yakın kömür damarlarındaki metan doğal kırık/çatlaklar aracılığı ile sızarak atmosfere ulaşabilmektedir. Buda damarın rahatlamasına yol açacağından gaz/kömür püskürme riskini azaltacaktır. Ancak, artan derinlikle birlikte gaz damar içerisinde birikecek ve yeryüzüne sızamayacaktır. Madencilik faaliyetleri birlikte oluşan kırık/çatlaklar aracılığı ile sızma girişimi artacak ve şartların elvermesi durumunda gaz/kömür püskürmesi oluşabilecektir (Üstünkol ve Güyagüler 1977).

### 3.4. Kömür Damarının Dayanımı

Kömür damarının dayanımı gaz/kömür püskürmelerinde oldukça etkin rol oynar. Kömürün dayanımı, başlıca maseral bileşimine bağlı olduğundan kömür katmanları arasındaki dayanım da farklılık gösterebilir. Bundan dolayı, kömür dayanımının gaz/kömür püskürmelerine etkisinin belirlenmesi, her bir katmanın özelliklerinin tayin edilmesi ile mümkün olabilmektedir. Genel olarak, dayanımı yüksek kömürler daha az kırıklı/çatlaklı yapıya sahiptir ve bir akışını sağlayacak hattın oluşması için kırılma/parçalanmaya yol açacak yüksek bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bunun aksine dayanımı daha düşük olan kömürler, belli bir gerilme veya basınç altında hemen kırılabilir/parçalanabilir ve gaz akışının kolaylıkla sağlanabildiği hatlar oluşabilir. Öte yandan, dayanımı düşük kömürlerin gözenekliliği yüksektir ve bu gözeneklerin yerinde veya madencilik kaynaklı gerilmeler altında açılıp kapanması gaz birikimini ve basıncını doğrudan etkiler. Böylelikle, gaz/kömür püskürmesine yol açabilecek gerekli basıncın oluşması sağlanır (Lama ve Bodziony 1998, Zhou vd. 2017).

### 3.5. Jeolojik Yapı

Kömür damarı veya yan kayacın jeolojik koşulları arasında iki koşul yada durum, gaz/kömür püskürmesi açısından önem arz etmektedir. Bunlardan birincisi doğrudan kömür damarının oluşum ve geometrisini etkileyen parametreler, ikincisi ise kömür damarı veya çevreleyen kayacı karakterize eden tektonik hareketler (Lama ve Bodziony 1998). İlk grupta kömür damarının oluşum derinliği, eğim açısı ve damar kalınlığı gibi parametreler yer alırken ikinci grupta faylar, kırıklar/çatlaklar, kıvrımlar ve kayma zonları gibi parametrelere yer almaktadır.

Formasyondaki faylar, dyklar, kesme zonları veya kıvrımlar gibi jeolojik yapılar, gaz/kömür püskürmelerinin yerinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedirler. Fay tipleri arasında normal faylar, gaz püskürme olasılıklarını arttırırken oluşum

mekanizmaları da gaz akışını veya gaz bulundurma potansiyellerini etkiler. Benzer şekilde, senklinal kıvrım içeren damar yada yan kayaçlar gaz püskürmelerine antiklinal kıvrımlara nazaran daha eğilimlidirler (Li ve Saghafi 2014).

### 3.6. Gerilme Koşulları

Damar ya da yan kayaçtaki gerilmeler, gaz/kömür püskürmelerini tetikleyen veya başlatan faktörlerdir. Yerinde ve madencilik kaynaklı gerilmeler olmak üzere iki farklı durumda etkileri söz konusu olabilmektedir. Yerinde gerilmeler, tabakaların jeolojik yapısı veya oluşum derinliği ile ilişkili iken madencilik kaynaklı gerilmeler ise üretim derinliği, damar kalınlığı, damar eğimi yada üretim yüzeyi genişliği gibi madencilik koşullarına bağlı olarak gelişen gerilmeler ile ilişkilidir (Zhou vd. 2017). Gerilme koşulları, gaz/kömür püskürmeleri açısından önemli bir yer tutmalarına karşın gaz/kömür püskürmelerine etkilerinin doğrudan ölçümleri veya belirlenmesi oldukça zordur. Ancak, dolaylı yollarla etkilerinin belirlenmesine çalışılır (Lama ve Saghafi 2002). Örneğin; Çin'de meydana gelen gaz/kömür püskürme istatistikleri, tektonik gerilmelerin gaz akışı ve/veya gazın belli bir yerlerde birikiminde etkili olduğunu göstermiştir (Lama ve Bodziony 1998). Madencilik kaynaklı gerilmeler ise mevcut gözeneklerin açılmasını yada kapanmasını sağladığından kömür damarının porozitesini ve geçirgenliğini dolaylı olarak etkilemektedir (Meng vd. 2011).

## 4. GAZ/KÖMÜR PÜSKÜRMELERİNE KARŞI ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Kömür madenlerinde meydana gelen gaz/kömür püskürmelerini önlemek ve/veya etkisini minimuma indirmek için alınabilecek bazı etkin önlemler aşağıda sunulmuştur.

*i) Gaz akışını sağlayan sondaj deliklerinin açılması (rahatlatma sondajları)*: Gaz/kömür püskürme riski bulunan kömür damarlarında, hazırlık aşamasında veya üretimden önce taban yollarında, baş yukarı ve baş aşağılarda, arın çevresinde kademeli olarak 64–140 mm çaplarında sondaj delikleri açılır. Böylelikle damardaki yüksek gazın ocak havasına kademeli olarak karışımı sağlanarak ani gaz/kömür püskürme riski önlenebilir (TTK 2009).

*ii) Lağım atımları ve kömüre su enjeksiyonu yöntemi*: Ocak açıklıklarında lağım atma ve gazlı damara su enjeksiyonu yöntemi ile püskürme tehlikesini bertaraf etmek mümkün olabilmektedir. Lağım atma uygulamasında, gazlı zon ile arın arasındaki kritik bölge patlayıcı madde kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır. Bu işlem aslında gaz/kömür püskürmesi için uygun şartları sağlamaktadır. Ancak, tüm çalışanlar ve ekipmanlar olay yerinden uzaklaştırıldığından herhangi bir can ve iş kaybı yaşanmamaktadır. Su enjeksiyonu uygulamasında ise kırıkların ve çatlakların su ile doldurularak gazın bu bölgelerden sızması önlenebilir ve basınçlı gazın arının daha ilerisine ötelenmesine neden olur. Böylelikle gaz/kömür püskürme vakasının meydana gelmesi engellenebilmektedir (Aguado ve Nicieza 2007, Esen vd. 2017).

*iii) Koruyucu damar kazısı*: Gaz/kömür tehlikesi olan bir damarın taban veya tavan tarafında bulunan başka bir damarın kazısı ile gazlı damarın rahatlatılması sağlanabilir. Böylelikle gazlı damarın üretimi daha güvenli bir şekilde yapılabilir.

*iv) Uygun kazı hızlarında üretimin yapılması:* Gazlı damarlarda üretim veya kazı hızının yüksek olması, gazlı zona hızla ve ani yaklaşılması anlamına gelmektedir. Bu da ilgili damarda gaz/kömür püskürme olasılığını arttırmaktadır. Bu tür damarlarda, risk oluşturabilecek gazlı bölgenin arından en az 4-5 m uzakta olmasına özen gösterilmelidir. Böylelikle iki nokta arasında koruyucu bir bariyer bırakılmış olur ve bu bariyer gazın doğal akışını sağlayarak gaz/kömür püskürmesi olayının yaşanmasını engelleyebilir (Esen vd. 2017).

## 5. SONUÇLAR

Gaz ve kömür püskürme olayı, kömür madenlerinin güvenliğini tehdit eden doğal felaketlerden biridir. Bu tür bir olayın meydana gelmesi; maden açıklıklarının zarar görmesi, gaz ve toz problemlerinin ortaya çıkması, grizu riskini oluşması, işçilerin yaralanması/ölmesi ve üretim kayıpları gibi sonuçları beraberinde getirmektedir. Günümüzde kömüre dayalı madencilik faaliyetleri daha derinlere doğru inmiştir ve artan derinlikle gaz/kömür püskürme riski daha da artmaktadır. Ancak, uygun yöntem ya da yöntemler ile bu riskin ortadan kaldırılması ve/veya minimuma indirilmesi söz konusu olabilmektedir. Üretimi yapılan damarların gaz/kömür püskürme potansiyellerinin belirlenmesi bu yönde atılacak ilk adımlardandır. Bu da, gaz/kömür püskürmesi olaylarına etki eden faktörlerin tespiti ve olay üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Bunlara bağlı olarak çalışmada da bahsedilen önlemler veya tedbirler ile üretim faaliyetlerinin sürdürülmesi, ileride yaşanacak can/mal kayıplarının önüne geçilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

Aguado, M.B.D., Nicieza, C.G. 2007. Control and Prevention of Gas Outbursts in Coal Mines: Riosa–Olloniego coalfield – Spain, International Journal of Coal Geology, 69, pp. 253-266.

Cheng, L., Yan-ju, L., Hong-lie, Z. 2015. An improved Coal and Gas Outburst Prediction Algorithm Based on BP Neural Network, International Journal of Control and Automation, 8, 6, pp. 169-176.

Esen, O., Ökten, G., Fişne A. 2017. Türkiye'de Meydana Gelen Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarının Değerlendirilmesi ve Olaylar ile Mücadelede Alınacak Önlemler, Bilimsel Madencilik, 56, 3, s. 99-108.

Fisne, A., Esen, O. 2014. Coal and Gas Outburst Hazard in Zonguldak Coal Basin of Turkey and Association with Geological Parameters, Natural Hazards, 74, pp. 1363-1390.

Jiabo, G., Jiang, X., Wen, N., Shoujian, P., Chaolin, Z., Xiaohang, L. 2017. Regression Analysis of Major Parameters Affecting the Intensity of Coal and Gas Outbursts in Laboratory. International Journal of Mining Science and Technology, 27, pp. 327–332.

Lama, L.D. Bodziony, J. 1998. Management of Outburst in Underground Coal Mines, International Journal of Coal Geology, 35, pp. 83–115.

Lama, R., Saghafi, A. 2002. Overview of Gas Outbursts and Unusual Emissions, 2002 Coal Operators' Conference, University of Wollongong, Australia.

Li, G., Saghafi, A. 2014. Comparing Potentials for Gas Outburst in a Chinese Anthracite and an Australian Bituminous Coal Mine, International Journal of Mining Science and Technology, 24; pp. 391-396.

Meng, L., Jiang, Y., Zhu, J., Li, A., Wang, W. 2011. Experimental Study of Different Gases on Permeability of Tectonic Coal. Procedia Engineering, pp. 1176 – 1183.

Nie,W., Peng, S.J., Xu, J., Liu, L.R., Wang, G., Geng, J.B. 2014. Experimental Analyses of the Major Parameters Affecting the Intensity of Outbursts of Coal and Gas, The Scientific World Journal Volume 2014, 9 p.

Ören, Ö., Özdemir M., Şensöğüt, C. 2016. Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Tespit Edilmesi: Genel Bir Bakış. Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 22, 2, s. 1-12.

Scott, A.R. 2002. Hydrogeologic Factors Affecting Gas Content Distribution in Coal Beds, International Journal of Coal Geology, 50, pp. 363–387.

Sereshki, F. 2005. Development of a Quantitative Assessment Approach for the Coal and Gas Outbursts in Coal Mines Using Rock Engineering Systems, PhD. Thesis at University of Wollongong, Australia. the initiation of outbursts of coal and gas. Rock Mechanics and Rock Engineering, 47, pp. 1505–1510.

TTK, 2009. Türkiye Taşkömürü Kurumu, Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Yönergesi.

Üstünkol, Ş., Güyagüler, T. 1977. Ocak Havasının Etüdü, Gaz ve Kömür Tozu Patlamaları, Ani Metan Püskürmeleri, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Ankara.

Wold, M.B., Connell, L.D., Choi, S.K. 2008. The Role of Spatial Variability in Coal Seam Parameters on Gas Outburst Behaviour During Coal Mining, International Journal of Coal Geology, 75 pp. 1–14.

Xue, S., Yuan, L., Wang, Y., Xie, J. 2014. Numerical Analyses of the Major Parameters Affecting.

Yin, G., Jiang, C., Wang, J.G., Xu, J., Zhang, D., Huang, D., 2016. A New Experimental Apparatus for Coal and Gas Outburst Simulation, Rock Mechanics and Rock Engineering, 49, pp. 2005–2013.

Zhou, Q., Herrera, J., ve Hidalgo, A. 2017. Development of a Quantitative Assessment Approach for the Coal and Gas Outbursts in Coal Mines Using Rock Engineering Systems, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, May, pp. 1-21.

# EVALUATION OF LIGHT DUTY MINING VEHICLES POWER SYSTEMS USING FUZZY INFERENCE SYSTEM IN UNDERGROUND COAL MINING

## *YERALTI KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE KULLANILAN HAFİF İŞ MAKİNALARININ GÜÇ SİSTEMLERİNİN BULANIK MANTIK İLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

**Cihan Doğruöz***
*Dumlupınar University, Department of Mining Engineering, Kütahya*

**ABSTRACT** In underground coal mining, locomotives and load-haul-dump are the most common light duty (<500 HP) equipment used in room and pillar, and longwall mining methods to advance and prepare the mining site. Mining vehicles are most commonly powered by diesel engines, despite their reputation for air pollution and inefficiency. These diesel powerhouses can be replaced by efficient, clean batteries while maintaining economic viability. PbA batteries are commonly used in battery-powered mining equipment and will serve as the control. Replacing these batteries with more energy dense NaMx or Li-ion batteries will increase operating time, therefore increasing, mine productivity. In this study, power systems of locomotive and LHD mining vehicles utilizing in underground coal mining were analyzed and evaluated by using fuzzy logic inference system.

**ÖZET** Yeraltında kömür madenciliğinde kullanılan hafif iş makinası statüsünde nitelendirilen lokomotifler ve yükle taşı boşalt makinaları (<500 HP) oda topuk ve uzunayak madenciliğinde ve maden panosunun hazırlık aşamasında ve ilerlemede en çok kullanılan makinalardır. Bu makinalar genelde hava kirliliğine sebep olmalarına rağmen dizel motorlu araçlardır. Bu dizel güç üniteleri daha efektif ve hava kirliliğine sebep olmayan, ekonomik olarak da daha düşük olan batarya sistemlerine dönüştürülebilir. PbA bataryalar madencilikte kullanılan iş makinalarında en çok kullanılan sistemlerdir. Bu batarya sistemlerinin NaMx yada Li-ion sistemleri ile değiştirilmesi daha çok enerji elde etmek ve işletim süresini arttırmak, dolayısıyla da verimliliği artırmak için daha etkili olabilmektedir. Bu çalışmada, yeraltı kömür madenciliğinde kullanılan lokomotiflerin ve yükle taşı boşalt makinalarının güç sistemleri incelenerek bulanık mantık uygulamasıyla analiz edilmiştir.

* *cihan.dogruoz@dpu.edu.tr*

## 1. INTRODUCTION

Light duty mining vehicles are most commonly used in underground coal mining. Some machines require substantial amounts of power and need direct connections to external generators, while others can be powered via diesel engine. Some of the most significant underground mining equipment namely locomotive and LHD were analysed in this study to determine whether it is feasible to incorporate current battery technology into these machines.

Most mining machines run solely on diesel power used in conjunction with hydraulics to power the vehicle. The conversion to portable and powerful battery systems will, therefore, require some creative engineering. Currently, diesel engines are the standard power source for light duty mining equipment; however, they are not a perfect solution. They are a source of ignition, noise and emit fine particulates as well as carbon dioxide into the mine. For that reason, current battery technology is being explored as a safer alternative in the mining machines. Although, the packs need to be replaced once during the vehicle lifetime, lack of engine maintenance and operating expenses can help mitigate this cost. In general, there are two different types of mining methods, open pit and underground mining. In this study, underground mining methods were the focus of the investigation. Locomotives and load-haul-dump (LHD) vehicles are the most important equipment as they are used for room&pillar and longwall mining methods (Schatz et al. 2015).

The locomotives and LHDs, however, will be considered for conversion to battery power and analysed for the feasibility of incorporating lead acid (PbA), lithium ion (Li-ion) and sodium metal halide (NaMx) to replace the diesel engine. Two chemistries, out of the family of Li-ion configurations, are investigated. They are iron phosphate positive electrode with a graphite negative electrode (LFP/C) and manganese oxide spinel positive electrode with a lithium titanate spinel negative electrode (LMO/LTO).

Current mining methods are so diverse that any ore type can be extracted by adapting existing extraction methods. Underground methods require an extensive evaluation of the geological variables (Nieto 2011). Underground mining methods are classified into three groups: unsupported, supported and caving. Unsupported methods include room and pillar, stope-and-pillar, shrinkage stoping, sublevel stoping and vertical crater retreat; the supported group includes cut-and-fill and the caving category includes longwall, sublevel caving (Hustrulid 1982).

Every mining method has benefits and risks that must be understood when determining the technique to be used for a given set of variables (Buchan 1998). This is especially important when determining duration of mine operation, operating costs and required capital as an uninformed decision can result in significant loss of profit. Room and pillar and longwall are among the most utilised in coal mining and are expanded upon below. Using battery powered mining vehicles in underground soft rock methods can be more economic and is a safer technology for underground mining methods.

## 2. LIGHT DUTY MINING VEHICLES

In underground coal mining, the most common vehicles are locomotives, LHDs, continuous miners and longwall equipment. Continuous miners and longwall equipment require too much energy to make battery conversion feasible. The locomotives and LHDs are most commonly powered by diesel engine. Several companies, however, have shown a large interest in powering these vehicles solely from battery power. According to the mining methods and all other parameters such as material strength, ore type, rock mass, etc, it is very important to choose the best-suited vehicles and power systems.

### 2.1. Locomotives

Transportation of miners and materials underground is one of the most significant operations in the mining sector. For this reason, locomotives are mainly used in underground mines due to their capabilities. There are different types of locomotives such as diesel powered, battery powered and trolley locomotives. Locomotives have been used for many years in underground mining and because of their reliability and are preferred as an easy, economical transportation vehicle. In a study conducted by the Brookville mining a twenty tonne battery locomotive is shown in Figure 1 (Miller and Barnes 2002).

Figure 1. Brookville mining locomotive (20 tonnes capacity).

The battery pack on the commercial model consists of 52 VRLA cells (valve regulated lead acid) yielding a nominal potential of 104 V. The capacity, as well as cycle life and rate of charge could be increased by replacing the VRLA cells with either NaMx or Li-ion Cells. The technical specifications of the battery operated vehicle were used to estimate the parameters of battery packs of similar volume to that of the standard pack but of differing cell chemistries. A volume of 500 L was estimated by dividing the specified capacity of 43 kWh by the average energy density of VRLA as specified in section 2.1.5. The run time was calculated by dividing the gross capacity (43 kWh) by the power of the locomotive (7.2 kW). This ratio was used to estimate the approximate run time for the higher capacity packs. The results, shown below in Table 1,

demonstrate how cell chemistry affects the battery cost and duration of locomotive operation. It can be seen that while a pack of LFP batteries will increase run time by about a factor of 4.5, the battery cost increases by an order of magnitude. NaMx cells provide half the capacity but require only 40% of the capital necessary for LFP cells, which could be a determining factor if available capital is limited (Schatz et al. 2015).

Table 1 shows the estimated parameters for alternate cell chemistries for 7.1 kW locomotive by Schatz et al. (2015). The parameters are run time, volume, weight, cost and capacity. Three different types of power systems are compared in Table 1.

Table 1. Estimated parameters for alternate cell chemistries for 7.1 kW locomotive (Schatz et al. 2015).

| Parameters | VRLA | NaMx (Na-$NiCl_2$) | Li-ion (LFP) |
|---|---|---|---|
| Run time (h) | 6 | 13.2 | 26.5 |
| Volume (L) | 500 | 500 | 500 |
| Weight (Kg) | 1.431 | 820 | 1.349 |
| Battery cost (USD) | 6.450 | 27.405 | 66.500 |
| Capacity (kWh) | 43 | 94.5 | 190 |

## 2.2. Load-haul-dump (LHD)

LHD mining vehicles, Figure 2, are used to haul waste rock and ore from the production face in underground mines to haulage trucks, crushing stations, and ore dumping points (Bhattacherya 2006).

Figure 2. LHD in underground mining, ©caterpillar.

LHDs are a specialised loading machine manufactured solely for the underground mining industry. They are also known as a scoop tram as they are used to scoop extracted ore, such as coal, with a bucket and load it into the car. The ore is then dumped in the bottom of the mine to undergo primary crushing before being hoisted to the surface out of the mine. Most LHDs are diesel powered because they require a large amount of energy and move around a lot. If the vehicle were to be powered by an electrical cable, it would pose a constant trip/entanglement hazard. This could be avoided, however, by replacing the diesel engine with a battery pack. Below in Table 2, battery pack specifications for a 112 kW LHD vehicle for the three types of cell chemistries are estimated. They are compared on an isometric basis of 5000 L.This was approximated by finding the engine compartment volume for a Caterpillar CL115 LHD vehicle, which would be vacant if the diesel engine were to be replaced. The NaMx cells would provide enough energy to last one 8h shift and would be the lightest of the three packs at just over 8000 kg. An LFP pack would last more than two shifts but costs 60% more than the NaMx battery pack. Since a VRLA pack would only last 4 h, requiring the operator to replace the battery during the shift. However, the battery is significantly cheaper than the other two and may make up for the inefficiency of lasting only half a shift (Schatz et al. 2015).

Table 2 shows the results of estimated parameters for alternate cell chemistries for 112 kW LHD in underground mining. The parameters are run time, volume, weight, cost and capacity. Three different types of power systems are compared in table 2.

Table 2. Estimated parameters for alternate cell chemistries for 112kW LHD (Schatz et al. 2015).

| Parameters | VRLA | NaMx (Na-$NiCl_2$) | Li-ion (LFP) |
|---|---|---|---|
| Run time (h) | 4 | 8.5 | 17 |
| Volume (L) | 5000 | 5000 | 5000 |
| Weight (kg) | 14.310 | 8.200 | 13.490 |
| Battery cost (USD) | 64.500 | 274.050 | 665.000 |
| Capacity (kWh) | 430 | 945 | 1.900 |

## 3. FUZZY INFERENCE SYSTEM

In recent years, the fuzzy inference systems have been more popular in the mining sector, especially areas of the rock mechanics and engineering geology (Alvarez Grima and Babuska 1999, Finol et al. 2001, Gokceoglu 2002, Gokceoglu and Zorlu 2004, Nefeslioglu et al. 2003, Sonmez et al. 2003, Tutmez and Hatipoglu 2007). A short overview on the fuzzy modeling algorithms was given by Alvarez Grima (2000). The Mamdani fuzzy model, the Tagaki– Sugeno–Kang fuzzy model, the Tsukamoto fuzzy model and Singleton fuzzy model are the most commonly used in the literature to solve engineering problems.

In the present study, the Mamdani fuzzy algorithm was preferred, because the Mamdani method is perhaps the most appealing fuzzy method to employ in engineering problems (Alvarez Grima 2000). The inputs of the fuzzy inference system are the run time, volume, weight, battery cost and capacity of locomotive and LHD. During the construction process of the fuzzy inference system, MATLAB software was utilized (Demuth et al. 2005). In this study, the results from Table 1 and Table 2 were evaluated and applied into fuzzy inference system. The main purpose is to predict the VRLA as output parameter in the system. This method is available to apply to predict NaMx and Li-ion parameters. As it can be seen in Figure 3, the algorithm was created and the input and output parameters were determined. After creating the model, intervals for membership functions were determined using the results from Table 1 and Table 2.

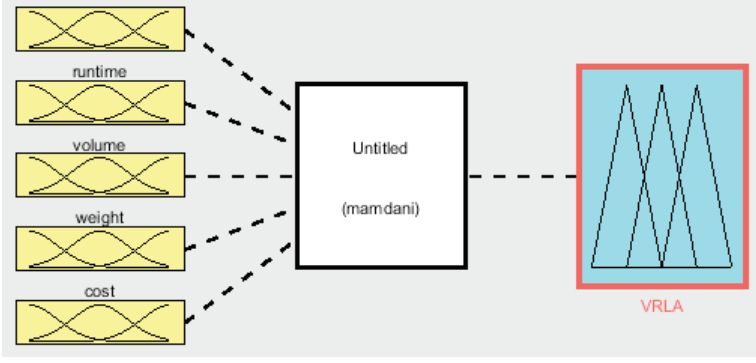



Figure 3. Algorithm of input and output parameters for 7.1 kW locomotive battery systems.

As it can be seen in Figure 3, the algorithm of input and output parameters were created. Input parameters are runtime, volume, weight, cost and capacity. These parameters are corresponding the input1, input2, input3, input4 and input5. The output also corresponds the VRLA values.

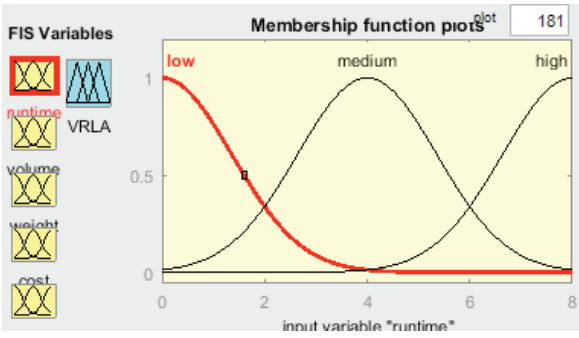



Figure 4. Fuzzy logic membership functions based on gauss method.

In Figure 4, membership functions were determined according to the intervals of the parameters. Runtime intervals are between low and high, volume intervals vary between low and high, weight intervals are between light and heavy, cost are between cheap and expensive and capacity values are between low and high. These intervals determine the relationship of the membership functions.

The fuzzy sets of the inputs and the output were extracted from the relationships between the parameters and VRLA values. The defined fuzzy sets of the inputs and the output of the model are listed below:

Runtime (Input 1)
low = [0 0 2]
medium = [2 2 4]
high = [4 4 8]
Volume (Input 2)
low = [0 0 230]
medium = [230 230 780]
high = [780 780 1000]
Weight (Input 3)
light = [0 0 500]
medium = [500 500 1500]
heavy = [1500 1500 2000]
Cost (Input4)
cheap = [0 0 2000]
normal = [2000 2000 7800]
expensive = [7800 7800 10000]
Capacity (Input5)
low = [0 0 20]
medium = [20 20 75]
high = [75 75 100]
VRLA (Output1)
low = [0 0 2.5]
medium = [2.5 2.5 7.5]
high = [7.5 7.5 10]

As it can be seen in Figure 5, the input parameters such as run time, volume, weight, cost and capacity were used to predict the VRLA values. While run time is 6.33 h, volume is 520 L, weight is 1.72e+0.3 kg, cost is 1e+0.4 (USD) and capacity is 57.2 kWh, the VRLA gives us 6.03 h as the run time parameter result. The model output is given in Figure 5. In fuzzy inference system, the intervals are significant to carry out the best fitted prediction of the values. The intervals can be seen above varying between different numerical parameters. Totally 5 inputs and 1 output were used in the study.

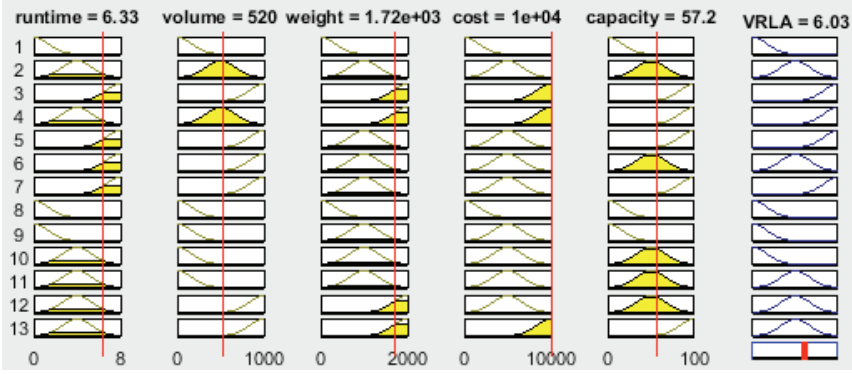



Figure 5. Fuzzy logic rule schematic of predicting VRLA.

Based on the fuzzy inference model, totally 13 different if-then conditions were used in the study. These conditions are varying between low and high or cheap and expensive interval values based on battery powered locomotive parameters. The same model can also be applied for LHD's. According to Figure 5, VRLA values give us good results comparing to the real VRLA data. The use of fuzzy sets to present linguistic terms enables one to represent more accurately and consistently something which is fuzzy. A linguistic variable whose values are words, phrases or sentences are the labels of fuzzy sets.

There are several prediction methods to find out the best fitted models. Fuzzy inference system is one of these techniques to determine the outputs. In this study, fuzzy inference system was used due to the number of input parameters. The output value of VRLA, therefore gives us a good result.

## 4. CONCLUSION

Three modern battery chemistries used for vehicles, VRLA, NaMx and Li-ion, were analysed for their ability to withstand the harsh environmental conditions found in underground mines. Batteries should be able to operate safely and efficiently to be considered adequate for use in mining vehicles. It was found that locomotives and LHD vehicles could be adapted to run on battery power. Since no examples of battery powered locomotives and LHDs were found in literature, the volume engine compartment was determined for a standard Caterpillar model LHD vehicle and Brookville locomotive. Based on comparison of VRLA, NaMx and Li-ion using runtime, volume, weight, cost and capacity parameters, fuzzy logic inference technique was applied and investigated to predict the outputs. Further investigation would be helpful to improve the reliability of the fuzzy inference system using real data from light duty underground mining vehicles. Using the fuzzy inference system in this study gives us a good result to predict the VRLA parameter.

## REFERENCES

Alvarez Grima, M., Babuska, R. 1999. Fuzzy Model for the Prediction of Unconfined Compressive Strength of Rock Samples, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36, pp. 339–349.

Alvarez Grima, M. 2000. Neuro-Fuzzy Modeling in Engineering Geology, Rotterdam, A.A. Balkema. 244 p.

Bhattacherya, I., Dunn, P., Eger, T. 2006. Development of a New Operator Visibility Assessment Technique for Mobile Equipment, Journal-South African, pp. 87–92.

Buchan, G., 1998. Long Panels for Longwall Mining at Cyprus Twentymile Coal, Min. Eng., pp. 21–27.

Demuth, H., Beale, M., Hagan 2005. M. MATLAB Version 7.3.0: Fuzzy Logic Toolbox for Use with Matlab, The Mathworks.

Finol, J., Guo, Y.K., Jing, X.D. 2001. A Rule Based Fuzzy Model for the Prediction of Petrophysical Rock Parameters, Journal of Petroleum Science and Engineering, 29, pp. 97–113.

Gokceoglu, C. 2002. A Fuzzy Triangular Chart to Predict the Uniaxial Compressive Strength of Ankara Agglomerates from their Petrographic Composition, Engineering Geology, 66, pp. 39–51.

Gokceoglu, C., Zorlu, K. 2004. A Fuzzy Model to Predict the Uniaxial Compressive Strength and Modulus of Elasticity of a Problematic Rock, Engineering Application of Artificial Intelligent, 17, pp. 61–72.

Hustrulid, W.A. 1982. Underground Mining Methods Handbook.

Miller, A., Barnes, D. 2002. Advanced Underground Vehicle Power and Control Fuelcell Mine Locomotive, Proceeding US DOE Hydrogen Program Review, pp. 1–7.

Nieto, A. 2011. Key Deposit Indicators (KDI) and Key Mining Method Indicators (KMI) in Underground Mining Method Selection, Trans. Soc. Mining, Metall. Eng. 328, pp. 381–396.

Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. 2003. A Mamdani Model to Predict the Weighted Joint Density, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2773, pp. 1052–1057.

Schatz, R., Nieto, A., Dogruoz, C., Lvov, S. 2015. Using Modern Battery Systems in Light Duty Mining Vehicles, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 29:4, pp. 243-265,

Sonmez, H., Gokceoglu, C., Ulusay, R. 2003. An Application of Fuzzy Sets to the Geological Strength Index (GSI) System Used in Rock Engineering, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16, pp. 251–269.

Tutmez, B., Hatipoglu, Z. 2007. Spatial Estimation Model of Porosity, Computers and Geosciences, 33, pp. 465–474.

# AMASRA DİK DAMAR MEKANİZASYON SİSTEMİNİN TANITIMI VE ZONGULDAK HAVZASINDA UYGULANABİLİRLİĞİ

## *THE INTRODUCTION OF AMASRA STEEP SEAM MECHANIZATION SYSTEM AND ITS APPLICABILITY IN ZONGULDAK REGION*

**Fazıl Karaküp**[*]
*Türkiye Taşkömürü Kurumu, Amasra TİM, Zonguldak*

**Nuri A. Akçın**
*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Bu çalışma; Zonguldak Havzası, TTK Amasra Müessese müdürlüğü tarafından, 2013 yılında uygulanmaya başlanan dik damarlarda mekanizasyon projesi ele alınmıştır. Mekanizasyon uygulanan ayak ile klasik ayak karşılaştırılması yapılmıştır. Uygulama esnasında karşılaşılan sorunlar ve sistemin dik damarlarda başarılı olup olmadığı, yapılan çalışma ışığında kuruma ve havza madenciliğine sağladığı faydalar incelenmiştir.

**ABSTRACT** In this paper, Zonguldak Basin, TTK Amasra Directorate of Administration, the vertical veins began to be implemented in 2013, the mechanization project was discussed. Classic foot comparison was made with mechanized foot. The problems encountered during the application and whether the system was successful in vertical veins or not, the benefits of mining to the institution in the work done are examined.

[*] *fazilkarakup@hotmail.com*

## 1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde birçok üretim yöntemi mevcuttur. Üretim yöntemini belirleyen en önemli etkenlerin başında çalışan damarın jeolojik ve jeoteknik özellikleri gelir. Bu etkenler göz önüne alınarak, işletme için en düşük maliyet ile en yüksek verimi sağlayacak kazı sistemleri seçilir. Günümüzde, teknolojideki gelişmelere bağlı olarak mekanize kazı sistemlerinin madencilik faaliyetlerinde kullanımı oldukça önem kazanmıştır.

Yeraltı üretim yöntemlerinde mekanizasyonun kullanımı arttıkça üretim artmakta ve randımanlar gelişmektedir. Dolayısıyla, az sayıda ocaktan yüksek miktarda üretim yapmak mümkün olmaktadır. Türkiye, yeraltı kömür madenciliğinde hazırlık ve üretim işlerinde mekanize kazı yöntemlerinin kullanımı sınırlı kalmıştır (Yaralı ve Akçın 2003).

TTK Amasra Taşkömürü Müessesinde, dik damar panolarında, kara tumba, pnömatik patlatma ile göçertme sistemi yaygın olarak kullanılmıştır. İşletme, dik damarların üretiminde göçertme yöntemi kullanarak birçok hazır panoyu bitirmiştir.

Amasra kömürleri, yangına müsait olmaları (kendinden yanma) ve gaz içerikleri açısından metan problemi olan ocaklardır. Bu panolarda karşılaşılan sorunlardan en büyüğü, göçertme esnasında tavan ve yan kayaçların kömüre karışması ve kömür randımanını düşürmesidir. İkinci sorun ise panonun hızlı bir şekilde ilerleyememesi sonucu oluşan, damarın kendinden yanmasıdır. Bu şekilde birçok pano bekleme barajları ile kapatılmış, oksidasyon durduktan sonra tekrar üretime açılmıştır. Üretim terminine göre bitmesi gereken panolar zamanında bitirilememiş ve ileri zamanlı yapılması gereken hazırlık çalışmaları termininde aksamalar olmuştur.

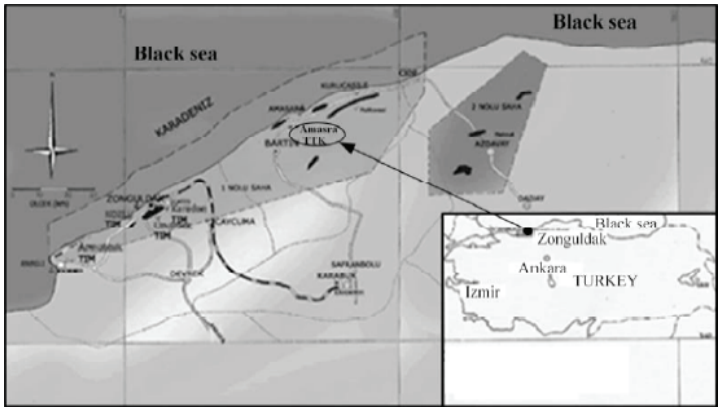
TTK Genel Müdürlüğü son 7 yıldır, PAÜ (Pano Ayak Üretim) işçisi almamakta ve kurumdaki işçi sayıları her geçen gün azalmaktadır. Hükümet politikaları gereği TTK ile ilgili, kurum idarecileri de önlerini görememektedir. Kurumun zarar eden yapısı işçiliğe ve üretim yöntemlerine bağlanmış, az işçi ile çok kömür çıkartmak ön plana çıkmıştır. 2012 yılı ağustos ayında, "Amasra Taşkömürü İşletme Müessesesi Mekanize Ayak Teçhizatı'' alımı ile ilgili sözleşme imzalanmış ve dik damarlarda mekanizasyon projesi gündeme gelmiştir. Mekanizasyon projesi 10.04.2013 tarihinde Tavan Damar Ayak'ta uygulamaya başlanmıştır. Sırası ile kalın damar, taşlı damar ve alt taşlı damar panoları bitirilerek üretim sonlandırılmıştır.

Ülkemizde yeraltı kömür madenlerinde yaşanan iş kazaları ile ilgili yapılan araştırmalarda yaşanan kazalar, üretim sürecinde meydana gelen aksaklıklar nedeniyle sıklıkla karşımıza çıkmaktadır (Akkaya 2001). Kurumda iş kazalarının azaltılması ya da önlenmesi için mekanizasyon projesi çok önemlidir. Klasik ayak üretiminde tavan kontrolü ağaç tahkimat ve domuz damları ile yapılırken, mekanize ayakta bu tamamen, hidrolik direkli kalkan tahkimatlar ile yapılmaktadır.

## 2. JEOLOJİK BİLGİLER VE DAMAR ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Çalışma Sahasının Jeolojisi

Zonguldak'tan 90 km uzaklıkta olan Amasra Müessesi, 49 km$^2$'lik bir alana yayılmış olup üretim ve ilerleme çalışmaları, yüzeyden 400 m derinliğe doğru sürdürülmektedir (Şekil 1). Amasra müessesesinde çalışılan kömür damarları Westfalien C serisinde yer almaktadır. Tektonik nedenlerden dolayı, bu damarların doğrultu ve eğimleri düzenli olmamaktadır. Bu nedenle de, sahanın üretimi yapılacak şekilde planlanması ve üretimin gerçekleştirilmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Damarların doğrultu ve eğimleri kısa mesafelerde değişkenlik gösterdiğinden, oluşturulan pano boyları da düşük tutulmaktadır. Amasra özelinde; Tavan, Kalın ve Taşlı olmak üzere üç kömür damarı bulunmaktadır (Özfırat 2012).




Şekil 1. Amasra müessesesinin konumu (Özfırat, 2012).

### 2.2. Damar Özellikleri

Amasra havzasındaki kömür damarları sert bir yapıda olduğundan, patlatma yapılarak kazılmaktadır. Damarların sert olması nedeniyle; üretim yöntemi ve uygun makine seçiminde, Çizelge 1 ve Çizelge 2'deki sınıflandırma değerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. Amasra kömür damarları mekanik dayanımları (Bilgin 1988).

| **Mekanik Dayanımlar** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| DAMAR | Schmidt Çekici (N) | Sınıflama | Darbe Dayanımı | Sınıflama |
| Tavan | 45 | Çok Sert | 73 | Çok Sert |
| Kalın | 41 | Çok Sert | 72 | Çok Sert |
| Taşlı | 42 | Çok Sert | 69 | Sert |

Çizelge 2. Damarların basınç dayanımları (Bilgin 2010).

| DENEY | DENEY SAYISI | DEĞER +/- ss (*) | YORUM |
|---|---|---|---|
| Darbe Dayanımı | 10 | 74+/-1,6 | Basınç Dayanımı 49 MPa |
| Schmidt Çekici (N) Tipi | 10 | 50+/-9 | Deneyler yerinde yapılmıştır |
| Koni Delici İndeksi | 10 | 2.14+/-0,2 | Basınç Dayanımı 53 MPa |
| Shore Scleroscope | 60 | 85+/-9 | 7x7x7 cm küp numune |
| Nokta Yük İndeksi (MPa) | 6 | a) 0,56 MPa<br>b) 1,93 MPa | a)13,5 MPa<br>b)46,2 MPa |
| Basınç Dayanımı | 3 | 14.1 MPa | basınç dayanımı vermektedir 5,1x10,1 boyutlarında |
| Çekme Dayanımı | 10 | a) 0,57+/- 0,2 MPa<br>b) 0,2+/-0,1 MPa | Numuneler farklı görünümde<br>B numunesi açık renk bantlı |

## 3. ÜRETİM PANOLARINDA KULLANILAN MAKİNALAR

Klasik uzun ayak çalışmalarında üretimde; patlayıcı madde, martopikör, kazma kürek ve ağaç tahkimat kullanılmaktadır. Ayak içinde kömür nakliyesi ise zincirli olukla ile nakledilmektedir. Ayak boyları 50-100 m civarında olup, pano boyları ise 200 m civarındadır. Her vardiya üretim yapılamamakta, tahkimat ayrı vardiyada yapılmak zorundadır. Dolayısıyla ilerleme hızı yavaştır. Kazmacı randımanı mekanize ayaklara göre çok düşüktür.

Mekanizasyon uygulanan uzun ayak kömür madenciliğinde klasik olarak başlıca iki kazı makinası kullanılmaktadır. Bunlar, saban ve kesici yükleyicidir. Sabanlı kazı uygulamasında en önemli rolü damar kalınlığı ve kömürün sertliği oynamaktadır. İnce ve az kalın damarlar kesici yükleyicilere tamamen kapalı gibidir. Yapılan araştırmalar 1,5 m'den daha ince damarlarda sabanlı kazının mutlak avantaj sahibi olduğunu ortaya koymuştur. 2,20 m'nin üzerindeki damar kalınlıklarında ise kesici-yükleyiciler mutlak hakimiyet kurmuşlardır.

Sabanlı kazının en büyük olumlu yanı daha az yatırım gerektirmesidir. Üretilen kömürün iri parçalı oluşu ve daha az toz ve gaz çıkışının oluşmasına yol açması da keza ihmal edilmeyecek avantajları arasındadır (Akçın 2000). Olumsuz yönü ise, tahkimatla, kesici-yükleyicilerde olduğu kadar iyi bir uyum sağlayamamakta ve tahkimat gecikmelerine yol açmaktadır. Sabanın ayak içinde kazı sırasında idaresi büyük bir sorundur. Bu durum özellikle, jeolojik arızaların bulunduğu ayaklarda kesin olarak açığa çıkmaktadır. Bir diğer olumsuz taraf ise, kalın damarların kazısında damarın üst kısmından düşen iri kömür bloklarının yarattığı sorunlardır (Akçın 2000).

### 3.1. Sabanlar

Üretim panolarında kullanılan sabanlar daha çok kalınlığı 2,0 m'nin altındaki damarlarda uygulanmaktadır. Ayak boyları 300 m civarındadır. Türkiye'de ilk saban uygulaması Ereğli Kömür İşletmeleri (EKİ) Gelik Bölgesi'nde, daha sonra da TKİ OAL Çayırhan Linyit Kömür İşletmelerinde uygulanmıştır. İstenilen randıman alınamadığı için sabanla kömür kazısı uygulamasına son verilmiştir. Günümüzde, ülkemizde sabanla üretim yapılmamaktadır.

### 3.2. Kesici-yükleyici Makinalar

Kesici-yükleyici makinalar ise, hem kesme hem de yükleme yapabilen makinalardır. Genellikle tek ya da çift tamburlu olurlar. Kesilen kömür taşıyıcı sistemler ile pano içinden nakledilir. Kalınlığı 2,0 m'nin üzerindeki damarlarda ve uzun panolarda tercih edilirler. Ağır ve montajı zordur. Dik damarlarda ve tektonik arızanın çok olduğu panolarda tercih edilmezler. Tam mekanize ayakların boyları 300-350 m (Bu bilgi kontrol edilmeli 350 m ayak boyu bildiğim kadarıyla yok! Hedeflenen değer olabilir belki teknolojik gelişime bağlı olarak) ve pano uzunlukları koşullara göre 600-1500-3000 m (3000 m yine hedeflenen değer olabilir) civarında olabilir (Akçın 2000). Türkiye madenciliğinde 250 m. ayak boyu, Almanya ve diğer bölgelerde 300-350m ayak boyu olduğu bilinmektedir. 350m ve 3.000 m hedeflenen değer değildir.

### 3.3. Dik Damarlarda Uygulanan Mekanizasyon Makinaları

Dik damarlarda uygulanan birçok mekanize üretim sistemi vardır. Bunlardan birisi de havzada denenmiş olan ANŞ sistemidir. ANŞ sistemi, kalkan tipi yürüyen tahkimatlı bir kazı ünitesidir. Kalınlığı 0,7-2,2 m arasında değişen 35°-90° eğimli damarlarda uygulanmaktadır. Ani gaz ve kömür degajı beklenen, tavan ve taban taşları oldukça çürük olan damarlarda, yan kayaçları kalkan tahkimatla kontrol altına alarak, kazıyı damarın dalımına paralel dilimler (kısa taban ayak) halinde yapacak şekilde geliştirilmiş mekanize bir kazı ünitesidir.

Dik damarlarda kullanılan diğer makinalarda, yine kesici tambur sistemi ve hidrolik kalkan tahkimat kullanılarak ilerleme yapılır. Ayak içinde taşıyıcı ünite kullanılmaz. Vinç sistemi ile kesici kafa yukarı çekilir, kazılan kömür ise yerçekimi etkisi ile alt taban yoluna gönderilerek, konveyör sistemleri ile taşınır. Amasra bölgesinde uygulanan ve randıman alınan sistem bu şekilde çalışmaktadır (Şekil 2).

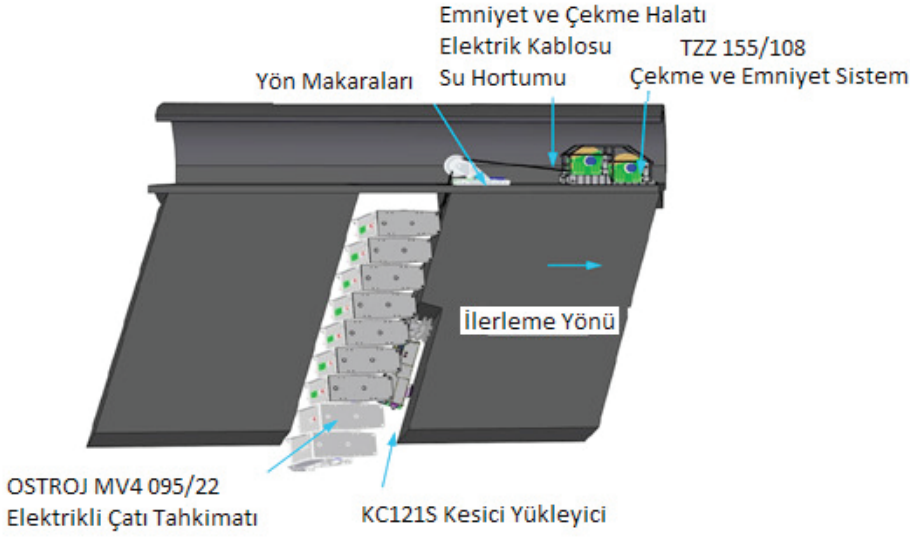
## 4. DİK DAMAR KAZI MEKANİZASYONUNDA KULLANILAN EKİPMANLAR VE ÖZELLİKLERİ

TTK Amasra işletmesinde kullanılan sisteme bakıldığında, kesici tambur ile kömür kazılmaktadır. Tavan tahkimatı, ayak boyunca hidrolik kalkan tahkimatları ile sağlanmaktadır. Kesici tambur vinç vasıtasıyla keserek ayak başına çekilmekte, kazılan kömür yerçekimi etkisi ile ayak dibine akmaktadır. Eğim arttıkça kömür

kolay akmakta, eğim azaldıkça insan gücü kullanılarak kömür akıtılmaktadır. Ayak eğimi 42° altında olması halinde kömür naklinde aksama olduğundan günlük üretimin, zaman kaybından dolayı etkilenme ihtimali vardır. Çizelge 3'te kullanılan ekipmanların genel özellikleri belirtilmiştir.

Şekil 2. TTK'da kullanılan mekanize kazı sistemi.

Üst taban yoluna yerleştirilen vinç sistemi, saptırma makarası ve kesici makinanın kesim yönü, üretim yapılacak panonun kazı yönüne göre belirlenir. Şekil 3'te örnek bir pano yerleşim planı görülmektedir.




Şekil 3. Mekanize ayak çalışma sistemi.

Çizelge 3. Mekanize teçhizatların genel özellikleri.

| **Teçhizat** | **Ağırlık (Kg)** | **Boyut (mm)** | **Diğer** |
|---|---|---|---|
| Kesici Yükleyici KC 121S | 9.000 | Yükseklik : 4.985<br>Genişlik : 946<br>Boy : 1.232 | Motor Gücü : 120 kW<br>Tambur çapı : 1100 mm<br>Devir : 65,25 devir/dakika |
| Kalkan Tahkimat (Şilt-Roof Support ) MV4 095/22 | 3.850 | Yükseklik :2.200<br>Genişlik :1.200<br>Boy : 3.800 | Min. Yükseklik : 950mm<br>Minimum Çalışma Yüksekliği :1100mm |
| Hidrolik Güç Ünitesi | 4.600 | Yükseklik : 980<br>Genişlik : 1.135<br>Boy : 5.360 | Max. Basınç : 460 bar<br>Min. Basınç : 260 bar<br>Max. Çalışma Basıncı : 340 bar |
| Vinç Tambur | 2.000 | Yükseklik : 1.582<br>Genişlik : 1.828<br>Boy : 3.840 | Motor Gücü : 55 kW<br>Vinç Hızı : 0,43-12,2 m/dak |
| Vinç Kontrol Ünitesi | 2.005 | Yükseklik : 1.846<br>Genişlik : 1.030<br>Boy : 3.390 | Motor Gücü : 55 kW |

## 5. TTK AMASRA İŞLETMESİNDE UYGULAMA YAPILAN PANOLAR

### 5.1. -236/-300 Kuzey-Doğu Tavan Damar Panosu

Bu panoda uygulamaya başlanmasına rağmen, ayak içindeki 4 fay nedeniyle fazla çalışılmamış ve kalın damar panosunda çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir. Daha çok, kömür üretimi (kesim), tahkimat ötelemesi, montaj ve demontaj çalışmaları yapılmış, çalışanlar için teorik eğitimin yanında pratik eğitim verilmiştir. 29 iş günü içinde 18,5 m ilerleme yapılarak, fay geçişlerindeki sert formasyonlar geçilmiş, 3 m'lik atımlarda tahkimatlar ilerletilmiştir.

### 5.2. -242/-300 Kuzey-Doğu Kalın Damar Panosu

Kalın damar panosu pano boyu 250 m, ayak boyu 72 m ve damar eğimi 45°'dir. Rezerv 65.500 tondur. Nakliyat olarak, alt taban yolunda 2 adet zincirli konveyör ve 9 adet bant konveyör kullanılmıştır.

Kalın damar panosunda üretim 09.09.2013 tarihinde başlanmış olup, 08.02.2014 tarihinde ayak arkasında oluşan, kömür yanması dolayısı ile ara verilmiştir. Pano bekleme barajlarından kapatılmış, baraj arkası CO değerleri takip edilmiş, kömür

yanması ve oksidasyon bittikten sonra, 15.12.2014 tarihinde tekrar üretime başlanmıştır. 08.02.2015 tarihinde üretim bitirilmiştir. Toplamda 186 iş günü çalışılmış, 57.806 ton üretim yapılmıştır. Günlük ilerleme 1,2 m olmuştur.

### 5.3. -248/-300 Kuzey-Doğu Taşlı Damar Panosu

Taşlı damar panosu pano boyu 250 m, ayak boyu 82 m ve damar eğimi 38°'dir. Rezerv 65.450 tondur. Nakliyat olarak, alt taban yolunda 5 adet zincirli konveyör kullanılmıştır. Ayak içine 58 adet kalkan tahkimat kurularak montaj bitirilmiş ve 12.10.2015 tarihinde üretime başlanmıştır. 30.04.2016 tarihinde üretim bitirilmiş, toplamda 140 iş günü çalışılmıştır. Panodan 55.458 ton üretim yapılmıştır. Günlük ilerleme ortalama 1,6 m olmuştur. Ayak içinde günlük 31 kişi çalışmış, ayak içi çalışan başına üretim 12,7 ton olmuştur.

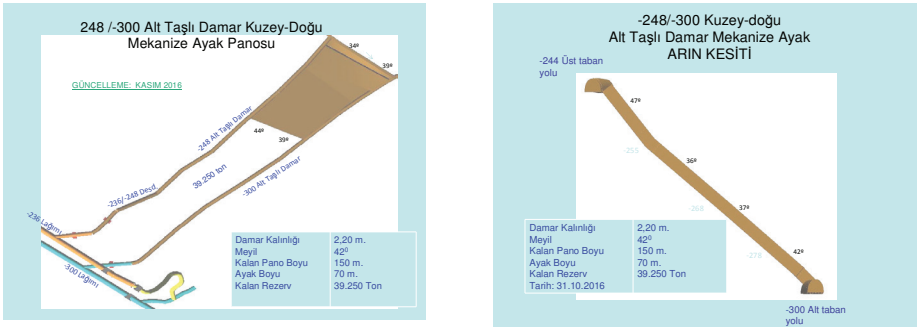
### 5.4. -248/-300 Kuzey-Doğu Alt Taşlı Damar Panosu

Alt Taşlı damar panosu pano boyu 250 m, ayak boyu 70 m ve damar eğimi ortalama 40°'dir. Şekil 4'te pano üç boyutlu gösterilmiştir. Rezerv 65.000 tondur. Nakliyat olarak, alt taban yolunda 6 adet zincirli konveyör kullanılmıştır. Ayak içine 58 adet kalkan tahkimat kurularak montaj bitirilmiş ve 10.06.2016 tarihinde üretime başlanmıştır. 30.12.2016 tarihinde üretim verilerine göre, toplamda 120 iş günü çalışılmıştır. Panodan, ayak başından 151 m ilerleme yapılarak, 42.621 ton üretim yapılmıştır. Günlük ilerleme ortalama 1,25 m olmuştur. Ayak içinde günlük 36 kişi çalışmış, ayak içi çalışan başına üretim 9,86 ton olmuştur. Bu ayakta eğim farklılık göstermekte olup, ayak içinde bazen 34° lik eğimler vardır. Kesilen kömür ayak içinden kolay akmamakta ve yer yer sabit oluklar yerleştirilmiştir. Ortalama 30 adet oluk, tahkimatlar içinde hazır bekletilmiş ve kesim esnasında kazıya ara verilerek oluk dizilmiştir. Kazılan kömür oluklara atılarak alt taban yoluna gönderilmiştir.

Ayak ilerledikçe ayak başı eğimi 15 m'lik kısımda yükselme göstermiştir. Tahkimatların tavan sıktırmasında problem yaşanmış ve tavan bölgesine ağaç dolgusu yapılarak bu problemli bölge geçilmiştir. Şekil 4'teki kesitten de görüleceği üzere ayak başı eğimi 45° üzerindedir.

01.01.2017 tarihinden sonra, ayak içindeki kesici iptal edilmiş, kazı işlemi delme-patlatma ile yapılmıştır. Tahkimat sistemi değiştirilmeden, her tahkimatın karşısına delikler delinerek, dinamit kullanılmış ve martopikör ile kazı işlemi bitirilmiştir. İki vardiya olarak, ortalama 25 tahkimatta delikler hazırlanmış ve üretimi gerçekleşmiştir. Bu şekilde günde 1 have üretim yapılmıştır. 07.04.2017 tarihinde ilk tahkimat ayak başına alınarak, 18.084 ton üretim yapılmıştır. Kalkan tahkimatlar ve delme-patlatma yöntemiyle 54 m ilerleme yapılmış ve pano bitirilmiştir. Günlük ilerleme 0.77 m ye düşmesinin nedeni, deliklerin hazırlanması, patlatma yapılması ve üretilen kömürün alınmasından kaynaklanmaktadır.

10.04.2017 itibari ile Mekanize teçhizatın demontaj çalışmaları başlamış, 19.04.2017 tarihinde ayak boşaltılmıştır. Demontaj işlemleri 8 işgünü sürmüştür. Mekanize sistem, başka bir panoda kullanılmak üzere bakımları yapılarak ilgili panoya gönderilmiştir.




a b

Şekil 4. -248/-300 Alt Taşlı damar kuzey-doğu. a - mekanize ayak panosu ve b-kesiti.

## 6. UYGULAMADA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Pilot bölge olarak seçilen Amasra işletmesinde kömür sert olduğu için dinamit atılarak kazı yapılmaktadır. Kömürün sert olması kazı performansını olumsuz etkileyeceği düşünülmüştür. Ancak; kesici makinanın gücü ve kullanılan kesici uçlar kazı performansını olumsuz etkilememiştir. Amasra kömür damarlarının kendiliğinden yanma özelliğinden dolayı daha önceki yıllarda birçok panoda üretim durdurulmuştur. Mekanizasyon panolarında ise, dikkatli bir şekilde ayak başı ve arkası izlenmiştir. Ayak arkası göçük bölgesine haftada 2-3 kez Azot-Köpük uygulaması yapılmıştır. Bu sayede CO değerleri 6-8 ppm aralığında seyretmiş ve panolar bitirilmiştir.

Pano içindeki küçük fay atımları, tahkimatların ötelenme süresini biraz artırmıştır. Tavan taşının sağlam olmadığı bu bölgelerde şiltlerin tavana sıktırılması için yer yer ağaç tahkimat malzemeleri kullanılmıştır. Kalkan tahkimatların ön kısmında, kazılan bölgeyi ve tavanı geçici tahkim edecek kapak sistemi olmaması kazı süresini artıran faktör olmuştur. Dolayısıyla ilerleme hızını olumsuz etkilemiştir.

Ayak içinde üretim esnasında, toz oluşumuna karşı her ne kadar, tambur kesici uçlarda su fisketeleri mevcut olsa da ilave önlem olarak ayak içine sondaj yapılarak su enjeksiyonu yapılmaktadır. Üst taban yolundan, 10 m aralıklarla yapılan sondajlardan damar içine basınçlı su verilerek hem kömürün sertliği azalmakta, hem de toz ile mücadele yapılmaktadır. Bu işlemler de zamanı olumsuz etkilemektedir.

Ayak dibinde bulunan kesici makinenin gireceği cep 6 m önden gitmek zorundadır. Bu cep klasik olarak çalışmakta, 6 m'lik açıklık günlük ilerlemeden az olmamalıdır. Ayak başı tahkimatını sağlamlaştırmak ve demir bağ sökümü gibi işler de eş zamanlı yapılmaktadır.

Elektrik kesintileri, haberleşme arızaları, günlük ve haftalık bakımlar, mekanik aksam kaynaklı arızalar olmaktadır. Bu arızalar bazen 1 vardiyayı bulmuştur. Zaman içinde arızaları erken tespit etme, tamir etme, yedek parça stoklarının belirlenmesi gibi alanlarda, personel hız kazanmıştır. Gün geçtikçe tecrübe kazanılmakta ve daha az zaman kaybı olmaktadır.

## 7. KARŞILAŞTIRMA

Dik damar mekanizasyon panosu, Amasra işletmesinde bulunan Tavan Damar Klasik ayak ile karşılaştırıldığında, kömür yapısı benzer özellik taşımaktadır. Her iki kömür damarı da Westfalien C serisi olarak geçmektedir. Karşılaştırma yapılan klasik ayak panosu içinde, kömür nakli için taşıyıcı zincirli konveyör bulunmaktadır. Tahkimat malzemesi, ayak başında stoklanmakta, pano üç vardiya çalışmaktadır.

Tavan Damar Klasik Ayak'ta 4,5 ton/yev olan randıman, Mekanize ayaklarda 12 ton/yev civarındadır. Ayak ilerleme hızına bakıldığı zaman, klasik ayak, bir vardiyayı tahkimata ayırmaktadır. Aynı işçi sayısı ve ayak boyu ile 4 günde 1 have ilerleme yapabilmektedir. Mekanize ayakta ise tahkimat vardiyası yoktur. Kesim yapıldıktan sonra tahkimat ötelemesine geçilmektedir. Sadece bakım ve arızalarda üretim durmaktadır. Pano rezervi, klasik ayakta 14 ay'da biterken, mekanize ayakta 5 ay'da bitmektedir (Biçer 2013). Çizelge 4'te Tavan damar ayakta yapılan üretimin çalışmaları izlenmiştir. Bu ayakta her türlü arızaların süreleri tutulmuş, kömür kesim süresi, bakım süreleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 4. Üretim yöntemlerinin pano bazında karşılaştırılması (Biçer 2013).

| **Parametre** | **Klasik Uzunayak** | **Mekanize Uzunayak** | **Mukayese** |
|---|---|---|---|
| İşçi Sayısı (Kişi) | 90 | 27 | (- )3,6 kat daha az işçi |
| Günlük Üretim (ton) | 208 | 600 | (+)2,8 kat daha fazla üretim |
| Pano Ayak Üretim Randımanı (Kg/Yevmiye) | 2.171 | 9.111 | (+) 4,2 kat artmıştır |
| Genel İşçilik Randımanı (Kg/Yevmiye) | 1.358 | 2.264 | (+) 1,7 kat artmıştır |
| Pano Ömrü (Ay) | 14 | 5 | (+)2,8 kat daha hızlı ilerleme |
| Maliyet (TL/ton) | 95 | 18 | (-)5,3 kat daha düşük maliyet |

Mekanize ayakta, ayak dibinde bulunan 6 m'lik cep sarma için patlayıcı madde kullanılmaktadır. Klasik ayakta her bir sarmada dinamit atılarak üretim

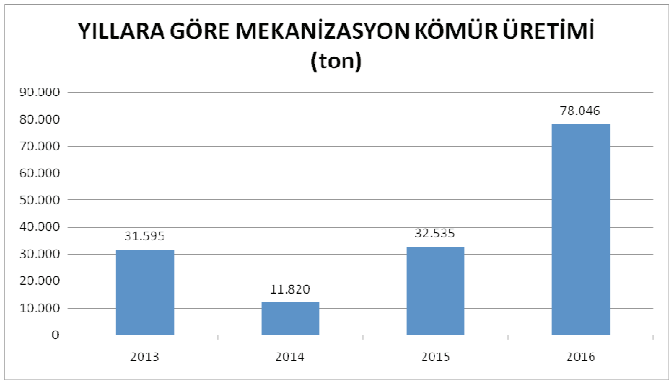
yapılmaktadır. 72 m'lik, 18 sarmalık bir ayak ile karşılaştırıldığında, klasik ayakta, mekanize kazıya göre 15 kat daha fazla patlayıcı malzeme kullanılmaktadır. Dolayısıyla patlayıcı madde sarfiyatı yok denecek kadar azdır.

Ağaç Malzeme sarfiyatı ise Mekanize ayakta yine çok azdır. Tahkimat sistemi hidrolik direkli, kalkan tahkimat olduğu için, ağaç malzeme sıklıkla cep sarmada, nadiren kalkan tahkimatın tavan dolgularında ve bazı ilave tahkimatlarda kullanılır.

Amasra Müessese Müdürlüğünde uygulanan sistemde kömür üretiminde artışlar olduğu görülmüştür. Çizelge 5 ve Şekil 5'te görüldüğü üzere, üretimde her yıl artış olduğu, sadece 2014 yılında pano hazırlığı yapıldığından üretim yapılmadığı görülmektedir. Havzada uygun seçilecek makine ve tahkimat sistemi ile üretimde artma olacağı kanaatine varılmıştır.

Çizelge 5. Mekanize kazı ile yapılan üretimler 2013-2016 (TTK 2016).

| Üretim Yılı | Üretim (Ton) |
|---|---|
| 2013 | 31.595 |
| 2014 | 11.820 |
| 2015 | 32.535 |
| 2016 | 78.046 |
| **Toplam** | **153.996** |




Şekil 5. Mekanize kazı ile yapılan üretim raporları 2013-2016 (TTK 2016).

## 8. SONUÇ

Kurumda daha önceleri Gelik İşletmesinde saban ve Kilimli İşletmesinde ANŞ kazı sistemi uygulamaları başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Pilot bölge seçilen Amasra işletmesinde uygulanan Dik damar mekanizasyon projesi, kurumun gelecek kaygılarını azaltmış, yeni panolar hazırlama ve mekanizasyona geçiş yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Uygulama yapılan Amasra bölgesinde, uygulanan

mekanizasyon çalışmaları sonucunda, TTK geniş bir deneyim sahibi olmuş ve kurumun bundan sonraki yapacağı tam mekanizasyon çalışmaları için yeteri bilgi ve birikime sahip olmuştur.

Kurumun az işçi sayısı ile daha fazla kömür üretme politikasına destek olmuş, normalde yavaş ilerleyen ve geç biten panolar daha hızlı bitirilmiş ve kömür ülke ekonomisine daha hızlı bir şekilde kazandırılmıştır. Kömür üretimi klasik ayağa göre 2,5 kat artmıştır. Kazmacı randımanı klasik ayağa göre 4 kat artmıştır. Ayak içinde çalışan sayısında ise yarıdan fazla düşüş olmuştur. Patlayıcı madde, ağaç direk ve tahkimat malzemesinde sarfiyat azalmıştır. Enerji giderlerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Üretim maliyetlerinde 5,3 kat azalma meydana gelmiştir. Hidrolik kalkan tahkimat sayesinde ve kazının makine ile yapılmasından dolayı ise iş kazası sayısı geçmiş yıllara göre azalmıştır.

## KAYNAKLAR

Akçın, N.A. 1991. ANŞ Dik Damar Mekanizasyon Sisteminin Tanıtımı ve Zonguldak Havzasında Uygulanabilirliği, Madencilik Dergisi, 3, Zonguldak.

Akçın, N.A. 2000. Maden Makinaları Ders Notları (Yayınlanmamış), ZKÜ Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, Zonguldak, 211 s.

Akkaya, S. 2001. Maden Sektöründe Risk Faktörleri, Türk Tabipler Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 5, s. 38-42.

Biçer, N. 2014. 4. Tünelcilik Kısa Kursu, Zonguldak.

Bilgin, N. 1988. Amasra Karbonifer Havzasındaki Damarların Mekanik Dayanımları Açısından Sınıflandırılması, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, s. 411-425.

Bilgin, N. 2010. Amasra Kömür Havzası (TTK) Kalın Damar Kömür Numuneleri Analiz Sonuçları.

Özfırat, M.K. 2012 A Fuzzy Method for Selecting Underground Coal Mining Method Considering Mechanization Criteria. Journal of Mining Science, 48, 3, pp, 533-544.

TTK, 2016. Amasra Müessesesi Mekanizasyon Raporları, 2013-2016 derleme, Bartın.

Yaralı, O., Akçın, N.A., (2003) Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kazı Makinaları, İş Makinaları Sempozyum ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul

# TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU'NDA GALERİ İLERLEMELERİNDE KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNASI KULLANIMININ ANALİZİ

# *ANALYSIS OF THE USE OF ROADHEADER IN DRIVING THE GALLERIES AT TURKISH HARDCOAL ENTERPRISES*

**Olgay Yaralı[a,*], Utku Sakız[a], Haşim Duru[a], Hamit Aydın[a], Okan Su[b], Melih Geniş[a]**

[a]*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

[b]*Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Bu bildiride öncelikle, Türkiye Taşkömürü Kurumu'nda (TTK) taşta yapılan ilerlemeler genel olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra, havzada galeri açma makinası kullanımı ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan çalışmalar verilmiştir. Ayrıca, laboratuvar çalışmaları kapsamında üç farklı müessesedeki (Karadon, Üzülmez, Kozlu) kömür çevre kayaçlarına ait tek eksenli basınç dayanımı ve Cerchar aşınma indeks deney sonuçları verilmiştir. Son olarak TTK galerilerinde muhtemel kullanılabilecek kollu galeri açma makinası ve performansının tahmin edilmesi ile ilgili önerilerden bahsedilmiştir.

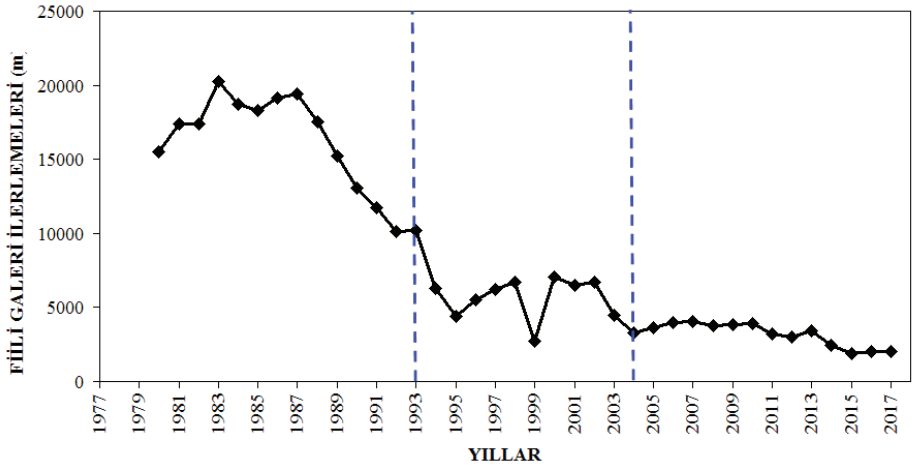
**ABSTRACT** In this paper, firstly, advance rates in coal measures at the TTK are evaluated in general. Then, the studies carried out so far in the Basin concerning the use of roadheaders are presented. In addition, uniaxial compressive strength and Cerchar abrasivity index test results of the coal measures rocks in three collieries of TTK, namely Karadon, Üzülmez, are given. Finally, recommendations with respect to possible use of a roadheader in the TTK galleries and prediction its performance are reported.

[*] *oyarali67@gmail.com*

## 1. GİRİŞ

170 yıllık kömür üretim kültürüne sahip olan Zonguldak Havzası'nda galeri açma çalışmaları her zaman sorun olmuştur. Bugüne kadar tüm ana taşta sürülen galerilerin ve taban yollarının sürülmesinde delme+patlatma yöntemi uygulanmıştır. Havzadaki kömür çevre kayaçlarının %80'ine varan bir kısmını başta kumtaşı olmak üzere konglomera ve kireçtaşı birimleri oluşturmaktadır. Bunun yanında kiltaşı, silttaşı ve çamurtaşı birimlerine de rastlanmaktadır. Özellikle, ilk grupta sayılan birimlerde ilerleme hızları ve randımanlar oldukça düşük olmuştur.

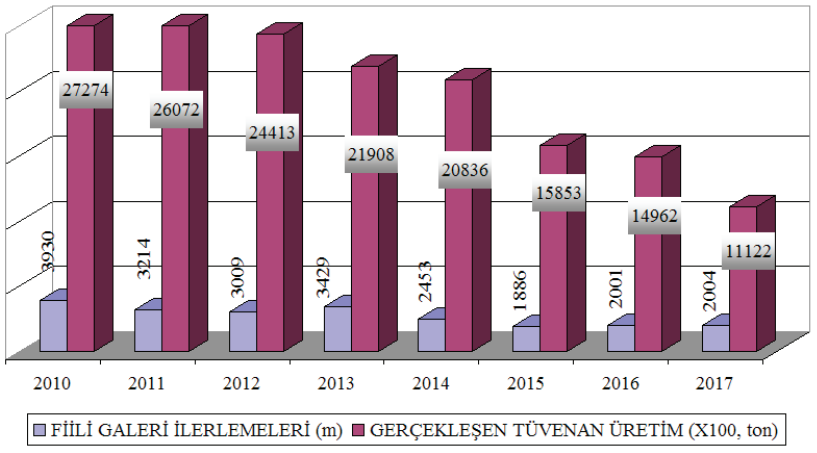
Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), 1970-80'li yıllara kadar delme patlatma yöntemiyle taş içinde yılda 15-20 km ve damar içinde 40-50 km hazırlık çalışmaları yürütürken, bu rakamlar 1993 yılından sonra azalmaya başlamış, 2014 yılından itibaren de yaklaşık 2 km'ye kadar düşmüştür (Şekil 1). Hazırlık galerileri ilerlemelerinin düşmesine paralel olarak tüvenan kömür üretimi de azalmıştır (Şekil 2). Bu durum hazırlıkların zamanda yetişmemesine yol açmış ve yer yer üretim zorlamaları yaratmıştır. Tabi ki, bunda ocakların giderek derinleşmesi ve yaygınlaşmasının yanında kalifiye hazırlık işçilerinin sayısının azalmasının da önemli bir etkisi olduğunu belirtmek yerinde olur (Akçın vd. 2009).




Şekil 1. TTK'da galeri ilerlemeleri (TTK 2017).

TTK, galeri ilerlemelerindeki randımanları yükseltmek ve hazırlıkları hızlandırmak için 90'lı yıllarda bir arayış içine girmiştir. Dünya Bankası'ndan sağlamış olduğu kredi kapsamında basınçlı hava ile çalışan delici ve yükleyicilerin yerine elektro-hidrolik delici (E-H) ve yükleyiciler alınmıştır. Bu makinaların kullanımında aynalardaki (arınlardaki) günlük ilerlemenin 3 m/gün, randımanların da 20 cm/gün düzeyine çıkması hedeflenmiştir. Bu hedeflere ulaşmak amacıyla E-H deliciler için

yeni delik düzenlerinin oluşturulması ve delme+patlatma sisteminin tümüyle değiştirilmesine yönelik araştırma projeleri yaptırılmıştır (ODTÜ 1989). Bu bağlamda E-H delicilerle ilk çalışma Karadon Müessesesi'nde yapılmıştır. 1992 - 1999 yılları arasında E-H delici ve yükleyicilerin beraber kullanıldığı lağımlarda randımanlar en düşük 13.41 cm/yev ve en yüksek 16.82 cm/yev olarak (B14 kesitte) kaydedilmiştir (Yaralı 2000).




Şekil 2. TTK'da 2010-2017 yılları arasında fiili galeri ilerlemeleri ve gerçekleşen tüvenan üretim (TTK 2017).

Daha sonra E-H kullanımında diğer müesseselerde de uygulamaya geçilmiştir. E-H donanımla, delik delme ve posa kaldırma süreleri oldukça kısalmıştır. Ancak, uygun bir patlayıcı kullanılmaması, iyi bir iş organizasyonu yapılmaması, gerekli yardımcı hizmetlerin sağlanamamasından dolayı istenilen hedeflere bir türlü ulaşılamamıştır. TTK'da kullanılan delici ve yükleyiciler, 1989-1991 yılları arasında dünya bankası kredileri ile alınmış olup ekonomik ömürlerini doldurmuşlardır (26-27 yıl). Bu makineler çok sık arıza yapmakta ve bu arızalar birim ilerlemeleri ve galeri ilerleme hızlarını düşürmektedir. Ayrıca tamir ve bakım giderleri de yüksektir (Su 2015).

2016 yılının sonlarına doğru yapılan yatırımlar kapsamında, Karadon müessesesinde (-460 kodundaki B14 kollektör lağımında) ikinci jumbo delme makinesi satın alınmıştır. Ancak, makinanın elektrik kablosunda yaşanan bazı sıkıntılar nedeni ile delici 2017 yılında faaliyete alınabilmiştir. Bir diğer jumbo delicinin kullanıldığı müessese ise Kozlu'dur. Daha sonra uzun seneler kullanılmayan jumbo delici 2016 yılı başından itibaren tekrar aktif hale getirilmiş ve halen -560 kotunda B16 kesitte 13° eğimli bir desandre sürme işinde kullanılmaktadır. TTK'da genellikle delme-patlatma yöntemi ile galeriler sürülmekte ve çoğunlukla martoperfaratörler kullanılmaktadır. Martoperfaratörler, çok fazla bakım ve onarım gerektirmeyen, enerji gereksinimleri düşük, emniyetli ve basit makinalardır. 4-5 atm basınçta patlatma delikleri delinebilmektedir. Ancak, bu makinalar iş sağlığı ve güvenliği

açısından çok kullanışlı değildirler. Delme sırasında makinada aşırı titreşim olmakla birlikte gürültü düzeyleri de 120 dbA'ya kadar çıkmaktadır (Su 2017).

Diğer taraftan geçmişte havzada bir kazı makinası uygulaması yapılmıştır. 2005 yılında yapılan bir anlaşmaya göre TTK, 8075 m galeri sürme işini Yapı-Tek'e vermiştir. Bu amaçla firma KSP-42 tip kollu galeri açma makinasını (KGAM) ilk defa havzada uygulamaya çalışmıştır. Ancak, makine seçiminde yapılan yanlışlıktan dolayı ve kazı yapılan formasyonun kumtaşı+konglomera olması kazı işini zorlaştırmıştır. Kazı sırasında keski sarfiyatı 2-3 adet/$m^3$ olmuş ve makine ancak 2 m toplam ilerleme yapabilmiştir. Daha sonra delme-patlatma yöntemi ile kazı işine devam edilmiştir (Akkaş 2010, Akçın ve Akkaş 2011). ODTÜ (1989), tarafından yapılan sınırlı çalışmasına göre galeri ilerlemelerinde kollu galeri açma makinasının kullanımın orta ağır ve ağır KGAM'larla bile zor kazılabileceği belirtilmiştir. Ancak, Yaralı (2008), Bilgin vd. (2010) ve Ersoy vd. (2016) tarafından, havzada kollu galeri açma makinalarının kullanılabilirliği konusunda yaptıkları çalışmalara göre uygun makine seçilmesi durumunda yüksek ilerlemeler elde edilecek şekilde uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalarda, havza kömür çevre kayaçlarının kazısında güçlü (200 kW'ın üzerinde) ve ağır tip galeri açma makinalarının kullanılabileceğini ifade edilmiştir Ancak, aşındırıcılığa bağlı olan keski tüketiminin yüksek olacağı tespit edilmiştir. Buna en güzel örnek olarak da Hema Madenciliğin halen Amasra'da sürdüğü galerilerde 1 adet R60T, 2 adet R75T ve 1 adet AM105 KGAM kullanılmaktadır. Sürülen formasyonlar ağırlıklı olarak kiltaşı ve silttaşının yanı sıra yer yer kumtaşı ve konglomera olmasına rağmen günlük ilerlemeler ortalama 4-5 m/gün civarındadır (Ersoy vd. 2016).

Taşkömürü Havzası'nın jeolojik durumu irdelendiğinde birçok büyük atımlı fay ve tali faylarla parçalandığı senklinal ve antiklinallerle yapının daha da karmaşık bir hale geldiği görülmektedir. Havzanın bu karmaşık yapısından dolayı üretimde mekanizasyon uygulanamamış ve mekanize üretim yöntemlerine mesafeli duruş sergilenmiştir. Kurumda dik damarlarda ANŞ-2 kazı teçhizatı uygulaması yapılmış ancak, hazırlıkların bu yönteme göre dizayn edilememesi ve üretim termininde süreklilik sağlanamaması nedeniyle beklenen sonuçlar alınamamıştır (Biçer 2014).

TTK'da emek yoğun klasik üretim çalışmalarından dolayı en büyük üretim maliyetini işçilik giderleri oluşturmaktadır. İşçilik giderlerini sırasıyla malzeme ve enerji giderleri takip etmektedir. TTK, kurum bazında üretim maliyetleri içinde büyük paya sahip işçilik ve malzeme giderlerini azaltmak amacıyla üretimde mekanizasyona yönelik araştırmalarını sürdürmüştür. 2011 yılında İspanya, Çek Cumhuriyeti gibi ülkelerde kendini kanıtlamış MV4 tipi teçhizatın Kurum ocaklarında denenmesi ve başarılı olunması halinde Havza çapında yaygınlaştırılması amacıyla üretimde mekanizasyon projesi uygulamaya koyulmuştur. Projenin ilk olarak kara tumba yöntemi ve yüksek basınçlı hava ile patlatma yöntemi kullanılarak üretim yapılan 40 derece ve üstü damarlarda uygulanması planlanmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen kazanım ve deneyimler doğrultusunda havzanın tamamında olmasa da uygulama alanı olan sahalarda düşük eğimli damarlarda da mekanize kazı sistemi ile üretime

başlanması hedeflenmiştir. İlk etapta Amasra, Üzülmez, Kozlu ve Karadon TİM'deki (Kılıçlar Serisi damarları) dik damarlar için üretim planlaması yapılarak termin planı oluşturulmuştur. Mevcut teçhizatın 2014 yılında Amasra TİM'de, 2015-2017 yıllarında Üzülmez TİM'de ve 2018 yılından itibaren ise Kozlu TİM Kılıçlar serisinde kullanılması 2016 yılında 2. bir teçhizatın alınması ve bu teçhizatın Karadon TİM'de kullanılması planlanmıştır (Biçer 2014).

Dik damar mekanize kazı teçhizatı deneme çalışmaları Amasra TİM' de Tavan ayak ve Kalın damar panolarında yapılmıştır. Tavan damar uygulamasında pano içinde doğrultu boyunca devam eden 7 m' lik arızanın varlığı buna bağlı olarak yoğun taşkömür kesilmesinden dolayı verimli ve ekonomik bir çalışma ortamı oluşmadığından dolayı deneme çalışmaları 210 günlük deneme programı içinde yer alan Kalın Damarda sürdürülmüştür. Yapılan değerlendirme her iki panoda yapılan çalışmalarda karşılaşılan problemleri ve sağlanan ilerlemeleri içermektedir. Tavan damarda yapılan çalışmada verimli bir sonuç alınamamış bu ayaktaki çalışmalar genelde problemler içinde belirtilmiştir. Kalın damarda uygulanan çalışmalar ise verimli bir şekilde sürdürülmüş yine bu panoda da oluşan arıza ve çalışma süreci irdelenmiştir (Biçer 2014).

Yukarıda anlatılanların ışığı altında, Türkiye Taşkömürü Kurumu tüvenan kömür üretimini artırmak için yeniden yapılanma dönemi içinde olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, madencilik faaliyetlerinde hazırlık işi olmadan üretimin olmayacağı bilinmektedir. Bu sebeple, üretimi artırmak için yapılan çalışmaların yanında galeri ve hazırlık işlerinin de iyileştirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında, 1994 yılından itibaren Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçları üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen dayanım ve aşınma deneyleri sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre galeri ilerlemelerinde KGAM kullanılması yönünde öneriler sunulması amaçlanmıştır.

## 2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### 2.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin tek eksenli basınç dayanımının tayini amacıyla yapılmaktadır. Deneysel çalışmalarda ISRM (1979) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir. Her kaya tipi için deney 5 kez tekrarlanmıştır. Deneyler, 200 ton kapasiteli hidrolik preste ve ortalama 0.5 MPa/s yükleme hızında yapılmıştır. Deney sonuçlarından kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı Eşitlik 1'den bulunmuştur. Çizelge 1'de dayanım sınıfı verilmiştir.

$$\sigma_c = F/A \quad (1)$$

Burada; $\sigma_c$: Tek eksenli basınç dayanımı, (MPa); F: Yenilme anında kaydedilen yük, (N) A: Silindirik örneğin kesit alanı (= $\pi$. $(D/2)^2$); D: Örnek çapı, (mm)'dir.

Çizelge 1. ISRM (1980) tarafından önerilen tek eksenli basınç dayanımına ($\sigma_c$) göre kaya malzemesinin tanımlanması.

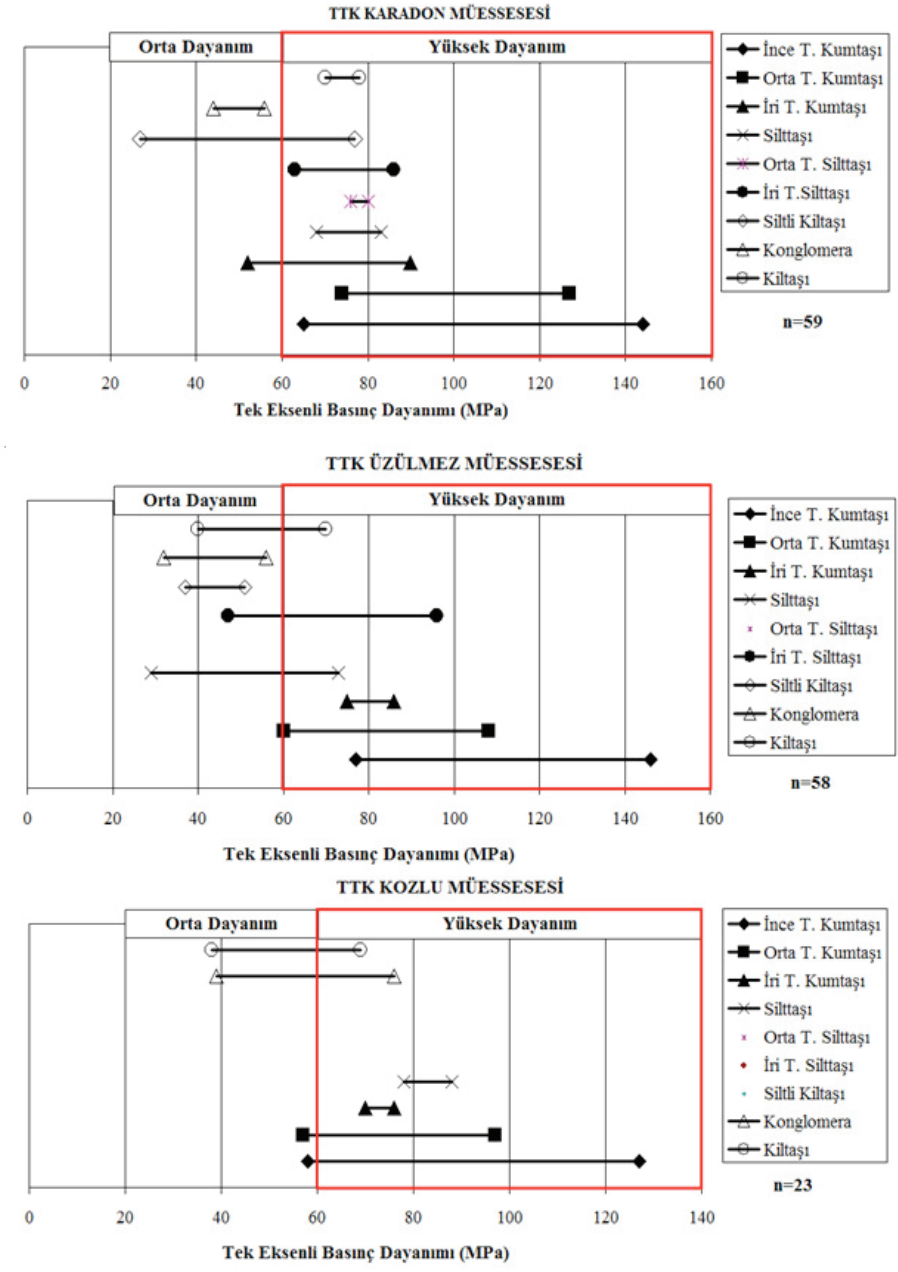
| Tek eksenli basınç dayanımı, $\sigma_C$ (MPa) | Dayanım sınıfı |
|---|---|
| <6 | Çok Düşük |
| 6-20 | Düşük |
| 20-60 | Orta |
| 60-200 | Yüksek |
| >200 | Çok yüksek |

Bu çalışmada Karadon, Üzülmez ve Kozlu Müesseselerine ait kömür çevre kayaçlarının tek eksenli basınç dayanımlarının değişim aralıkları Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, kumtaşlarının tek eksenli basınç dayanımlarının 60 ile 150 MPa arasında, silttaşlarının ise 30 ile 80 MPa arasında değiştiği, Çizelge 1'e göre bu kayaçların yüksek dayanım sınıfında yer aldığı görülmektedir. Amasra Müessesesi kömür çevre kayaçlarının tek eksenli basınç dayanımları sınırlı sayıda olduğu için burada verilmemiştir. Havzadaki tavan ve taban kayaçları üzerinde Bilgin ve Shahriar (1988) tarafından yapılmış çalışmalarda şist, kumtaşı, konglomera ve çamurtaşından oluşan numunelerin basınç dayanımlarının 24 ile 90 MPa arasında değiştiği saptamıştır. Bir başka çalışmada ise tavan ve taban kayaçlarının basınç dayanımlarının 70-100 MPa değerleri arasında değiştiği belirtilmiştir (Bilgin vd. 2010). Hattat Holding tarafından yaptırılan çalışmalarda kömür yan kayaçlarına ait tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 20 ile 156 MPa arasında, Brazilian çekme dayanımı değerlerinin ise 0.62 ile 13.53 MPa arasında değiştiği belirtilmiştir (Sandvik 2008)..

## 2.2. CERCHAR Aşınma İndeks Deneyi

Cerchar aşınma indeks (CAI) deneyi kayaçların aşındırıcılıklarının ve keski ömrünün doğru olarak belirlenmesinde kullanılan yaygın bir deney yöntemi haline gelmiştir. Ayrıca, Cerchar aşınma indeks deneyi tam cephe ve kollu galeri açma makinaları için kullanılan performans tahmin modellerinde ve mekanize kazı makinalarının keski tüketiminin tahmin edilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Özdemir vd. 1991, Wijk 1992, Rostami vd. 1994, Rostami vd. 1996, Plinninger vd. 2003, Rostami vd. 2005, Bilgin vd. 2005, Kasling ve Thuro 2010, Yaralı ve Duru 2016).

ISRM (2015), Cerchar aşınma indeks deneyini, birinci nesil (klasik) deney aleti için 1±0.5 saniye, ikinci nesil (West) deney aleti için 10±2 saniye boyunca ve 70 N'luk statik yük altında, 2000 N/mm$^2$ çekme dayanımına sahip standart krom vanadyum alaşımlı soğuk iş takım çeliğinden üretilmiş Rockwell Sertliği HRC55±1 olan ve 90° tepe açılı konik bir ucun taze kırılmış bir kayaç yüzeyinde 10 mm çekilmesi şeklinde




Şekil 3. Karadon, Üzülmez ve Kozlu Müesseselerine ait kömür çevre kayaçlarının tek eksenli basınç dayanımlarının değişim aralıkları (n= örnek sayısı) (ZEDEM 1994, Yaralı 2008, Yaralı vd. 2008a, Yaralı vd. 2014).

gerçekleştirilen deney yöntemi olarak tarif etmiştir. Cerchar aşınma indeks deneyi için önerilmiş üç tane deney yöntemi önerisi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, 1986 yılında Cerchar Enstitüsü'nün önerdiği NF P94-430-1 nolu yöntem (AFNOR 2000), ikincisi ASTM D7625-10 (2010) tarafından önerilen yöntem ve sonuncusu da ISRM (2015) tarafından önerilen yöntemdir. CERCHAR (1986) ve ISRM (2015) göre CAI için aşındırıcılık sınıflaması verilmiştir (Çizelge 2 - 3).

Çizelge 2. Düz yüzeyler için CAI sınıflaması (CERCHAR 1986).

| Sınıfı | CAI Değeri |
|---|---|
| Çok aşındırıcı değil | 0.3 – 0.5 |
| Hafif aşındırıcı | 0.5 – 1.0 |
| Orta aşındırıcı- aşındırıcı | 1.0 – 2.0 |
| Çok aşındırıcı | 2.0 – 4.0 |
| Oldukça fazla aşındırıcı | 4.0 – 6.0 |

Çizelge 3. Pürüzlü yüzeyler için CAI sınıflaması (ISRM 2015).

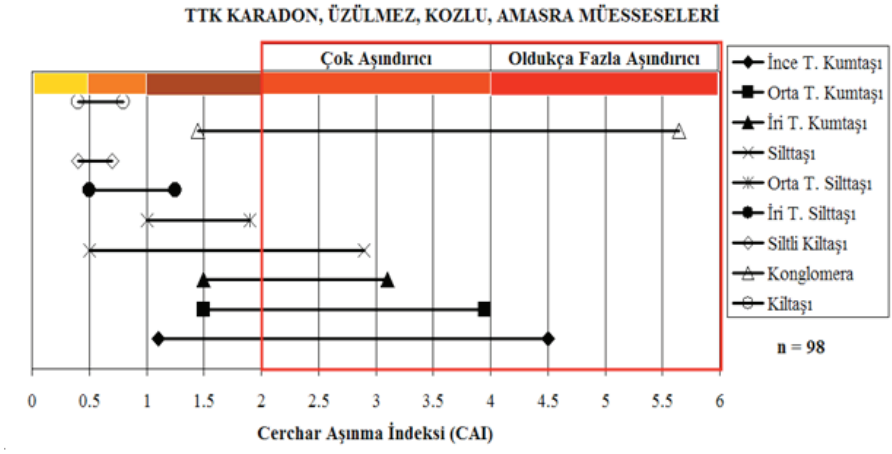
| Sınıfı | CAI Değeri |
|---|---|
| Aşırı düşük | 0.1 – 0.4 |
| Çok düşük | 0.5 – 0.9 |
| Düşük | 1.0 – 1.9 |
| Orta aşındırıcı | 2.0 – 2.9 |
| Yüksek | 3.0 – 3.9 |
| Çok Yüksek | 4.0 – 4.9 |
| Aşırı yüksek | $\geq 5$ |

Bu çalışmada, TTK Üzülmez, Karadon ve Üzülmez Müesseseleri'ne ait 98 adet kömür çevre kayacı için farklı çalışmalardan elde edilen CAI değerleri ile CERCHAR (1986)'ya göre aşındırıcılık sınıflaması Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde silttaşlarının aşındırıcı- çok aşındırıcı sınıfında, kumtaşlarının ise çok aşındırıcı sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bilgin (2013) tarafından yapılan çalışmada Amasra Havza'sı kayaçları için Cerchar aşındırıcılık indeks değerlerinin 0.8 ile 3.1 arasında olduğu saptanmıştır. Yaralı (2004), Yaralı ve Akçın (2005), Yaralı vd. (2008a), Yaralı vd. (2008b) ve Yaralı vd. (2014) yaptıkları petrografik analizlere göre silttaşları içinde kuvars oranlarının %30 ile %70, kumtaşları içinde kuvars oranının ise %40 ile %85 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Buna göre bazı kömür çevre kayaçlarının (silttaşı, kiltaşı) dayanımlarının orta dayanım sınıfında yer almasına rağmen içindeki kuvars oranının fazla olması durumu söz konusudur.

### 2.3. Değerlendirmeler

Tamrock (1999) tarafından önerilen kollu galeri açma makinelerinin seçiminde kullanılan yaklaşım Çizelge 4'te verilmiştir. Buna göre Zonguldak Havzası kömür

çevre kayaçları içinde taban yolları açılmasında kesme kafası gücü en az 160 kW olan, ana galerilerin açılmasında da kesme kafası gücü 200 ile 250 kW olan kollu galeri açma makinası kullanımın uygun olacağı görülmektedir.




Şekil 4. Karadon, Üzülmez ve Kozlu Müesseselerine ait kömür çevre kayaçlarının Cerchar aşınma indeks (CAI) değerleri ile aşındırıcılık sınıflamaları (n= örnek sayısı) (Yaralı ve Avcı 2002, Yaralı 2004, Yaralı ve Akçın 2005, Yaralı vd. 2008a, Yaralı vd. 2008b, Yaralı vd. 2014).

Çizelge 4. Kollu galeri açma makinalarının (KGAM) sınıflaması (Tamrock 1999).

| **KGAM Sınıfı** | **Ağırlık (Ton)** | **Kesme Kafası Gücü (kW)** | **KAZI** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Standart Kesitte** | | **Geniş Kesitte** | |
| | | | **Maksimum Kesit ($m^2$)** | **$\sigma_c$ (MPa)** | **Maksimum Kesit ($m^2$)** | **$\sigma_c$ (MPa)** |
| Hafif | 8-40 | 50-170 | ~ 25 | 60-80 | ~ 40 | 20-40 |
| Orta | 40-70 | 160-230 | ~ 30 | 80-100 | ~ 60 | 40-60 |
| Ağır | 70-110 | 250-300 | ~ 40 | 100-120 | ~ 70 | 50-70 |
| Çok ağır | >100 | 350-400 | ~ 45 | 120-140 | ~ 80 | 80-110 |

Bilgin vd. (2006), 22 farklı kayaç örneği üzerinde yapılan tam boyutlu kesme deneyleri sonucunda kayacın tek eksenli basınç dayanımı ile spesifik enerji arasında doğrusal ilişkiyi ($R^2 = 0.7599$) veren ampirik bir bağıntı geliştirmişlerdir (Eşitlik 2).

$$SE_{opt} = 0.0826\sigma_c + 1.424 \quad (2)$$

Burada ;

$SE_{opt}$ : Optimum spesifik enerji (kWh/m$^3$), (Tam boyutlu kesme deneyinden belirlenir)
$\sigma_c$ :Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

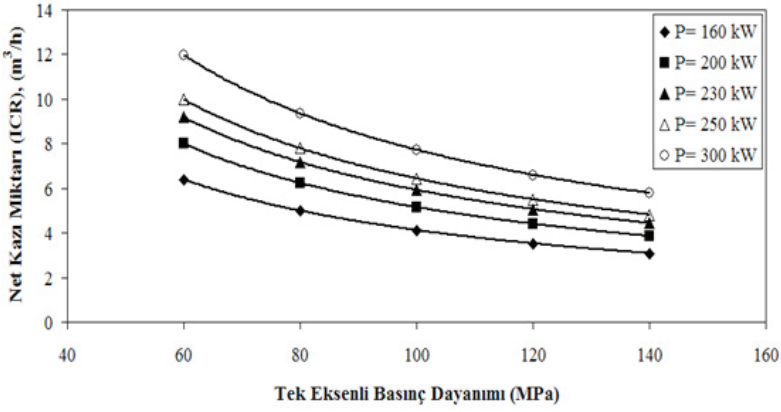
Oldukça yaygın kabul gören ve her tür kesici makine için kullanılabilen anlık kesme miktarını veren ampirik bağıntı Rostami vd. (1994) tarafından geliştirilmiştir. Bu bağıntı Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$ICR = k. (P / SE_{opt}) \quad (3)$$

Burada;

ICR : Net kazı miktarı (m$^3$/h)
P: Optimum şartlarda mekanize kazı makinesinin harcayacağı güç (kW)
k: Enerji transfer katsayısı (kollu galeri açma makinaları için 0.45-0.55)

Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçlarının tek eksenli basınç dayanımlarının 60 ile 140 MPa arasında değişmektedir. Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak tek eksenli basınç dayanımı ile farklı kesme güçlerinde kollu galeri açma makinası kullanılması durumuna göre anlık kazı miktarı tahmin nomogramı Şekil 5'te gösterilmiştir (enerji transfer katsayısı ortalama 0.50 alınmıştır).




Şekil 5. Kollu galeri açma makinaları için tek eksenli basınç dayanımı ve kesici kafa gücüne bağlı olarak net kazı miktarı tahmin nomogramı.

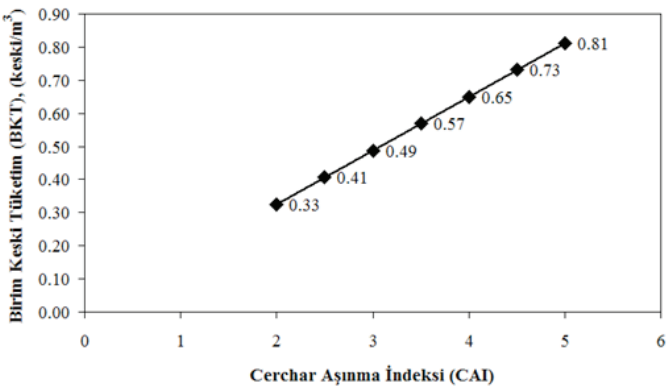
Kollu galeri açma makinalarından yararlanma oranı %20 ile %40 arasında değişmektedir (Çopur vd. 2014). Bu açıklama ışığı altında KGAM yapılacak galeri ilerlemelerinde en iyi ihtimalle 12 m$^3$/h, en kötü durumda ise 6 m$^3$/h'lik kazı yapılabilecektir.

Kayaçların kazılabilirliklerinin hakkında daha kesin bir yargıya varmak için, keski tüketimlerinin de tahmin edilmesi gereklidir. Konik veya radyal tip keskiler için tüketim tahmini Eşitlik 4'e göre hesap edilebilir (Johnson ve Fowell 1986, Çopur vd. 2014'ten). Buna göre CAI'daki değişime bağlı olarak KGAM'ları ile yapılacak galeri ilerlemelerinde 0.33 ile 0.81 keski/m$^3$'lük keski tüketimi olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 6).

$$BKT = t.\ CAI / 4 \quad (4)$$

Burada;

BKT : Birim keski tüketimi (keski/m$^3$),
CAI : Cerchar aşınma indeksi,
t : Kesici kafa dönüş hızı ve su püskürtme (keski soğutma veya toz bastırma için) ile ilgili katsayı (Özdemir 1995).




Şekil 6. Cerchar aşınma indeksine bağlı olarak tahmini keski tüketimleri.

## 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, TTK'da galeri ve taban yollarında kollu galeri açma makinası (KGAM) kullanılmasına yönelik performans değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla, Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde 1994 yılından itibaren Zonguldak Havza'sında yürütülen çeşitli proje ve çalışmalardan elde edilen laboratuar verileri incelenmiştir. Özellikle makine performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan kayacın tek eksenli basınç dayanımı ($\sigma_c$) ile Cerchar aşınma indeks (CAI) deney sonuçları göz önünde bulundurulmuştur.

TTK'ya bağlı Karadon, Üzülmez ve Kozlu Müessesesi kömür çevre kayaçlarına ait tek eksenli basınç dayanımlarına (veri sayısı (n) =140) bakıldığında silttaşlarının ($\sigma_c$= 30-80 MPa) orta – yüksek, kumtaşlarının ($\sigma_c$= 60-150 MPa) ise yüksek dayanım

sınıfında yer aldığı görülmektedir. Buna göre Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçları içinde taban yolları açılmasında kesme kafası gücü en az 160 kW olan, ana galerilerin açılmasında da kesme kafası gücü 200 ile 250 kW olan kollu galeri açma makinası kullanımın uygun olacağı beklenmektedir. Bu sonuç, Yaralı (2008), Bilgin vd. (2010) ve Ersoy vd. (2016) yaptıkları çalışmalara paralellik göstermektedir.

KGAM için performans değerlendirmesi yapılırken Iliteratürde bir çok araştırmacın belirttiği gibi tek eksenli basınç dayanımın değeri ile performans belirlemenin yanıltıcı olabileceği vurgulanmıştır. Bunun yanında kırık-çatlaklılık durumu, yeraltı suyu durumu vs gibi kayaçların kütlesel özelliklerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Kırık-çatlaklılık arttığı zaman KGAM'lerinin kazı hızları da artacaktır (McFeat-Smith ve Fowell 1977, 1979). Ancak geçilen formasyonun kırıklı çatlaklı olma durumunda tahkimat problemi söz konusu olacağından makinadan yaralanma oranı düşecek, dolayısıyla da ilerleme/kazı miktarları da azalacaktır. Bu duruma en güzel örnek, Hema Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde kullanılan AM105 tip KGAM makinasıyla yapılan galeri ilerlemelerinde görülmektedir. Masif kayaçlar içinde yapılan galeri ilerlemelerinde (25 $m^2$ kesit) ortalama 6 m/gün söz konusuyken, kırıklı-çatlaklı kayaçlar içinde yapılan galeri ilerlemelerinde 3-4 m/gün seviyelerine düştüğü kaydedilmiştir (Kıran 2018). Literatürde, KGAM ile yapılacak galeri ilerlemelerinde tahmini kazı miktarını belirlerken k değeri eksenel kafalar için 0.45, travers kafalar için 0.55 önerilmiştir (Bilgin vd 2014). Kesici kafa tipi seçiminde detaylı arazi ve laboratuar çalışmaları gerektiğinden bu çalışma için k değeri ortalama bir değer olarak 0.5 alınmıştır. Bu açıklama ışığı altında KGAM yapılacak galeri ilerlemelerinde en iyi ihtimalle 12 $m^3$/h, en kötü durumda ise 6 $m^3$/h'lik kazı yapılabilecektir.

Kayacın içindeki aşındırıcı mineral oranına bağlı olarak, CAI verilerine (veri sayısı (n) =98) göre ise silttaşlarının orta-aşındırıcı-çok aşındırıcı sınıfında, kumtaşlarının ise çok aşındırıcı sınıfında yer aldığı saptanmıştır. Ancak CAI değeri 3 ve daha fazla olan yerlerde makine performansının fazla etkilenmediği ortadadır. CAI değeri yüksek olması tek başına yeterli değildir. Kayacın çimentolanma derecesi, aşındırıcı mineral içeriği ve kuvars tane boyu gibi petrografik özelliklerle birlikte değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. CAI 4 olup ta çimentolanma derecesi düşük ise keski tüketimine etkisi fazla olmayabilir. Oysa CAI değeri 2 olup çimentolanma derecesi yüksek bir kayacın kazısında keski tüketimi fazla olabileceği gibi makine performansını da olumsuz etkiyeceği beklenmektedir. (Arı 1992, Yaralı 2004, Yaralı ve Akçın 2005). Bu çalışmada, KGAM'ları ile yapılacak galeri ilerlemelerinde CAI'ya göre tahmini keski tüketimi ampirik bir bağıntı ile belirlenmiştir (Eşitlik 4). Buna göre tahmini keski tüketimi 0.33 keski/$m^3$ ile 0.81 keski/$m^3$'' olacağı tahmin edilmektedir. Bu değerlerin pratikte çok yüksek olduğunu, 0.5 keski/$m^3$'ün üzerinde kazının gerçekleşemeyeceği (keskiler formasyona penetre edemez) ve 0.2 ile 0.5 keski/$m^3$ arasındaki tüketimlerin çok kısa mesafeler için mümkün olabileceği literatürde çok sayıda vaka analizine dayanarak ortaya konulmuştur (Bilgin vd. 2014).

Bu çalışma bir ön araştırma olarak bakılması, hangi tip makine seçileceği ve performansının ne olacağı ortaya konulması için daha detaylı arazi ve laboratuar çalışmalarının yapılmasına yönelik tavsiye nitelindedir. Ayrıca, sadece makine kullanımına bakılarak galeri ilerleme randımanları değerlendirilmemelidir. Nakliyat (pasa, malzeme temini vb.), havalandırma, su atımı, kalifiye eleman gibi diğer parametrelerinde göz önünde bulundurulması gerekir. Hema Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde KGAM makinası kullanımı başarıyla sürdürülmektedir. Yaralı (2008), Bilgin vd. (2010) ve Ersoy vd. (2016) tarafından yapılan çalışmalarda da, havzada galeri ilerlemelerinde kollu galeri açma makinaları kazı ile hızlı ve ekonomik kazı yapmak mümkün olacağını ortaya koymuşlardır.

## KAYNAKLAR

AFNOR, 2000. Determination Du Pouvoir Abrasive D'une Roche - Partie 1:Essai de Rayure Avec Une Pointe (NF P 94-430-1) Paris, 24 p.

Akçın, N.A., Yaralı, O., Bilir, E. ve Su, O., 2009. TTK'da Kullanılan Monoblok Burguların Uç Açısının Delme Hızı ve Uç Ömrüne Etkisinin İncelenmesi, Araştırma Projesi Final Raporu, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, s.76.

Akçın, N.A., Akkaş, E., 2011. Gelik İşletmesi'nde Kullanılan Kollu Galeri Açma Makinasının Performansının İncelenmesi, 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.

ASTM (2010) Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method, Designation: D7625-10.

Biçer, N. 2014. Türkiye Taşkömürü Kurumu Üretimde Mekanizasyon Projesi, Türkiye 19. Kömür Kong. Bildiriler Kitabı, s. 435-450.

Bilgin, N., Shahriar, K., 1988, Madenlerde Mekanize Kazı için Bir Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi ve Amasra Karbonifer Havzasına Uygulanışı, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, 23-27 Mayıs, s. 13-28

Bilgin, N., Akgün, S.I., Shahriar, K., 1988, Amasra Karbonifer Havzasındaki Damarların Mekanik Dayanımları Açısından Sınıflandırılması, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, 23-27 Mayıs, s. 411-425

Bilgin, N., Balcı, C. ve Çopur, H. 2005. Tünel Açma Makinelerinin Seçim Ve Tasarım İlkeleri Ve Performans Tahmin Yöntemleri, 2. İş Makineleri Sempozyumu ve Sergisi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 29-30 Eylül-1 Ekim, İstanbul, s. 227-240.

Bilgin N., Temizyürek, İ., Çopur H., Balcı, C., Tumaç, D., 2010, TTK Amasra Bölgesi Kalın Damarın Kesilebilirlik Özellikleri ve Mekanize Kazısı Üzerine Bazı Görüşler, Ed. K. Çolak, H. Aydın, Türkiye 17. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Zonguldak, 2-4 Haziran, s. 217-229

Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., 2014. Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries. CRC Press, Taylor & Francis Group.

CERCHAR, 1986. Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France.: The Cerchar Abrasiveness Index. 12 p.

Cihan, E., Balcı, C. Ve Şenkal, S.S., 2016. Amasra Taşkömürü Havzasında Çalışan Kollu Galeri Açma Makinesin Performans Değerlendirmesi, Türkiye 20. Kömür Kong. Bildiriler Kitabı, s. 37-47.

Çopur,H., Balcı,C., Tumaç, D., Avunduk, E., Çomaklı, R., Polat, C., 2014 Amasya-Suluova Bölgesinde bir kömür Ocağının galeri kazıları için kollu galeri Açma makinesi seçimi ve performans tahmini, Türkiye 19. Kömür Kong. Bildiriler Kitabı, s. 87-104.

Ersoy, C., Balcı, C., Şenkal, S.S., 2016. Amasra Taşkömürü Havzasında Çalışan Kollu Galeri Açma Makinesinin Performans Değerlendirmesi, Türkiye 20. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 37-47, Zonguldak.

Eskikaya, Ş., Bilgin, N., and Acaroğlu, Ö., 2000. Study of Selecting Most Economical Roadway Drivages Method for Zonguldak Hard Coal Mining Area, Word Tunnel Congress-Tunnels Under Pressure, 13- 18 May, s. 140-153, Durban, S.A..

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, Edt: R. Ulusay, Springer, DOI:10.1007-978-3-319-07713-0 pp.101-106.

ISRM, 1979. Suggested Method for Determining the Uniaxial Compresive Strength and Deformability of Rock Materials, Int. J. Rock Mech. Min. Sci.& Geomech. Abstr. , 16, 135-140.

ISRM, 1980., Basic Geotechnical Desaiptian of Rock Masses, Int. J. Rock MechMin. Sci. And Geomech. Abstr., 18: 85-110.

Jonson, S. T. and Fowell, R. J. 1986. Compresive Strenght is Not Enough: Assessing Pick Wear Rates for Drag Tool Equipped Machines, Proc. 27th US Rock Mech. Symp. AIME. Tuscaloosa, pp. 286-292.

Kasling, 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, pp.425-4.

Kel, K., 2003. Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, s.181.

Kıran, H. 2018. Kişisel görüşme. Hema Amasra Taşkömürü İşletmesi, Bartın.

ODTÜ,1989. Asma ve Gelik İşletmeleri Kömür ve Kayaçlarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması, ODTÜ Maden Müh. Böl. ve H.Ü. Zong. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., Araştırma Projesi, s. 80.

Özdemir, L., 1995, Mechanical Mining Technology for Hard Rock, Short Course, Colorado School of Mines, Golden.

Özdemir, L., Gertsch, L., Neil, D., Fiant, J., 1991. Performance Predictions for Mechanical Evcavation in Yucca Mountain Tuffs. EMI-Report. SAND 91-1035, s.18

Plinninger, R., Kasling, H., Thuro, K. and Spaun, G., 2003. Testing Conditions And Geomechanical Properties İnfluencing The Cerchar Abrasiveness Index (CAI) Value. Technical Note, Int. Journal of Rock Mech.&Mining Sciences, Vol. 40, pp 259-263.

Rostami, L, Özdemir, L.,Neil D., 1994. Roadheader Performance Optimization for Mining and Civil Construction, Proceedings of Institute of Shaft Drilling Tech, Nisan 18-21

Rostami, J., Özdemir, L. and Nilsen, B. 1996. Comparison Between CSM and NTH Hard Rock TBM Performance Prediction Models, In Proc. 16th Int. ISDT Symposium, Las Vegas, USA, pp. 1-11.

Rostami, J., Özdemir L., Bruland, A. and Dahl, F. 2005. Review Of Issues Related To Cerchar Abrasivity Testing and Their Implications on geotechnical investigations and cutter cost estimates. Rapid Excavation and Tunnelling Conference., Seattle, WA.USA. pp. 15-14.

Sandvik Mining and Construction GmbH, 2008, Preliminary Geotechnical Report for Hema Amasra Mining Company.

Su, O. 2015. Küresel ve Balistik Tip Buton Uçların Delme Hızı ve Aşınma Oranlarının Kumtaşı Kayacında Analizi, 8. Delme-Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, s.51-59.

Su, O. 2017. Türkiye Taşkömürü Kurumu'ndaki Galeri İlerleme Hızlarının Değerlendirilmesi, Proceedings of 6th International Congress of Mining Machinery & Technologies, İzmir, s. 255-262.

Tamrock, 1999. Rock Excavation Handbook, , Sandvik Tamrock Corp., 305 p

TTK, 2017. TTK Üretim ve Hazırlık Faaliyetleri Tabloları, Türkiye Taşkömürü Kurumu, (http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=152) (06.01.2016)

Valantin, A. 1973. Examen Des Differens Procedes Classiques De Determination De La Nocivite des roches vis-à-vis de l'attaque mecaniqe, pp. 133–140.

Wijk, G. 1992. A Model Of Tunnel Boring Machine Performance, Geotechnical and Geological Engineering, Chapman & Hall, 10, pp.19-21.

Yaralı, O. 2000. TTK'da Galeri İlerlemesinde Kullanılan Klasik ve Mekanize Sistemlerin Karşılaştırılması, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s. 137-146.

Yaralı, O. ve Avcı, F. 2002. TTK Asma-Dilaver Kömür Çevre Kayaçlarının Cerchar Aşındırıcılık İndeks Özelliklerinin ve Mekanik Kazılabilirliklerinin İrdelenmesi, Türkiye 13. Kömür Kong. Bildiriler Kitabı, s. 259-270.

Yaralı, O., 2004. Kömür Çevre Kayaçlarının Petrografik Özellikleri ile Aşındırıcılık Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, ZKÜ Araştırma Fonu Final Raporu, Zonguldak, s.44.

Yaralı, O. ve Akçın, N., 2005. Zonguldak Taşkömür Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Aşındırıcılık Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye Uluslararası 19. Madencilik Kongresi Kitabı, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, s.243-251, İzmir.

Yaralı, O., 2008. Türkiye Taşkömürü Kurumu Galeri İlerlemelerinde Kollu Galeri Açma Makinalarının Kullanımının Araştırılması, Türkiye 16. Kömür Kong. Bildiriler Kitabı, s. 77-93.

Yaralı, O., Bacak, G. ve Soyer, E. 2008a. Mekanik Kazıda Kayaçlarının Petrografik Özellikleri İle Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, TÜBİTAK Projesi, No: 104M437, Final Raporu (yayınlanmamış), 140p.

Yaralı, O., Yasar, E., Bacak, G. and Ranjith, P.G. 2008b. A Study Of Rock Abrasivity And Tool Wear In Coal Measures Rocks. Int. J. of Coal Geology. 74(1): 53-59.

Yaralı, O., Aydın, H., Bacak, G. ve Duru, H. 2014. Cerchar Aşındırıcılık İndeksi İçin Standart Test Yönteminin Geliştirilmesi, TÜBİTAK Projesi, No: 110M579, Final Raporu (yayınlanmamış), 126p.

Yaralı, O. and Duru, H. 2016. Investigation Into Effect Of Scratch Length And Surface Condition On Cerchar Abrasivity Index, Tunnelling and Underground Space Technology, 60 pp. 111-120.

# KÖMÜR MADENLERİNDE KOROZYONU HIZLANDIRAN DEĞİŞKENLERİNİN İNCELENMESİ

## *INVESTIGATION OF VARIABLES SPEEDING CORROSION IN COAL MINES*

**Ali Ekrem Arıtan, M. Fatih Can, Melek Tümer**
*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*

**ÖZET** Yeraltı kömür madenciliğinin atmosferi ve ortam şartları korozyon için orta dereceli aşındırıcı sınıfındadır. Metal hammaddeye sahip ve kullanımları esnasında da yeterince zorlanan maden makine/ekipmanının yüzeylerinde korozyon sebepli oluşan oyuk, çatlak, parça kopmaları, arıza ve kullanım dışı kalmalarına sebep olur. Korozyon reaksiyonlarını başlatan ve hızlandıran etkenlerin başında ise yeraltı suları gelmektedir. Yeraltı sularının, süzüldüğü formasyonlara göre değişiklik gösteren pH, sıcaklık, oksijen konsatrasyonu ve NaCl konsatrasyonu, korozyon hızını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada yeraltı sularının korozyon tepkimelerini etkileme derecesi incelenmiştir. Korozyonu önlemek veya azaltmak için çözüm önerileri sunulmuştur.

**ABSTRACT** The atmospheric and ambient conditions of underground coal mining are in the medium-grade abrasive class for corrosion. Metal raw material of mining machinery/equipment corrosion thus formed recess in the surface, cracks, chipping, would lead to failure of the fault and use. Groundwater is at the top of the factors that initiate and accelerate corrosion reactions. pH, temperature, oxygen concentration and NaCl concentration, which vary according to the formations in which groundwater is filtered, directly affect the corrosion rate. In this study, the extent to which the corrosion of groundwater is affected is investigated. Solutions are proposed to prevent or reduce corrosion.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde yeraltı kömür madenciliği, açık ocak rezervlerinin azalması ve kömür rezervlerin daha derinlere ilerlemesinden dolayı önem kazanmaya başlamıştır. Yeraltı kömür madenciliği, çevre kayaçların yapısı bakımından dikkat gerektiren ve farklı sorunlarla karşılaşılan bir üretim yöntemidir. Üretim esnasında yan kayaçlarla ilişkili olarak kabarma, çatlaklı formasyonlar ve bu formasyonların barındırdığı alkali minerallerin oluşturduğu korozyon problemleri ortaya çıkmaktadır.

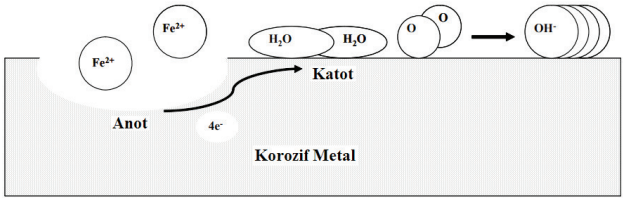
Kömür damarının üst kısmına istiflenmiş formasyonların barındırdığı mineraller yüzey suları ile temas ettiğinde çözünür ve sularla birlikte taşınır. Bu alkali mineraller, kömür üretiminin gerçekleştiği galeri ve arında bulunan makine/ekipmanın metal yüzeyleri ile temas ettiğinde, korozyona yol açan tepkimelerin başlangıç evresini gerçekleşmektedir (Villaescusa 2007).

Korozyon reaksiyonları sonucunda metal yüzeylerde çatlak ve oyukların oluşması ve parça kopmaları gözlemlenmektedir. Bu durum makine/ekipmanın arızalanmasına ve yanı sıra tahkimat ekipmanın yüzeyinde incelme sonucu dayanımlarının düşmesine sebebiyet vermektedir (Heidersbach 1990).

Bu çalışmada, yeraltı su kaynaklarının korozyon reaksiyonlarına etki etme mekanizması incelenmiştir. Yeraltı sularının barındırdığı tuzluluk miktarı, pH, sıcaklık ve oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak korozyon hızı hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca metal aksamlı makine/ekipmanın korunması için çözüm önerileri sunulmuştur.

## 2. METAL YÜZEYLERDE KOROZYON

Çeşitli çelik türleri ve alaşımları, yeraltı kömür madenciliğinde kullanılan makine ve ekipmanın ana bileşenidir. Çeliğin korozyona uğrama mekanizması, çevrenin maruz bıraktığı korozyon oranı ve türüne göre farklılık göstermektedir (Hassell 2008). Elektrokimyasal hücrenin her bir bileşeninin çalışma mekanizması Şekil 1'de gösterilmektedir.




Şekil 1. Elektrokimyasal demir korozyon prosesinin şematik gösterimi (Roberge 2000).

Anot metalin sürekli korozyona uğradığı yerdir. Elektrolit çözeltisi, diğer elektrodu oluşturan katotla birlikte korozif bir mekanizmadır. Katot, reaksiyon gerçekleştiğinde tüketilmez veya yok edilmez. Anot ve katot, aynı metal yüzeyin bir parçası olabilir veya birbirleriyle temas eden iki metal olabilir. Anotta elemental formdaki metal bir metal katyona dönüştürülür ve elektrolite eritilir. Demir (Fe) için anodik veya oksidasyon reaksiyonu Eşitlik 1'deki gibidir (Hassell 2008):

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-} \quad (1)$$

Çoğu madencilik uygulaması için elektrolit çözeltileri (maden yeraltı suları) nötre yakındır ve katodik reaksiyon Eşitlik 2 oluşması beklenir ve bu durum Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte, yerelleştirilmiş çevre koşulları ortaya çıkabilir ve Eşitlik 3 veya Eşitlik 4 gibi reaksiyonlar gerçekleşebilir (Hassell 2008, CISA 1994, Uhlig ve Revie 1985).

$$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-} \quad (2)$$
$$O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O \quad (3)$$
$$2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-} \quad (4)$$

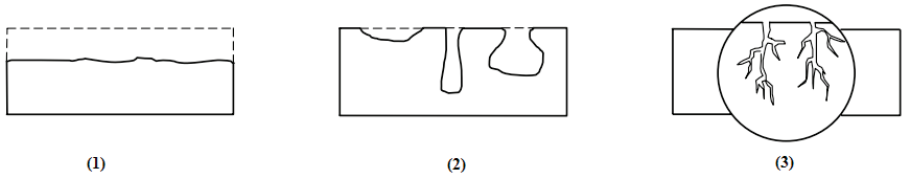
Demirli oksit, içinde çözünmüş oksijenin dağılması gereken demir yüzeyinin yanındaki difüzyon bariyer tabakasını oluşturur. Oksijen temini genellikle korozyon oranını sınırlayan korozyon ürünlerinin artan kalınlığının difüzyon kapasitesi ile sınırlanır. Demir oksidin rengi saf olduğunda beyazdır, ancak havayla başlangıçta oksidasyona uğraması nedeniyle normalde yeşil ile yeşilimsi siyahtır (Roberge 2000, Hassell 2008).

Çözünmüş oksijen, nötr ve alkalin sular içerisinde korozyon oluşması için gereklidir. Çözünmüş oksijen seviyesini etkileyen herhangi bir faktör, çelik korozyonunu orantılı olarak etkileyecektir (Jones 1996).

Oksit filmin dış yüzeyinde, çözünmüş oksijene erişim, demir oksitin (Eşitlik 5), ferrik hidrokside (Eşitlik 6) aşağıdaki tepkime ile dönüştürülmesini sağlar (Roberge 2000):

$$Fe^{2+} + 2OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_2 \quad (5)$$
$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 \quad (6)$$

Korozyon sürecinin doğası bir malzeme ve çevresi arasındaki etkileşime bağlı olacaktır. Çeşitli korozyon biçimleri vardır. Ancak, yeraltı kömür madenciliğinde kullanılan makine ve ekipman için korozyon biçimleri üç tür olarak belirlenmiştir. Bunlar, Şekil 2'de şematik olarak gösterilen üniform korozyon, çukurlaşma korozyonu ve gerilme korozyon çatlamasıdır. Galvanik ve çatlak korozyonu gibi diğer korozyon türleri mevcut olabilir, ancak önemli bir etkiye sahip değildir (Hassell 2008).

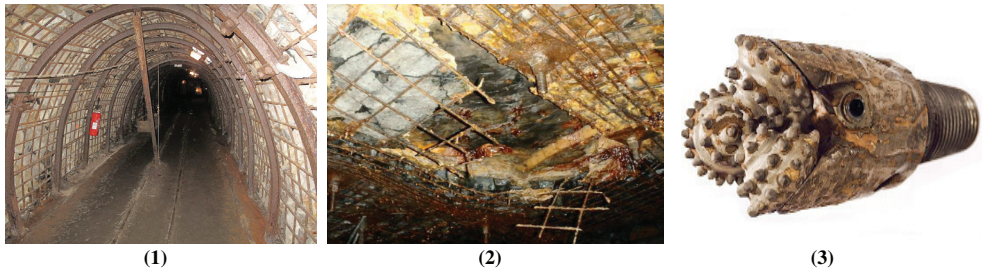



Şekil 2. Korozyon türleri; (1) Üniform korozyon, (2) Çukurlaşma korozyonu ve (3) Gerilme korozyon çatlaması.

Spearing vd. (2010) yılında yaptıkları deneysel çalışmalarda, kömür madenlerinde uzun vadeli tahkimat ve çelik aksamlı makine/ekipman kullanımında, korozyon olasılığının kaçınılmaz olduğunu söylemişlerdir. Spearing ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmada da madencilik endüstrisinde nemli bölgelerde kullanılan tahkimatlar da ciddi korozyon sorunu olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca korozyon reaksiyonları görülen bölgede nem olması, kuru olması durumuna göre korozyon potansiyelini daha da yükseltmektedir.

Qi vd. (2011) yılında kömür şlamının, kömür ocağı ekipman korozyonuna etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, antrasitin yüksek iletkenliğinden dolayı çeliğin korozyonunu artırabileceğini belirtmişlerdir. Kömür şlamı çelik aksamdan oluşan makine/ekipmanın korozyon sonucu oluşan çukurlarına temas ettiğinde çukurlar gelişir ve korozyon hızlanır. Kömür parça boyutu azaldıkça korozyon hızı artar. Korozyon hızının artması makine/ekipmanın daha kısa sürede arıza vermesine sebep olacağı sonucunu elde etmişlerdir.

Çelik hasırlarda korozyona bağlı aşınma ve kopmalar çalışanların sağlığı açısında da tehlike arz etmektedir (Wu 2017). Ayrıca kesici kafadaki korozyon kaynaklı çukurlar sürtünme kuvvetinin aşındırıcı etkisiyle hızla artmaktadır (Şekil 3).



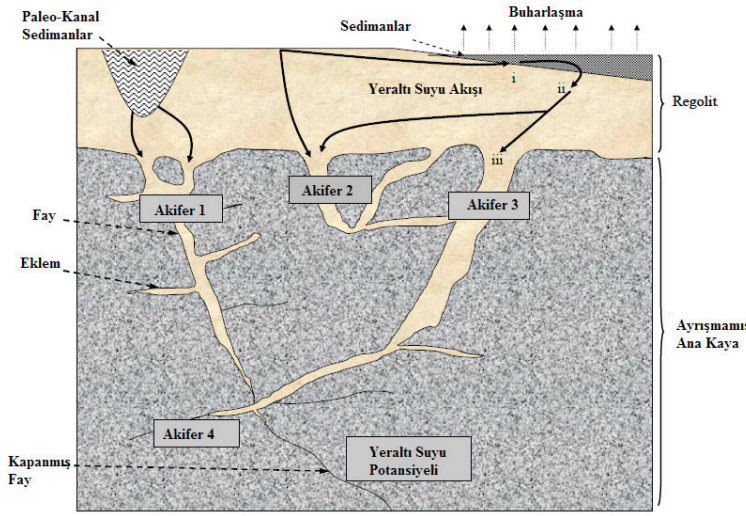

Şekil 3. Korozyona uğrayan makine/ekipman; (1) çelik tahkimat üzerinde görülen korozyon, (2) çelik hasırda görülen korozyon ve (3) kesici kafada görülen korozyon.

Bir maddenin yerleştirildiği ortam, malzeme özellikleri ile birlikte, korozyon tiplerini ve oranlarını kontrol eder. Yeraltı madenlerindeki çevresel koşullar hiçbir zaman

homojen değildir ve sürekli değişmektedir. Sadece çevrenin sınıflandırılması için yaklaşımlar yapılabilir ve bu yaklaşımlar sürekli olarak gözden geçirilmelidir. Kurulu zemin desteğini korozyon açısından etkileyen üç temel çevresel etki vardır. Bunlar atmosfer, yeraltı suları ve kaya kütlesidir (Hassell 2008).

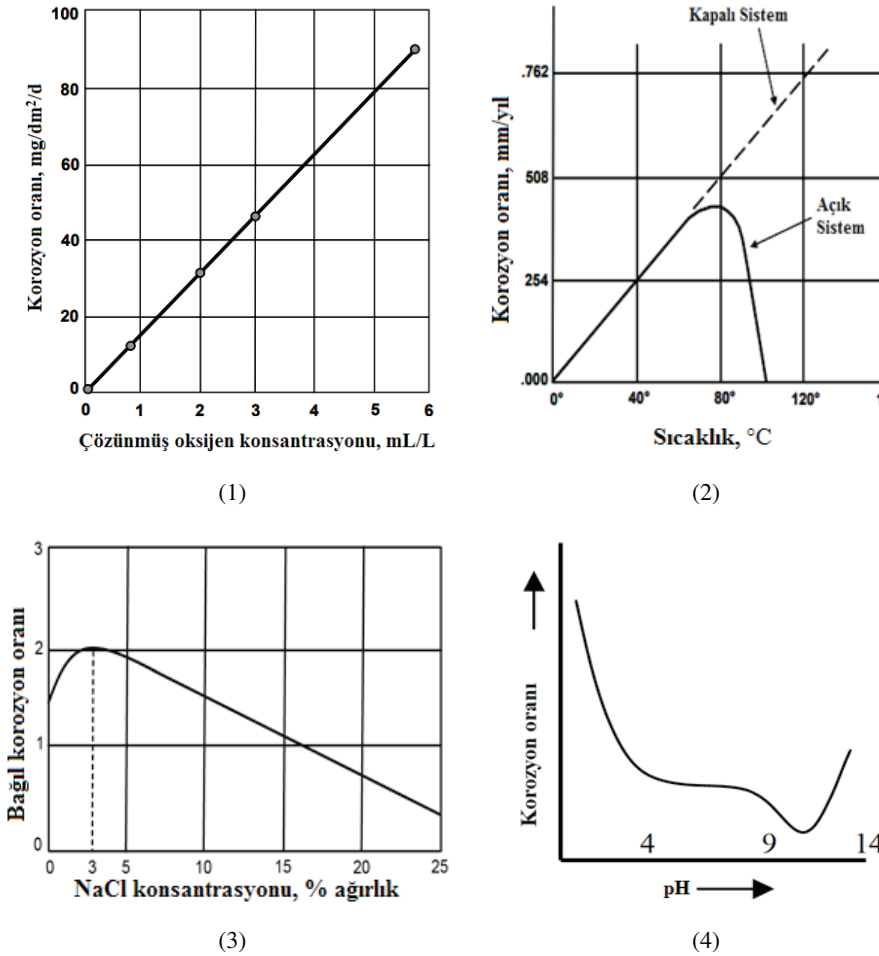
## 3. YERALTI SUYU DEĞİŞKENLERİ

Yeraltı kömür damarının üst katmanlarında bulunan kaya kütlelerinden süzülen yeraltı suları, birçok yeraltı madeninde bulunur (Bardel 2004). Süzülme esnasında çevre kayaçların bünyesinde barındırdığı elementler suyla tepkimeye girerek çözünür ve suyun kayaçlar arasındaki hareketi boyunca taşınır (Şekil 4). Bu sular yeraltında kullanılan çelik esaslı tüm makine ve ekipmanla etkileşime girer. Suların temiz veya tuzlu olanları koroziflik için bir değişkendir (Villaescusa 2007).




Şekil 4. Yeraltı su akışı (Gray 2001).

Yeraltı sularının (pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen konsantrasyonu) beraberinde getirdiği ve makine/ekipmanın çelik aksamına temas eden NaCl konsantrasyonu yüzeyde meydana gelen korozyon tepkimelerini farklı oranlarda etkilemektedir. Oksijenin çözünürlüğü sıcaklık ve tuzluluğun artmasıyla azalır. Bununla birlikte, çözünmüş oksijenin korozyon hızı üzerine etkisi genellikle sıcaklık ve tuzluluk değerlerine göre daha güçlüdür (Şekil 5) (Hassell 2008).




(1) (2)

(3) (4)

Şekil 5. Çelik korozyonuna çözünmüş oksijen konsantrasyonu etkisi (1), sıcaklığın çelik korozyonuna etkisi (2), NaCl konsantrasyonunun korozyon oranına etkisi (3), pH'ın korozyon oranına etkisi (4) (Uhlig ve Revie 1985).

Diğer faktörlerin hepsi sabit tutulduğunda, sıcaklığın artması suların korozifliğini arttırır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu sabit tutulursa, deniz suyunda düşük karbonlu çeliklerin korozyon hızı, her 30°C'lik sıcaklık artışı için yaklaşık iki katına çıkar (Şekil 5). Korozyon tepkimelerine hidrojenin girmesi, her 30°C'lik sıcaklık artışında metal yüzeyin korozyon oranını iki katına çıkaracaktır (Uhlig ve Revie 1985). Yaklaşık 80°C'lik bir zirveye kadar suyun kaynama noktasına ulaşıldığında çözünen oksijen sistemden kaybolur (Heidersbach 1990). 80°C'nin üzerindeki korozyon hızı, sıcaklığın artmasıyla birlikte sudaki oksijen çözünürlüğünde belirgin

bir düşüşe neden olur ve bu etki sonunda sıcaklığın hızlanma etkisini gölgelemektedir (Uhlig ve Revie 1985).

Ana iyonların konsantrasyonları suyun iletkenliğini etkiler. Klorürler ise çelik malzemelerin yüzeyine kaplanan film tabakalarının bozulmalarını etkiler. Toplam tuzluluk, litre başına miligramda (mg/L) belirtilen anyonların ve katyonların bireysel konsantrasyonu ile milyon başına parça (ppm) olarak ifade edilir ve Toplam Çözünmüş Katılar (TDS) olarak adlandırılır (Hassell 2008).

Klorür ve sülfat iyonları, metal yüzeyin üzerinde oluşmuş olan koruyucu filmin nüfuz etmesinde ve parçalanmasında aktiftir. Suyun tuzluluk miktarı arttıkça, klorür iyonları pasif filme daha fazla zarar verir ve yerel korozyonu başlatmış olur (Heidersbach 1990).

Oda sıcaklığında sodyum klorür konsantrasyonunun hava ile doymuş su içindeki pas korozyonu üzerine etkisi Şekil 4'de gösterilmektedir. Korozyon hızı önce tuz konsantrasyonuyla artar ve daha sonra doygunluğa (% 26 NaCl) ulaşıldığında azalır (Uhlig ve Revie 1985).

Alkali metal tuzları (örn., KCl, LiCl, $Na_2S0_4$, KI, NaBr, vb.), demir ve çeliğin korozyon hızını, sodyum klorür ile yaklaşık aynı şekilde etkiler. Klorürler Li, Na ve K için hafif aşındırıcı olmaktadır. Alkalin toprak tuzları (örn., $CaCl_2$, $SrCl_2$) alkali metal tuzlarına göre biraz daha aşındırıcıdır. Nitratlar, düşük konsantrasyonlarda (0.2-0.25 N) klorürlerden veya sülfatlardan biraz daha aşındırıcı gibi görünmektedir, ancak yüksek konsantrasyonlarda olması gerekmez (Borgmann 1937).

Suyun tuzluluğunun artması, çözünmüş oksijen seviyesini düşüreceğinden korozyon hızını yavaşlatır. Aynı miktarda korozyona uğrayan metal yüzeylerde, tuzluluk kaynaklı korozyon hızı değişimi, oksijen konsantrasyonu ve değişiminin sebep olduğu vakalara göre daha azdır (Heidersbach 1990).

Metal yüzeyinde oluşan korozyon ürününün çözünürlüğü, büyük ölçüde pH değerinin sistem korozifliği üzerine kontrolüne bağlıdır. Çeliklerin korozyon hızı normal koşullar altında 4 ile 10 pH değeri arasında bağımsızdır. Oksit çözünmesi, pH değeri 4'ün altına düştüğünde gerçekleşir. $H^+$ iyonlarının varlığı ise korozyonu arttırır. 10'un üzerinde olan pH değerinde ise metal yüzeyinde, pasif ferrik oksit (pas) filmin oluşması korozyon hızını düşürecektir.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı maden sularından kaynaklanan korozyon tepkimeleri, maden ocağında bulunan çelik aksama sahip tüm makine ve ekipmanı etkiler. Tepkimeler oldukça hızlı gerçekleşebilir ve ocak içerisinde makine/ekipmanın metal yüzeylerinde meydana gelen hasar tespiti oldukça güçtür. Maden atmosferi orta derecede aşındırıcıdır. Bunun sebebi ortamda bulunan kömür tozu, ortam kirliliği ve klor/tuz

iyonlarıdır. Metal yüzeylerin korozyondan uzak tutmak için çimento veya reçine enjeksiyonu uygulanabilir. Bu enjeksiyon metali korozif ortamdan uzaklaştırmasına rağmen zamanla oluşan çatlaklar tepkimelerin yeniden başlamasına yol açabilir (Villaescusa 2007).

Yeraltı kömür ocaklarının en büyük problemlerinden biride sudur. Bu problem birçok istenmeyen durumla birlikte korozyona sebep olmaktadır. Ocak içerisinde metal aksamların yüzeyinde oluşan korozyonu azaltmak için, su birikimini ve akışını ortadan kaldırmak gerekir. Bunun için ise; su atımı ve su kaynağı ıslah projelerinin, iyi bir etüt sonucunda yapılması gerektedir.

Ayrıca korozyona uğrama riski olan malzemeleri korozyondan korumak için; malzeme seçimine, dizayn parametrelerine dikkat edilmeli, katodik koruma, inhibitör kullanımı ve kaplama yöntemlerine başvurmakta, seçenekler arasında bulundurulmalıdır.

## KAYNAKLAR

Bardel, E. 2004. Corrosion and Protection, Springer, London, 315 p.

Borgmann, C.W. 1937. Initial Corrosion Rate of Mild Steel Influence of the Cation, 29, 7, pp. 814-821.

CISA, 1994. Corrosion Control in Southern Africa, Mintek, South Africa, 146 p.

Gray, D.J. 2001. Hydro Geochemistry in the Yilgarn Craton, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 1, pp. 253-268.

Hassell, R.C. 2008. Corrosion of Rock Reinforcement in Underground Excavations, Ph.D. Thesis, Western Australian School of Mines Department of Mining Engineering and Surveying, Australia, 294 p.

Heidersbach, R.H. 1990. Marine Corrosion, in Metals Handbook Ninth Edition-Corrosion, ASM International, 13, pp. 893-926.

Jones, D.A. 1996. Principles and Prevention of Corrosion, Prentice-Hall, Upper Saddle Rive, USA, 572 p.

Qi, Z., Jingxuan, X., Wei, Z., Shasha, B., Shiteng, Z., Zhenfeng, C. 2011. Effect of Coal Slurry on the Corrosion of Coal-Mine Equipment, Mining Science and Technology (China), 21, pp. 413–417.

Roberge, P.R. 2000. Handbook of Corrosion Engineering, McGraw-Hill, New York, 1088 p.

Spearing, A., Mondal, K., Bylapudi, G., 2010. The Corrosion of Rock Anchors in Us Coal Mines, SME Annual Meeting, 5 p.

Spearing, A.J.S., Bylapudi, G., Mondal, K., Bhagwat, A.W. 2014. Rock Anchor Corrosion Potential Determination in US Underground Coal Mines, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy 6th South African Rock Engineering Symposium SARES, 1 p.

Uhlig, H.H., Revie, R.W. 1985. Corrosion and Corrosion Control, 3rd edn, Wiley Interscience, 513 p.

Villaescusa, E. 2007. Corrosion of Rock Reinforcement in Underground Excavations, Minerals and Energy Research Institute of Western Australia, Report No. 263, Bentley, 194 p.

Wu, S., Northovera, M., Craiga, P., Canbulat, İ., Hagana, P.C., Saydam, S. 2017. Environmental Influence on Mesh Corrosion in Underground Coal Mines, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, pp. 1 - 17, http://dx.doi.org/10.1080/17480930.2017.1299604.

# ENERJİ KAYNAĞI OLARAK KÖMÜR KULLANIMININ ETKİNLİK DEĞİŞİMİ

## *EFFICIENCY CHANGE OF COAL USE AS ENERGY RESOURCE*

**Yaşar Kasap***
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Artan nüfus ve sanayileşmeyle bağlantılı olarak ülkemizde de elektrik enerjisine olan talep giderek artmaktadır. Bu talebin enerji üretiminden tüketimine kadar her aşamada verimlilik artışı ile karşılanabileceği düşünülmektedir. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü ithalat yoluyla karşılamak durumunda olan Türkiye'nin 2000-2015 yılları arasındaki enerji üretiminde kömür kullanımını inceleyebilmek için Malmquist toplam faktör verimlilik indeksinden (MPI) yararlanılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda; elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömürlerin etkinlik değişim değerlerinde, ithal kömür kullanımındaki artışa bağlı olarak, %16,5'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Son yıllarda, linyit kaynaklı elektrik üretimine yeni yatırımların yapılmaması sebebiyle etkinlik gelişiminde %1,2 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

**ABSTRACT** The demand for electric energy in our country is increasing steadily due to population growth and industrialization. It is thought that this claim can be met by increasing productivity at every stage from energy production to consumption. Use of coal as energy resources in Turkey, which has to meet a large portion of its energy needs through imports, between the years 2000-2015 was examined with the Malmquist total factor productivity index (MPI). As a result of the implemented analyses it has been determined that the efficiency change value of coal used in the production of electric energy increased by 16.5% due to the increase in the use of imported coal. It has been determined that there is a 1.2% reduction in efficiency development due to the lack of new investments in recent years in the lignite-based electricity generation.

* *yasar.kasap@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin büyüme hedeflerinin belirlenmesinde enerji kaynaklarının varlığı ve temin imkânları önemli rol oynamaktadır. Kaynakların güvenilir olmaması, fiyatların değişken olmasına ve ekonomik büyüme programının oluşturulamamasına sebep olmaktadır (Kasap ve Duman 2013).

Petrol ve doğal gaz rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması ve fiyatlarındaki yüksek değişkenlik derecesi, nükleer kaynakların atık sorunu ve kaza anında onarılmaz çevre problemleri yaratması nedeniyle oluşan kamuoyu tepkisi, yeni-yenilenebilir kaynakların yüksek maliyetleri teknolojik gelişmeler yeni açılımlar yaratmadığı sürece, yakın gelecekte, hem ekonomik hem de stratejik nedenlerden dolayı, kömür önemli bir enerji kaynağı olamaya devam edecektir (Kasap ve Duman 2013, Tamzok 2005).

Dünya 2015 yılı toplam kömür üretimi dikkate alındığında, küresel kömür rezervlerinin yaklaşık 116 yıl ömrü bulunduğu hesaplanmaktadır (Çizelge 1). Aynı şekilde, ısıl değeri yaklaşık 4.000 kcal/kg'dan düşük linyit rezervlerinin kalan ömürleri ise, 2012 yılı küresel linyit üretimi dikkate alındığında 222 yıldır. Bununla beraber, kömür rezervlerinin kalan ömrünün hesaplanmasında, günümüz koşullarında teknik ve ekonomik bakımdan kazanılabilir olan toplam 861 milyar ton büyüklüğündeki kömür rezervi temel olarak alınmaktadır. Almanya Federal Yer Bilimleri ve Doğal Kaynaklar Enstitüsü'ne göre, günümüz koşullarında henüz teknik ya da ekonomik bakımdan kazanılabilir olmayan 17 trilyon ton taşkömürü ile 4,2 trilyon ton linyit, "kaynak" olarak yerkürede kullanılabileceği zamanı beklemektedir (TKİ 2016).

Dünya kömür üretimi son otuz yılda iki katına yakın artmıştır. Kömür üretimindeki artış, büyük ölçüde başta Çin olmak üzere Asya kıtasındaki elektrik enerjisi talebinden kaynaklanmaktadır. Son on yılda Asya-Pasifik Bölgesi'nin toplamındaki elektrik enerjisi üretim artışı yaklaşık 2 kat olup, elektrik üretiminde en yoğun olarak kullanılan kaynak kömür olmuştur (TKİ 2016). Ülkemizde ise linyit üretimi 2015 yılında bir önceki yıla göre %10,3 oranında azalarak 56,1 milyon ton, satılabilir taşkömürü üretimi ise önceki yıla göre %22,23 oranında azalarak 1,4 milyon ton olmuştur.

Zengin kömür rezervlerine sahip ülkelerin davranışlarına bakıldığında, bu ülkelerin, eğer bir diğer yerli kaynağın ağırlıklı kullanımı söz konusu değilse, kömür rezervlerini elektrik üretimlerinde yüksek oranlarda kullanmakta tereddüt etmedikleri anlaşılmaktadır. Türkiye'nin ise, özellikle son yıllarda, elektrik üretiminde yerli kömür kaynaklarının kullanımı bakımından, söz konusu ülkelerden çok daha farklı davrandığı gözlenmektedir. Bu durum, Türkiye'nin enerji arz güvenliğinden tamamen vazgeçmesine ve elektrik maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır (Tamzok 2005).

Çizelge 1. Çeşitli ülkelerin kömür rezervleri ve rezerv tüketim süreleri (TKİ 2016).

| | **Rezerv (milyar ton)** | **Toplamdaki Payı (%)** | **2015 Yılı Üretim Miktarı (milyon ton)** | **Rezerv/Üretim (yıl)** |
|---|---|---|---|---|
| **Dünya** | 891 | 100 | 7709 | 116 |
| **ABD** | 237,3 | 26,6 | 813 | 291 |
| **Rusya** | 157 | 17,6 | 349 | 450 |
| **Çin** | 114,5 | 12,9 | 3527 | 35 |
| **Avustralya** | 76,4 | 8,6 | 509 | 150 |
| **Hindistan** | 60,6 | 6,8 | 691 | 88 |
| **Almanya** | 40,5 | 4,5 | 185 | 219 |
| **Güney Afrika Cumhuriyeti** | 30,2 | 3,4 | 252 | 120 |
| **Türkiye** | 9,4 | 1,1 | 58,4 | 161 |

Ülkemiz enerji tüketimi son on yılda %45,7 artış gösterirken, enerji üretimimiz ise %27,7 arttırılabilmiştir. Dolayısıyla, enerji üretimimizdeki artış enerji tüketimindeki artış hızının önemli ölçüde gerisindedir. Bu nedenle, yerli üretimin tüketimi karşılama oranı on yıl önce %27,3 düzeyindeyken 2015 yılı itibariyle %23,9'a düşmüştür. Eşdeğer petrol bazında kömür üretimindeki gerileme ise son on yıllık dönemde %7,2 olmuştur. Yerli kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı 2005 yılında %12,4 düzeyindeyken 2015 yılında %9,8 şeklinde gerçekleşmiştir. Yerli enerji üretiminin tüketimi giderek daha az oranda karşılayabilmesi sonucunda enerji ithalatının da hızla artması kaçınılmaz olmuştur (TKİ 2016).

Enerji maliyetlerinin artması, enerji üretiminin çevresel etkilerinin önem arz etmesi, serbest piyasada rekabet edebilen sürekli ve güvenilir enerji arzının sağlanması bakımından enerji verimliliğinin üretimde başladığı düşünülerek bu çalışmada; Türkiye'nin 2000-2015 yılları arasındaki elektrik enerjisi üretiminde kömür kullanımının verimlilik gelişimi analiz edilmeye çalışılmıştır.

Enerji üretiminde verimlilik denilince;
- Güvenilirlik ve kesintisizlik,
- Birincil enerji kaynaklarında yerli oranının arttırılması,
- Üretimdeki birincil kaynak kayıplarının en az olduğu, yatırımcı için kazançlı - tüketici için ödenebilir bir fiyat yapısı,
- Çevresel ve dışsal maliyetlerin minimize edilmesi,
- Sektör çalışanlarının iş ve gelir tatminine ulaşması,
- Sektörün teknolojik yeterliliğinde, yüksek inovasyon kapasitesinde ve yönetim kalitesinde iyileşme olarak algılanmalıdır (Enver 2011).

Günümüzde üretim amaçlı kullanılan birbirinden farklı kaynaklar, bu kaynakların kullanımı ile elde edilen farklı ürünler ve girdi-çıktı birimlerindeki farklılıklar verimliliğin değerlendirilmesini güçleştirdiğinden dolayı birçok ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. Verimlilik ve etkinlik gibi ölçütleri de içerisinde bulunduran performans ölçümlerini gerçekleştirecek, standart biçime gelmiş güvenli ve geçerli

ölçüm tekniklerinin bulunmayışı ve analizlerde fonksiyonel form gerektirmemesi parametrik olmayan doğrusal programlama metotlarının öne çıkmasına sebep olmuştur.

Parametrik olmayan doğrusal programlama metodu, tek bir dönemde karar birimlerinin verilerini kullanarak analiz yapmakta, zaman içinde meydana gelebilecek etkinlik değişimlerini dikkate almamaktadır. Bu sebeple incelenen yıllar arasında Türkiye'nin enerji üretim verimlilik gelişimini analiz edebilmek için etkinlik analizlerinde zaman boyutunu da dikkate alan Malmquist toplam faktör verimlilik indeksinden (MPI) faydalanılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda; 2000-2015 yılları arasında elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların etkinlik gelişimlerinde, taşkömürü+ithal kömür+asfaltit ile linyit kullanımlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmaların ithalattan kaynaklanan problemlere, finansal krizlere ve mevcut kurulu güçlerin etkin kullanılamamasına bağlı olarak geliştiği sonucuna varılmış ve yerli kaynak kullanımına dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Parametrik etkinlik ölçümleri tamamen etkin birimlerin üretim fonksiyonlarının bilindiğini varsaymaktadır. Pratikte üretim fonksiyonları asla bilinmediği için Farrell (1957), fonksiyonun örneklemdeki verilerinin kullanılması suretiyle tahmin edilmesini önermiştir. İlk öneri Charnes vd. (1978) tarafından değerlendirilmiştir.

Karşılaştırılmalı etkinlik analizi için kullanılan parametrik olmayan doğrusal programlama metodunda ilk önce aynı üretim faaliyetlerini gerçekleştiren karar verme birimlerinin (KVB:dikkate alınan kaynaklar) doğrusal kombinasyonları ve etkin gözlemlerini içine alan zarflanmış yüzeyleri (etkin sınırı) bulunmaktadır. Daha sonra bu zarflanmış yüzey içinde kalan etkin olmayan birimlerin merkeze olan radyal uzaklıkları ile etkinlik değerleri hesaplanmaktadır (Muniz 2002, Aydagün 2003).

Bu yöntemin en önemli avantajı, her karar verme biriminin etkin olmayan miktarını ve kaynaklarını tanımlayabilmesidir. Bu özelliği ile yöntem, etkin olmayan birimlerin etkin hale gelebilmeleri için girdilerini ne kadar azaltmaları ve/veya çıktılarını ne kadar arttırmaları gerektiği konusunda karar vericilere yol gösterebilmektedir.
k (dikkate alınan karar verme birimi) KVB'nin Teknik Etkinlik (TE) değerini hesaplamak için Eşitlik (1)-(4)'te yer alan doğrusal programlama modeli kullanılır.

Eşitlik (1)'de tanımlanan amaç fonksiyonunda girdiler sabit tutularak çıktılar maksimum yapılmaya çalışılmaktadır. Eşitlik (2)'de etkin olmayan KVB'nin çıktılarını maksimize eden kısıt verilmiştir. Eşitlik (3) çıktı en büyüklemesi amacı altında parametrik olmayan doğrusal programlamayı girdileri sabit tutmayı kapsamaktadır. Bütün birimlerde kullanılan i. girdinin ağırlıklandırılmış doğrusal

kombinasyonundaki yapısından daha düşük girdi seviyesiyle her j KVB'nin i. girdisi hesaplanabilir. Eşitlik (4) ise işaret kısıtıdır.

$$\max \theta_k \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \cdot Y_{rj} - s_{rj}^{-} = \theta_k . Y_{rk}; \qquad r = 1,2,...,s \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \cdot X_{ij} + s_{ij}^{+} = X_{ik}; \qquad i = 1,2,..,m \tag{3}$$

$$\lambda_j, s_{ij}^{+}, s_{rj}^{-} \geq 0 \qquad \forall\ i,\ r,j \tag{4}$$

Her KVB'nin etkin olması için

- optimal $\theta_k$ değerinin 1ve
- bütün aylak değişkenlerin sıfır olması gerekmektedir. ($s_{ik}^{+}, s_{rk}^{-} = 0$)

Parametrik olmayan doğrusal programlama modelinin formülasyonunda kullanılan simgeler aşağıda tanımlanmıştır;

$n$ karşılaştırmanın yapıldığı karar verme birimlerinin sayısı,
$s$ üretimden elde edilen çıktı sayısı,
$m$ üretimde kullanılan girdi sayısı,
$k = (1,2,....,n)$ dikkate alınan karar verme birimi seti,
$r = (1,2,....,s)$ tüm çıktıların seti,
$i = (1,2,....,m)$ tüm girdilerin seti,
$y \in R^{+}_{s}$ çıktılar vektörü $(Y_1, Y_2,\ldots,Y_s) = s \times n$
$x \in R^{+}_{m}$ girdiler vektörü $(X_1, X_2,\ldots,X_m) = m \times n$
$\lambda$ girdi-çıktıların ağırlık ortalamalarını veren yoğunluk değişkenlerinin vektörü = $k \times 1$
$\lambda_{jk}$ çıktıya yönelik modelde etkinliği ölçülen "$k$" karar biriminin diğer birimlere ($j$) göre aldığı ağırlık değeri,
$\theta_k$ en iyi sınırı elde etmek için dikkate alınan k KVB'nin tüm çıktılarını arttırmaya çalışan skaler değişken (etkinlik değeri),
$Y_{rj}$ j karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı miktarı,
$Y_{rk}$ k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı miktarı,
$X_{ij}$ j karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi miktarı,
$X_{ik}$ k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi miktarı,
$t$ incelenen yıl
$t+1$ incelenen yıldan sonraki yıl

Parametrik olmayan doğrusal programlama metodu, statik bir analiz şeklidir ve tek bir dönemdeki karar birimlerinin verileri kullanılarak analiz yapılmaktadır. Ancak etkinliği saptanmış bir karar birimi daha sonraki dönemlerde etkinliğini yitirebilir ve referans olma özelliğini kaybedebilir. Bu açıdan etkinlik değerlendirme sürecinde, zaman içerisinde meydana gelebilecek değişimin incelenebilmesi amacıyla Malmquist toplam faktör verimlilik indeksi geliştirilmiştir.

Farrell (1957) teknik etkinlik ölçümüne uzaklık fonksiyonları dahil edilerek elde edilen Malmquist toplam faktör verimlilik indeksi; iki birimin toplam faktör verimliliklerindeki değişimini ortak bir teknolojiye olan uzaklıkların oranı olarak ölçmektedir. Uzaklık fonksiyonu çok-girdili, çok-çıktılı üretim teknolojilerini, maliyet minimizasyonu ya da kâr maksimizasyonu gibi hedefleri belirtmeden, tanımlamada kullanılmaktadır. Girdi uzaklık fonksiyonu, çıktı vektörü verildiğinde, oransal olarak en çok daralan girdi vektörüne bağlı olarak üretim teknolojisini tanımlamaktadır. Benzer olarak, çıktı uzaklık fonksiyonu, girdi vektörü verildiğinde, oransal olarak en çok genişleyen girdi vektörüne bağlı olarak üretim teknolojisini tanımlamaktadır (Tarım 2001, Cingi ve Tarım 2000, Coelli vd. 1998).

Grifell-Tatje ve Lovell (1995), Malmquist indeksi için gerekli olan uzaklık fonksiyonlarının hesaplanmasında, ölçeğe göre değişken getiri varsayımını kullanmanın, MPI'daki değişimleri (verimlilik kazanımı veya kaybını) doğru ölçmeyeceğini göstermişlerdir. Bu nedenle indeksin, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında hesaplanması gerekmektedir (Kasap 2008, Tarım 2001).
Çıktı uzaklık fonksiyonu;

$$D_i(x,y) = \min\left\{\theta : (x, \frac{y}{\theta}) \in L(x)\right\} \tag{5}$$

Uzaklık fonksiyonu $D_i(x,y)$'nin alacağı değerler, $y$ vektörü $L(x)$ etkin sınırı üzerinde ise 1.0; $x$ vektörü $L(y)$ içindeki teknik etkin olmayan bir noktayı tanımlıyorsa <1.0; ve $x$ vektörü $L(y)$ dışındaki mümkün olmayan bir noktayı tanımlıyorsa >1.0'dir. Dikkate alınan $t$ dönemi ve bunu izleyen $(t+1)$ dönemi arasındaki girdiye göre Malmquist toplam faktör verimlilik değişim indeksi (*MPI*), uzaklık fonksiyonu çerçevesinde;

$$MPI = \sqrt{\frac{D_i^t\left(y^{t+1}, x^{t+1}\right)}{D_i^t\left(y^t, x^t\right)} \times \frac{D_i^{t+1}\left(y^{t+1}, x^{t+1}\right)}{D_i^{t+1}\left(y^t, x^t\right)}} \tag{6}$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada $D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})$, $(t+1)$ dönemi gözleminin $t$ dönemi teknolojisinden olan uzaklığını ifade etmektedir.

Uzaklık fonksiyonundan hareketle hesaplanan MPI, verimlilikteki değişimleri iki ayrı bileşene göre incelemektedir. Bunlar, teknik etkinlik değişimi (TE) ve teknolojik değişmedir (TD). Teknik etkinlik değişimi, karar verme birimlerinin etkin sınıra yaklaşma sürecinin bir değerlendirmesini verirken, teknolojik değişme; etkin sınırın zaman içindeki değişimini vermektedir. Buradaki teknik etkinlik mevcut girdilerle üretilen maksimum çıktı miktarını ifade etmektedir. Teknolojik değişim içerisinde yer alan teknoloji kelimesi sadece üretim ya da makine teknolojisi anlamında değil verimliliği etkileyecek olan, üretim sürecine ait politikalar, düzenlemeler ve çevrenin etkisini de içine alacak şekilde genişletilebilmektedir (Grifell-Tatje ve Lovell 1995, Lorcu 2010).

Denklem 6 yeniden düzenlendiğinde:

$$MPI = \frac{D_i^{t+1}\left(y^{t+1}, x^{t+1}\right)}{D_i^{t}\left(y^{t}, x^{t}\right)} \times \sqrt{\frac{D_i^{t}\left(y^{t+1}, x^{t+1}\right)}{D_i^{t+1}\left(y^{t+1}, x^{t+1}\right)} \times \frac{D_i^{t}\left(y^{t}, x^{t}\right)}{D_i^{t+1}\left(y^{t}, x^{t}\right)}} \quad (7)$$

Teknik Etkinlik Değişimi — Teknolojik Değişim

MPI = TE × TD dir.

MPI'nın hesaplanmasında aşağıdaki dört çıktı uzaklık fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Uzaklık fonksiyonları.

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\left[D_i^{t+1}\left(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}\right)\right]^{-1}$ | $= \max\theta_k$ | $\left[D_i^{t+1}\left(x_j^{t}, y_j^{t}\right)\right]^{-1}$ | $= \max\theta_k$ |
| | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t+1} \cdot y_{rj}^{t+1} \geq y_{rk}^{t+1} . \theta_k$ | | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t+1} \cdot y_{rj}^{t+1} \geq y_{rk}^{t} . \theta_k$ |
| | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t+1} \cdot x_{ij}^{t+1} \leq x_{ij}^{t+1}$ | | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t+1} \cdot x_{ij}^{t+1} \leq x_{ij}^{t}$ |
| | $\lambda_{jk}^{t+1} \geq 0$ | | $\lambda_{jk}^{t+1} \geq 0$ |
| $\left[D_i^{t}\left(x_j^{t}, y_j^{t}\right)\right]^{-1}$ | $= \max\theta_k$ | $\left[D_i^{t}\left(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}\right)\right]^{-1}$ | $= \max\theta_k$ |
| | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t} \cdot y_{rj}^{t} \geq y_{rk}^{t} . \theta_k$ | | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t} \cdot y_{rj}^{t} \geq y_{rk}^{t+1} . \theta_k$ |
| | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t} \cdot x_{ij}^{t} \leq x_{ij}^{t}$ | | $\sum_{j=1}^{n} \lambda_{jk}^{t} \cdot x_{ij}^{t} \leq x_{ij}^{t+1}$ |
| | $\lambda_{jk}^{t} \geq 0$ | | $\lambda_{jk}^{t} \geq 0$ |

Tanımlanan bu uzaklık değerlerinin tüm dönemler ve gözlemler için hesaplanabilmesi, n KVB sayısını ve t dönem sayısını göstermek üzere, $n(3t-2)$ tane doğrusal programlama modelinin çözümünü gerektirmektedir (Tarım 2001, Fare vd. 1994). Bu çalışmada da dikkate alınan 2 enerji kaynağı ve 16 yıl olması sebebiyle analizlerin yapılabilmesi için 92 adet doğrusal programlama modeli çözülmüştür.

## 3. UYGULAMA

Türkiye elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömürün 2000-2015 yılları arasındaki gelişimini inceleyebilmek için Malmquist toplam faktör verimlilik indeksinden (MPI) yararlanılmıştır. Analizlerde kullanılan veriler Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nin ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın istatistiklerinden alınmıştır (Çizelge 3) (TEİAŞ 2018, ETKB 2018). 2009 yılına kadar elektrik üretiminde kullanılan kömürlere ait veriler taşkömürü+ithal kömür+asfaltit ve linyit olmak üzere iki grup altında toplanmıştır. Bu sebeple analizlerde de söz konusu iki grup dikkate alınmıştır.

Analizlerin esası; tüm kaynakların girdi-çıktı gözlemlerine göre belirlenen etkin sınırları ve bu sınırlarının zaman içerisindeki değişimlerine dayanmaktadır. Modellerin çözümünde Coelli (1996) tarafından yazılan DEAP 2.1 bilgisayar programı kullanılmıştır.

Çizelge 3. 2000-2015 yılları arasında elektik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların girdi ve çıktılarının istatistiksel özeti.

| | **Taşkömürü+İthal Kömür+Asfaltit** | | | **Linyit** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Üretimdeki Payları (%)** | **Elektrik Enerjisi Üretim Miktarı (Gwh)** | **Kurulu Gücü (MW)** | **Üretimdeki Payları (%)** | **Elektrik Enerjisi Üretim Miktarı (Gwh)** | **Kurulu Gücü (MW)** |
| **Ortalama** | 9,11 | 19090,53 | 2852,44 | 18,41 | 33260,64 | 7617,42 |
| **Standart Sapma** | 4,36 | 12904,62 | 1987,27 | 4,64 | 5474,22 | 844,37 |
| **Maksimum** | 17,10 | 44829,90 | 6819,20 | 28,00 | 41858,10 | 8663,40 |
| **Minimum** | 3,10 | 3819,00 | 480,00 | 12,00 | 22449,50 | 6438,90 |

İncelenen parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

*n* taşkömürü+ithal kömür+asfaltit, linyit

*s* üretimde elde edilen çıktı sayısı (elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömürlerin payları (%), elektrik enerjisi üretim miktarı (Gwh)),

*m* üretimde kullanılan girdi sayısı (kömüre dayalı santral kurulu gücü (MW)),

$k =$ (1,2) dikkate alınan karar verme birimi kümesi,

$j =$ (1,2) tüm karar verme birimleri kümesi,

$r =$ (1,2) tüm çıktıların kümesi,

$i =$ (1) tüm girdilerin kümesi,

$t =$ (2000, 2001, …, 2015) dikkate alınan zaman periyodu kümesi.

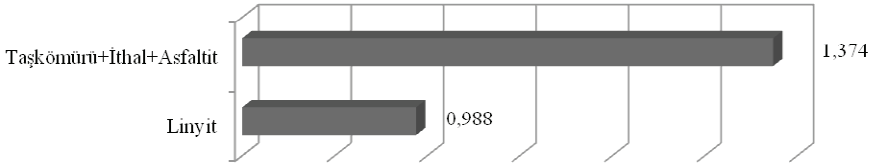
Çizelge 4. Elektrik enerjisi üretiminde kömür kullanımının MPI ve bileşenlerine ait indekslerin ortalama değişimleri (2000-2015).

| | **TE** | **TD** | **MPI** |
|---|---|---|---|
| **Taşkömürü+İthal kömür+Asfaltit** | 1,376 | 0,998 | 1,374 |
| **Linyit** | 0,992 | 0,996 | 0,988 |
| **Ortalama** | **1,169** | **0,997** | **1,165** |

TE: Teknik Etkinlik Değişimi, TD: Teknolojik Değişim, MPI: Malmquist Toplam Faktör Verimlilik İndeksi

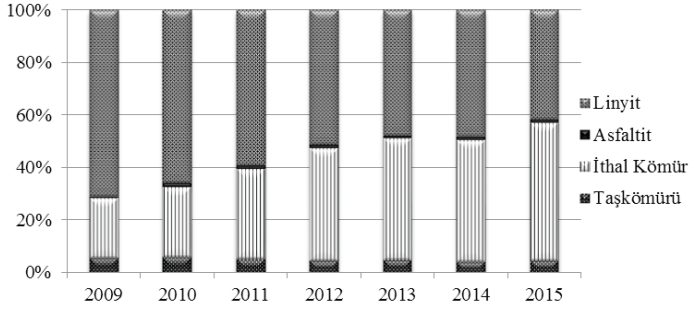
Çizelge 4'teki sonuçlardan da incelenebileceği gibi elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömürlerin etkinlik değişim değerlerinin geometrik ortalaması 1,165 (>1) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç; incelenen kaynakların 2000-2015 yılları arasındaki verimlilik değişimlerinde %16,5'lik bir artış meydana geldiğini ifade etmektedir. MPI'daki artışın sebebi taşkömürü+ithal kömür+asfaltit grubundaki kömürlerin kullanım oranında meydana gelen artıştır. Teknolojik değişmede tespit edilen %0,2'lik (1=100 ise 0,998) azalma dikkate alınan yıllar içerisinde ölçülen etkinlik sınırında azalma olduğunu ifade etmektedir. Bu gruptaki kömürlerin mevcut kurulu

güçlerine göre ürettikleri elektrik miktarındaki ve üretim paylarındaki artışa bağlı olarak teknik etkinlik değerinde %37,6'lık bir artış meydana gelmiştir.



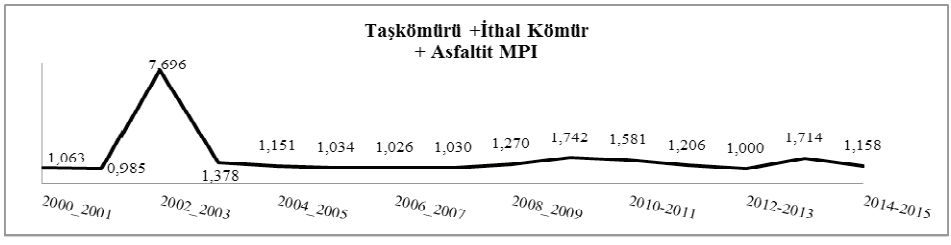

Şekil 1. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların MPI değerleri.

2009-2015 yılları arasında taşkömürü ve asfaltitin elektrik üretimindeki payında çok büyük değişiklikler olmamasına rağmen ithal kömürün üretimdeki payında artış gözlenmektedir (Şekil 2). Dolayısıyla bu grupta tespit edilen %37,4'lük MPI artışında ithal kömürün payının büyük olduğu söylenebilir.




Şekil 2. Dikkate alınan kömürlerin elektrik üretimindeki payları (%).

Enerji üretimimizdeki artışın enerji tüketimindeki artış hızının önemli ölçüde gerisinde olması sebebiyle yerli üretimin tüketimi karşılama oranı on yıl önce %27,3 düzeyindeyken 2015 yılı itibariyle %23,9'a düşmüştür (TKİ 2016).

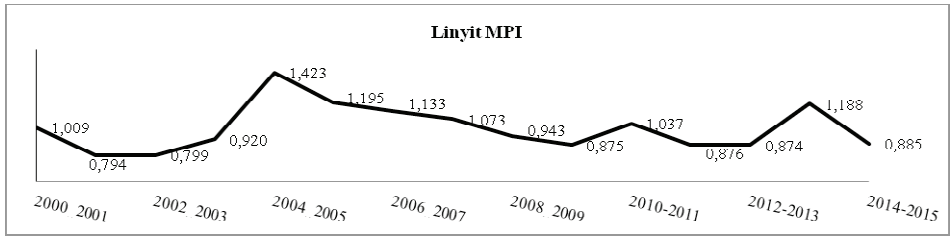



Şekil 3. Elektrik enerjisi üretiminde taşkömürü+ithal kömür+asfaltit kullanımının Malmquist verimlilik indeksi.

Son yıllarda elektrik üretimi amaçlı kullanılacak kömürlere olan talepteki ciddi artış, kömür ithalatındaki artışın en önemli nedeni olmuştur. Şekil 3 incelendiğinde 2001-2002 dışındaki tüm yıllarda MPI değerinin bir ve birin üzerinde olması zaman içerisinde taşkömürü+ithal kömür+asfaltit grubundaki kömürlerin kullanım oranında artış olduğunu göstermektedir. Ancak 2003 yılında ithal kömürün kurulu gücü önceki yıla göre yaklaşık 10 kat, taşkömürü+ithal kömür +asfaltit ile üretilen elektrik miktarı 2 kat artmıştır. Bu sebeple etkinlik değişiminde (7,696) ciddi bir artış tespit edilmiştir.

Taşkömürünün 2009-2015 yılları arasındaki elektrik üretim miktarındaki payı ortalama olarak %1,5 civarındadır. Zonguldak Havzası'ndaki yerli taşkömürünü kullanan Çatalağzı Santrali, ithal kömür lisansına da sahiptir. Bununla birlikte, yerli kömür kullanımı her geçen yıl daha da gerileyen santralin önümüzdeki yıllarda ithal kömür santralleri içinde değerlendirilmesi daha uygun olacaktır (TKİ 2016).

Petrol orijinli bir katı yakıt olan asfaltitin de ülkemizde 80 milyon tonun üzerinde rezervi olduğu tahmin edilmektedir. 2009 yılında Türkiye'de yakıt olarak asfaltitin kullanıldığı ilk termik santral olma özelliği bulunan Şırnak Silopi Termik Santrali'nin 135 MW gücündeki birinci ünitesi devreye alınmıştır. 2015 yılı sonunda üç ünite ile kurulu güç 405 MW'a çıkarılmıştır (Enerji Enstitüsü, 2018). Bu çalışmada yapılan analizler için kullanılan verilerde 2009-2015 yılları arasında Asfaltit'in elektrik enerjisi üretimindeki payı ortalama %0,4 civarında seyretmiştir. Ancak 2015 yılında üretime başlayan üçüncü ünite ile birlikte bu oranın arttığı tahmin edilmektedir.




Şekil 4. Elektrik enerjisi üretiminde linyit kullanımının Malmquist verimlilik indeksi.

2000-2015 yılları arasında linyit kullanımında %1,2'lik (MPI=0,988) bir azalma gözlenmiştir (Şekil 1). Bu azalmanın sebebi hem teknolojik değişimdeki (0,996) azalma hem de teknik etkinlikteki (0,992) azalmadır (MPI=TE × TD) (Çizelge 4). Teknolojik değişimdeki azalma girdi-çıktı gözlemlerine göre belirlenen en iyi üretim sınırının zaman içerisinde ilerlemek yerine gerilediğini göstermektedir. Teknik etkinlik değerindeki azalma dikkate alınan yıllar içerisinde söz konusu kaynağın mevcut kurulu güçlerine rağmen üretim miktarlarında ve üretimdeki paylarında gerileme olduğunu ifade etmektedir.

En düşük MPI değerinin (0,794), 2001-2002 yılları arasında olduğu Şekil 4'te izlenebilmektedir. Bu azalmanın sebebi dikkate alınan veriler değerlendirildiğinde

elektrik üretiminde linyitin payının %7 oranında azalması olarak belirlenmiştir. Türkiye 1999 depreminden sonra toplam enerji tüketiminde bir daralma (%0,58) ile karşı karşıya kalmış, henüz depremin yaralarını saramadan 2001 yılında yaşanan küresel kriz tarihinin en büyük gerilemesini (%6,33) beraberinde getirmiştir. En yüksek MPI değerinin (1,423) ise 2004-2005 yılları arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu yıllara ait veriler incelendiğinde linyitin elektrik üretimindeki payının %3,6 oranında arttığı belirlenmiştir (TMMOB 2015). 2004-2005 yıllarında Çanakkale 18 Mart Çan ve Afşin-Elbistan B santrallerinin devreye girmesi ile linyitin üretimdeki payı bu yıllarda arttırılabilmiştir. Daha sonraki yıllarda bu alanda yeni yatırımların yapılamaması nedeniyle elektrik üretimindeki linyitin payı 2009 yılında %20,1 iken 2015 yılında %12'ye gerilemiştir.

## 4. SONUÇLAR

Türkiye'de özellikle 1980 sonrasında nüfus artışı ve sanayileşmenin hız kazanması ile birlikte enerji talebinin hızla arttığı gözlenmektedir. Bu çalışmada da enerji kaynağı olarak kömür kullanımının etkinlik değişimi incelenmeye çalışılmıştır. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömürlerin etkinlik değişim değerlerinde %16,5'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın sebebinin taşkömürü+ithal kömür+asfaltit grubundaki kömürlerin elektrik üretim payındaki artış olduğu belirlenmiştir. Analizde dikkate alınan veriler incelendiğinde 2009-2015 yılları arasında taşkömürü ve asfaltitin elektrik üretimindeki payında çok büyük değişiklikler olmamasına rağmen ithal kömürün üretimdeki payında artış olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu grupta tespit edilen %37,4'lük MPI artışında ithal kömürün payının büyük olduğu belirlenmiştir.

1999 depremi ve sonrasında 2001 yılında yaşanan küresel kriz, enerji tüketimi açısından tarihinin en büyük gerilemesini (%6,33) beraberinde getirmiştir. Bu sebeple her iki grupta yer alan kömürler için en düşük MPI değerinin 2001 yılında olduğu belirlenmiştir. 2004-2005 yıllarında Çanakkale 18 Mart Çan ve Afşin-Elbistan B santrallerinin devreye girmesi ile linyitin üretimdeki payı arttırılabilmiştir. Ancak sonraki yıllarda bu alanda yeni yatırımların yapılamaması nedeniyle elektrik üretimindeki linyitin payı 2015 yılında %12'ye gerilemiştir. Yapılan analizlerde de elektrik enerjisi üretiminde linyit kullanımının yıllar içerisinde %1,2 (MPI) oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Ülkemizin gelişen ekonomisiyle beraber artan enerji talebinin karşılanmasında, yerli kömürlerimiz, diğer fosil yakıtlara kıyasla bolluğu, istikrarlı tedarik koşulları ve fiyat yapısı ile en güvenilir enerji kaynağı durumundadır. Bu kaynağın gerek elektrik üretimi amaçlı gerekse ısınma ve sanayide kullanımının artırılması, enerji güvenliğinin yanında ekonomiye katkı sağlaması bakımından da büyük önem arz etmektedir. Ayrıca dünyanın önemli bir kesiminde olduğu gibi ülkemizde de kömür madenciliğinde gelişmiş teknolojilerin uygulanması sonucunda düşük üretim maliyetlerinin oluşması, elektrik piyasasında önemini korumasını sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

Aydagün, A. 2003. Veri Zarflama Analizi, T.C. Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Yıl Sonu Semineri.

Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E. 1978. Measuring the Efficiency of Decision Making Units European Journal of Operational Research, 2, 6, pp. 429 – 444.

Cingi S., Tarım, A. 2000. Türk Banka Sisteminde Performans Ölçümü DEA-Malmquist TFP Endeksi Uygulaması, Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliğleri, 2000-01.

Coelli, T.J. 1996. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Center for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Paper 96/08, University of New England.

Coelli, T.J., Rao, D.S.P., Battese G.E. 1998. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Kluwer, Boston, http://books.google.com.

Enerji Enstitüsü, 2018. http://enerjienstitusu.com/2013/03/18/termik-santrallerin-yeni-gozdesi-asfaltit/.

ENVER, 2011. Turkey's Energy and Energy Efficiency Study, Association of Energy Efficiency Iconomy Vezir Consultancy, July.

ETKB, 2018. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanliği, www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi_kitap_2016.pdf, Erişim Tarihi: Ocak 2018.

Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris, Z., Zhang 1994. Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Changes in Industrialized Countries, American Economic Review, 84, pp. 66-83.

Farrel, M.J. 1957. The Measurement of Productivity Efficiency, Journal of The Royal Statistical Society, 120, pp.253-290.

Grifell-Tatje, E., Lovell, C.A.K. 1995. A Note on the Malmquist Productivity Index, Economics Letters, 47:169–175.

Kasap, Y. 2008. Türkiye Kömür Madenciliğinde Etkinlik ve Verimlilik Gelişimi: Veri Zarflama Analizi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,

Kasap, Y., Duman, F. 2013. Use Efficiency of Primary Energy Resources in Turkey, Energy Exploration & Exploitation, 31, 6, pp. 937–952.

Lorcu, F. 2010. Malmquist toplam faktör verimlilik endeksi: Türk otomotiv sanayi uygulaması, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi 39, 2, s. 276-289

Muniz, M.A. 2002. Separating Managerial Inefficiency and External Conditions in Data Envelopment Analysis, European Journal of Operational Research, 143, pp. 625-643.

Tamzok, N., 2005. Kömür Rezervlerine Sahip Ülkelerde Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynakların Seçimi ve Türkiye'nin Konumu, TMMOB V. Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, TBMMO Maden Mühendisleri Odası.

Tarım, A. 2001. Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Göreli Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü, Araştırma/ İnceleme / Çeviri Dizisi 15, Ankara, Şubat.

TEİAŞ, 2018. Türkiye Elektrik Iletim A.Ş., www.teias.gov.tr/tr/iv-turkiye-termik-santrallarinda-kullanilan-yakit-miktarlari-isil-degerleri-ve-kojenerasyon, Erişim Tarihi: Ocak 2018.

TKİ, 2016. Kömür Sektör Raporu, Türkiye Kömür Işletmeleri,

TMMOB, 2015. TBMMO Maden Mühendisleri Odası, Enerji ve Kömür Raporu.

# TÜFÜN YERALTI MADENLERİNDE BARAJ MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

# *USE OF TUFF IN UNDERGROUND MINES AS A SEALED MATERIAL*

**Gülnaz Daloğlu*, Mustafa Önder**
*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

**ÖZET** Yeraltı kömür ocaklarında eski imalat yerlerinde ve yangını söndürmek amacı ile barajlar yapılmaktadır. Genellikle baraj malzemesi olarak "Portland çimento ve ramble" kullanılmasına rağmen, kapatılan kısımlarda meydana gelecek gaz patlamaları hala önlenememektedir. Bu amaçla, araştırmacılar uygun dolgu malzemeleri ve yapay bloklar yaparak, çözüm aramaktadır. Bu patlamaları en aza indirmek amacı ile üretimi kolay, yanmaya dayanımı yüksek, yüksek basınç dayanımına sahip, yüksek ısı-nem kapasiteli doğal Derbent beyaz tüfünün yeraltı kömür ocaklarında baraj malzemesi olarak uygunluğunun araştırılması için, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) metodu ile modellenmesi yapılmıştır. Baraja arkadan gelen 14 MPa'lık patlama basıncı sonunda, Derbent beyaz tüfünün dayanım özellikleri 10 kat daha yüksek olması ve deformasyonun daha az değer alması, baraj malzemesi olarak kullanılan C14 beton sınıfı malzemesi yerine kullanımının uygunluğunu sağlamıştır.

**ABSTRACT** Seals are done to estinguish the fire and at closed areas of underground coal mines. Gas explosions aren't prevented at closed parts although "Portland cement and ramble" are generally used as sealed materials. Thus, researchers search for solution by doing appear filling materials and artifical blocks. Computational Fluid Dynamics (CFD) method was modeled to investigate the naturel Derbent White tuf, which has basic production, high fire stregth, high compressive stress, high heat-moisture capacity, to minimize these explosions. Derbent White tuf showed decuple higher stregth properties and lower deformation as a result of 14 MPa explosion pressure behind of the seal. It can be used as a sealed material instead of C14 concrete type.

* *gdaloglu@ogu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Dünya yeraltı madenciliğinde üretimi biten veya kullanılmayan pano ve topukların, diğer pano ve topuklardaki üretime zarar vermemesi ve insan sağlığını tehlikeye atmaması için, barajlama çok yaygın bir yöntemdir.
Baraj çeşitleri aşağıda verilmiştir (Taşkın vd. 2015);

- Panel kapatma barajları; üretim bittikten sonra, panoya girişi önlemek için yapılan barajlardır. Geride oluşacak tehlikeli gazların sızmasını engeller ve patlamalara karşı dayanıklıdır.
- Bölge kapatma barajları; tehlikeli gaz oluşumunu önlemediği yerlerde gaz yayılmasını engellemek için yapılır.
- İrtibat kapama barajları; bölge kapatmalarına benzer. İrtibat yollarından gaz sızıntısını engellemek için uygulanır.
- Yangın barajları; yangın olduğu zamanlarda havayı kesmek amaçlı yapılır ve kurulan setler 1 gün önceden kurulmalıdır.
- Set barajları; madende üretim bittikten sonra madenin havayla irtibatının kesilmesi için yapılan barajlardır. Baraj arkası tamamen su ile doludur.
- Topuk oluşturma barajları; ara-katlı oda-topuk yöntemi uygulanan madenlerde üretimi biten kör topukların doldurulması için yapılır.

Brune ve Saki (2017), uzunayaklar da göçük patlamalarını önlemek için dinamik barajların kullanılması gerektiğini hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile modellemiştir. Dinamik barajların yapımında nitrojen enjeksiyonu gerekmektedir. Nitrojen enjeksiyonu ile, patlayıcı gaz zonları oluşumu yok olur ve tutuşmayı azaltır. Wei vd. (2017), Çin'de Xinjiang ve Shanxi kömür ocaklarında çalışma yaparken; kömür yangını belirlendiği zaman konsantrasyon yerden 50 m. yükseklikte, enlemsel ve boylamsal olarak manometre ile ölçüldü. Radon konsantrasyon mesafesi 25 m.' den az olmalıdır. Bu alanda statik basınç, yangındaki basınçtan 50 Pa daha yüksek bulunmuştur. Yani; kömür damarında kendiliğinden yanmayı önlemek için 5 adım izlenir. Bunlar: yanmayı belirleme, önleme, baraj yapımı, enjeksiyon ve basınç ayarlamalarıdır. Zha vd. (2017), dar kömür dolgusu ile sürülen göçük-kenar girişindeki kayaç çevresinin deformasyon özelliklerini, Yangliu kömür madeninde analiz ettiler. Ulaşılan galeri kazı zamanı 4 ay, kömür dolgu genişliği 5 m. bulundu. Baraj dolgu malzemesi Portland çimentodur. Bu çimento oranları (0.5:1, 0.75:1, 1:1, 1.5:1) için basınç dayanımları 28 gün bekleme süresi için 3.2-24.1 MPa arasında değişmektedir. Hava sızıntı mesafesi 0.86 m. ve hava-sızıntı mesafesi ve plastik zon toplamı 4.55 m'dir. Zhou vd. (2013), yeni bir baraj örtü malzemesini, Çin'de Gequan East kömür madeninde hava barajı (sızdırmazlık) için buldu. Kil bileşimli şlam (CCS) denilen bu malzeme; kil, çimento, ilaveler (sodyum, silikat) ve cam parçaları içermektedir. Yanmayan bu malzemenin mikroskobik analizi yapıldı. Bu malzeme yangına dayanıklı, hava sızdırmaz, düşük dehidrasyona sahip ve koagülasyon sonrası çatlama önleyici ve düşük maliyetlidir. Gang vd. (2016), bir kömür madeninde kömürün kendiliğinden yanmasını kontrol etmek için, fiziksel ve mekaniksel

karıştırma yolu ile köpürtücü içeren köpürtücü jel (CFA) ve yüksek su emme jeli (HWAG) olan yeni bir malzeme yaptı. Uygun CFA içeren köpürtücü yeteneği ve tek köpürtme karışım oranları, kütle konsantrasyonu, tuza dayanım performansı, Fourier dönüştürücü kızılötesi spektroskopi, termogravimetrik özellikler ve köpük dayanımı, mikroskopik analizler yapıldı. İdeal köpürtücü jel sonuçlarına göre; şekillenmiş alkali çoklu glokozit (APG) ve sodyum dodesil sülfat (SDS) bileşim kütle fraksiyonu %0.9, SDS' ye bağlı APG karışım oranı 4:1, HWAG kütle fraksiyonu %0.4 ve metilenbis akrilamid konsantrasyonu, amonyum persülfat konsantrasyonu ve çözülebilen nişasta kütle fraksiyonu: HWAG sentezlerinin akrilik asidi sırasıyla %0.05, %0.5 ve 1:10' dur. Köpük jel, baraj hava sızıntısı, kömürün nemlendirme zamanı, nemin kömürde soğutma etkisini artırmada etkili olabilir ve kömür ocağında kendiliğinden yanmayı kontrol etmek için ısınma oranı ve kömür oksidasyon reaksiyon hızını azaltmada etkilidir. Huiping vd. (2016), yeraltı kömür ocaklarında emniyeti arttırmak için, stiren-akrilik emülsiyon ile ultra-ince uçucu kül (UFA) araştırıldı. Baraj kapama için UFA uygun miktarı %60 belirlendi. Baraj kapamanın 7 gün sonra su emme değeri %5.0, çekme dayanımı 3.09 MPa, kırmada uzatma %80 ve bağlayıcılık dayanımı 0.72 MPa (7 günlük) ve 1.08 MPa (14 günlük) seviye II standart GB/T23445-2009 polimer çimento suya dayanıklı kaplama malzemesine kadar gider. Gaz-sızdırmaz malzeme olarak, alev geciktirici özellik ve antistatik özellik MT113-1995'dir. Tarayıcı elektron mikroskopu ve hava sızdırmazlık testleri, iyi hava sızdırmaz olarak tam gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, yeraltı kömür ocağında gaz sızdırmazlık örtüsü olarak bu kül kullanılabilir.

Bu çalışmada, yeraltında oluşan gaz patlamalarını en aza indirmek için baraj malzemesi olarak Derbent beyaz tüfünün mekanik özellikleri ele alınmış ve 3-boyutlu modellenmesi yapılmıştır.

## 2. YÖNTEM

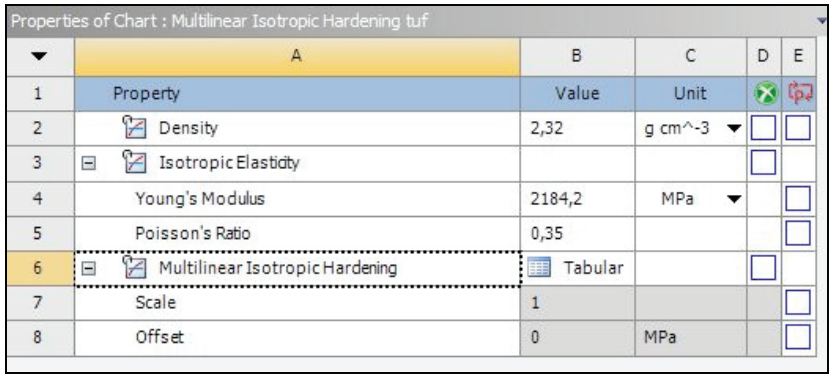
### 2.1. Derbent Tüfünün Malzeme Özellikleri

Baraj malzemesi olarak "ramble" yerine, Derbent beyaz tüfünün fiziksel özellikleri Şekil 1'de gösterilmektedir ve Ansys 12.00 programının "engineering data" kısmına bu veriler girilmiştir (Şekil 2).

Outline of Schematic B2: Engineering Data

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Contents of Engineering Data | | S.. | Description |
| 2 | Material | | | |
| 3 | Structural Steel | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| 4 | tuf | | | |

Şekil 1. Ansys-12.00 programında yeni malzemenin eklenmesi.

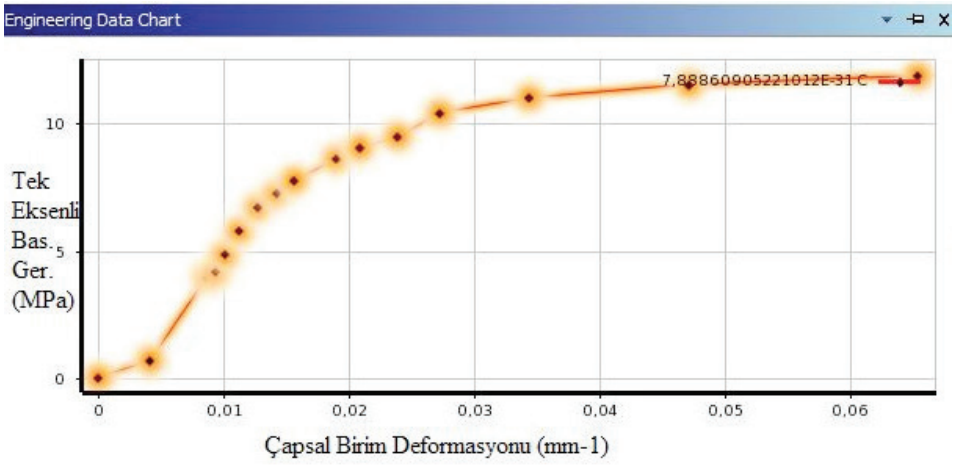



Şekil 2. Ansys-12.00 programında baraj malzemesi olarak kullanılan tüfün fiziksel özellikleri.

Tüfün tek eksenli basma gerilmesi (MPa) ve çapsal birim deformasyon eğrisi için Daloğlu'nun (2008) hazırladığı tezinde 10 adet numuneden alınan 2 numaralı tüf için değerler Çizelge 1'de verilmiş ve modellemeye koyulmuştur (Şekil 3). Daha güvenilir sonuçlara sahip olduğu için, sadece 2 numaralı tüf numunesi dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. 2 nolu numune için eksenel gerilme ve çapsal birim deformasyon değerleri.

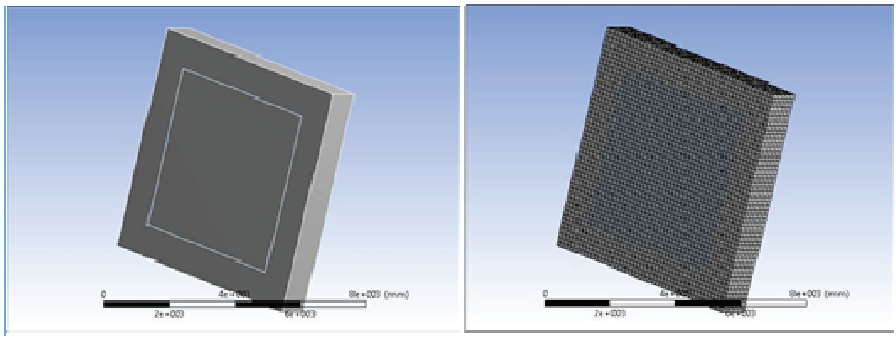
| Deformasyon (mm) | Gerilme (MPa) |
|---|---|
| 0 | 0,1 |
| 0,00411 | 0,76 |
| 0,0086 | 3,99 |
| 0,00935 | 4,24 |
| 0,01009 | 4,92 |
| 0,01122 | 5,86 |
| 0,01271 | 6,79 |
| 0,01421 | 7,3 |
| 0,0157 | 7,81 |
| 0,01906 | 8,66 |
| 0,02093 | 9,08 |
| 0,02392 | 9,51 |
| 0,02729 | 10,44 |
| 0,03439 | 11,03 |
| 0,0471 | 11,55 |
| 0,06542 | 11,89 |




Şekil 3. 2 nolu numune için eksenel gerilme-birim deformasyon eğrisi.

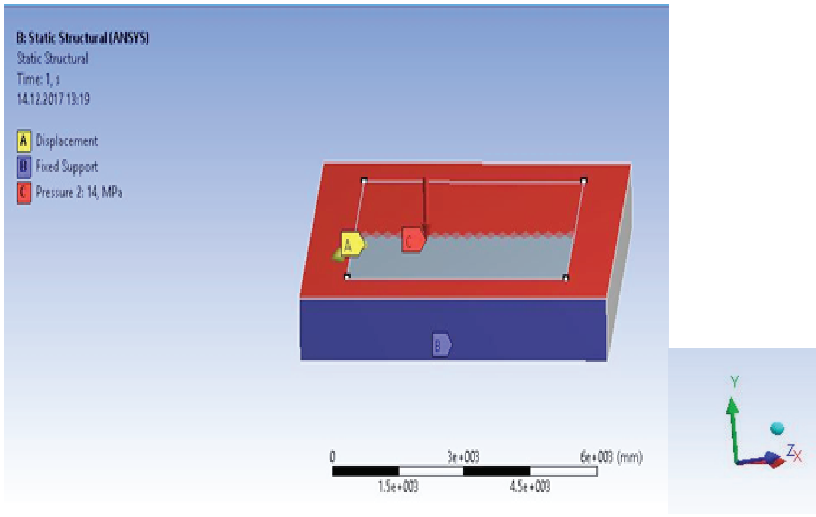
## 2.2. Baraj modellemesinin yapılması

Ansys 12.00 programı ile yapılan modelde 1 m kalınlığında 7x7 m ebatında bir baraj oluşturulmuştur. Bu barajın sağ-sol, alt-üst kısımlarından 1 m'lik bölümleri mesnet görevi görmüştür. Barajın altında kalan kısım 5x5 m'dir. Geometri çizildikten sonra çözümleme için ağ (mesh) yapılmıştır (Şekil 4).



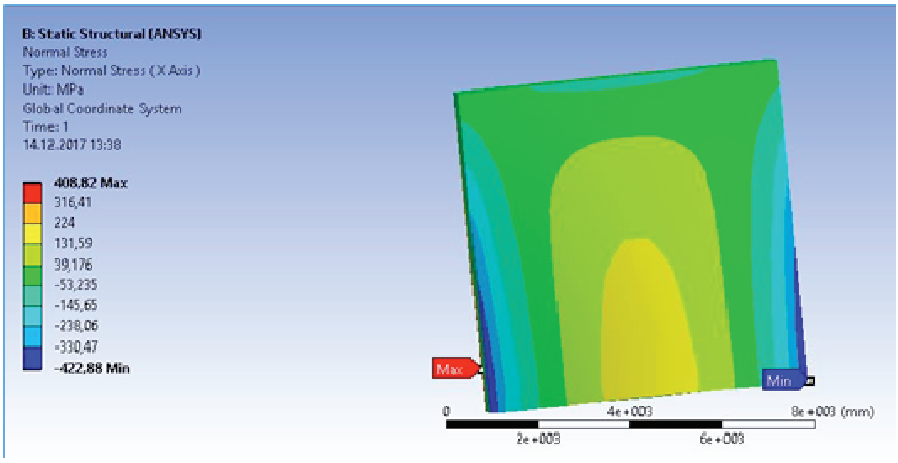
Şekil 4. Baraj modellemesi.

Baraj, yan ve üst duvarlarda sabitlenerek (fixed support) tahkimat görevi sağlanmıştır ve 5x5 m'lik bölgenin 8 uç noktası mesnetlerek (point load), bu 8 noktadaki yerdeğişimleri belirlenebilmiştir (displacement). Barajın arkasından gelen patlama basıncı (14 MPa), sabit destekler (fixed supports) ve mesnetlerdeki yerdeğişimleri Şekil 5'de gösterilmektedir.



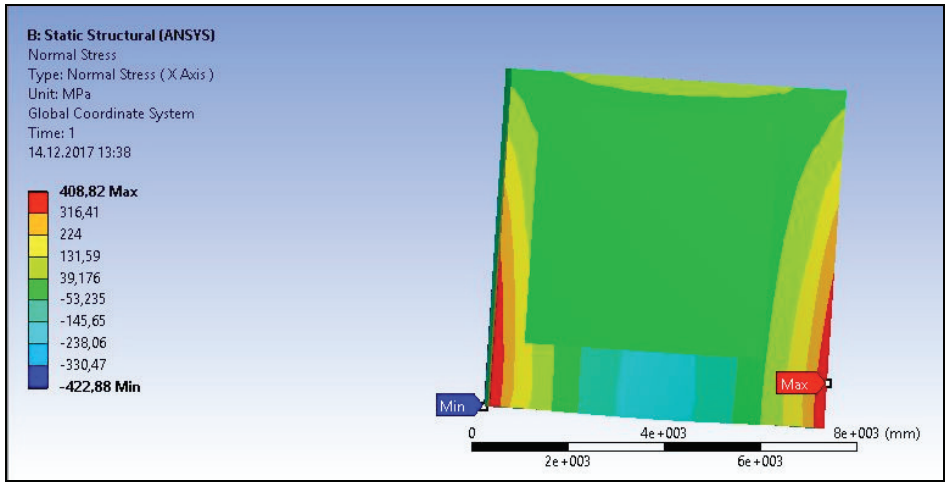

Şekil 5. Baraj üzerine gelen basınç ve kuvvetlerin gösterimi.

Modelleme sonucunda baraj üzerine gelen minimum ve maksimum normal gerilmeler, Şekil 6' da gösterilmektedir. Buna göre tahkimatın bulunduğu arka-alt uç noktalar maksimum gerilme değerine (408,82 MPa) sahipken, ön-alt destek kısımları minimum gerilme değerine (-422,88 MPa) sahiptir. Ön kısımda kenarlardan ortalara doğru, normal gerilme değeri X ekseni boyunca artmaktadır.



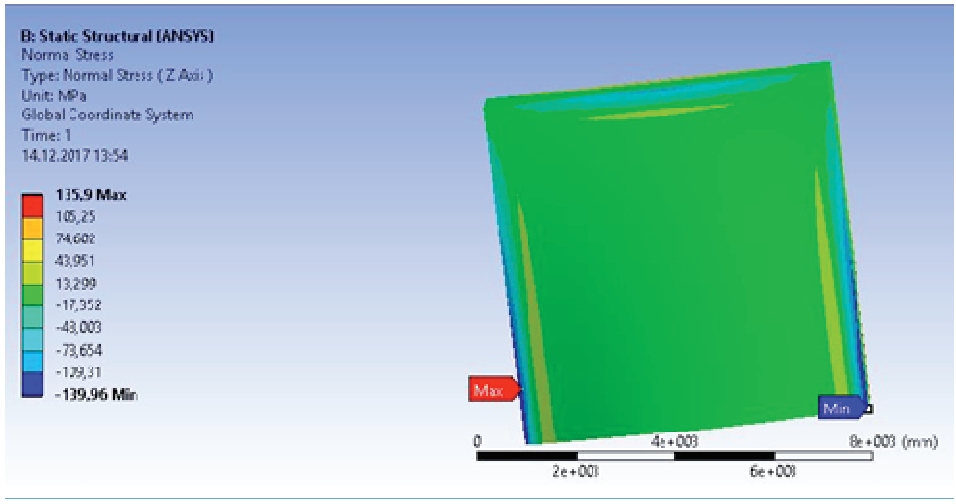

Şekil 6. X ekseni boyunca ön yüzde normal gerilme değerlerinin gösterimi.

Barajın arka tarafı kenarlarda maksimum gerilmeye sahipken, ortalara doğru hızla gerilme değeri azalmaktadır. Yalnız orta tahkimatsız kısımda gerilme değeri, orta ve sabit bir değerde durmaktadır (Şekil 7).



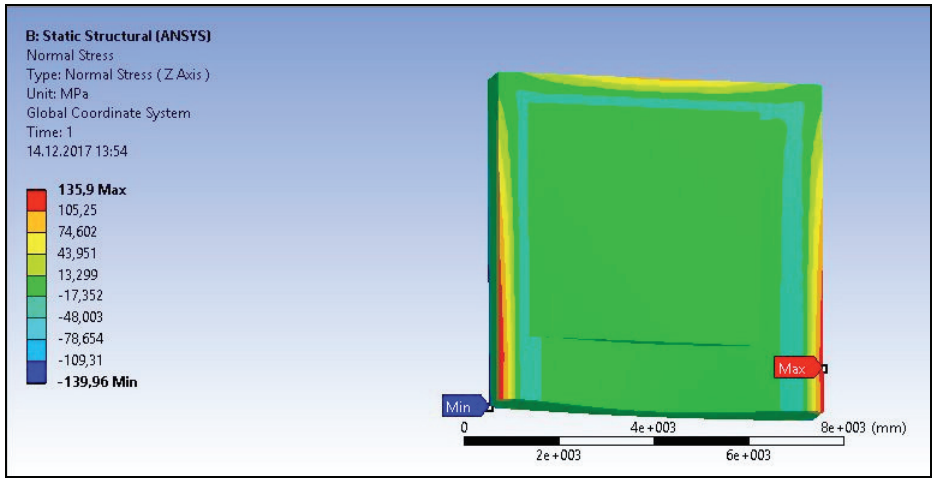

Şekil 7. X ekseni boyunca arka yüzde normal gerilme değerlerinin gösterimi.

Şekil 8'de patlama basıncı z ekseni yönünde geldiği için, z ekseninde ön ve arka yüzdeki normal gerilme değerlerine bakılmıştır. Buna göre, önyüzde tahkimatın olduğu alt uçlar minimum gerilme değerine (-139,96 MPa) sahipken, orta kısımda eşit ve sabit bir değer (13,299 MPa) göstermektedir.



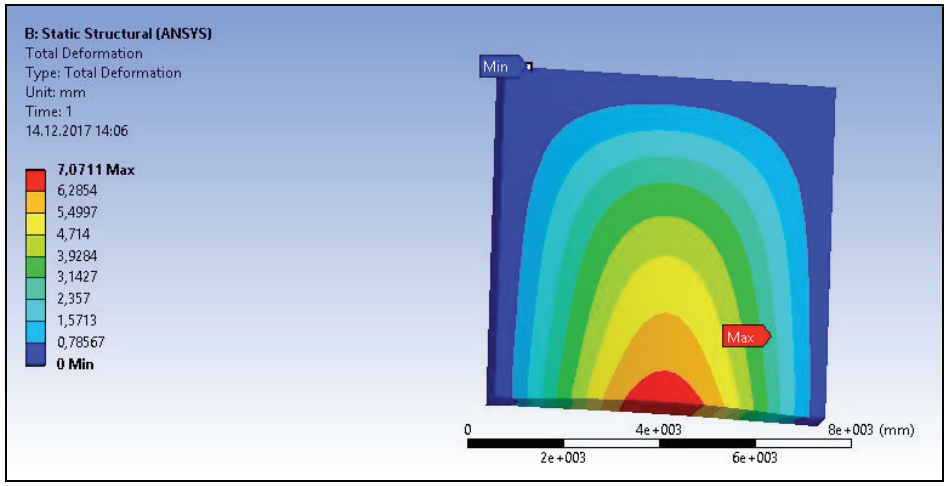

Şekil 8. Z ekseni boyunca ön yüzde normal gerilme değerlerinin gösterimi.

Z ekseni arka yüzünde ise alt kenarlarda maksimum (135,9 MPa) değer alırken, mesnet noktalarından itibaren eşit ve sabit bir dağılım değeri (13,299 MPa) göstermektedir. Yani, tahkimat gerilmenin azalmasını önlemektedir (Şekil 9).



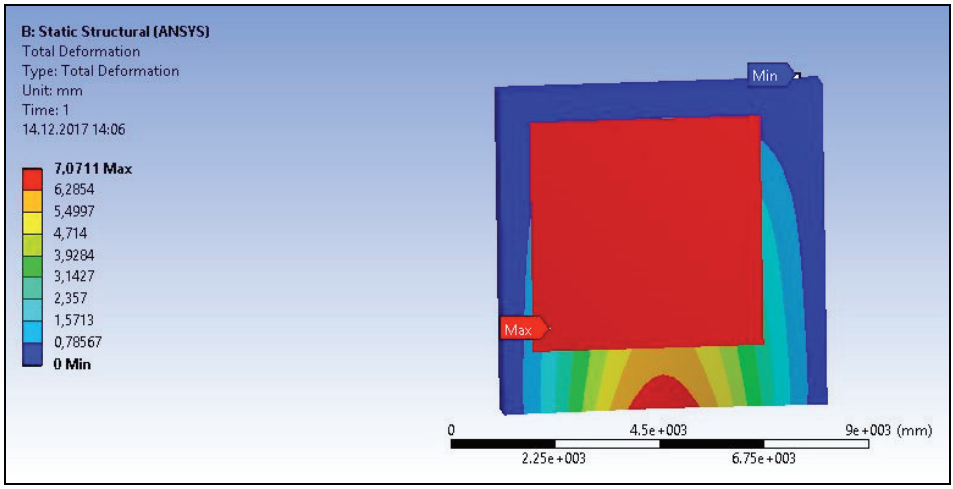

Şekil 9. Z ekseni boyunca arka yüzde normal gerilme değerlerinin gösterimi.

Deformasyon değerine baktığımızda, barajın ön yüzünde tahkimatın olduğu kısımlardan yani üst ve yan duvarlardan alt ve ortaya doğru toplam deformasyon değeri artmaktadır. Yani; tahkimatlı kısımlar barajın emniyetini arttırmaktadır (Şekil 10).



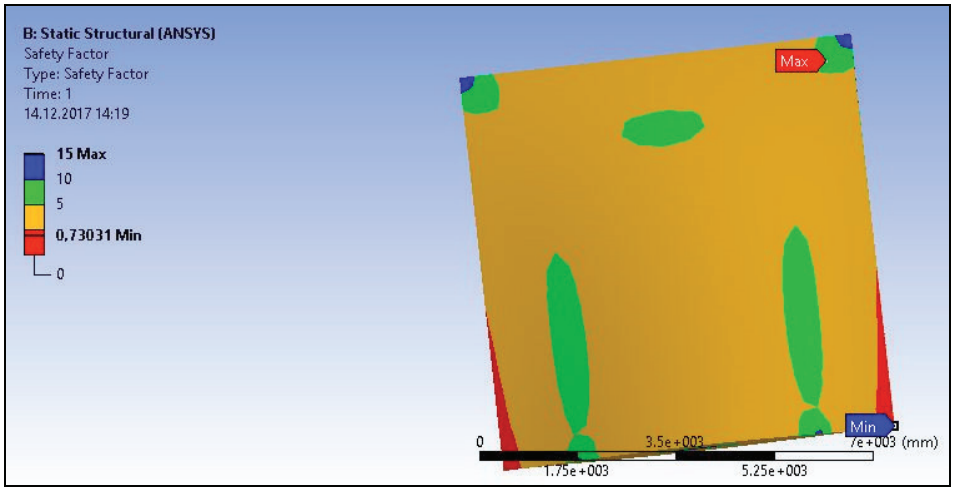

Şekil 10. Ön yüzde toplam deformasyon değerlerinin gösterimi.

Barajın arka yüzeyinde tahkimatlı kısımlar da deformasyon sıfırken, patlamanın olduğu kısımda en yüksek (7,0711 mm) ve orta alt kısımda deformasyon miktarı kademeli olarak artmaktadır (Şekil 11).



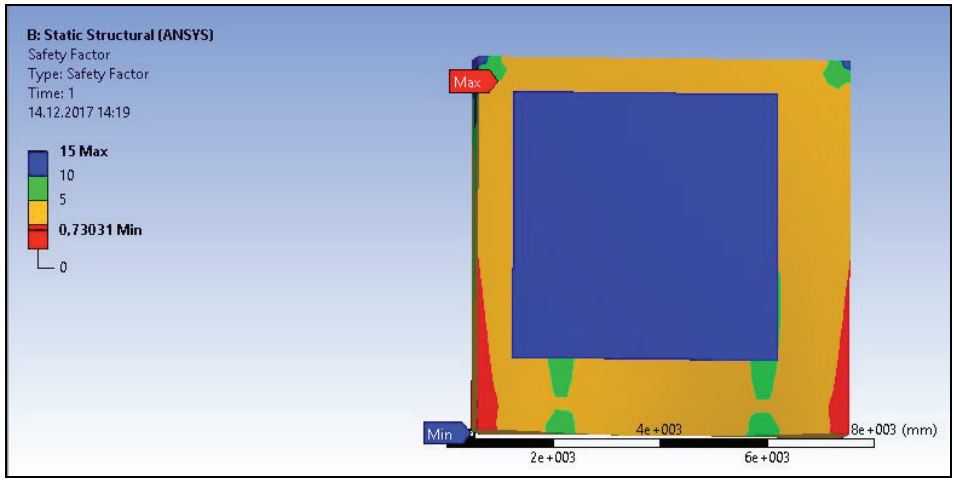

Şekil 11. Arka yüzde toplam deformasyon değerlerinin gösterimi.

Barajın ön yüzünde güvenlik katsayısı genellikle 5 olup, 1'den büyük olduğu için güvenli kabul edilir (Anon 2017) (Şekil 12).




Şekil 12. Ön yüzde güvenlik katsayısı gösterimi.

Barajın arka yüzeyinde emniyet faktörü, tahkimatsız orta kısımda maksimum değeri almaktadır (Şekil 13).




Şekil 13. Arka yüzde emniyet faktörünün gösterimi.

## 3. DEĞERLENDİRME

Yeraltı kömür ocaklarında kullanılan bekleme barajlarının yapıldığı C14 betonun mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. C14 beton sınıfının mekanik özellikleri (Barış ve Yılmaz 2017).

| Beton Adı | Basınç dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (MPa) | Poisson Oranı |
|---|---|---|---|
| C14 | 14 | 26150 | 0.2 |

Bu çalışmada yeraltı maden ocaklarının kapalı alanlarında kullanılan baraj malzemesi olarak Derbent beyaz tüfü, C14 betonu yerine kullanılmış ve patlamaya karşı dayanımı modelleme sonucu ortaya konmuştur. Patlama basıncı z ekseni yönünde geldiği için, z ekseninde ön yüzde tahkimatın olduğu alt uçlar minimum gerilme değerine (-139,96 MPa) sahipken, orta kısımda eşit ve sabit bir değer (13,299 MPa) göstermektedir. Z ekseni arka yüzünde ise alt kenarlarda maksimum (135,9 MPa) değer alırken, mesnet noktalarından itibaren eşit ve sabit bir dağılım değeri (13,299 MPa) göstermektedir. Yani, tahkimat gerilmenin azalmasını önlemektedir. Toplam deformasyon değeri; barajın ön yüzünde tahkimatın olduğu kısımlardan yani üst ve yan duvarlardan alt ve ortaya doğru artmaktadır. Yani; tahkimatlı kısımlar barajın emniyetini arttırmaktadır. Barajın arka yüzeyinde tahkimatlı kısımlar da deformasyon sıfırken, patlamanın olduğu kısımda maksimum (7,0711 mm) ve orta alt kısımda deformasyon miktarı kademeli olarak artmaktadır. Barajın ön yüzünde emniyet faktörü; genellikle 5 olup, 1'den büyük olduğu için emniyetli kabul edilir. Arka yüzeyinde emniyet faktörü, tahkimatsız orta kısımda maksimum değeri almaktadır.

## 4. SONUÇLAR

Yeraltı ocaklarında kullanılmayan veya kapalı alanlarda, gaz patlamalarını önlemek amaçlı kurulan barajlarda, malzeme olarak Derbent beyaz tüfü modellenmiştir. Baraj malzemesi olarak kullanılan C14, C20, C30 ve C40 beton sınıflarından Derbent beyaz tüfü, C14 beton tipi ile kıyaslanmıştır. Barajın arkasında oluşan 14 MPa'lık bir patlama basıncı sonucunda, barajın dayanım değerleri 10 kata kadar artmış ve toplam deformasyon değerleri, tahkimatın bulunduğu yerde maksimum çıkmıştır. Modelin emniyet faktörü, orta (5) ve maksimum (15) değerler arasında bulunmuştur. Bu sebeple, Derbent beyaz tüfü, C14 sınıfı beton tipi yerine kullanılabilmektedir.

## KAYNAKLAR

Brune, J.F., Saki, S.A. 2017. Prevention of Gob Ignitions and Explosions in Longwall Mining Using Dynamic Seals, International Journal of Mining Science and Technology, article in press.

Daloğlu, G. 2008. Eskişehir Derbent Tüflerinin Doğal Yapı Taşı Olarak Değerlendirilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 131 s.

Anon 2017. Factor of Safety in Design and Engineering: the Basics-creative. https://www.creativemechanism.com.

Gang, W., Guoqiang, Y., Xinhua, Z., Wenzhou, D., Qiming, H., Lulu, S., Xiaoqiang, Z. 2016. Research and Development of Foamed Gel For Controlling the Spontaneous Combustion of Coal in Coal Mine, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 44, pp. 474-486.

Huiping, S., Jianqiang, L., Fangbin, X., Fangqin, C. 2016. The Application of Ultra-Fine Fly Ash in the Seal Coating for The Wall of Underground Coal Mine, Advanced Powder Technology, 27, pp. 1645-1650.

Taşkın, F.B., Sığırcı, C., Zengin, T., Dügencili, B. 2015. Mevcut Barajların Dayanım Değerlendirilmesi, Park Termik A.Ş. Çayırhan Yeraltı Kömür İşletmesi, Ekim, 19 s.

Wei, L., Ying-Jiazi, C., Jerry, C.T. 2017. Method for Prevention and Control of Spontaneous Combustion of Coal Seam and its Application in Mining Field, International Journal of Mining Science and Technology, 27, pp. 839-846.

Zha, W., Shi, H., Liu, S., Kang, C. 2017. Surrounding Rock Control of Gob-Side Entry Driving with Narrow Coal Pillar and Roadway Side Sealing Technology in Yangliu Coal Mine, International Journal of Mining Science and Technology, 27, pp. 819-823.

Zhou, F., Shi, B., Liu, Y., Song, X., Chang, J., Hu, S. 2013. Coating Material of Air Sealing in Coal Mine: Clay Composite Slurry (CCS), Applied Clay Science, 80-81, pp. 299-304.

# KÖMÜR KÖKENLİ METAN ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN REZERV ÖZELLİKLERİ

## *RESERVE CHARACTERISTICS INFLUENCING THE COAL-BASED METHANE PRODUCTION*

**İzzet Karakurt**[*], **Gökhan Aydın, Serkan Kaya, Furkan Yıldırım**
*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon*

**ÖZET:** Kömür damarlarında bulunan metan, kömür üreten birçok ülkede madenler ve madenciler için tehlikeli olabilen bir gazdır. Tehlikeli olmasına rağmen kömür kökenli metan (KKM), doğal gazın başlıca bileşeni olması nedeniyle geleneksel olmayan bir enerji kaynağıdır. Hava kirliliği açısından değerlendirildiğinde KKM'nın üretimi temiz bir enerji kaynağı sunması nedeniyle önemli bir iş alanıdır aslında. Literatürde ve/veya uygulamada, KKM'nın üretimini etkileyen birçok parametrenin varlığı bilinen bir gerçektir. Tabaka geçirgenliği, çatlak yapısı, kömür rankı, tabakadaki gaz oluşumu ve içeriği bu parametrelerden birkaçıdır. Bu parametrelerin belirlenmesi ve KKM'nın üretimine etkilerinin bilinmesi, KKM üretim veriminin ve tehlike derecesinin tahmin edilmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu nedenle; bu çalışmada, KKM üretimini etkileyen başlıca rezerv özellikleri tespit edilmiş ve detaylı bir şekilde KKM üretimine etkilerinden bahsedilmiştir.

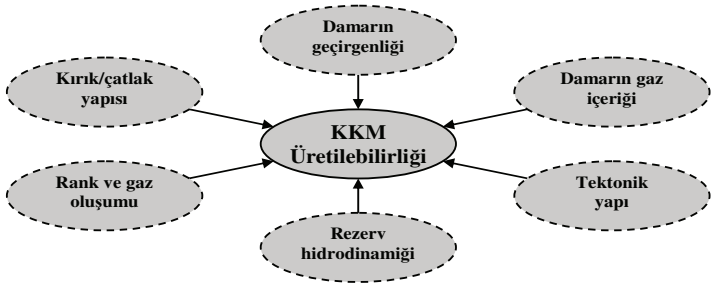
**ABSTRACT:** Found in coal seams, methane is mostly viewed as a danger for mines and miners in many countries that produce coal. Despite dangerous, the coal-based methane (CBM) is a kind of unconventional energy source due to being a major component of natural gas. Production of CBM in a short time has become an important industry providing an abundant, clean-burning fuel in an age when concerns especially about air pollution. It is known that many parameters affect the CBM production in literature as well as in application. Permeability, cleat development, coal rank, gas generation and gas content are some of those. Currently, determining these factors is of great significance to forecast high yield of CBM production and its danger potential. Thus, a detail discussion of main reserve characteristics affecting the CBM productivity is presented in this paper.

[*]*karakurt@ktu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Kömür damarı ve çevreleyen tabaka içerisinde yer alan metan gazı, üretim sırasında açığa çıkarak kırık/çatlaklar aracılığı ile çalışma alanlarına ulaşmaktadır. Çalışma alanlarına ulaşan ve/veya ocak havasına karışan bu gazın, kontrol altına alınması ve sebep olacağı yangın yada patlama risklerinin azaltılması üretim verimliliği ve iş güvenliği açısından önem arz etmektedir. Açığa çıkan gaz; miktarına bağlı olarak etkin bir havalandırma planı ile kontrol altına alınabileceği gibi havalandırma planına ek, madencilik öncesi, madencilik sırası ve madencilik sonrası uygulanabilecek çeşitli drenaj yöntemleri ile de kontrol edilebilmektedir. Üretim birlikte açığa çıkan metanın ocak havası ile birlikte atmosfere salınması yerine çeşitli drenaj yöntemleri ile üretilmesi, hem gazın sera gazı etkisini azaltacak hem de önemli bir enerji kaynağının israf edilmesinin önüne geçilecektir. Böylelikle drenajla elde edilen gazın, ekonomik bir kaynak olarak değerlendirilmesi mümkün hale gelecektir. Bunun yanı sıra, işçi ve ekipmanların sağlıklı ve güvenli bir ortamda çalışmasına imkan sağlanacaktır (Karakurt vd. 2009).

Kömür madenciliği süresince açığa çıkan metan miktarı, kömür damarı ve çevreleyen tabaka özellikleri ile madencilik işletme koşularına bağlı olarak değişir. Madencilik işletme koşullarının da damar ve çevreleyen tabaka özelliklerine göre şekillendirildiği göz önüne alındığında, damar ve çevreleyen tabaka özelliklerinin metan yayılımı veya üretimi üzerinde etkisinin daha büyük olduğu söylenebilir. Bu özelliklerin tespit edilmesi ve metan yayılımı veya üretimi üzerindeki etkilerinin doğru bilinmesi, işletme verimliliği ve iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, kömür kökenli metanın (KKM) yayılımını /üretimini etkileyen ve Şekil 1'de sunulan başlıca rezerv özellikleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

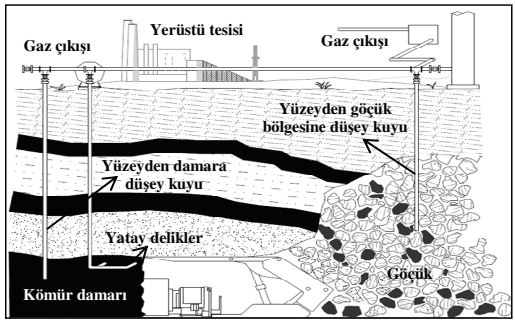



Şekil 1. KKM üretimini etkileyen başlıca rezerv özellikleri (Scott 2002).

## 2. KKM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kömür üretimi ile birlikte açığa çıkan KKM'nın, ocak havası ile atmosfere salınması yerine çeşitli yöntemlerle üretilmesi/tutulması, hem gazın sera gazı etkisini azaltacak

hem de elde edilen gazın farklı alanlarda bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına olanak sağlayacaktır (Karakurt vd. 2009). KKM'nın farklı alanlarda bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için öncelikle uygun yöntemlerle üretilmesi/tutulması gerekmektedir. KKM yaygınlıkla; madencilik öncesinde yüzeyden damara doğru açılan kuyular, tavan-taban galerilerinden arın önüne delinen delikler, yüzeyden göçük bölgesine delinen delikler ve tavan-taban galerilerinden göçük bölgesine delinen çapraz delikler aracılığı ile üretilebilmektedir. Madencilik öncesinde yüzeyden damara doğru açılan kuyu yönteminde, tek bir kömür damarı ya da birkaç kömür damarı için yüzeyden damara doğru düşey kuyular açılır ve KKM'nın madencilik işlemleri öncesinde drenajı sağlanır. Bu yöntemde, damarın gaz içeriğinin % 50-90'ı üretilebilmektedir. Tavan-taban galerilerinden arın önüne delinen delikler yönteminde hazırlık galerilerinden damar içerisine doğru delinerek KKM üretimi yapılır. Yöntemde, çalışılan bölgeye muhtemel gaz sızmaları önlenir. Yüzeyden göçük bölgesine açılan kuyu yönteminde ise kömür üretilip, göçertme işlemi yapıldıktan kısa süre sonra göçük bölgesindeki metanın elde edilmesi için yüzeyden göçük bölgesine kuyular açılır. Sadece göçertme işlemi yapıldıktan sonra üretim yapıldığı için düşey kuyulardan farklıdır. Tavan-taban galerilerinden göçük bölgesine delinen çapraz delikler yönteminin amacı da çevreleyen kayacın ön drenajının yapılması ve göçük bölgesinde bulunan gazın boşaltılması amacıyla damarı çevreleyen tabakalara doğru deliklerin açılması ve metanın eldesidir (Aydın ve Karakurt 2009). Yaygın olarak kullanılan metan üretim yöntemleri, Şekil 2'de gösterilmiştir.




Şekil 2. Yaygın olarak kullanılan KKM üretim yöntemleri (Anon 1999).

## 3. KKM ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN REZERV ÖZELLİKLERİ

### 3.1. Rank ve Gaz Oluşumu

Rank, kömürleşme derecesinin bir ölçüsü olarak tarif edilir ve bu derece genelde uçucu madde içeriği, vitrinit yansıtması, maseral bileşimi, karbon ve hidrojen içeriği, nem ve kalorifik değer gibi bazı indekslerce ölçülür. Bunlar arasında vitrinit yansıtması, kömür litotipi ve kül içeriği gibi parametrelerden etkilenmediğinden kömürleşme derecesini ölçmek için yararlanılan en doğru parametredir (Zhou vd.

2017). Kömürleşme derecesinin damarın gaz içeriği ile doğrudan bağlantılı olması rankın gaz üretimi üzerinde etkin bir rolünün olduğunun bir göstergesidir. Yani, kömürün rankı arttıkça damar daha fazla gaz içerir. Öte yandan, biyojenik ve termojenik olarak iki mekanizmanın etkin olduğu ortamda, kömürün maseral tipi ve termal olgunlaşma metan gazın oluşumunda önemli bir fonksiyonu oluşturur. Maseraller, kristal yapılı olmayan ama yansıtma, morfoloji ya da bulunma ortamlarına göre tanımlanan kömürün ana bileşenleridir. Vitrinit, inertinit ve eksitinit veya liptinit olarak sınıflandırılmış 3 farklı maseral tipi mevcuttur (Sönmez 2006). Her bir maseral grubu farklı miktarlarda metanı depolayabilir ya da adsorblayabilir ama metan gazının oluşumu anlamında eksitinit veya liptinit grubu maseraller önemli rol oynarlar (Anderson vd. 2003).

### 3.2. Damarın Gaz İçeriği

Gaz içeriği, birim kömür kütlesi içerisinde belli bir sıcaklık ve basınç koşullarında gazın hacmini ifade etmek için kullanılır. Metan gazı, damar içerisinde yüzeye tutunmuş halde bulunabileceği gibi serbest halde de bulunabilir. Ancak, gazın serbest ya da yüzeye tutunmuş olarak bulunma durumu damarın derinliği ile ilişkilidir. Serbest halde bulunan gaz yüzeye yakın damarlarda daha az oranda bulunurken, derinlik arttıkça damar içerisinde serbest olarak bulunan gazın hacmi, yüksek yoğunluklardan dolayı daha fazladır. Damarın gaz içeriği belirlenirken serbest halde ve yüzeye tutunmuş olarak bulunan gaz miktarının hesaba katılması gerekir. Ancak mevcut teknoloji ve gaz ölçüm metotları, damar içerisinde serbest halde bulunan gaz miktarını ölçmek için yeterli değildir. Bu nedenle damarın gaz içeriği, yüzeye tutunmuş halde bulunan ve kömürün üretimi ile birlikte açığa çıkan gazın miktarı belirlenerek tespit edilmektedir. Buna ek olarak üretim sonrası açığa çıkan gaz haricinde kömür içerisinde kalan ve atık gaz olarak tarif edilen miktarda zaman zaman hesaplamalara katılmaktadır (Saghafi 2011).

### 3.3. Rezerv Hidrodinamiği

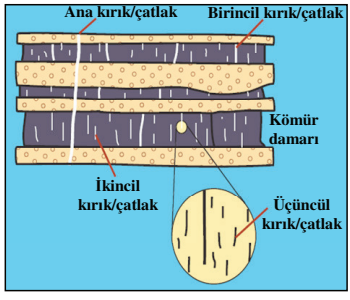
Havzadaki su hareketini ve derinlerdeki akışı kapsayan hidrodinamik yapı, KKM üretilebilirliğini önemli oranda etkileyen bir rezerv özelliğidir. Havzadaki yeraltı sularının hareketi ile kömür dağılımı ve çökelme veya tektonik / yapısal ortam yakın ilişkilidir. Çünkü havza kenarlarında boşluklarda yer edinmiş sürekli geçirgen bir özelliğe sahip kömür damarları, yeraltı suyu hareketi neticesinde yeniden doldurulabilmektedirler. Kömür damarları/yatakları, gaz akışının sağlandığı bir kanal işlevi gördüğü gibi aynı zamanda doğal kırıkları/çatlaklıkları nedeniyle de geçirgenliğe sahip yeraltı akiferi işlevini de üstlenirler. Kömür damarlarında kayda değer ikincil derecede oluşmuş bir biyojenik gazın tespiti, yeterli bir geçirgenliğe sahip aktif bir dinamik akış sisteminin varlığını işaret eder. Termojenik gazların bu aktif dinamik akış sistemi ile taşınması, düşük ranklı veya metana doygun veya aşırı doygun kömürlerde anormal derecede yüksek gaz içeriklerine neden olabilir.

### 3.4. Tektonik Yapı

Damarın ve çevreleyen kayacın tektonik yapısı; kömür rankı ve damarın gaz tutma kapasitesi, gaz oluşumu, damarın kırıklık/çatlaklık yapısı ve kırık/çatlak boyunca oluşan mineralizasyon üzerinde etkilidir. Düşük dereceli tektonik bir hareket, damarın kırıklık/çatlaklık yapısının gelişmesi yönünde katkı yapar ve böylelikle rezervin geçirgenliği olumlu yönde etkilenir. Daha yüksek dereceli tektonik hareketlerde, damardaki kırık/çatlakların düzensizleşmesi söz konusu olacaktır. Birbiri üzerine gelen kırık/çatlaklar, bir hat boyunca düzenli olarak devam edemeyecektir. Böylelikle damarın geçirgenliği azalacak ve gaz akışı zorlaşacaktır. Bu nedenle, damar içerisindeki kırık/çatlakların bir bütün halinde olması rezerv ya da damar geçirgenliği açısından önem arz etmektedir (Dawson 2013).

### 3.5. Kırıklık/Çatlaklık Yapısı

Kömür damarındaki kırıklar/çatlaklar, yerel yada bölgesel yapısal olaylar ile oluşabileceği gibi başlıca kömürleşme süresince meydana gelirler. Bu kırıklar/çatlaklar, mikro ve makro düzeyde olabilirler ve ana, birincil, ikincil ve üçüncül kırıklar/çatlaklar olmak üzere dört farklı şekilde oluşabilirler. Bu yapılardan ana kırıklar/çatlaklar, kömür damarı ve yan kayaç kalınlıkları boyunca, birincil kırıklar/çatlaklar kömür damarı kalınlığı boyunca, ikincil ve üçüncül kırıklar/çatlaklar ise kömür damarı içerisinde meydana gelir (Şekil 3). Kömürün içerisinde belli bir basınç altında denge halinde bulunan gazın, açığa çıkması ve üretim kuyularına doğru akışı bu yapılar aracılığı ile sağlanır (Dallegge ve Barker 2016). Derinlere doğru inildikçe artan basınçtan dolayı kömürün yapısındaki bu çatlaklar/kırıklar kapalı halde bulunabilir. Bu tür damarlarda üretimin yapılabilmesi için kırıkların/çatlakların açılmasını sağlayan yardımcı yöntemlere (damara su enjekte etme gibi) ihtiyaç duyulabilir.




Şekil 3. Kömürde kırık/çatlak oluşum şekilleri.

### 3.6. Damarın Geçirgenliği

KKM üretiminde damar geçirgenliği, dikkate alınması gereken en kritik faktördür. Kömür damarları yapısı gereği gaz akışını sağlayan yeterli bir geçirgenliğe sahip

değildir. Etkin bir gaz akışının sağlanması, damar içindeki doğal kırık/çatlaklara bağlıdır. Bu doğal kırık/çatlaklar belli gerilmeler veya tektonik hareketler sonucu daha da gelişerek gaz akışının etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Damarda yer alan doğal kırık/çatlaklar, mevcut şartlarda yeterli akışı sağlamıyorsa hidrolik çatlaklandırma/kırma gibi yardımcı yöntemlerden yararlanılabilir. Böylelikle gaz akışının etkin bir şekilde gerçekleşmesinin yolu açılmış olur. Genellikle, derinlere doğru gidildikçe damarın gaz içeriği artar. Ancak derinliğin artması ile artan gerilmeler ve tektonik hareket eksikliği/azlığı, damar içerisindeki kırık/çatlakları etkisizleştirebilir ve bu tür damarlarda yardımcı yöntemler uygulansa bile gaz akışı sağlanmayabilir. Bu nedenle bir kömür damarının yüksek veya düşük geçirgenliğe sahip olması, o kömür damarının etkisi altında bulunduğu gerilme yada tektonik hareket ile de ilişkilidir. Bu da, KKM üretimi proseslerinde damarın geçirgenliği değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken en önemli parametrenin (artan derinliğe bağlı olarak) damardaki gerilme veya tektonik hareket durumu olduğunu gösterir (Rogers 1994, Dawson 2013).

## 4. SONUÇLAR

Kömür madenciliği süresince açığa çıkan metanın kalitesi ve miktarı, kömür damarı ve çevreleyen tabaka özellikleri ile madencilik işletme koşularına bağlı olarak değişir. Madencilik işletme koşulları değiştirilebilir ancak damar ve çevreleyen tabaka özellikleri değiştirilemeyen parametrelerdir. Bu nedenle, damar ve çevreleyen tabaka özelliklerinin, bir başka deyişle rezerv özelliklerinin, metan yayılımı veya üretimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi KKM üretim proseslerinde öncelikli araştırma alanıdır. Çalışmada da bahsedilen çeşitli özelliklerin tespitinin ve gaz üretimi/yayılması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, işletme verimliliği, iş sağlığı ve güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bunların yanında, havza hidrojeolojisi, rezervuar heterojenitesi, geçirgenliği engelleyen yapıların yeri gibi parametrelerde KKM gibi geleneksel olmayan gaz kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi açısından kritik önem taşıyan parametrelerdir.

## KAYNAKLAR

Anderson, J., Simpson, M., Basinski, P., Beaton, A., Boyer, C., vd. 2003. Oilfield Review.

Anon, 1999. Guidebook on Coalbed Methane Drainage for Underground Coal Mines. https://pdfs.semanticscholar.org/98c4/19dd1e3d9c151507241c6340659d4daef839.pdf., Erişim 20 Ocak 2018.

Aydin, G., Karakurt, I., 2009. Yeraltı Kömür Damarlarından Üretilen Metanın Kullanım Teknolojileri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15 (1); 129-136.

Dallegge, T.A., ve Barker, C.E., 2016. Chapter L of Geologic Assessment of Coal in the Colorado Plateau: Arizona, Colorado, New Mexico, and Utah. Coal-Bed Methane Gas-In-Place Resource Estimates Using Sorption Isotherms and Burial History Reconstruction: An Example from the Ferron Sandstone Member of the Mancos Shale, Utah, https://pubs.usgs.gov/pp/p1625b/Reports/Chapters/Chapter_L.pdf., Erişim 01.08.2017.

Karakurt, I., Aydin, G., Aydiner, K., 2009. Kömür Kökenli Metanın Doğal Gaz Olarak Kullanımı. 7. Enerji Sempozyumu, Ankara, 67-76.

Dawson, M., 2013. Coalbed Methane: Understanding Key Reservoir Properties and their Influence on Producibility. http://www.albertacanada.com/mexico/documents/mexico_cbm_lecture_final.pdf, Erişim 29.07.2017.

Rogers, R.E., 1994. Coalbed Methane: Principles and Practice. Prentice Hall Petroleum Engineering Series, PTR Prentice Hall, Michigan University.

Saghafi, A., 2011. Gas Content and Emissions from Coal Mining. 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 285-290.

Scott, A.R., 2002. Hydrogeologic Factors Affecting Gas Content Distribution in Coal Beds. International Journal of Coal Geology 50; 363– 387.

Sönmez, Ö. 2006. Kömür ve Maseral Gruplarının Çeşitli Çözücülerde Şişme Davranışları ve Sıvılaşma Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Ensititüsü, Çukurova Üniversitesi.

Zhou, Q., Herrera, J., ve Hidalgo, A., 2017. Development of a Quantitative Assessment Approach for the Coal and Gas Outbursts in Coal Mines using Rock Engineering Systems. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, Doi:10.1080/17480930.2017.132607.

# ZONGULDAK HAVZASININ METAN POTANSİYELİ VE METAN ÜRETİMİ ÇALIŞMALARI

## *METHANE POTENTIAL AND METHANE PRODUCTION STUDIES OF ZONGULDAK BASIN*

**Ali Baltaş**
*Türkiye Taşkömürü Kurumu, Etüt Plan Proje Tesis Dairesi Başkanlığı, Zonguldak*

**ÖZET** Alternatif enerji kaynaklarına duyulan gereksinim, kömür işletmeleri için tehlike oluşturan metan gazından, ekonomik olarak yararlanmayı gündeme getirmiştir. Metan gazı ticari olarak üretilebilirse, hem bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir ve hem de kömür işletmelerinde metan kaynaklı problemler önlenebilir.

Bu çalışmada; kömürlerin içyapısı ve gaz birikimi, kömürlerin metan içeriğini etkileyen faktörler, kömür havzalarında metan üretimi, Zonguldak Havzasında metan potansiyeli ve üretimini etkileyen faktörler açıklanmıştır. Ayrıca Zonguldak Havzasında metanla ilgili olarak bu güne kadar yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

**ABSTRACT** The need for alternative energy sources has made it economically feasible to exploit methane gas, which is a potential danger for current coal operations. If methane gas can be produced commercially, it can be regarded as an energy source and methane-related unsafe conditions can be fixed in coal enterprises.

In this study; internal structure of coal and gas accumulation, factors affecting the methane content of coal, methane production in coal basins, methane reserves and factors affecting methane production have been explained. Operations have been conducted on methane in Zonguldak Basin so far have been also summarized.

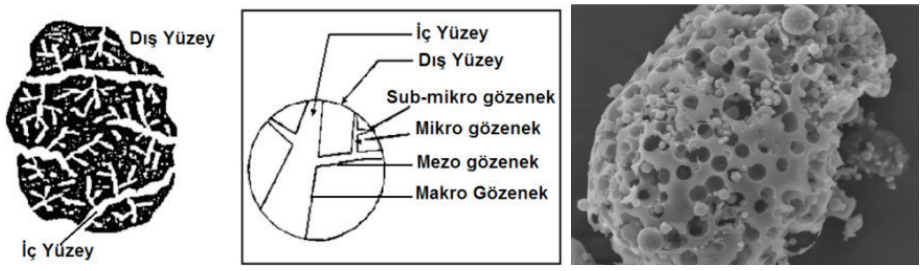
*ali.baltas@taskomuru.gov.tr

## 1. GİRİŞ

Kömürleşme derecesi yüksek damarlar önemli metan potansiyeli sunabildiği gibi; turba, linyit vb. kömürleşme derecesi düşük oluşumlar da metan üretebilir. Atmosfere salınan metan küresel ısınmayı $CO_2$'te oranla 21 kat daha fazla artırmaktadır (Aydın ve Karakurt 2009). Metan gazının kalorifik değeri 9000-9500 kcal/$m^3$'tür. Bu nedenle; ocaklardan çıkan metanın yakalanması ve yakılarak atmosfere salınması, küresel ısınmanın önlenmesine ve hava kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

## 2. KÖMÜRÜN İÇYAPISI VE GAZ BİRİKİMİ

Kömürlerin karmaşık içyapısı; birbirleriyle bağlantısı zayıf düzensiz kanallar, çatlaklar ve farklı şekil-boyutta gözenek ve oyuklarla temsil edilir (Şekil 1). Kömürlerin iç fiziksel parametrelerindeki (gözenek ve çatlakların sayısı, boyutları, dağılımı ve yüzey alanı vb.) değişkenlik, kimyasal yapılarından kaynaklanmaktadır. Jeolojik süreçte litostatik basıncın artması, gözeneklilik ve geçirgenliği azaltır. Bu nedenle gözeneklerin şekilleri ve boyutları ile kırıkların geçirgenliği, kömürlerden gaz üretilmesini kontrol eden önemli parametreler arasındadır. Damarlarda hapsolmuş metan; kömür yüzeyinde adsorplanmış gaz molekülleri olarak, gözenek ve çatlaklar içinde serbest gaz olarak veya kömürün bünyesindeki sularda erimiş halde bulunur.




Şekil 1. Kömür içyapısının şematik ve kömür külünün mikroskobik görünümü.

Kömürlerdeki metanın önemli bir kısmı oluştuğu damarın bünyesinde, damarı terk eden kısmının bir bölümü de damara bitişik durumdaki gözenekli kayaçlarda birikir. Ayrıca, damarlara yakın konumda çökelen ve organik madde bakımından zengin olan kiltaşı, silttaşı vb. kayaçlar da metan üretebilir.

Metan üretiminin gerçekleşmesi için; yeterli miktarda gaz rezervlerinin yanı sıra, gözenekler arasında gaz akışını sağlayacak bağlantı ve geçirgenliğin olması gerekir. Ayrıca; gazın bünyeden atılabilmesi için yeterli basınç değeri ile belirli bir sorpsiyon süresine ihtiyaç vardır (Kuuskraa ve Brandenburg 1989, Hughes ve Logan 1990).

## 3. ZONGULDAK HAVZASINDA METAN POTANSİYELİNİ VE ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Zonguldak Havzasında; fay, kırık, antiklinal ve senklinal vb. jeolojik yapıların yaygın olması tektonik karmaşanın göstergesidir. İnce-orta kalınlıktaki damar sayısının çok olması, damarlar arasında yanal ve düşey doğrultuda bağlantı kurulmasında yaşanan zorluklar ile kalınlıklardaki değişkenlikler sedimantolojik karmaşanın göstergesidir.

### 3.1. Havzada Metan Potansiyelini Etkileyen Faktörler

Zonguldak Havzasında, Karbonifer birimleri içindeki kömür damarları arasında farklı litolojiye sahip yan kayaçların gözeneklilik ve geçirgenlikleri birbirinden farklıdır. Tanelerin büyüklüğü, taneler arasındaki çimentonun özellikleri, taneler arasındaki boşlukların birbirleriyle bağlantısı vb. litolojik özelliklerin yanı sıra; bazı damarlarının birbirine yakın konumlanması, kazı nedeniyle litolojik basınçların değişmesi, sedimantolojik istif içinde bulunan kil tabakaları, volkanik sokulumlar, lensler, eklemler ile tektonizmayla oluşan kırıklar ve faylar, metanın homojen olarak dağılımını engellemektedir. Bu durumun bir sonucu olarak da metan potansiyelinin yüksek olduğu Zonguldak Havzasında, kömür üretimi ani gaz boşalması sonucu meydana gelecek patlama ve zehirlenme riskleri altında yapılmaktadır.

#### *3.1.1. Kömür Damarlarının Su İçeriği*

Yeraltı su seviyesinin altındaki damarlarda, hidrostatik basınç ile kömürlerin bünyesindeki gazların basıncı dengededir. Bu nedenle gaz üretmek için açılan sondaj kuyularından, damarların bünyesindeki gazlardan önce sular çekilir. Bu durum; gözeneklerde genleşmeye, hidrostatik basınçta azalmaya ve basınç dengesinin bozulmasına yol açar. Sonuçta suların çekilmesi, gazların bir bölümünün serbest hale geçerek, kömürün bünyesinden desorbe olmasını sağlar.

#### *3.1.2. Birbirine Yakın Olan Damarların ve Geçirimsiz Kayaçların Etkileri*

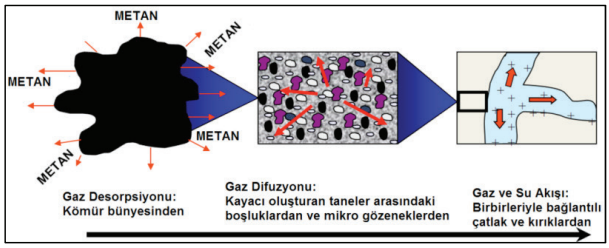
Damarları dik veya dike yakın doğrultuda kesen galerilerde, birbirlerine yakın olan damarlar arasında gözenekliliği ve geçirgenliği düşük kayaçlar (kiltaşı, silttaşı, vb.) bulunur (Şekil 2). Jeolojik süreçte basıncın da artmasıyla söz konusu katmanlar gaz akışını engelleyerek metanın damarlarda birikmesini sağlarlar. Bu nedenle; birbirlerine yakın konumda çökelen damarlar, metan üretimi için önemli potansiyele sahip olmalarına karşın, geçirimsiz kayaçlarla çevrelendiklerinden kazı sırasında ani gaz boşalması tehlikesi de oluştururlar.

#### *3.1.3. Kumtaşları ve Konglomeraların Etkileri*

Metan; kömür damarlarının yanı sıra, bünyelerinde oluşan çatlakları geçiş yolu olarak kullanarak, damarlara bitişik konumdaki gözenekliliği ve geçirgenliği yüksek kumtaşı ve konglomera katmanlarında da birikir (Şekil 3). Bu durumda; havzalarda potansiyel

metan üretim alanları araştırılırken, gazların hazne kayaç olarak birikebileceği damarlar arasında bulunan kumtaşı ve konglomera tabakaları da değerlendirilmelidir.

Şekil 2. Kömür damarları ve yan kayaçların konumları (Baltaş 2012).




Şekil 3. Kayaçlardan gazların akışı.

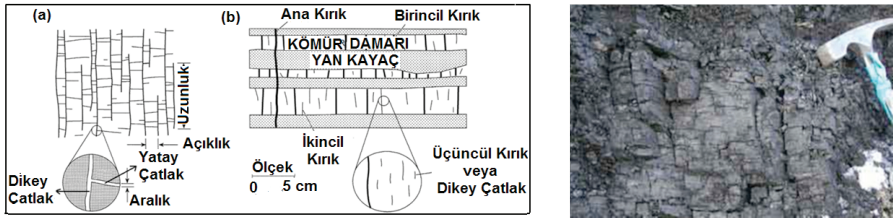
### *3.1.4. Fayların Etkileri*

Küçük atımlı fay ve mikro çatlaklar, atım zonlarında oluşan kanalların boyutlarının küçüklüğü nedeniyle, gaz geçişine izin vermeyerek veya çok az vererek baraj işlevi görürler. Böylece, sınırları geçirimsiz faylarla çevrili metan potansiyeli yüksek alanlar oluşur. Hareketi bir yönde engellenen metan, engel olmayan yönlere doğru hareket ederek, geçirimliliği uygun olan boşluklu ortamlarda birikir. Atım zonlarında oluşan kanallarının boyutları gazların iletimi için uygun olan faylar ise, kanal görevi görürler. Bu nedenle söz konusu kanallara ulaşan sondajlardan önemli miktarda metan elde edilir. Ters faylar; genellikle basınç fayları veya büyük ölçekli faylar olarak karşımıza çıktıklarından, gaz akışını engelleyen baraj gibi davranırlar.

### *3.1.5. Eklemlerin, Çatlakların ve Kırıkların Etkileri*

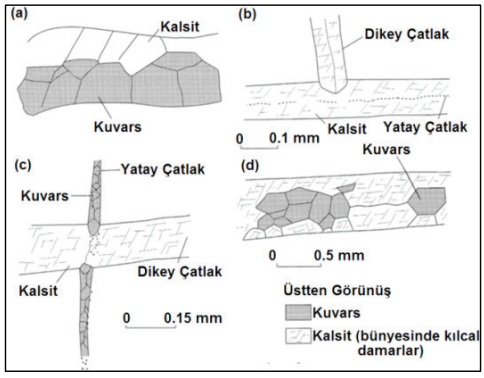
Litostastik basınçlar; düşük dayanımlı kömür, kil, silt vb. kayaçlarda oluşturdukları sıkışma ve gevşeme etkisiyle eklem, çatlak ve kırık meydana getirirler. Genellikle çift olarak meydana gelen eklemler, katman doğrultusuna yaklaşık 90º'lik açı oluştururlar (Laubach vd. 1998). Kömürlerde, damarın tabakalanmasına dik doğrultuda alın çatlakları (face cleats); alın çatlaklarına göre daha küçük ve dik doğrultuda ise

(katmanlanmaya paralel) taban çatlakları (butt cleats) gelişir (Bilgin vd. 2016) (Şekil 4).




Şekil 4. Kömür yüzeylerinde görülen kırık ve çatlak yapılarının şematik ve gerçek görünümü (Laubach ve Tremain 1991).

Kömür damarları ile ince taneli yan kayaçlarda bulunan küçük ve mikro ölçekteki eklem, kırık ve çatlakların arası, jeolojik süreçte bazen minerallerin dolması veya diyajenetik alterasyon nedeniyle tıkanırlar (Hatch vd. 1976) (Şekil 5). Kanalları tıkalı olan eklem, kırık ve çatlaklar gazların geçişine engel oluştururken, kanal-boyutları gazların iletimi için uygun olanlar gaz iletim kanalı işlevi görürler.

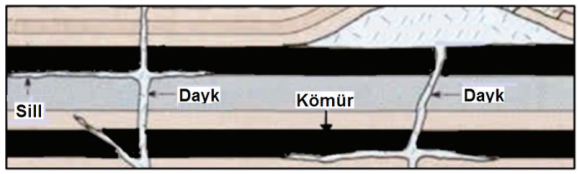



Şekil 5. Kömürdeki kırıkların arasına kalsit ve kuvars minerallerinin dolması (Laubach ve Tremain 1991).

### *3.1.6. Magmatik Sokulumların Etkileri*

Magmatik sokulumlar, kömür damarları ve damarlara yakın konumdaki katmanların içine dayk ve sill şeklinde girerek, olgunluğun dolayısı ile gaz içeriğinin artışına neden olurlar (Ulery 2008) (Şekil 6). Tabakalanma düzlemini dik ve dike yakın konumda kesen dayklar, akışa engel olarak gazların depolanmalarını sağladıklarından metan potansiyeli yüksek sahaların oluşumunda önemli bir rol oynarlar. Katmanlanma düzlemine paralel uzanan magmatik siller ise; dayklara göre yanal doğrultuda daha geniş alanları kapladıklarından, yakında konumlanan organik içeriğe

sahip katmanların ısısal olgunluğunu, dolayısıyla gaz potansiyelini artırırlar. TTK ocaklarında az sayıda da olsa karşılaşılan magmatik sokulumların damarlara paralel konumda siller şeklinde uzandıkları ve kömürleri sertleştirerek yoğunluklarını artırdıkları gözlenmiştir.




Şekil 6. Dayk ve sill'lerin kömür damarlarına göre konumları.

### 3.2. Metan Üretimini Etkileyen Faktörler

Gazların kömür damarlarından üretilmesini etkileyen faktörlerden ilki kömür litotipleridir. Kömürlerde yüksek oranda vitren ve/veya intertodetrinite litotiplerinin bulunması, gazların çıkışını engellemekte ve bu nedenle çok sayıda gaz patlaması meydana gelmektedir (Beamish ve Crosdale 1988). Zonguldak Havzasında Karbonifer döneminde subtropikal iklimin hâkim olması nedeniyle, damarlarda en çok vitrinit litotipi görülür (Karayiğit 1990). Vitrinit litotipinin yüksek olması, sadece yeryüzünden yapılan sondajlarla Zonguldak Havzası'ndaki damarlardan gaz üretilmesini zorlaştırmaktadır.

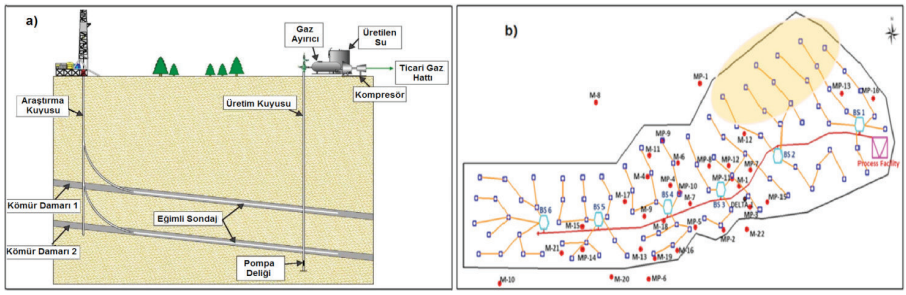
Kömür damarlarından gazların çıkmasını engelleyen ikinci faktör tektonizmadır (Cao vd. 2001). Söz konusu araştırmacılar; bünyelerinde fay ve kırıkların geliştiği, stabilitenin bozulduğu, ezilmiş ve pulverize olmuş kömür damarlarındaki gazların depolanma ve göç karakteristiklerinde değişimler olduğunu kanıtlamışlardır. Hersiniyen ve Alpin gibi farklı dönemlerde meydana gelen orojenezler, tektonik yönden Zonguldak Havzasındaki kömür damarlarını yoğun olarak etkilemiştir. Bu durum ve bölgede madencilik çalışmaları sırasında edinilen deneyimler, Havzada gazların homojen olarak dağılmadığını göstermektedir. Bu nedenle Havza genelinde standart olarak uygulanacak bir metan üretim projesinin başarı şansı azdır.

## 4. KÖMÜR HAVZALARINDA METAN ÜRETİMİ

Metan potansiyeli bulunan kömür havzalarında fiziksel yöntemler kullanılarak; madencilik çalışmaları başlamadan önce, madencilik çalışmaları sırasında ve madencilik çalışmaları sonrasında metan üretilir.

### 4.1. Madencilik Çalışmaları Başlamadan Önce (Coal Bed Methane)

Bakir sahalardaki damarlara yeryüzünden sondajlar yapılarak metan üretilir. Bu yöntemde, daha fazla metanın açığa çıkmasını sağlamak amacıyla, sondajlara dayalı uygulanan çeşitli tekniklerle damarlarda ilave çatlaklar oluşturulur (Şekil 7).

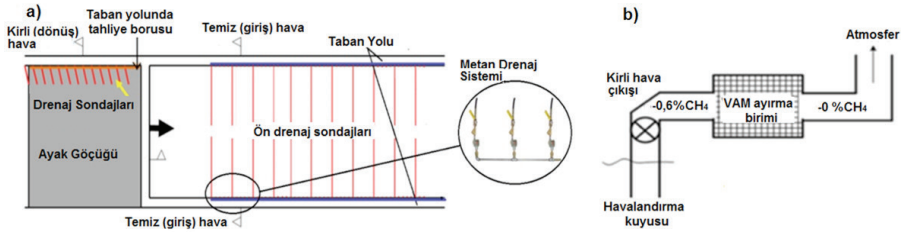



Şekil 7. Yüzeyden sondajlar yapılarak metan üretimi kesit ve plan görünüşü.

### 4.2. Hazırlık ve Üretim Çalışmaları Sırasında

a) Hazırlık Çalışmaları Sırasında (Coal Mine Methane): Galeriler sürülürken kömür damarı ile yan kayaçlarda biriken metan sondajlarla emilir. Emilen metan, ocak atmosferine karıştırılmayarak, önceden kurulmuş olan drenaj şebekesiyle yeryüzüne iletilir (Şekil 8a).

b) Üretim Sırasında Ocak Ortamından (Ventilation Air Methane): Üretim sırasında, kömür panosu ile yan kayaçlardan ocak atmosferine yayılan metan, oranı patlama sınırının altına düşürülünceye kadar hava ile seyreltilir. Ocak atmosferindeki bu hava, havalandırma şebekesiyle emici pervanelere gönderilir. Pervanelerde kurulan bir düzenekle, kirli ocak havası içindeki metan, atmosfere salınmadan emilir (Şekil 8b).




Şekil 8. Kömür panolarından ve emici pervanelerden metan üretimi.

### 4.3. Terkedilmiş Ocaklardan (Abandoned Mine Methane)

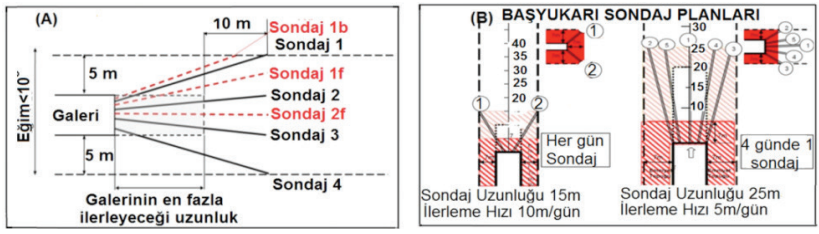
Ocakların terkedilmesinden sonra kuyu ve fay zonlarından gelen metanın yanı sıra; üretimi tamamlanmış panolara yapılan sondajlarla boşluklarda biriken metan emilir.

## 5. ZONGULDAK HAVZASINDA METANLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Havzada; iş güvenliğine dönük metan drenajı çalışmaları, metan potansiyeli ilgili olarak günümüze kadar yapılan araştırmalar ve ticari amaçla metan üretim çalışmaları özetlenmiştir.

### 5.1. TTK'da İş Güvenliğine Yönelik Metan Drenajı Çalışmaları

Çalışmalarını İş Sağlığı ve Güvenliği kapsamında çıkarılan yönerge ve talimatlar doğrultusunda sürdürülen TTK; 15/12/2009 tarih ve 404 sayılı karar ile kabul edilen "Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi (Degaj) Olaylarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Yönergesi" ni uygulamakta ve ilerlemelerini degaj sondajları yaparak sürdürmektedir (Şekil 9). Ayrıca, hazırlık ve üretim çalışmalarıyla ortama yayılan metanın patlayıcı özelliği nedeniyle, ocaklara kesintisiz olarak temiz hava verilmekte ve metan oranı patlama sınırının altına indirilmektedir. Ocak ortamındaki hava emici pervaneler tarafından emilerek atmosfere salınmaktadır.




Şekil 9. Drenaj sondajlarının (a) galeri ve (b) başyukarıda plan görünüşü (TTK 2009).

### 5.2. Zonguldak Havzasında Metan Potansiyeline Yönelik Araştırmalar

Havzada metan potansiyeli tespitine yönelik ilk araştırma ODTÜ tarafından 1972 yılında Kozlu'da gerçekleştirilmiş ve damarların ortalama metan içeriği 28**,**73 $m^3$/ton olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, Novacorp International Firması (1987) ve Canteck Consulting Ltd. Şirketi (1988) Havzadaki metan potansiyelinin tespitine dönük çalışmalar yapmıştır.

TTK ile TUBİTAK arasında 1991 yılında imzalan sözleşme ile Zonguldak Havzasında kömür kaynaklı metan potansiyelinin tespitine yönelik bir proje gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında; Kozlu TİM üretim sahasında 1760 m derinliğe ulaşan K20/G sondajı açılmıştır. Söz konusu sondajda, Karadon (Westfalien C) ve Kozlu (Westfalien A) serilerinde kesilen damarlarla yan kayaçların litolojik ve stratigrafik özellikleri ile metan içerikleri araştırılmıştır. Sonuçta; Havzadaki gaz potansiyeli 620 milyar $m^3$, maksimum üretilebilir gaz miktarı 120 milyar $m^3$, gaz üretme potansiyeli 30-90 $m^3$/ton, gaz tutma kapasitesi 5-20 $m^3$/ton ve üretilecek metanın kalorifik değeri 11.470 kcal/$m^3$ olarak hesaplamıştır.

### 5.3. Havzada Metan Üretimine Yönelik İlk Uygulama

Zonguldak Havzasında metan üretimine yönelik ilk uygulama; İngiliz Overseas Development Administration (ODA) firmasının teknik yardımıyla 1975 yılında Kozlu ocaklarında gerçekleştirilmiştir. İş güvenliğine dönük gerçekleştirilen bu

uygulamada; hazırlık çalışmaları sırasında taban yollarından kömür panosuna belirli aralıklarla sondajlar yapılarak metan emilmiştir. Emilen metan bir boru şebekesiyle yeryüzüne ulaştırılmıştır. Sondaj deliklerinden uzun süre gaz gelmesi, boru şebekesinden kaçan metanın patlama riski oluşturması, sondaj yapacak eleman sıkıntısı vb. nedenlerle 3,5 yıl süre ile çalışan sistem durdurularak, yeni panolarda uygulanmamıştır.

## 6. ZONGULDAK HAVZASININ METAN POTANSİYELİ (VAM OLARAK)

VAM (Ventilation Air Methane) üretim sırasında açığa çıkarak ocak havasına karışan metanın havalandırma kuyularında (aspiratör) tutulması işlemidir. Ocaklara verilen hava miktarını; madencilik çalışmaları yapılan alanın boyutları, üretim yöntemleri, açığa çıkan gaz miktarları, çalışma koşulları, mekanizasyon derecesi ve kullanılan makinelerin türü belirler. Yani ocaklara verilen hava miktarıyla; çalışma koşulları, üretilen kömür miktarı ve açığa çıkan metan orantılıdır. Bu oran 2015 yılı itibariyle Türkiye Taşkömürü Kurumu ocakları için aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1'e göre; TTK Müesseselerinde üretilen her ton kömür için ortalama olarak 25,7 $m^3$ metan açığa çıkmaktadır. Bu durumda, hesaplanan rezerv miktarı ve üretilen ton başına metan miktarı değerlendirilerek Havzanın metan potansiyeli (VAM olarak) hesaplanabilir.

Çizelge 1. 2015 Yılında Ortalama 7.478 ton/gün üretime karşılık ana pervanelerde emilen hava ve metan miktarları (TTK 2016'dan değiştirilerek).

| MÜESSESE | KOZLU | | ÜZÜLMEZ | KARADON | | | AMASRA | ARMUTÇUK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yıllık Tüvönan Üretim (ton) | 373.600 | | 363.965 | 468.896 | | | 194.746 | 184.068 |
| Toplam Tüvönan Üretim (ton) | 1.585.275 | | | | | | | |
| Ortalama Günlük Tüvönan Üretim (ton) | 1.762 | | 1.717 | 2.212 | | | 919 | 868 |
| Toplam Ort. Günlük Tüvönan Üretim (ton | 6.478 | | | | | | | |
| Emici Pervane Adı | İncirharmanı | Ali Soydaş | | Aslan Bahçesi | 52 Pervane | Gelik Yeni Pervane | | |
| Günde Çıkan Hava Miktarı | 10.366.000m3/gün | 11.680.000 m3/gün | 10.220.000 m3/gün | Yaz 5.040.000-5.400.000 m3/gün Kış:5.760.000 m3/gün | Yaz 6.480.000-6.840.000 m3/gün Kış:7.200.000 m3/gün | 7.008.000 m3/gün | 4.409.200 m3/gün | 5.112.000 m3/gün |
| Çıkan Havadaki CH4 Oranı (%) | % 0,2 | % 0,2 | % 0,3 -5 | % 0,3 -5 | % 0,3 -5 | % 0,2 | % 0,32 | % 0,5 |
| Yılda Çıkan Hava Miktarı | 3.731.760.000 m3/yıl | 4.204.800.000 m3/yıl | 3.679.200.000 m3/yıl | 2.102.400.000 m3/yıl | 2.300.000.000 m3/yıl | 2.522.880.000 m3/yıl | 1.587.312.000 m3/yıl | 1.865.880.000 m3/yıl |
| | 7.936.560.000 m3/yıl | | | 6.925.280.000 m3/yıl | | | | |
| | 21.994.232.000 m3/yıl | | | | | | | |
| Yılda Çıkan CH4 Miktarı | 15.873.120 m3/yıl CH4 | | 7.358.400 m3/yıl CH4 | 19.236.960 m3/yıl CH4 | | | 4.761.936 m3/yıl CH4 | 9.329.400 m3/yıl CH4 |
| | 56.559.816 m3/yıl CH4 | | | | | | | |
| Üretilen Ton Başına CH4 Miktarı | 30 m3/ton | | 17 m3/ton | 25 m3/ton | | | 13,3 m3/ton | 20 m3/ton |
| | TTK Müesseselerinden Çıkan Ortalma CH4 25.7 m3/ton | | | | | | | |

Zonguldak Havzasında -1200 m'ye kadar üretim yapılabilecek (1,20 m den kalın) damarların rezervi 1.521.494.981 ton (TTK, 2017) olduğuna göre; Zonguldak Kömür Havzasının metan potansiyeli (VAM olarak günümüzdeki üretim ve havalandırma koşullarında); 1.521.494.981 x 25,7=39.102.421.012 $m^3$ tür.

EPDK doğalgaz piyasası sektör raporuna göre Zonguldak'ta 2015 yılında harcanan doğalgaz miktarı; konutlarda 37.134.748 $Sm^3$, sektörler toplamında ise 440.507.749 $Sm^3$ tür (Çizelge 2). TTK ocaklarından 2015 yılında 1.585.275 ton üretime karşılık

atmosfere 56.559.816 $m^3$ metan salınmıştır. Bu metan değeri 2015 yılında Zonguldak'ta konutlarda tüketilen gaz miktarının yaklaşık % 152'sine veya sektörler toplamında gaz ihtiyacının % 12'sine karşılık gelmektedir. Havzada -1200 kotuna kadar hesaplanan kömür rezervleri, VAM olarak günümüz koşullarında sektörler toplamında Zonguldak'ın doğalgaz ihtiyacını yaklaşık 89 yıl karşılamaktadır. Hesaplanan metan potansiyeline; üretim yapılamayacağı gerekçesiyle 1,20 m'den daha ince damarlar ve yan kayaçlarda biriken metan dâhil edilmemiştir.

Çizelge 2. Zonguldak ilinde 2015 yılında harcanan doğalgaz miktarı ($Sm^3$) (EPDK 2015).

| Şirket Unvanı | Lisans Tipi | Dönüş./ Çevirim Sektörü | Enerji Sektörü | Sanayi Sektörü | Hizmet Sektörü | Konutlar | Diğer | Genel Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AKMERCAN** | Dağıtım | | | 6.016.551 | 1.674.607 | 5.117.999 | 194.477 | ***13.006.634*** |
| **AKPET** | Toptan Satış | | | 2.059.269 | | | | ***2.059.269*** |
| **AKSA** | Dağıtım | | 183.574 | 19.405.713 | 5.538.294 | 31.972.299 | | ***57.099881*** |
| **ALBE** | S.Doğalgaz | | | | 3.683 | | | ***3.683*** |
| **AYGAZ** | Toptan Satış | | | 191.543 | | | | ***191.543*** |
| **BOTAŞ** | İthalat | 105.106.822 | | 261.787.636 | | | | ***366.894.455*** |
| **İPRAGAZ** | Toptan Satış | | | 109.441 | 441.053 | 44.450 | | ***594.944*** |
| **NATURGAZ** | S.Doğalgaz | | | 324.902 | | | | ***324.902*** |
| **OMVENERJİ** | Toptan Satış | | | 332.434 | | | | ***332.434*** |
| ***TOPLAM*** | | ***105.106.822*** | ***183.547*** | ***290.230.490*** | ***7.667.743*** | ***37.134.748*** | ***194.476.62*** | ***440.507.749*** |

## 7. YASAL MEVZUAT

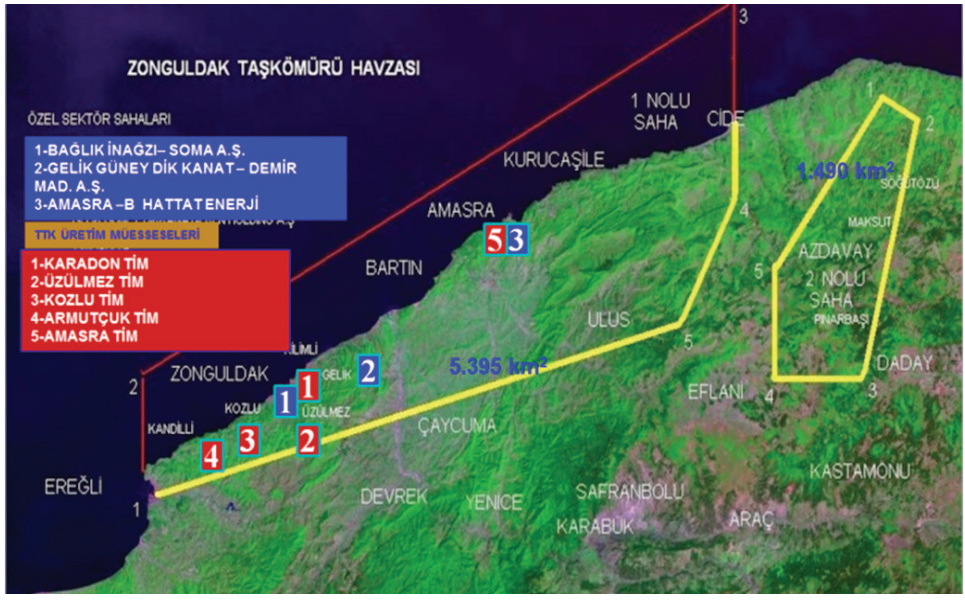
30.05.2013 tarih ve 6491 sayılı Türk Petrol Kanunu 8. Maddesine 8. Fıkra eklenerek "Metan Gazı İşletme Ruhsatı" düzenlemesi yapılmıştır. Daha sonra Türk Petrol Kanunu Uygulama Yönetmeliği'nin 8. Fıkrası bu doğrultuda düzenlenmiş ve 22.09.2017 tarih ve 30188 sayılı Resmi Gazete 'de yayınlanmıştır. Yönetmelik'te yapılan düzenlemeyle; "Maden Kanunu'nun 2. Maddesine ait IV. Grup (b) bendinde belirtilen madenlerden olan metan gazının üretilmesi için Maden işletme ruhsat sınırları içerisinde kalmak üzere, ton başına en az $5m^3$ metan gazı tespit edildiğini belgelemesi halinde maden sahibine bu Kanun kapsamında metan gazı işletme ruhsatı verilir" hükmü eklenmiştir. Bu Kanun; kömür kökenli metan gazının yeni bir enerji kaynağı olarak üretilmesinin yasal dayanağını oluşturmaktadır.

## 8. HAVZADA METAN ÜRETİMİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

TTK imtiyaz sahasında, kömür kaynaklı metan gazı potansiyelinin araştırması ve ticari amaçla yeryüzünden üretilmesi için ilk olarak 1996 yılında ihaleye çıkılmıştır. İhaleyi Data Su Sondajları-Dan Oil ortak girişimi ve Evergreen Resources firmaları kazanmıştır. Data Su sondajları Dan Oil ortak girişimi yeterli etüt ve aramayı gerçekleştirdikten sonra, işletme safhasında üretim amaçlı ilk sondaj kuyusunu Karadon'da (Öner-1, 1583 m) 1999 yılında açmıştır. Ancak kuyudan yeterli gaz

üretimi gerçekleştiremeyen Firmanın projeyi durdurması üzerine TTK sözleşmeyi iptal etmiştir.

Daha sonra TTK imtiyaz sahasını 1 ve 2 No.lu Saha olarak ikiye ayırmış ve her iki saha için ayrı ayrı metan üretimi ihalesi yapmıştır (Şekil 10). Buna göre; 1 No.lu Saha: Armutçuk, Kozlu, Üzülmez, Karadon ve Amasra Müessesesi üretim alanlarını, 2 No.lu Saha: Kurucaşile, Azdavay (Söğütözü-Maksut) bölgelerini kapsamaktadır.



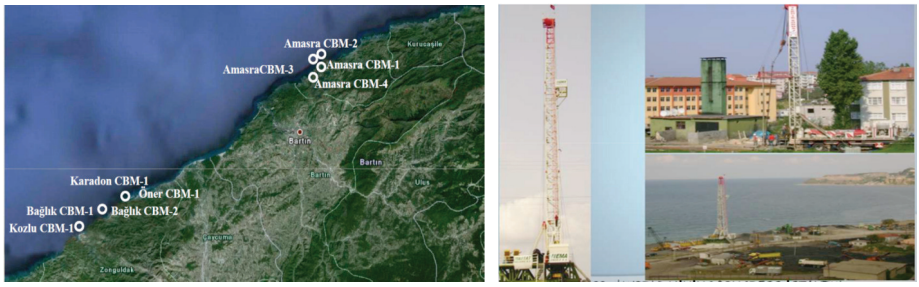

Şekil 10. TTK 1 ve 2 No.lu imtiyaz sahaları.

1 No.'lu saha için yapılan ihaleyi Hema Doğal Enerji Kaynakları A.Ş. kazanmış ve 08.03.2005 tarihinde sözleşme imzalanmıştır. Sözleşmeye göre; Firmanın çalışma süresi 17 yıldır. Firma, ürettiği metanın satış fiyatı üzerinden % 17,4'lük kısmını rödovans payı olarak TTK'ya ödeyecektir.

2 No.lu saha için yapılan ihaleyi Delta Uluslararası Petrol ve İnşaat Ltd**.** Şti**.** kazanmış ve 09.02.2012 tarihinde sözleşme imzalanmıştır. Sözleşmeye göre; Firmanın çalışma süresi 33 yıldır. Firma, ürettiği metanın satış fiyatı üzerinden % 10'luk kısmını rödovans payı olarak TTK'ya ödeyecektir.

### *8.1.1. No.lu Sahada Yapılan Çalışmalar*

İhaleyi kazanan Hema Doğal Enerji Kaynakları A.Ş. bu güne kadar 11 sondaj yapmıştır (Şekil 11). Söz konusu sondajlardan 5'inde ayrıca çatlatma operasyonu gerçekleştirilmiştir.




Şekil 11. 1 No.lu sahada yapılan CBM sondajlarının yerleri ve görünümleri.

### *8.2.2. No.lu Sahada Yapılan Çalışmalar*

İhaleyi kazanan Delta Uluslararası Petrol ve İnşaat Ltd. Şti. II No.lu sahada 3 adet araştırma kuyusu açmış ve bu kuyulardan Maksut CBM kuyusunda metan üretmek amacıyla çalışmalara başlamıştır. Şu an için ticari metan üretimine geçilemeyen kuyudaki çalışmalar halen sürdürülmektedir.

## 8.3. Havalandırma kuyularından metan gazı elde etmek amacıyla yapılan çalışmalar

TTK, havalandırma kuyularından (aspiratör) çekilen havadaki metanın değerlendirilmesi için "Maden Ocaklarından Aspiratörle Emilen Hava İçindeki Metan Gazından Faydalanma Şartnamesi"ni hazırlayarak ihaleye çıkmıştır. İhaleyi Metanoks Elektrik Üretim A.Ş**.** kazanmış ve 26 Ocak 2012 tarihinde sözleşme imzalanmıştır. Firma 3 yıl süren araştırma döneminde, yerli ve yabancı firmalardan destek alarak Amasra Bölgesinde çalışmalar yapmıştır. Ancak 3 yıllık araştırma döneminin sonunda Firma; aspratörlerden çıkan ocak havası içindeki metanın ticari amaçla elde edilmesinin ekonomik olmadığını değerlendirerek sözleşmeyi iptal etmiştir.

## 9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

• Zonguldak Kömür Havzasının günümüzdeki üretim ve havalandırma koşullarında metan potansiyeli (VAM olarak) 39.102.421.011 $m^3$ tür. Ancak; Havzada kömür üretiminin düşük olması, açığa çıkan metan miktarının da düşük olmasına neden olmaktadır. Bu durum Havzadan metan üretimi (VAM olarak) amacıyla yapılacak yatırımları engellemektedir.

• Havzada bu güne kadar metan üretimi amacıyla yapılan çalışmalar; kömür üretimini olumsuz olarak etkileyen tektonik ve sedimantolojik koşulların, ticari amaçlı metan üretimini de olumsuz etkileyeceğini göstermektedir.

• Zonguldak Taşkömürü Havzasından ticari amaçlı ve kesintisiz olarak metan üretilmesi için; damarların stabilitesi bozulmadan kömürlerin bünyesinde ek çatlakların oluşturulacağı ve gözeneklerin birbirleriyle bağlantısının sağlanacağı uygun yöntemlerin araştırılması, geliştirilmesi ve uygulanması gerekir. Bu amaçla, kamu ve özel sektör tarafından ticari gaz elde edilmesine dönük çalışmalar teşvik edilmelidir. Havzada, kömür üretimi için yapılan yatırımlara oranla çok daha az bir yatırımla ticari metanın üretilmesi, madencilik çalışmalarının daha uzun yıllar sürmesini sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Aydın, G., Karakurt, İ. 2009. Yeraltı Kömür Damarlarından Üretilen Metanın Kullanım Teknolojileri, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 1.

Baltaş, A. 2012. Yeraltı Kömür Ocaklarında Jeolojik Özelliklerle Gaz Degajlarının İlişkisi, Türkiye 18. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s. 299-311.

Beamish, B.B., Crosdale, P.J. 1998. Instantaneous Outbursts in Underground Coal Mines: An Overview and Association With Coal Type, Int J Coal Geol 35, pp. 27–55.

Bilgin vd. 2016. Kömürde Eklem Takımlarının (Cleats) Mekanizasyonun Planlamasındaki Önemi ve Buna Bağlı Yeni Bir Kazılabilirlik Sınıflamasının Önerilmesi, Türkiye 20. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s. 1-10.

Cao**,** Y. He, D., Glick, D.C. 2001. Coal and Gas Outbursts in Footwalls of Reverse Faults, Int Coal Geology, 48, 1, pp. 47-63.

EPDK, 2016. 2015 Yılı Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu, Ankara, 142 s.

Hatch, J.R., Gluskoter, H.J., Lindahl, P.C. 1976. Sphalerite in Coals from the Illinois Basin, Econ. Geol. 71, pp. 613–624.

Hughes, B.D., Logan, T.L. 1990. How to Desingn A Coalbed, Methane Well, Petroleum Engineering International, pp.16-20.

Karayiğit, A.G. 1990. Zonguldak Kömürlerinin Petrolojik Özellikleri, Türkiye 7. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, pp. 261-278.

Kuuskraa, V.A., Brandenburg, C.F. 1989. Coalbed methane sparks a New Energy Industry. Oil and Gas Journal, pp.49-56.

Laubach, S.E., Tremaın, C.M., Ayers, W.B. Jr. 1991. Coal Fracture Studies: Guides for Coalbed Methane Exploration and Development. J. Coal Qual. 10, pp. 81–88.

Ulery, J.P. 2008. Explosion Hazards from Methane Emissions Related to Geologic Features in Coal Mines Department of Health and Human Services, Pittsburgh.

TTK, 2009. TTK Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi (Degaj) Olaylarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Yönergesi, İş Güvenliği ve Eğitim Daire Bşk, 44 s.

TTK, 2016. İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı, Kişisel Görüşme.

TTK, 2017. Zonguldak Kömür Havzası Rezervleri.

# DÜNYA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR REZERVLERİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ YERİ

## *COAL RESERVES IN THE WORLD AND TURKEY AND PLACE IN ELECTRICITY PRODUCTION*

**Ahmet Mahmut Kılıç, Esma Kahraman*, Özen Kılıç**
*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Ülkemiz hem ekonomik hem de nüfus olarak hızla büyümektedir. Bu büyüme enerjiye olan talebi artırmaktadır. Türkiye fosil yakıt olarak; linyit ve taş kömürü rezervlerine sahiptir. 2016 yılı istatistiklerine göre; Türkiye'de 14.764,9 milyon ton kömür rezervi bulunmaktadır. Bu çalışmada; Türkiye ve dünyada kömür rezervlerinin durumu, üretim ve tüketim değerleri incelenmiştir. Ayrıca, kömürün elektrik üretiminde kullanım miktarları ve enerji sektöründeki önemi vurgulanmıştır. 2015 istatistiklerine göre; dünya elektrik üretiminin %39,3'ü, Ülkemiz elektrik üretiminin ise %28,5'i kömür kullanılarak üretilmiştir.

**ABSTRACT** Our country is growing rapidly as both economic and population. This growth increases demand, which is energy. Turkey has lignite and coal reserves as fossil fuels. According to the statistics of the year 2016; Turkey has 14.764,9 million tons of coal reserves. The status of Turkey and the world coal reserves, production and consumption were examined. In addition; we have been emphasized on the amount of use of coal in electricity production and importance in the energy sector. According to the statistics of 2015; 39,3% of the world's electricity production and 28,5% of our country's electricity production were produced using coal.

* *ekahraman@cu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Kömür fosil kökenli olup, insanlığın gelişmesinde önemli bir role sahiptir. Turba, linyit, taş kömürü ve antrasit gibi ana sınıflara ayrılmaktadır. Tarih boyunca çeşitli dönemlerde cinslerine göre; ısıtmada, pişirmede, çanak-çömlek yapımında, metalleri eritmede ve şekil vermede kullanılmıştır. Sanayi devrimi ile de kömürün önemi daha da artmıştır (Kural ve Asmatülü 1998).

Kömür, enerji kaynaklarının en önemlilerinden birini oluşturan tortul bir kayaçtır. Enerji zenginlik kaynağı ve aynı zamanda ekonomik gelişmede önemli bir faktör olarak düşünülür (Kaygusuz 2003). Geçmişten günümüze tarihsel süreçlere bakıldığında, ekonomik gelişme ile enerji kullanımı arasındaki doğrusal orantı açıkça görülmektedir.

Dünya'da ve Ülkemizde kullanılmakta olan elektrik enerjisi büyük oranda birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve kullanımı gün geçtikçe artsa da kömürün kullanım yaygınlığını azaltmamıştır.

Artan enerji talebini karşılamak için düşük maliyetli, daha temiz enerji kaynaklarının kullanımı yetersiz olduğundan kömür genellikle tek alternatiftir. Gelişmekte olan ülkeler dünyanın toplam kömürünün yaklaşık %55'inden yararlanmaktadır. Bu oranının önümüzdeki yıllar içinde %65'e çıkması beklenmektedir. 2050 yılına kadar kömürün dünyanın birincil enerji kaynaklarının %20'sinden fazlasını oluşturacağı düşünülmektedir (Balat ve Ayar 2004).

## 2. DÜNYADA KÖMÜR

Dünya kömür üretimi son otuz yılda iki kat artmıştır. Kömür üretimindeki artış, büyük ölçüde başta Çin olmak üzere Asya kıtasındaki elektrik enerjisi talebinden kaynaklanmaktadır. Bu ülkenin elektrik enerjisi üretimi son on yılda 2,6 kat artarak 2014 yılında yaklaşık 5650 TWh düzeyine yükselmiş (BP 2015) ve söz konusu üretimin %81'i kömüre dayalı termik santrallerden elde edilmiştir (WCA 2014). Son on yılda Asya-Pasifik Bölgesi'nin toplamındaki elektrik enerjisi üretim artışı ise yaklaşık 2 kat olup, elektrik üretiminde en yoğun olarak kullanılan kaynak kömür olmuştur.

### 2.1. Dünya Kömür Rezervleri

2016 yılı Dünya kömür rezerv verileri incelendiğinde, mevcut rezervin neredeyse yarısının Asya ve Pasifik bölgesinde olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Diğer yandan, kömür yatakları Dünya'da yaygın olarak dağılmış olmasına rağmen, mevcut rezervin yaklaşık %60'ı üç ülkede yer almaktadır. Bu ülkeler; Amerika (%21,1), Çin (%21,4) ve Rusya (%14,1)'dır (BP 2017).

Çizelge 1. Dünya kömür rezervleri (BP 2017).

| Bölge | Antrasit ve Bitüm (Milyon Ton) | Alt bitümlü Kömür ve Linyit (Milyon Ton) | Toplam (Milyon Ton) | % |
|---|---|---|---|---|
| Kuzey Amerika | 226906 | 32469 | 259375 | 22,8 |
| Orta ve Güney Amerika | 8943 | 5073 | 14016 | 1,2 |
| Avrupa ve Avrasya | 153283 | 168841 | 322124 | 28,3 |
| Orta Doğu ve Afrika | 14354 | 66 | 14420 | 1,3 |
| Asya Pasifik | 412728 | 116668 | 529396 | 46,5 |
| Toplam | 816214 | 323117 | 1139331 | 100,0 |

## 2.2. Dünyada Kömür Üretim ve Tüketimi

Dünyada kömür üretimi incelendiğinde; 2016 yılında 3887,3 milyon ton petrol eşdeğeri olmuştur. Bölgelere göre dünyadaki kömür üretimi Çizelge 2'de ve kömür tüketimi Çizelge 3'de gösterilmiştir (BP 2017).

Çizelge 2. Yıllara göre dünyada kömür üretimi (BP 2017).

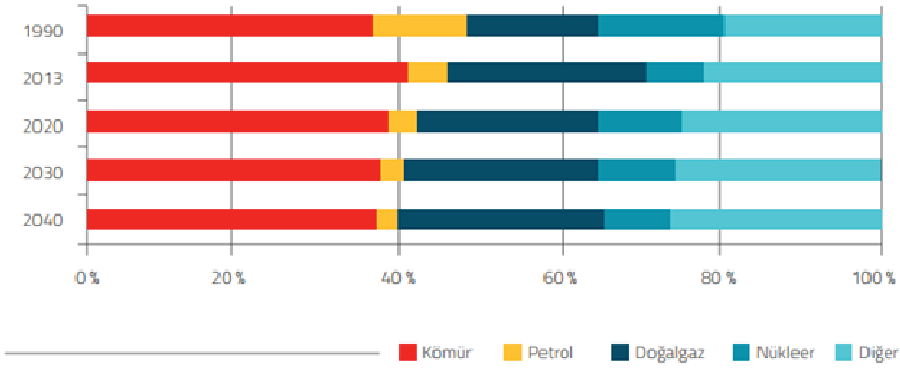
| Milyon Ton (petrol eşdeğeri) | Kuzey Amerika | Orta ve Güney Amerika | Avrupa ve Avrasya | Orta Doğu | Afrika | Asya Pasifik | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2006** | 636,7 | 53,9 | 440,4 | 1,0 | 140,5 | 1922,2 | 3194,7 |
| **2007** | 630,7 | 56,2 | 438,0 | 1,1 | 140,5 | 2065,5 | 3331,9 |
| **2008** | 639,2 | 57,7 | 443,9 | 1,0 | 142,7 | 2156,2 | 3440,8 |
| **2009** | 580,0 | 55,3 | 418,8 | 0,7 | 141,5 | 2244,8 | 3441,1 |
| **2010** | 594,0 | 55,9 | 429,3 | 0,7 | 146,8 | 2406,7 | 3633,3 |
| **2011** | 600,9 | 63,9 | 446,9 | 0,7 | 146,0 | 2638,8 | 3897,3 |
| **2012** | 560,9 | 66,3 | 459,4 | 0,7 | 152,0 | 2699,7 | 3938,9 |
| **2013** | 544,5 | 65,3 | 450,9 | 0,7 | 152,3 | 2792,5 | 4006,1 |
| **2014** | 550,5 | 67,5 | 433,2 | 0,6 | 157,5 | 2783,1 | 3992,4 |
| **2015** | 488,1 | 64,9 | 422,5 | 0,7 | 151,7 | 2759,4 | 3887,3 |

Çizelge 2. Yıllara göre dünyada kömür tüketimi (BP 2017).

| Milyon Ton (petrol eşdeğeri) | Kuzey Amerika | Orta ve Güney Amerika | Avrupa ve Avrasya | Orta Doğu | Afrika | Asya Pasifik | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2006** | 607,1 | 2,3 | 536,3 | 9,8 | 90,6 | 2025,7 | 3293,9 |
| **2007** | 614,9 | 2,4 | 540,2 | 9,9 | 92,1 | 2197,4 | 3480,2 |
| **2008** | 603,7 | 2,4 | 528,3 | 9,7 | 100,5 | 2257,3 | 3528,4 |
| **2009** | 530,0 | 2,1 | 475,5 | 9,9 | 101,0 | 2336,3 | 3476,1 |
| **2010** | 562,5 | 2,2 | 492,5 | 10,1 | 100,1 | 2442,3 | 3635,6 |
| **2011** | 531,9 | 2,7 | 514,9 | 11,2 | 98,5 | 2620,6 | 3807,2 |
| **2012** | 471,8 | 2,7 | 528,1 | 12,3 | 96,1 | 2677,4 | 3817,3 |
| **2013** | 488,1 | 2,9 | 508,1 | 10,9 | 97,5 | 2748,3 | 3887,0 |
| **2014** | 486,0 | 3,2 | 487,3 | 10,8 | 102,3 | 2767,0 | 3889,4 |
| **2015** | 424,2 | 3,2 | 471,3 | 10,2 | 95,3 | 2747,7 | 3784,7 |

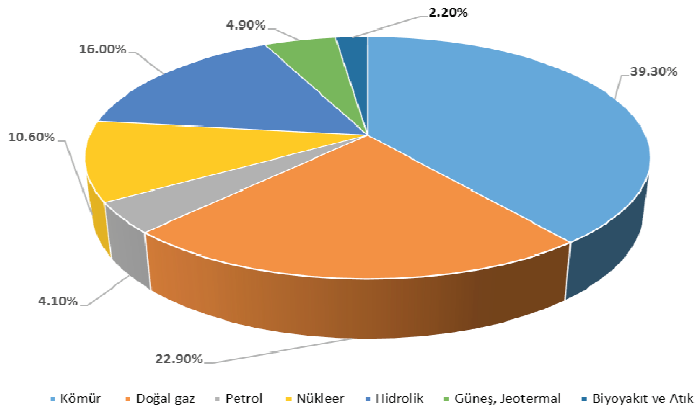
### 2.3. Dünyada Kömürün Elektrik Üretimindeki Yeri

Kömür, elektrik üretimi amacıyla kullanılan yakıtlar arasında en yaygın olanıdır. Kömürün elektrik üretiminde en yüksek oranda kullanılan yakıt olma niteliğinin öngörülebilir bir gelecekte de değişmeyeceği tahmin edilmektedir. 1990 yılında dünya toplam elektrik üretiminde %37,4 oranında kullanılan kömür; 2013 yılı itibariyle %41,2 oranında kullanılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından, mevcut politikaların gelecekte de değişmeden devam edeceği varsayımıyla yapılan tahminlere göre kömürün elektrik üretimindeki kullanım payı 2040 yılında da yaklaşık aynı düzeyde kalacaktır (Şekil 1). Uluslararası Enerji Ajansı'nın "Yeni Politikalar Senaryosu"nda dahi, bu alanda ne doğal gazın ne de nükleer enerjinin kömürün yanına yaklaşabilmesi mümkün görünmemektedir (IEA 2015).




Şekil 1. Dünya elektrik üretiminde kaynak dağılımının tahmini (IEA 2015).

2015 yılında, dünya elektrik üretiminin % 68.5'i fosil yakıt üreten tesislerden sağlanmıştır. Şekil 2'de de gözlendiği gibi 2015 yılı dünya elektrik üretiminin %39,30'u kömürden, %22,90'ı doğal gazdan, %4,10'u petrolden, %10,6'ı nükleer kaynaklarda, %16'sı hidroelektrikten, %4,90'ı güneş ve jeotermal kaynaklardan, %2,2'si biyoyakıt ve atıklardan elde edilmektedir (Şekil 2) (IEA 2017).




Şekil 2. 2015 yılı Dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımları (IEA 2017).

Elektrik üretiminde kömürün %39.3'lük payı kömürün halen elektrik üretiminde yaygın olarak kullanıldığının göstermektedir.

## 3. TÜRKİYE'DE KÖMÜR

### 3.1. Türkiye'de Kömür Rezervleri

Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,2'si ülkemizde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısıl değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri ise Zonguldak ve civarındadır. Zonguldak Havzası'ndaki toplam taşkömürü rezervi 1.30 milyar ton, buna karşılık görünür rezerv ise 506 milyon ton düzeyinde bulunmaktadır (ETKB 2018).

Linyit ve alt bitümlü kömür sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup bu sahalardaki linyit ve alt bitümlü kömürün ısıl değerleri 1000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit ve alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısıl değerdedir (ETKB 2018). Ülkemizde kömür üretimi yapılan başlıca iller Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3. Ülkemizde kömür üretimi yapılan başlıca iller (TKİ 2015).

TC Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre Türkiye kömür rezervleri Çizelge 4'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde 1308,5 milyon ton taş kömürü, 14764,9 ton linyit rezervimizin mevcut olduğu görülmektedir.

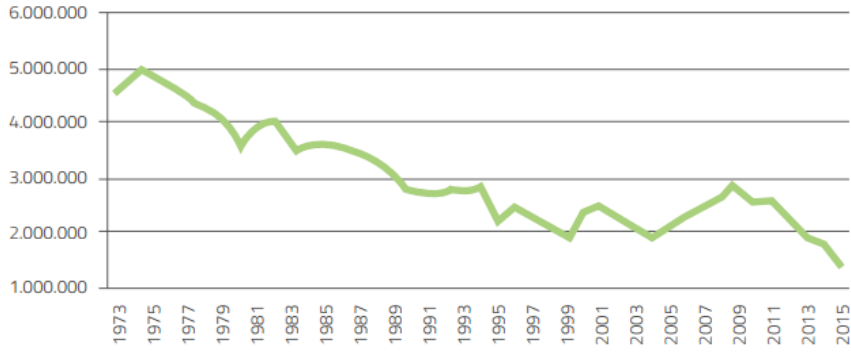
Çizelge 4. 2015 yılı Türkiye kömür rezervleri (milyon ton) (ETKB 2016).

| **Kaynaklar** | **Görünür** | **Muhtemel** | **Mümkün** | **Toplam** |
|---|---|---|---|---|
| **Taş Kömürü** | 506,5 | 425 | 368,4 | 1308,5 |
| **Linyit** | | | | |
| Elbistan | 4845,5 | | | 4845,5 |
| Diğer | 9146,0 | 768,9 | 4,5 | 9919,4 |
| **Toplam** | 13991,5 | 768,9 | 4,5 | 14.764,9 |
| **Asfaltit** | 82 | | | 82 |
| **Bitüm** | 1641,4 | | | 1641,4 |

### 3.2. Türkiye'de Kömür Üretim ve Tüketimi

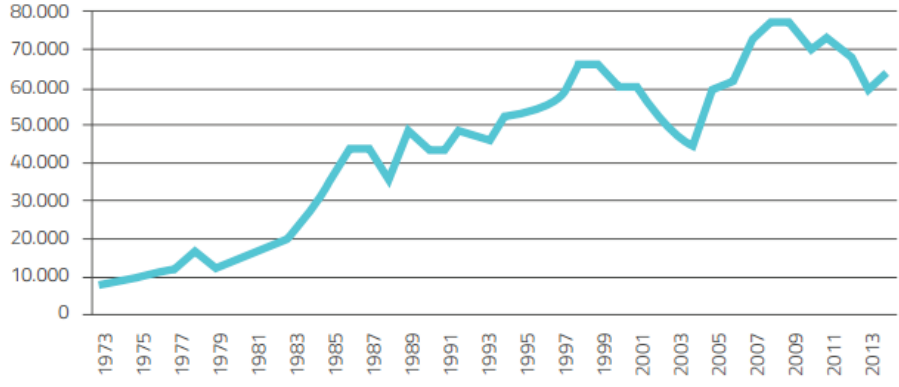
Ülkemiz 2014 yılı satılabilir kömür üretimi; 62,6 milyon ton linyit, 1,8 milyon ton taşkömürü ve 0,8 milyon ton asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %8 artarak toplam 65,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (ETKB 2016). 1980'li yıllardan itibaren sürekli bir düşme eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen satılabilir taşkömürü üretimi 2012 yılında 2,3 milyon ton düzeyindedir. 2013 yılında 1,9 milyon ton ve 2014 yılında ise bir önceki yıla göre %5 oranında gerileyerek 1,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TTK 2015). 2015 yılı satılabilir taşkömürü üretimi ise 1,4 milyon ton düzeyindedir (TTK 2016) (Şekil 4). Böylelikle, Zonguldak Havzası'nın, Türkiye enerji talebine olan katkısı 2015 yılı itibariyle binde 7-8 düzeyine kadar gerilemiştir. Havzada, zaten ciddi bir maliyet baskısı altında olan ve ithal kömür rekabeti karşısında bıçak sırtında çalışan işletmelerin maliyetleri, son yasal

düzenlemeler neticesinde sürdürülebilir olmaktan tamamen çıkmıştır. Zonguldak Havzası'nda 2004 yılından itibaren TTK tarafından rödovans karşılığı özel firmalara kömür üretimi uygulaması başlatılmıştır. 2015 yılında özel sektör tarafından üretilen taşkömürü toplam üretimin yaklaşık %34'ü oranındadır (TTK 2016).




Şekil 4. Türkiye taş kömürü üretim miktarları (ton) (TTK 2015).

Linyit üretimleri ise, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında 5,8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak bu tarihten itibaren özellikle doğal gaz alım anlaşmaları nedeniyle linyit üretimi sürekli azalmış, 2004 yılında 43,7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüştür. Bu tarihten sonra tekrar yükselen linyit üretimleri 2008 yılında 76 milyon tonu görmüş, daha sonra tekrar gerileyerek 2013 yılında 57,5 milyon ton, 2014 yılında ise bir önceki yıla göre %8,9 artarak 62,6 milyon ton olmuştur (ETKB 2016) (Şekil 5).




Şekil 5. Türkiye linyit üretim miktarları (ton) (TKİ 2015).

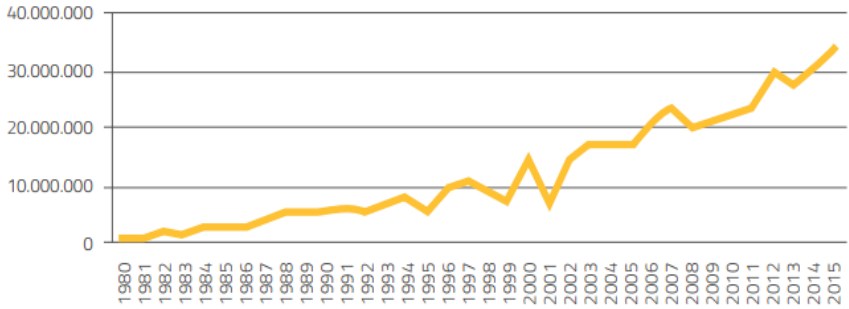
Ülkemizde kömür üretim-tüketim miktarları incelendiğinde ithal kömür tüketiminin oldukça fazla olduğu açıkca görülmektedir. Çizelge 5'de yıllara göre kömür üretim ve tüketim miktarları görülmektedir.

Çizelge 5. Türkiye kömür üretim-tüketim miktarları (BP 2017).

| Yıllar | Üretim<br>Milyon Ton (petrol eşdeğeri) | Tüketim<br>Milyon Ton (petrol eşdeğeri) |
|---|---|---|
| **2006** | 13.2 | 26.2 |
| **2007** | 14.8 | 29.5 |
| **2008** | 16.7 | 29.6 |
| **2009** | 17.4 | 30.9 |
| **2010** | 17.5 | 31.4 |
| **2011** | 17.9 | 33.9 |
| **2012** | 17.0 | 36.5 |
| **2013** | 15.5 | 31.6 |
| **2014** | 16.4 | 36.1 |
| **2015** | 12.8 | 34.7 |

Ülkemizde 1980'li yıllardan önce son derece düşük miktarlarda başlayan kömür ithalatı, 1990'lı yıllarda 10 milyon tonun ve 2000'li yıllarda ise 20 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Kömür ithalatındaki artış oranı 2004-2014 arasındaki on yılda %79 ve son yirmi yılda ise %291 oranındadır. 2012 yılında kömür ithalatımız bir önceki yıla göre yaklaşık %23 artış göstererek 29,6 milyon ton düzeyine yükselmiş, 2013 yılında ise bir önceki yıla göre %8,4 azalarak 27.2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılı kömür ithalatı %11 artışla 30,2 milyon ton olmuştur. Geçici verilere göre 2015 yılı kömür ithalatı ise yaklaşık 34 milyon ton düzeyindedir (TÜİK 2016).

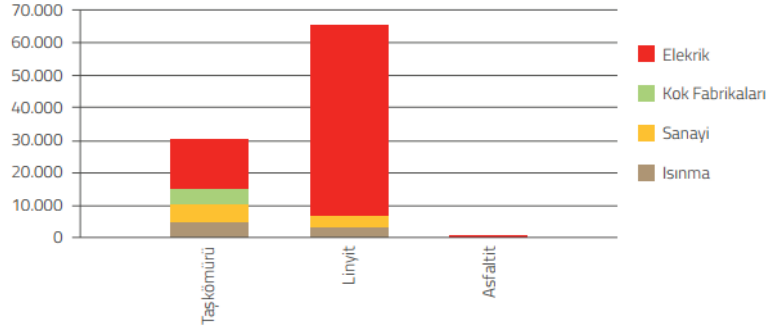
Son yıllarda kömür ithalatındaki artışın en önemli nedeni, elektrik üretimi amaçlı kullanılacak buhar kömürlerine olan talepteki ciddi artıştır. Söz konusu eğilim dikkate alındığında, ithalatın önümüzdeki yıllarda da artarak süreceği ve kömür ithalat faturasının doğal gaz faturasına yakın düzeylere yükselebileceği anlaşılmaktadır (Şekil 6).




Şekil 6. Türkiye kömür ithalat miktarları (ton) (TKİ 2015).

### 3.3. Türkiye'de Kömürün Elektrik Üretimindeki Yeri

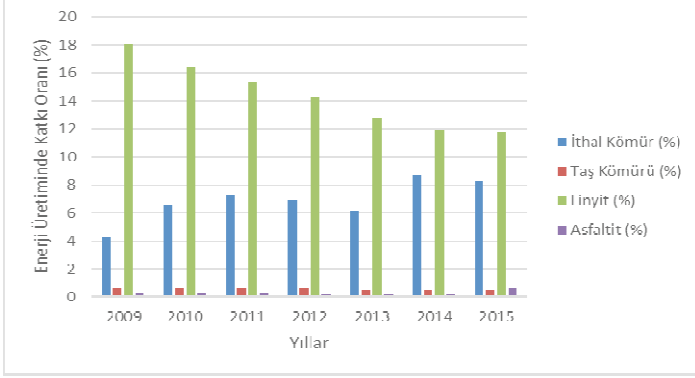
Ülkemizde tüketilen taş kömürü, linyit ve asfaltitin sektörel olarak dağılımı incelendiğinde; en büyük oranın elektrik üretiminde olduğu görülmektedir (Şekil 7).




Şekil 7. Kömürün tüketiminde sektörel dağılım (ton) (TKİ 2015).

Ülkemizin 2015 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü bir önceki yıla göre 722 MW artarak 15.493 MW düzeyine yükselmiş olup toplam kurulu gücün %21,2'sine karşılık gelmektedir (TEİAŞ 2016a). Toplam kurulu güç içerisinde yerli kömüre dayalı kurulu güç 9.428 MW (%12,9) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 6.064 MW (%8,3) şeklindedir. 015 yılında kömüre dayalı (asfaltit dahil) santrallerden 73,9 TWh elektrik üretilmiş olup toplam üretim içerisindeki payı %28.5 düzeyindedir. Bu miktarın 34,3 TWh kısmı yerli kömüre (asfaltit dahil) aittir. Yerli kömürün toplam brüt elektrik üretimi içindeki payı 2015 yılında %13,2 olmuştur. İthal kömüre dayalı santrallerin elektrik üretimindeki payı ise 3.6 TWh ile %15.3 oranındadır (TEİAŞ 2016b).

Kömür türlerinin ve ithal kömürün enerji üretimindeki katkı oranları incelendiğinde; linyitin katkısında azalma gözlenirken, ithal kömürde 2014 ve 2015 yıllarında bir artış görülmüştür (Şekil 8).




Şekil 8. Kömür türlerinin ve ithal kömürün enerji üretimindeki katkı oranları

2015 yılında Ülkemiz enerji üretiminde kömür tüketimi incelendiğinde %8,3 ithal kömür, %0,5 taş kömürü, %11,8 linyit ve %0,6 asfaltit kullanıldığı görülmüştür.

## 4. SONUÇLAR

Ülkelerin gelişiminin en önemli ve en temel göstergelerinden biri olan enerjiyi temiz, ucuz ve güvenli bir şekilde elde etmek, neredeyse tüm ülkelerin temel politikasıdır. Ülkeler enerji üretimini sürekli hale getirebilmek için ticari, politik ve hatta askeri çabalar içerisindedir.

Kömür enerji üretiminde kullanılan en temel girdi olarak kabul edilmektedir ve enerji üretimindeki konumu uzun yıllar korunacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dünyada ve ülkemizde yönelim sınırlı oranda kaldığı ölçüde kömür enerji üretim sektöründeki yeri önceliklidir.

2015'te dünya elektrik üretiminin %68,5'i fosil yakıt tüketen tesislerden karşılanmıştır. Bu oran içerisinde kömür %39,3'lük bir paya sahiptir. Ülkemizde ise bu oranın %28,5 olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; ülkemizde kömürden elde edilen enerji üretimi incelendiğinde kullanılan kömürün neredeyse yarısının ithal kömürden elde edildiği görülmektedir. Ayrıca ülke olarak enerjide dışa bağımlı olduğumuz da aşikardır. Bu miktar ülke ekonomisini düşündüğümüz zaman oldukça fazladır. Enerji kaynaklarına olan ithalat bağımlılığını azaltmak için ülkemiz enerji politikasını gözden geçirilmeli ve madencilik faaliyetleri desteklenmelidir. Ülkemizde yeni kömür sahalarının belirlenmesi için kömür rezervleri araştırılmalı ve mevcut çalışmalar desteklenerek arttırılmalıdır. Ülkemize ait kömür potansiyelinin aktif olarak kullanılması sağlanmalıdır. Kömür üretim tesisleri iyileştirilmeli, verimli enerji üretimi için yeni teknolojiler kullanılmalı ve gerekirse üretilen kömürlerin kalitesi modern kömür işleme yöntemleri ile arttırılmalıdır.

Buna ek olarak, Türkiye'de üretilen enerjinin fiyat dalgalanmalarını ve dışa bağımlılığı azaltmak için nükleer enerji de dahil olmak üzere enerji üretim kaynaklarını çeşitlendirmelidir. Hidroenerji ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi için daha yoğun kullanılmalıdır.

## KAYNAKLAR

Balat, M., Ayar, G. 2004. Turkey's Coal Reserves, Potential Trends and Pollution Problems of Turkey, Energy Exploration & Exploitation, 22, pp. 71–81.

BP, 2017. Statistical Review of World Energy. June 2017. https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-coal.pdf Erişim Tarihi: 18.01.2018.

ETKB, 2017. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, Mavi kitap, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi_kitap_2016.pdf Erişim Tarihi: 18.01.2018.

IEA, 2017. Internatıonal Energy Agency, Electricity information: Overview (2017 Edition), https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ElectricityInformation2017Overview.pdf Erişim Tarihi: 18/01/2018

Kaygusuz, K. 2003. Energy Policy and Climate Change in Turkey, Energy Conversion and Management, 44, pp. 1671–1688.

Kural, O., Asmatülü, R. 1998. Türkiye'de Kömür Madenciliğinin Tarihçesi Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul, s. 1-7.

Özdoğan, S., Ünver, Ö. 1998. Türkiye'nin Taşkömürü ve Linyit Envanteri ile İlgili Ekonomik Değerlendirme. Kömür-Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul, s. 7-16.

TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi). 2016a. Türkiye Elektrik Üretimi Günlük Rapor – 31 Aralık 2015. TEİAŞ, Ankara.

TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi). 2016b. Yük Tevzii Raporları: Türkiye Elektrik Enerjisi - Kuruluş ve Yakıt Cinslerine Göre, Ankara.

TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri). 2015. TKİ 2015 Yılı Sektör Raporu, Ankara

TTK (Türkiye Taş Kömür İşletmeleri). 2015. TTK 2015 Yılı Sektör Raporu, Ankara

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). 2015. Kömür Dış Ticaret İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr/>.Erişim tarihi: 27.12.2017.

WCA (World Coal Association). 2014. Coal Facts 2014. <http://www.worldcoal.org/>, Erişim tarihi: Mayıs 2015. Erişim Tarihi: 18/01/2018.

# DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BİRİNCİL ENERJİ ARZI VE KÖMÜRÜN PAYI

## *PRIMARY ENERGY SUPPLY IN THE WORLD AND IN TURKEY AND THE SHARE OF COAL*

**Yaşar Kasap***
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için kullanılan kaynaklardan en büyük paya sahip olanları fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar içerisinde yer alan kömür; yerkabuğundaki orantılı dağılımı, rezervlerinin fazla olması, istikrarlı tedarik koşulları ve fiyat yapısı ile en güvenilir enerji kaynağı durumunda olması sebebiyle teknolojik gelişimlerle birlikte serbest piyasada rekabet edebilen sürekli ve güvenilir enerji arzının sağlanmasında önemli bir kaynak durumundadır.

Kömür rezervleri bakımından zengin olan ülkelerin enerji üretiminde yerli kaynaklarını yoğun bir şekilde kullandıkları görülmektedir. Ülkemizin de mevcut kömür rezervleri dikkate alındığında gerek elektrik üretiminde gerekse ısınma ve sanayide kullanımının artırılması, enerji güvenliğinin yanında ekonomiye sağlayacağı katkı sağlaması bakımından büyük önem taşımaktadır. Ancak enerji üretiminde kömürün kullanımı, temiz kömür teknolojilerindeki gelişmelere orantılı olarak artacaktır.

**ABSTRACT** At the present time, fossil fuels have the largest share of the energy sources used to suppy rising energy needs. As a fossil fuel, coal is an important resource in the provision of continuous and reliable energy supply because with technological improvements its competitive in the free market by its proportional distribution on the tibia, excess reserves, stable supply conditions and price structure.

It is seen that countries rich in terms of coal reserves are intensively using domestic resources in energy production. Taking into account the current coal reserves of our country, increasing usage of coal in electricity generation, warming and industry is important in terms of both energy security and contribution to the economy. Use of coal in energy production will increase proportionally to the developments in clean coal technologies.

* *yasar.kasap@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınma için temel girdilerden birisi durumundadır. Artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak enerji tüketimi kaçınılmaz bir şekilde büyümektedir. Buna karşılık enerji tüketiminin mümkün olan en alt düzeyde tutulması, enerjinin en tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Enerji sektöründe;

- Enerji kaynaklarının üretim ve temin maliyeti yüksektir. Enerji projeleri, uzun planlama, gelişim ve yatırım süreleri, yüksek finansman ve gelişmiş teknoloji gerektiren yatırımlardır.
- Petrol ve doğal gaz gibi kalorifik değeri yüksek fosil yakıt varlığı zaman içinde azalırken, bu kaynakların stratejik önemi yükselecek, bu kaynakların yerini dolduracak yeni enerji kaynakları geliştirilmediği sürece, fiyatları artış eğilimi içine girecektir.
- Enerji kaynakları açısından zengin olmayan ülkemizde, bu alanda halen % 62 düzeyinde bulunan dışa bağımlılık, tüketim gelişirken zaman içinde artacaktır.
- Enerji kaynakları, üretim ve tüketim aşamasında çevreyi olumsuz etkileyen özelliklere sahiptir. Çevresel sorunların giderilmesi ise önemli bir maliyet unsurudur. Küresel kirlenme uluslararası alanda ortak politikalar oluşturulması gereken konulardan biri haline gelmiştir.

Bu nedenlerle, sürdürülebilir bir kalkınma yaklaşımı içinde, ekonomik ve sosyal gelişimi destekleyecek, çevreyi en az düzeyde tahrip edecek, asgari miktar ve maliyette enerji tüketimi ve dolayısıyla arzı hedef alınmak durumundadır (TASAM 2006).

Mevcut enerji kaynakları incelendiğinde katı yakıtların dünyadaki dağılımının Orta Doğu ve Afrika'da az olmasına rağmen daha dengeli olduğu görülürken doğal gaz ve petrolün çoğunluğunun Orta Doğu ve eski SSCB bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgelerdeki siyasi iktidarsızlık, petrol ve doğal gazın güvenilirliğinin riskli olmasına sebep olmaktadır (Kasap ve Duman 2011).

Alternatif enerji kaynaklarının nükleer enerji ve fosil yakıtlarla yüksek maliyetleri nedeniyle rekabet edecek durumda olmadıkları, ayrıca günümüz şartlarında da yatırım açısından riskli oldukları görülmektedir. Bunun yanında nükleer enerjinin de atık sorunu ve kaza anında onarılmaz çevre problemleri yaratması nedeniyle ve teknolojik gelişmeler yeni açılımlar yaratmadığı sürece, yakın gelecekte, hem ekonomik hem de stratejik nedenlerden dolayı, fosil yakıtlar, enerji üretimindeki önemini sürdürecektir (Kasap ve Duman 2011).

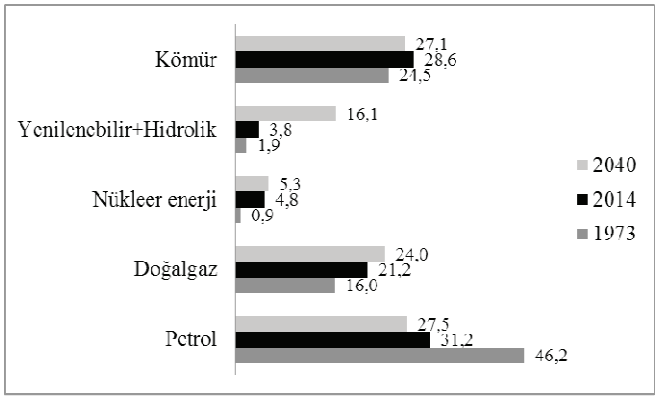
Günümüzde üretim miktarındaki azalmalara rağmen dünya genelinde enerjinin yapı-taşını oluşturması sebebiyle en fazla kullanılan doğal kaynak kömürdür. Tüm

dünyada elektriğinin %40'ı halen kömürden üretilmektedir. Yakın gelecekte petrolün yerini alması ve birincil enerji kaynakları arasında liderlik konumuna yükselmesi beklenmektedir. Diğer kaynaklara nazaran dünya üzerinde daha yaygın ve bol miktarlarda bulunması, daha kolay taşınabilme ve daha emniyetli depolanabilme özellikleri ve temiz kömür teknolojilerinin hızlı gelişimi göz önüne alındığında, kömür, gelecekte de ağırlığını yitirecek gibi görünmemektedir (TESPAM 2018, Tamzok 2005).

## 2. DÜNYADA BİRİNCİL ENERJİ ARZI VE KÖMÜRÜN PAYI

Dünya birincil enerji arzı 1973 ve 2014 yılları arasındaki 41 yılda 2,2 kat artarak 2014 yılı itibariyle 13.699 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) düzeyine ulaşmıştır. 2014 yılında toplam enerji arzı bir önceki yıla göre hemen hemen aynı düzeyde kalmıştır (IEA 2015, IEA 2016, TKİ 2016). Enerji arzı yeni yüzyılın ilk 14 yılında %36 oranında büyürken, artışın yaklaşık dörtte üçü Asya kıtasından kaynaklanmıştır. Söz konusu 14 yılda, enerji arzı Çin'de %169 ve Hindistan'da ise %87 oranında büyümüş, buna karşılık Avrupa Birliği'nde (AB28) %7,7 ve ABD'de ise %2,5 oranında azalmıştır (TKİ 2016).

1973-2014 yılları arasındaki dönemde; Dünya'da petrolün payı %46,2'den %31,3'ye düşerken, doğal gazın payı %16'dan %21,2'ye, nükleer enerjinin payı %0,9'dan %4,8'e ve hidrolik dâhil yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9'dan %3,8'e yükselmiştir (IEA 2016). Aynı dönemde kömürün payı %24,5'dan %28,6 düzeyine ulaşmıştır (Şekil 1).



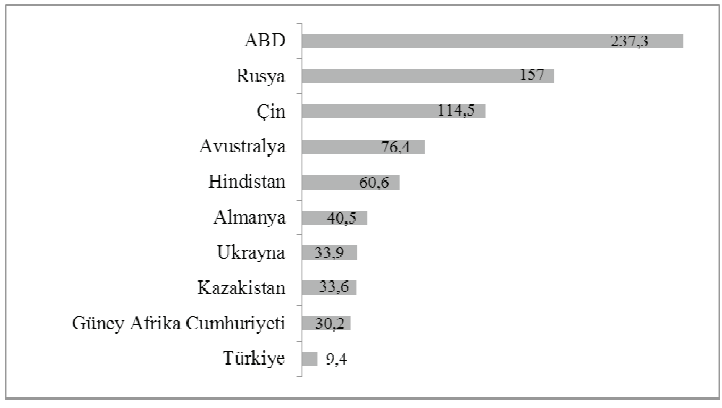

Şekil 1. 1973-2014 yıllarındaki dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı (%).

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından, günümüzde mevcut enerji politikalarının gelecekte de çok fazla değişmeden sürdürüleceği varsayımına göre yapılan tahminlerde; dünya birincil enerji talebinin 2014 yılına göre yaklaşık %44 oranında artış göstererek 2040 yılında 19.636 mtep seviyesine yükseleceği, bu miktarın

kaynaklara dağılımında önemli farklılıkların olmayacağı öngörülmektedir. Buna göre; 2040 yılında petrolün payı %27,5 ve kömürün payı ise %27,1 olacaktır. Kömürü %24 ile doğal gaz izleyecektir. Söz konusu yılda; nükleer enerjinin payı %5,3 ve diğer kaynakların payı ise %16,1 olacaktır (Şekil 1) (TKİ 2016).

## 2.1. Dünya Kömür Rezervleri

Dünya Enerji Konseyi tarafından 80 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı (237,3 milyar ton) ABD'de yer almaktadır. ABD'yi 157 milyar ton ile Rusya Federasyonu ve 114,5 milyar ton ile Çin izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Avustralya (76,4 milyar ton), Hindistan (60,6 milyar ton), Almanya (40,5 milyar ton), Ukrayna (33,9 milyar ton), Kazakistan (33,6 milyar ton) ve Güney Afrika Cumhuriyeti (30,2 milyar ton) bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90'dan fazlası bu dokuz ülkenin sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 2) (ETKB 2018).




Şekil 2. 2015 yılı dünya kömür rezervleri (milyar ton).

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 892 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu ise linyit kategorisindedir (ETKB 2018).

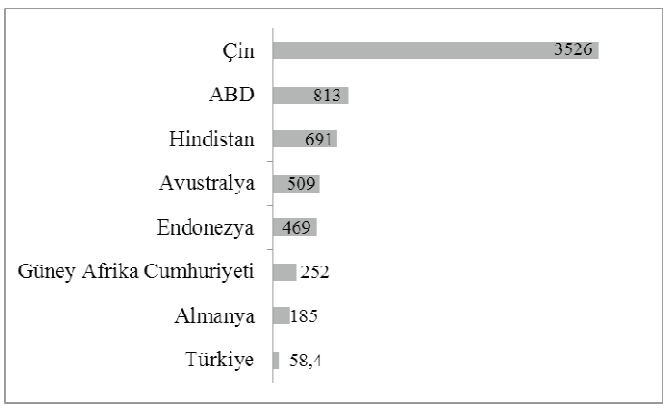
Dünya 2015 yılı toplam kömür üretimi dikkate alındığında, küresel kömür rezervlerinin yaklaşık 114 yıl ömrü bulunduğu hesaplanmaktadır. Son yıllarda yürütülen ciddi kömür arama faaliyetleri sonucunda ülkemiz linyit rezervi önemli ölçüde arttırılabilmiştir. Bununla beraber, söz konusu rezervin uluslararası standartlara göre sınıflandırılmasına ve ekonomik olarak işletilebilir rezervlerimizin belirlenmesine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir (ETKB 2018).

## 2.2. Dünya Kömür Üretimi

Son rakamlara göre kömür rezervlerinin yaklaşık 114 yıllık kullanım ömrü kalsa da petrol ve doğalgazdan daha sonra tükenecektir. Özellikle Asya ve Afrika'nın nüfuslarına sağlamaları gereken enerji düşünüldüğünde buralardaki rezervler çok daha önemlidir (TESPAM 2018).

Çin dünyanın birinci, Amerika ise ikinci en büyük kömür üreticisidir. Bunları Hindistan ve Avustralya takip ediyor. Yenilenebilir enerjinin hızlı yükselişine ve iklim değişikliği tartışmalarına rağmen kömür hala tüm enerji kaynakları içinde enerji gereksinimi bakımından en ön sıradaki yerini korumaktadır (TESPAM 2018).

Çin son 30 yıl içinde dünyadaki en çok kömür üreten ülke konumunda. 2015 yılında 3527 milyon ton kömür üretimi gerçekleştirmiş olan ülke dünya kömür üretiminin %45,8'ini sağlamaktadır. Ayrıca dünya kömürünün yarısından fazlasını Çin tüketmektedir. 114,5 milyar tonla dünyada üçüncü büyük kömür rezervine sahiptir. Kömür üretiminin yarısı elektrik üretiminde kullanılırken elektrik üretiminin %80'i kömürden sağlanmaktadır (Şekil 3) (TESPAM 2018).




Şekil 3. Ülkelere göre 2015 yılı kömür üretim miktarları (milyon ton).

Amerika Birleşik Devletleri 2015 yılında 813 milyon tonluk kömür üretimi ile ikinci sırada yer almaktadır. Toplam dünya kömür üretiminin % 10,5'ine sahip ve ayrıca ikinci en büyük kömür tüketicisi durumundadır. Dünya kömür tüketiminin %11'i bu ülkede gerçekleştirilirken elektrik üretiminin %37'si kömürden sağlanmaktadır. 237 milyar ton ile en büyük kömür rezervine sahiptir (Şekil 3) (TESPAM 2018).

Hindistan 691 milyon tonluk kömür üretimi ile dünyada üçüncü ülke konumundadır. Dünya kömür tüketiminin %8'i Hindistan'a aittir ve dünyada kömür tüketiminde de üçüncü sıradadır. Ayrıca 160 milyon tonluk kömür ithalatı ile dünyada Çin ve Japonya'dan sonra üçüncü büyük ithalatçı durumundadır. Hindistan elektrik

üretiminin % 68'ini kömürden sağlamaktadır. Yine 60,6 milyar tonluk kömür rezervi ile dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (Şekil 3) (TESPAM 2018).

Avustralya kömür üretimi 2015 yılında 509 milyon tona ulaşmıştır. Ülke kömür üretiminin %90'ını ihraç etmektedir. Endonezya'dan sonra en çok kömür ihraç eden ikinci ülke konumundadır. 76,4 milyar ton kömür rezervine sahiptir. Toplam kömür üretiminin %74'ü açık ocak madenciliğiyle gerçekleştirilmektedir (Şekil 3) (TESPAM, 2018). Endonezya 469 milyon kömür üretimi ile beşinci sırada yer almaktadır. Endonezya elektrik üretiminin %44'ünü kömürden sağlamaktadır. Ülke 5,5 milyar ton kömür rezervine sahiptir (Şekil 3) (TESPAM 2018).

Rusya dünya kömür üretiminde altıncı sıradadır. 2015'deki 349 milyon tonluk kömür üretiminin %80'i buhar kömüründen geri kalanı kok kömüründen üretilmiştir. 2012'de 134 milyon ton kömür ihraç eden ülke en büyük üçüncü kömür ihracatçısıdır. 157 milyar tonluk kömür rezervi ile dünyadaki en büyük ikinci rezerve sahip ülkede kömür üretiminin yarısı açık ocak madenciliği ile yapılmaktadır (Şekil 3) (TESPAM 2018). 252 milyon ton'luk üretimle Güney Afrika yedinci sırada yer almaktadır. 2012 yılında yurtdışına 74 milyon ton ihracat gerçekleştiren altıncı en büyük kömür ihracatçısı ülkedir. Çoğunlukla ihracat Avrupa, Çin ve Endonezya'ya yapılmaktadır. Elektrik üretiminin %90'ı ürettiği kömürden sağlanmaktadır. Kömür rezervi 30,2 milyar ton civarlarındadır (Şekil 3) (TESPAM 2018). 2015 yılı verileri incelendiğinde Almanya'nın kömür üretim miktarının 185 milyon ton olduğu görülmektedir (TKİ 2016).

Aralık 2012 itibariyle Kazakistan 116,6 milyon tonla kömür üretiminde sekizinci sırada yer almıştır. Kömür tüketiminde ise enerji üretim kapasitesinin yaklaşık %85'inin kömürden sağlanması nedeniyle 12. sıradadır. Ülke 33.6 milyar ton kömür rezervine sahip ve dünyada kömür rezervi olan ülkeler arasında sekizinci sırada yer almaktadır. Kazakistan'da 400'den fazla kömür ocağı mevcut (TESPAM 2018). 2013 yılında kömür üretimi 85,5 milyon ton civarındadır ve bunun %94,3'ü ihraç edilmiştir. Bu yılda madenlerin üretimi %18 artmıştır (TESPAM, 2018). Ukrayna kömür üretimi 2013 yılında 64,98 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Son yıllarda ülkenin doğu bölgelerinden kaynaklanan sorunlar nedeniyle kok kömürü ve enerji eldesinde kullanılan kömür üretiminde bir gerileme yaşanmaktadır. Sonuç olarak Ukrayna enerji üretiminde Güney Afrika ve Rusya'dan kömür ithal etmeye başlamıştır (TESPAM 2018).

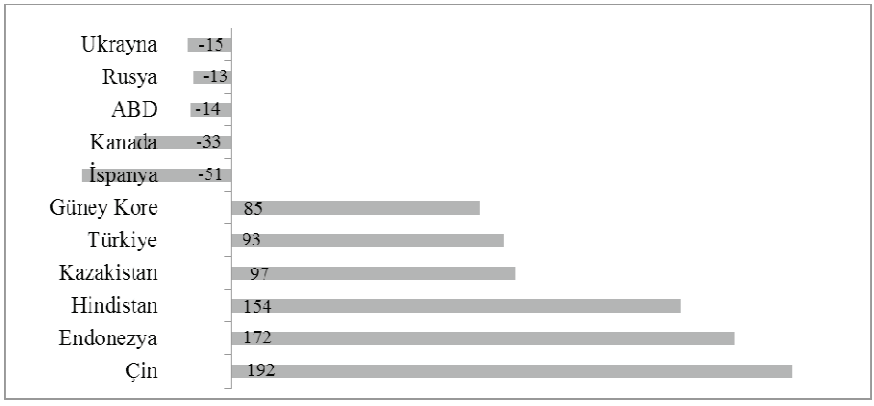
### 2.3. Dünya Kömür Tüketimi

Dünya kömür tüketimi, 2015 yılında 7.706 milyon ton düzeyindedir. Bununla beraber, 2015 yılı kömür tüketimi bir önceki yıla göre %2,6 oranında gerilemiştir. 2000 yılı sonrasında, küresel kömür tüketim artışı çok büyük ölçüde Çin'in talebinden kaynaklanmıştır. Bu ülkenin 2000-2014 dönemindeki kömür tüketim artışı %192 oranındadır. Aynı dönemde Endonezya'nın tüketimi %172, Hindistan'ın

tüketimi %154, Kazakistan'ın tüketimi %97 ve Güney Kore'nin tüketimi ise %85 oranında artış göstermiştir (Şekil 4) (TKİ 2016).

Bununla beraber, aynı dönemde bazı gelişmiş ülkelerin kömür tüketimlerinde ise ciddi gerilemeler söz konusudur. Örneğin, 2000-2014 yılları arasında İspanya'nın kömür tüketimi %51; Kanada'nın %33; ABD'nin %14, Rusya Federasyonu'nun %13 ve Ukrayna'nın %15 oranında azalmıştır (Şekil 4) (TKİ 2016).

2015 yılı dünya kömür tüketiminin yaklaşık yarısı Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Çin'den sonraki sıralama; Hindistan (%11,8), ABD (%9,3), Almanya (%3,1), Rusya (%2,8), Japonya (%2,5) şeklindedir (TKİ 2016).




Şekil 4. 2000-2014 yılları arasında bazı ülkelerin kömür tüketim oranları (%).

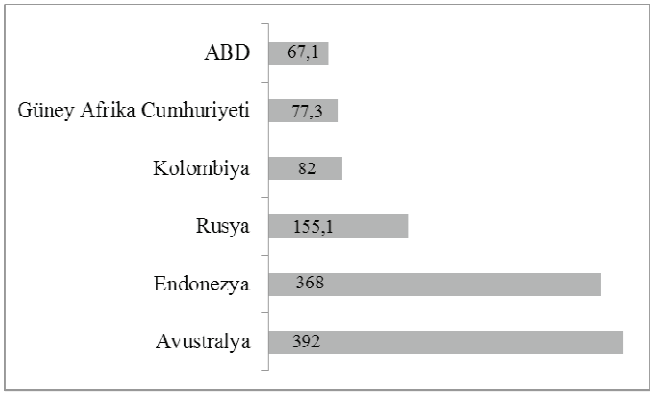
### 3.4. Dünya Kömür Ticareti

Dünya kömür ticaretinin neredeyse tamamı taşkömürüne ilişkindir. Linyit kömürünün ülkeler arasında taşınması ya da ticareti günümüzde ekonomik olmamaktadır. Küresel ölçekte ticareti yapılan taşkömürünün iki ana kullanım amacı bulunmaktadır: Birincisi elektrik üretimi (buhar kömürü) ikincisi ise demir çelik endüstrisinin kullanımı için kok üretimidir (koklaşabilir kömür) (TKİ 2016).

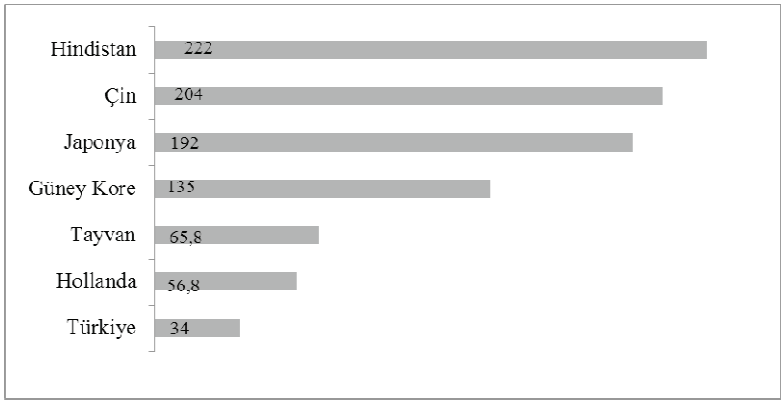
2015 yılı dünya kömür ihracatında ilk sıra, Avustralya'nındır. Bu ülkenin 2015 yılı ihracatı bir önceki yıla göre %4,6 oranında artarak 392 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiştir. Endonezya, 368 milyon ton ile ikinci sıradadır. Diğer önemli kömür ihracatçıları arasında, sırasıyla; Rusya (155,1 milyon ton), Kolombiya (82 milyon ton), Güney Afrika Cumhuriyeti (77,3 milyon ton) ve ABD (67,1 milyon ton) bulunmaktadır (Şekil 5) (TKİ 2016).

2015 yılı kömür ithalatının lideri, ilk defa olarak Hindistan'dır. Bu ülkenin ithalatı 2015 yılında 222 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Çin, 204 milyon ton ile ikinci

sırayı almıştır. Diğer önemli ithalatçı ülkeler, sırasıyla; Japonya (192 milyon ton), Güney Kore (135 milyon ton), Tayvan (65,8 milyon ton) ve Hollanda (56,8 milyon ton) şeklindedir (Şekil 6) (TKİ 2016).




Şekil 5. 2015 yılı dünya kömür ihracatında ilk sıralarda yer alan ülkeler (milyon ton).




Şekil 6. 2015 yılı dünya kömür ithalatında ilk sıralarda yer alan ülkeler (milyon ton).

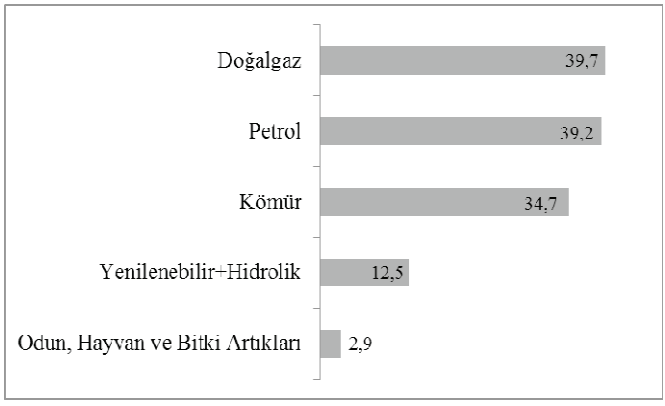
## 3. TÜRKİYE'DE BİRİNCİL ENERJİ ARZI VE KÖMÜRÜN PAYI

Türkiye son on beş yılda nüfus artışı ve ekonomik dinamizm kaynaklı yüksek büyüme oranları yakalamış ve bu durum toplam enerji talebinin katlanarak artmasına neden olmuştur. Orta ve uzun vadeli stratejik hedeflerde büyümenin devam etmesi ve enerji talebinin de büyüme ile orantılı olarak yükselmesi öngörülmektedir (SETA 2017).

1973 yılında 24,4 milyon ton eşit petrol (mtep) olan Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı 2015 yılında 129,7 mtep'e yükselmiştir. Bu artışın yaklaşık 50 milyon

mtep'lik bölümü 2003-2015 arasında gerçekleşmiştir. Resmi açıklamalara göre toplam birincil enerji arzının 2020 yılında 222,4 mtep'e yükselmesi beklenmektedir. Öte yandan Türkiye halen kişi başına düşen birincil enerji arzında Uluslararası Enerji Ajansı üyeleri arasında son sırada yer almaktadır. Bu durum sanayileşme ve kalkınma konusunda güçlü bir irade ortaya koyan Türkiye için enerji talebinin hızla artması demektir. Nitekim elektrik tüketim artış hızı bakımından dünyada ön sıralarda yer alan Türkiye'de elektrik tüketimi son 12 yılda ikiye katlanmıştır (SETA 2017).

Ülkemiz birincil enerji tüketiminde ortalama yıllık artış oranı son on yılda %3,9 düzeyindedir. Birincil enerji arzı 2015 yılında bir önceki yıla göre %7 artış göstererek 129 mtep olmuştur. Bu arzın kaynaklara dağılımında ilk sırayı 39,7 mtep ile doğal gaz almaktadır. Doğal gazı sırasıyla; 39,2 mtep ile ham petrol ve petrol ürünleri, 34,7 mtep ile kömür, 6,7 milyon tep ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar, 5,8 milyon tep ile hidrolik ve 2,9 mtep ile odun, hayvan ve bitki artıkları izlemektedir (Şekil 7) (TKİ 2016).

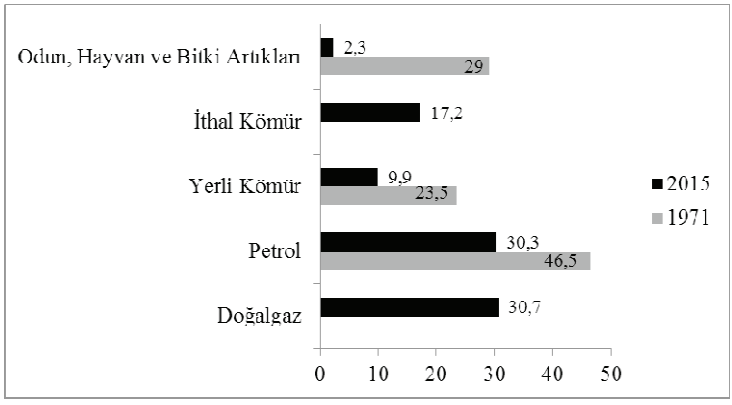



Şekil 7. 2015 yılı Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı (mtep).

Yerli kömür arzı; 11,4 mtep linyit, 0,9 mtep taşkömürü ve 0,5 mtep asfaltit olmak üzere toplam 12,8 mtep ve ithal kömür arzı ise 21,9 mtep taşkömürü ve 0,3 mtep kok olmak üzere toplam 22,2 mtep düzeyindedir. 2015 yılında yerli kömür arzındaki yıllık gerileme %9,6 ve ithal kömür arzındaki artış ise %14,1 düzeyinde olmuştur (TKİ 2016).

Birincil enerji arzının kaynaklara dağılımında yıllar içerisinde önemli değişiklikler söz konusudur. 1971 yılında arzın %46,5'i petrol, %29'u odun ve hayvan-bitki artıkları ve %23,5'i yerli kömürden (linyit, taşkömürü ve asfaltit) karşılanırken 2015 yılına gelindiğinde en büyük pay %30,7 ile 1980'li yılların ortalarından itibaren ithalatına başlanan doğal gazın olmuş, petrol ve petrol ürünleri %30,3, yerli kömür %9,9 ve odun ve hayvan-bitki artıkları %2,3 düzeyine gerilemiş, ithal kömür (taşkömürü ve kok) ise %17,2 seviyesine yükselmiştir (Şekil 8) (TKİ 2016).

2015 sonu itibariyle Türkiye'nin birincil enerji üretimi bir önceki yıla göre %8,2 oranında artmış ve 30,9 mtep şeklinde gerçekleşmiştir. Söz konusu yerli üretimin kaynaklara dağılımında, 12,8 mtep ile kömür ilk sırayı alırken, bunu 6,6 mtep ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, 5,8 mtep ile hidrolik, 2,9 mtep ile odun, hayvan ve bitki artıkları, 2,6 mtep ile ham petrol ve 0,3 mtep ile doğal gaz izlemektedir (Şekil 9). Yerli kömür üretimi; 11,3 mtep linyit, 0,9 mtep taşkömürü ve 0,4 mtep asfaltit şeklindedir (TKİ 2016).

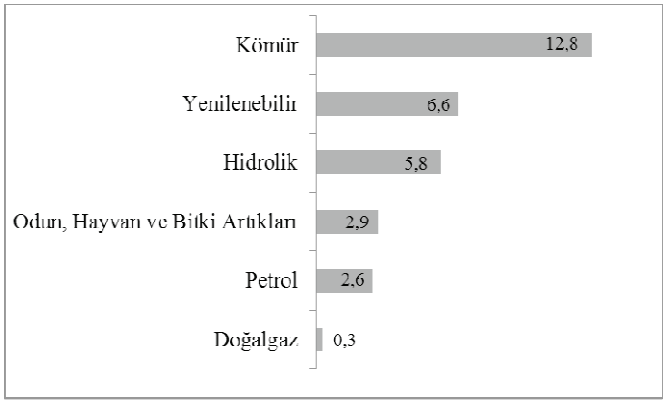



Şekil 8. Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımının 1971-2015 yılları arasındaki değişimi (%).

Ülkemiz enerji tüketimi son on yılda %45,7 artış gösterirken, enerji üretimimiz ise %27,7 arttırılabilmiştir. Dolayısıyla, enerji üretimimizdeki artış enerji tüketimindeki artış hızının önemli ölçüde gerisindedir. Bu nedenle, yerli üretimin tüketimi karşılama oranı on yıl önce %27,3 düzeyindeyken 2015 yılı itibariyle %23,9'a düşmüştür (TKİ 2016).

Eşdeğer petrol bazında kömür üretimindeki gerileme ise son on yıllık dönemde %7,2 olmuştur. Yerli kömür üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı 2005 yılında %12,4 düzeyindeyken 2015 yılında %9,8 şeklinde gerçekleşmiştir (TKİ, 2016).

Yerli enerji üretiminin tüketimi giderek daha az oranda karşılayabilmesi sonucunda enerji ithalatının da hızla artması kaçınılmaz olmuştur. 2015 yılı itibariyle ülkemizdeki enerji tüketiminin %23,9'u yerli enerji kaynaklarından elde edilirken, %76,1 gibi önemli bir kısmı ise ithal kaynaklardan sağlanmıştır. Net enerji ithalatının kaynaklara dağılımı; 40 mtep doğal gaz, 49,9 mtep petrol ve 22,3 mtep kömür şeklindedir (TKİ 2016).




Şekil 9. 2015 sonu itibariyle Türkiye'nin birincil enerji üretiminde kullanılan yerli kaynakların dağılımı (mtep).

### 3.1. Türkiye Kömür Rezervi

Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,2'si ülkemizde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısıl değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır (ETKB 2018, Şengüler ve Kara 2015).

2005 yılından itibaren enerji üretiminde yerli kaynaklara önem verilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması hedefleri çerçevesinde sanayileşme ve nüfus artışına paralel olarak artan enerji talebinin karşılanması amacıyla; yeni kömür sahalarının bulunması ve bilinen sahaların geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. Kömür aramaların sonucunda 8,3 milyar ton olan mevcut rezerve ilave olarak; 2014 yılı sonu itibarı ile 7,38 milyar ton yeni linyit rezervi tespit edilmiştir (ETKB 2018).

2016 yılında kömüre dayalı santrallerden toplam 92,3 TWh elektrik üretilmiş olup toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %33,9 düzeyindedir. 2005-2015 yılları arasında yaklaşık 7,38 Milyar ton rezerv artışı sağlanmıştır. 2005 yılında 8,3 Milyar ton olan linyit rezervleri 2015 yılı sonu itibariyle 15 Milyar tonu aşmıştır (ETKB 2018).

### 3.2. Türkiye Kömür Üretimi

Ülkemiz 2015 yılı satılabilir kömür üretimi; 56,1 milyon ton linyit, 1,4 milyon ton taşkömürü ve 0,9 milyon ton asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %10,5 azalarak toplam 58,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TKİ 2016).

1980'li yıllardan itibaren sürekli bir düşme eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen satılabilir taşkömürü üretimi 2012 yılında 2,3 milyon ton düzeyindedir. 2013 yılında 1,9 milyon ton ve 2014 yılında ise bir önceki yıla göre %5 oranında gerileyerek 1,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılı satılabilir taşkömürü üretimi ise 1,4 milyon ton ve 2016 yılı üretimi ise 1,3 milyon ton düzeyindedir (TKİ 2016).

Linyit üretimleri ise, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında 5,8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle doğal gaz alım anlaşmaları nedeniyle linyit üretimi sürekli azalmış, 2004 yılında 43,7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüştür. Bu tarihten sonra tekrar yükselen linyit üretimleri 2008 yılında 76 milyon tonu görmüş, ancak daha sonra tekrar gerileyerek 2013 yılında 57,5 milyon ton, 2014 yılında ise 62,6 milyon ton ve 2015 yılında ise bir önceki yıla göre %10,3 oranında azalarak 56,1 milyon ton olmuştur. (TKİ 2016).

### 3.3. Türkiye Kömür Tüketimi

Ülkemizde 2015 yılında tüketilen kömür 35,3 milyon tonu yerli ya da ithal taşkömürü ve 57,7 milyon tonu ise linyit ve asfaltit olmak üzere toplam 93 milyon ton olmuştur. Dolayısıyla, bir önceki yıla göre 2015 yılında taşkömürü tüketimi %10,8 artmış ve linyit-asfaltit tüketimi ise %11,8 azalmıştır. Toplam kömür tüketimindeki gerileme ise %4,4 düzeyindedir (TKİ 2016).

2015 yılı taşkömürü arzının %46,2 oranındaki en büyük kısmı elektrik üretiminde ve %19,4 oranındaki kısmı ise ısınma amaçlı olarak tüketilmiştir. Kok fabrikalarının payı %17,3 ve diğer sanayinin payı ise %17,1 düzeyindedir. Taşkömürü tüketiminde elektrik santrallerinin payı giderek artmaktadır. On yıl önce %20 düzeyinde olan söz konusu pay 2015 yılı itibariyle %50'ler düzeyine (TKİ 2016).

2015 yılında 56,1 milyon ton olan toplam linyit arzının miktar olarak %86'sı elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde tüketilmiştir. Sanayi sektörlerinde kullanım payı %6,6 ve konut-işyerlerinde kullanım payı ise %5,1 düzeyindedir. Bununla beraber, elektrik üretiminde kullanılan linyitlerin ısıl değerleri sanayi ya da ısınmada kullanılan kömürlere nazaran çok daha düşüktür. Toplam ısıl değer bazında hesaplama yapıldığında; 2015 yılında arz edilen linyit enerjisinin %72,9'u elektrik üretiminde, %13,8'i sanayi sektörlerinde ve %10,7'si ise konut ve işyerlerinde tüketilmiştir. Aynı yılda; 1.034 bin ton asfaltit arzının %47,6'sı elektrik üretimi, %29'u sanayi ve %23,4'ü ısınma amaçlı tüketilmiştir (TKİ 2016).

### 3.4. Türkiye Kömür İthalatı

Ülkemizde 1980'li yıllardan önce son derece düşük miktarlarda başlayan kömür ithalatı, 1990'lı yıllarda 10 milyon tonun ve 2000'li yıllarda ise 20 milyon tonun

üzerine çıkmıştır. 2012 yılında kömür ithalatımız bir önceki yıla göre yaklaşık %23 artış göstererek 29,6 milyon ton düzeyine yükselmiş, 2013 yılında ise bir önceki yıla göre %8,4 azalarak 27,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılı kömür ithalatı %11 artışla 30,2 milyon ton olmuştur. 2015 yılı kömür ithalatı 34 milyon ton ve geçici verilere göre 2016 yılı ithalatı ise yaklaşık 37 milyon ton düzeyindedir (TKİ 2016).

Enerji güvenliği açısından ithalatı yerli kaynaklarla acil durumlarda ve kısa vadeli uygulamalarda ikame etme imkanı Türkiye için son derece sınırlıdır. Öncelikle petrol ve doğal gaz gibi kaynaklar yerlerine kolaylıkla alternatif üretilebilir değildir. Bu nedenle özellikle elektrik üretiminde kömür gibi yerli kaynak kullanım oranının maksimum düzeye çıkarılması, özellikle ulaştırma sektöründe elektrikli araç sayısının artırılması büyük önem taşımaktadır (SETA 2017).

## 4. SONUÇLAR

Ülkelerin gelişen ekonomileriyle beraber artan enerji taleplerinin karşılanmasında, yerli kaynaklarının kullanımı gerek enerji arz güvenliğinin sağlanması gerekse enerji maliyetlerinin düşürülmesi bakımından oldukça önemlidir.

2014 yılı verilerine göre dünya enerji üretiminde kömürün payı %28,6 iken Uluslararası Enerji Ajansına göre 2040 yılında kömürün payı %27,1 olacaktır. Diğer enerji kaynaklarına kıyasla dünya üzerinde daha yaygın ve bol miktarlarda bulunması, taşınabilme ve depolanabilme kolaylığı ve temiz kömür teknolojilerinin hızlı gelişimi göz önüne alındığında, kömür, gelecekte de ağırlığını yitirecek gibi görünmemektedir.

Ülkemiz açısından değerlendirildiğinde ise yerli kömürlerimiz, diğer fosil yakıtlara kıyasla bolluğu, istikrarlı tedarik koşulları ve fiyat yapısı ile en güvenilir enerji kaynağı durumundadır. Bu kaynağın gerek elektrik üretimi amaçlı gerekse ısınma ve sanayide kullanımının artırılması, enerji güvenliğinin yanında ekonomiye katkı sağlaması bakımından da büyük önem taşımaktadır. Ayrıca dünyanın önemli bir kesiminde olduğu gibi ülkemizde de kömür madenciliğinde gelişmiş teknolojilerin uygulanması sonucunda düşük üretim maliyetlerinin oluşması, elektrik piyasasında kömürün ucuz bir yakıt olarak önemini korumasını sağlamaktadır.

Günümüzde yerli kaynağı sadece kömür olarak görmek doğru değildir. Geleceğin kaynakları ve teknolojileri de yerli kaynaklar olarak kabul edilerek finans ve insan kaynakları da dikkate alınmalıdır. Kaynak arama çalışmalarına yapılan yatırım kadar geleceğin kaynaklarının geliştirilmesine de yatırım yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

ETKB, 2018. Kömür, Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanliği, www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur

IEA, 2015a. Key World Energy Statistics, International Energy Agency, 2015. Paris.

IEA, 2016a. Key World Energy Statistics, International Energy Agency 2016. Paris.

Kasap,Y., Duman, F., 2013. Use Efficiency of Primary Energy Resources in Turkey, Energy Exploration & Exploitation, Volume 31, No. 6, pp. 937–952.

Şengüler, İ. ve Kara, İ., 2015. Türkiye'de Kömür Aramaları: Süreçler, Sonuçlar, Yeni Linyit Sahaları ve Rezervler. KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümünün 50. Kuruluş Yılı Etkinlikleri ve Konferansları Bildiriler Kitabı, 17-22, Trabzon.

SETA, 2018. Küresel Denklemde Türkiye'nin Enerji Güvenliği, Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Merkezi, https://setav.org/assets/uploads/2017/09/TurkiyeEnerjiGuvenligi.pdf.

Tamzok, N., 2005, Kömür Rezervlerine Sahip Ülkelerde Elektrik Üretiminde Kullanılan kaynakların Seçimi Ve Türkiye'nin Konumu, TMMOB V. Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, 21-23 Aralık 2005, TBMMO Maden Mühendisleri Odası.

TASAM, 2006, Enerji Üretimi ve Çevresel Etkiler, Stratejik Rapor No:14, Türkasya Stratejik Araştirmalar Merkezi,.

TESPAM, 2018, Dünyanın En Büyük On Kömür Üretici Ülkesi. Türkiye Enerji Stratejileri ve Politikaları Araştırma Merkezi, https://www.tespam.org/dunyanin-en-buyuk-on-komur-uretici-ulkesi/.

TKİ, 2016, Kömür Sektör Raporu. Türkiye Kömür İşletmeleri.

# KÖMÜR, ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

## *COAL, ENERGY AND ENVIRONMENTAL IMPACTS*

**Hüseyin Kurt***
*Selçuk Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya*

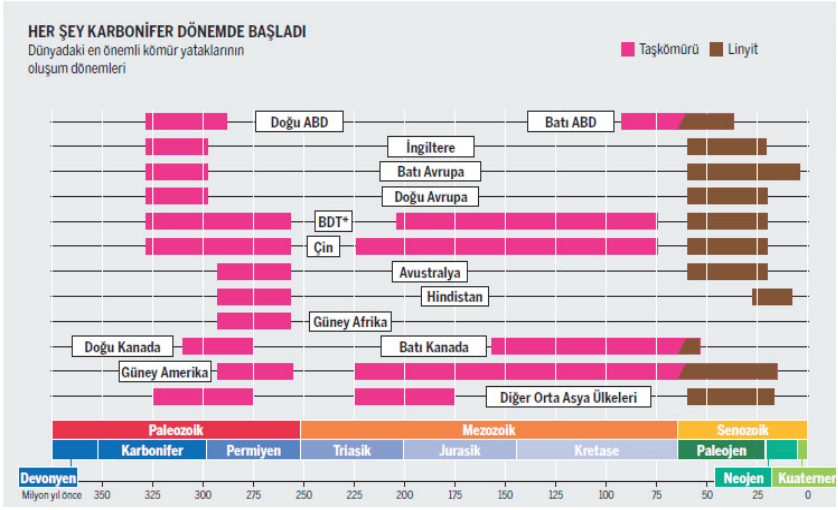
**ÖZET** Enerji kaynağı olarak kullanılan kömürün işlenmesi ve kullanılması ile $CO_2$, CO, $SO_2$, $NO_2$ ve $NO_3$ gibi çeşitli gazlar; kurum, kül ve katran gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri ortaya çıkmaktadır. Atmosfere karışan bu gazlar güneş ışığının etkisiyle veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye girerek sülfürik ve nitrik asit gibi asitler oluşturmaktadır. Türkiye küresel ısınmaya dünyanın birçok devletinden daha az katkı yapmaktadır. Fosil yakıt tüketimi, çimento üretimi ve gaz yanmasının neden olduğu toplam $CO_2$ emisyonu açısından Çin, ABD ile birçok AB ülkesi küresel ısınmadan sorumlu ilk 50 ülke arasında yer almaktadır. Türkiye ise 57. sırada yer almaktadır.

**ABSTRACT** With the processing and use of coal as an energy source, various gases such as $CO_2$, CO, $SO_2$, $NO_2$ and $NO_3$ as well as solid particles such as soot, ash and tar, and various hydrocarbon compounds emerge. These gases, which are mixed in the atmosphere, react with the sunlight or with other compounds in the atmosphere to form acids such as sulfuric and nitric acid. The contribution to the global warming by Turkey is more lesser than this by many countries in the world. In terms of total $CO_2$ emissions caused by fossil fuel consumption, cement production and gas combustion, China, the United States and most of EU countries are among the top 50 countries responsible for global warming. Turkey ranks 57th.

* *hkurt@selcuk.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

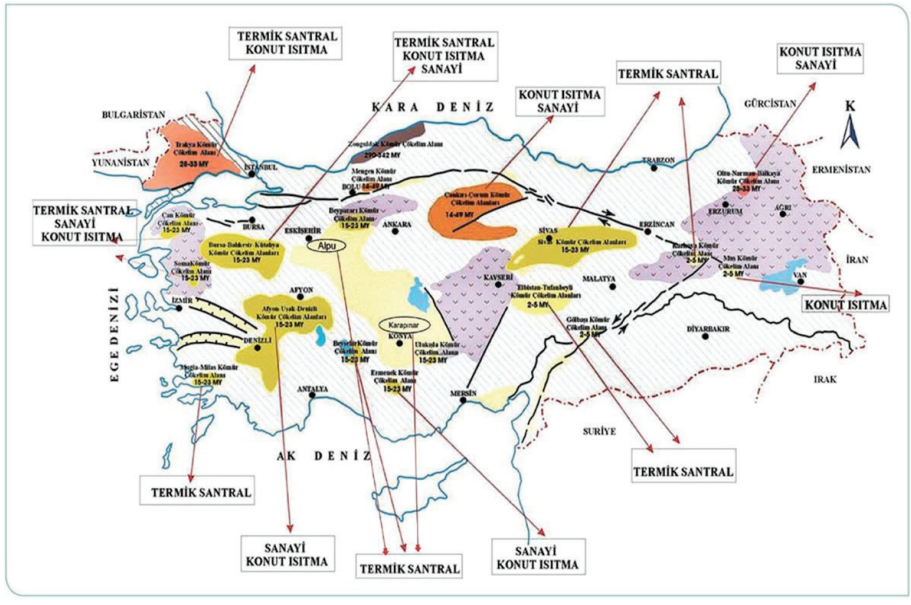
Bitkilerden oluşan formaldehit daha sonra nişasta, şeker ve selüloza çevrilir. Ayrıca tuz, su ve mum, reçine, yağ ile lignin gibi doku maddeleri oluşur. Bunlar kömürün temel maddeleridir. Bitki artıklarının kömüre değişimi, birçok jeolojik olguların sonucunda gerçekleşir. Kömürün oluşum zamanı, çökelme ortamının sıcaklığı, sıcaklık ve basıncın birlikte etkisi kömürleşmede önemli etkenlerdir. Bitkisel artıklardaki karbon oranının artması buna karşın hidrojen ve oksijen oranının azalması kömürleşme derecesi ile bağlantılıdır. Nem oranı linyitte % 45 ila 60 arasında olurken, taş kömüründe bu oran % 10-15 arasındadır. Taş kömürünün büyük kısmı, Karbonifer (Günümüzden 359 milyon yıl ile 292 milyon yıl öncesi) dönemde depolanan istiflerde bulunurken, linyit Senozoik (Günümüzden 65 milyon ile 2,5 milyon yıl öncesi) yaşlı istifler içerisinde yaygındır (Şekil 1).



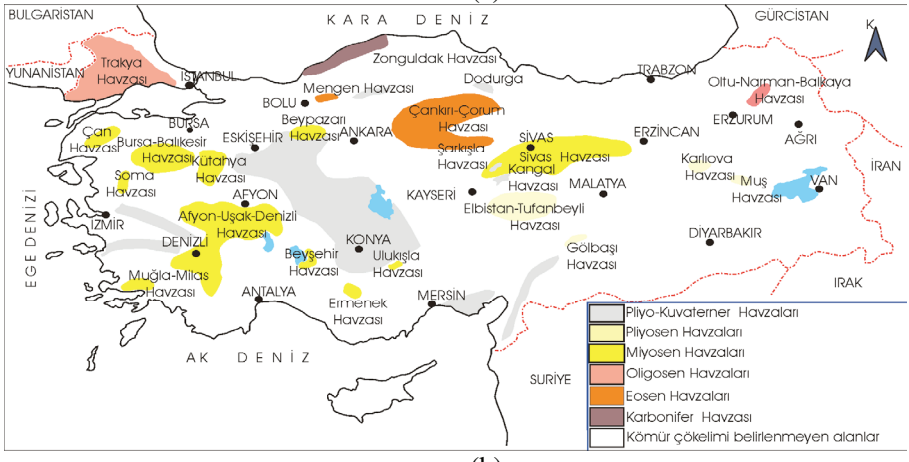

Şekil 1. Dünyadaki önemli kömür yataklarının oluşum dönemi (Kömür Atlası 2017).

Dünya'daki en önemli taşkömürü havzaları, Uzakdoğu, Kuzey Amerika, Güney Afrika ve Batı Karadeniz havzasının da dâhil olduğu Avrupa'da bulunmaktadır. Bilinen taşkömürü yataklarının toplam rezervi 3 trilyon ton'un üzerindedir. Türkiye taşkömürü rezervi, ısıl değeri 13,8–28,4 MJ/kg (6200-7250 kcal/kg) arasında olan 560 milyon tonu görünür olmak üzere, toplam 1.25 milyar ton (dünya rezervinin % 1'den daha az bir bölümü) civarındadır. Türkiye de taşkömürünün yer aldığı Batı Karadeniz Bölgesi (Şekil 2), jeolojik açıdan kömürün kolayca çıkarılmasına izin vermemektedir. Dolayısıyla yavaş bir işletme tekniği kullanılmakta ve istenilen boyutta üretim yapılamamaktadır. Üretilen kömür ise çoğunlukla ısınma amacıyla, çok azı enerji üretiminde ve fabrikalarda kullanılmaktadır. Özellikle, demir çelik fabrikalarında ve termik santrallerde kullanılan yüksek ısıl değerli taşkömürünün büyük bir bölümü ithal edilmektedir.

Türkiye'nin son 10 yılda yapılan çalışmalarla toplam linyit rezervi yaklaşık 15 milyar ton'dur (Şekil 2). Mevcut linyit rezervinin çoğunluğu 4.18–8.36 MJ/kg (1000-2000 kcal/kg) gibi düşük bir ısıl değere sahiptir. Başka yerde kullanılamayacak kadar düşük kaliteli olan kömürler termik santrallerde değerlendirilmekte olup ülkenin enerji ve ekonomik ihtiyacının bir bölümü buradan sağlanmaktadır. Termik santrallerde kalorisi düşük linyit kullanıldığından ülkemiz linyitleri herhangi bir ön işleme gerek kalmaksızın bu alanda kullanılabilecek özelliktedir (KSR 2016).




(a)

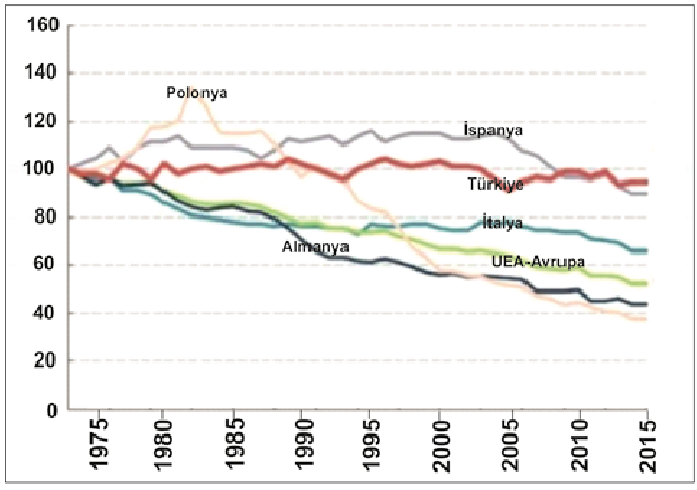



(b)

Şekil 2. Türkiye kömür havzaları dağılımı (b) ve potansiyel kullanım alanları (a) (Kösebalaban 2007, MTA 2017).

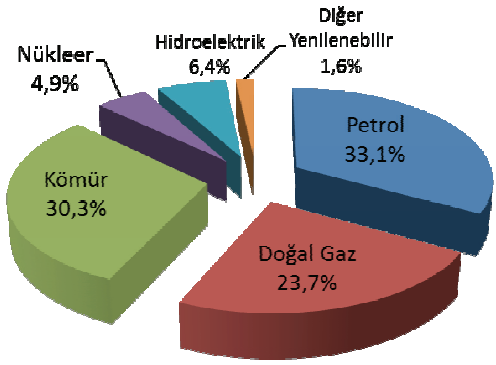
## 2. KÖMÜRÜN ENERJİDEKİ PAYI

1940'lı yıllarda 2,5 milyar civarında olan dünya nüfusu bugün 7,5 milyara yaklaşmıştır. 80 yıllık bu süre içerisinde dünya nüfusunun yaklaşık iki buçuk kat artmasına karşılık enerji kullanımındaki artış beş kat civarında olmuş ve insanlık 20. yüzyılda, daha önceki tüm zamanlarda kullandığının 10 katından daha fazla enerji kullanmıştır. Dünyada kişi başına ortalama enerji kullanımı 70 GJ olup, bu rakam gelişmiş ülkeler için 250, enerji talebinde % 25 paya sahip olan ABD için 400 GJ' dür (Altın 2007). Günümüze kadar enerji talebinin büyük bölümünü gerçekleştiren gelişmiş ülkelerde enerji talebi belirli bir doygunluğa erişmiş olup talep artış hızları bu süreç içerisinde yavaşlamaktadır. Dolayısıyla önümüzdeki yıllarda talep artışlarının özellikle elektrik enerjisi özelinde ağırlıkla gelişmekte olan ülkelerden geleceği beklenmektedir (MMO 2017) (Şekil 3).



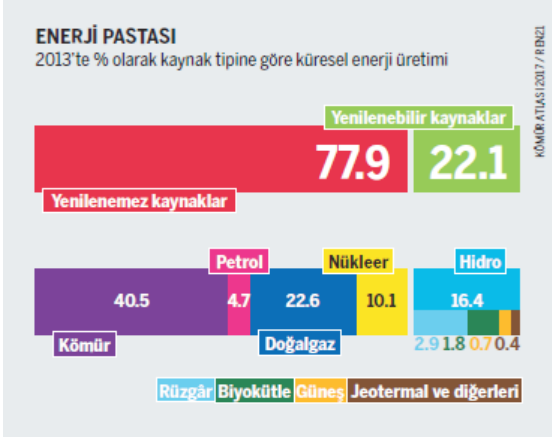

Şekil 3. UEA Avrupa ülkeleri ve Türkiye'de enerji yoğunluğu (MMO 2017).

Dünya enerji ihtiyacının yaklaşık % 86'sı kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan geri kalan % 14'ü hidrolik enerji dâhil yenilenebilir kaynaklar ve nükleer enerjiden sağlanmıştır. Kaynakların bu tüketimdeki payı ise doğrudan petrol % 33, kömür %30,3, doğal gaz % 23,7, nükleer enerji % 4,9, hidroelektrik % 6,4 ve diğer kaynaklar % 1,6 şeklindedir (BP statistical World Review of energy 2016) (Şekil 4).




Şekil 4. 2016 da Dünya Enerji ihtiyacını karşılayan kaynaklar (KSR 2016).

Kömür, ekonomik ve sosyal dönüşümü ateşleyen yakıttır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan tahminlere göre, kömürün elektrik üretimindeki kullanım payı 2040 yılına kadar yaklaşık aynı düzeyde kalacaktır (Kömür Atlası 2017). Aynı kuruluşun, kömür karşıtı politikaların söz konusu olduğu senaryo çalışmalarında dahi, bu alanda ne doğal gazın ne de nükleer enerjinin kömürün yanına yaklaşabilmesi, en azından önümüzdeki yirmi yılda mümkün görünmemektedir. Elektrik üretiminde kömürü yüksek oranda kullanan çok sayıda ülke bulunmaktadır (Şekil 5) (Kömür Atlası 2017).

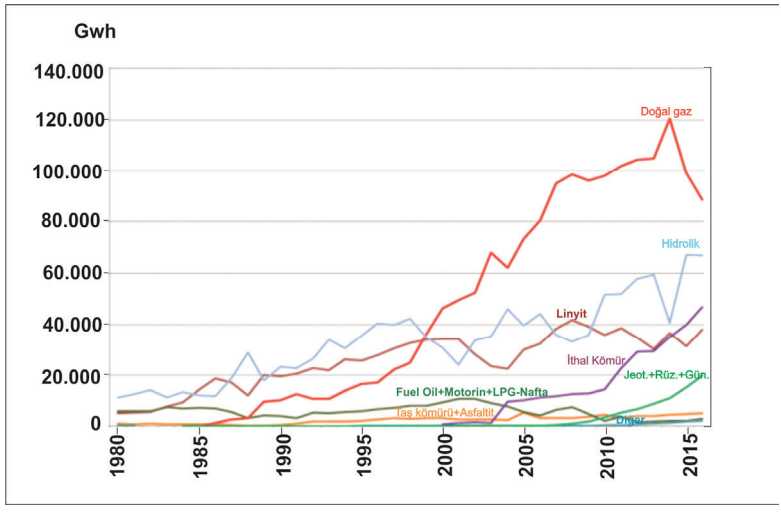



Şekil 5. 2013'te % olarak kaynak tipine göre küresel enerji üretimi (Kömür Atlası 2017).

Türkiye'nin enerji talebi, büyüyen ekonomisine paralel olarak gelişim göstermektedir. 2000-2015 yılları arasında yıllık elektrik enerjisi talebi dünyada ortalama yüzde 3 artış gösterirken ülkemizde bu oran yaklaşık yüzde 5 olarak

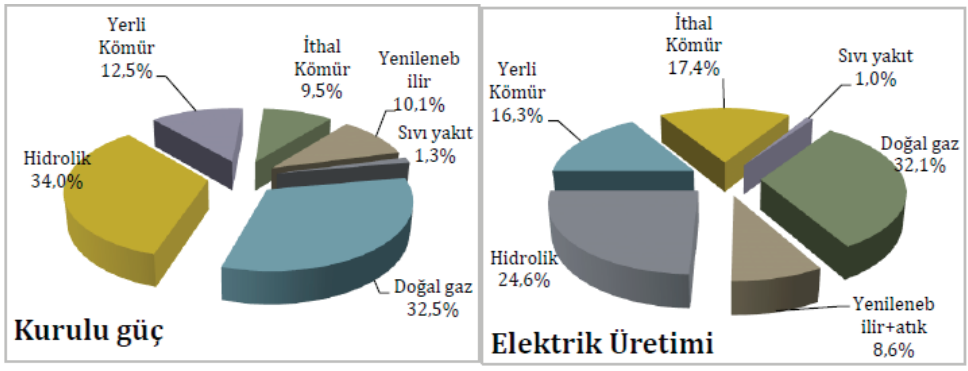
gerçekleşmiştir. Bu yüksek talep artışının güvenli bir biçimde karşılanabilmesi, Türkiye'nin enerji politikalarının temel önceliğidir (KSR 2016).

Fosil yakıtlar bakımından linyit hariç zengin rezervlere sahip olmayan Türkiye'de, 2015 yılında birincil enerji kaynaklarında ithalatın oranı % 76 seviyesindedir. 2015 yılında birincil enerji kaynakları tüketimi içerisinde kömürün payı % 27,1, doğal gazın payı % 31, petrolün payı % 30 ve yenilenebilir kaynakların payı % 12'dir (MMO 2017). 1980-2016 dönemi elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil, 6 da verilmiştir.



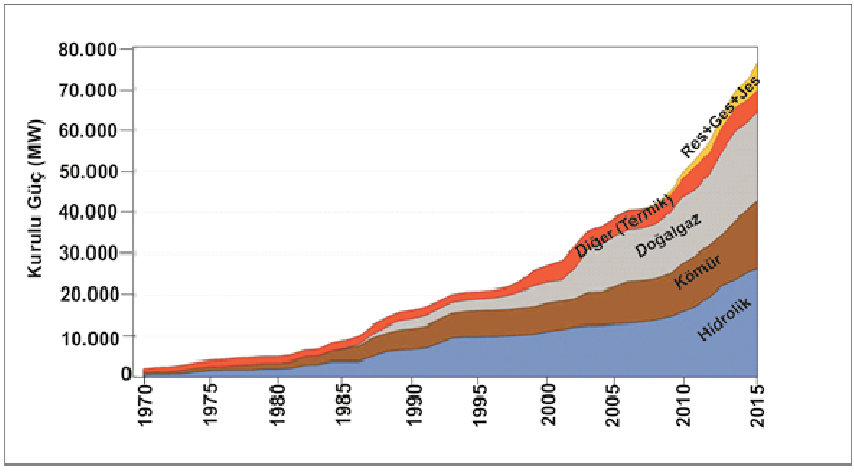

Şekil 6. 1980-2016 dönemi elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (GWh) (MMO 2017).

Türkiye'nin 2016 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü 17.316 MW düzeyine yükselmiş olup toplam kurulu gücün %22'sine karşılık gelmektedir (TEİAŞ 2017). Toplam kurulu güç içerisinde yerli kömüre dayalı kurulu güç 9.842 MW (%12,5) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 7.474 MW (% 9,5) şeklindedir (Şekil 7). 2016 yılında kömüre dayalı (asfaltit dahil) santrallerden 92,2 TWh elektrik üretilmiş olup toplam üretim içerisindeki payı % 33,7 düzeyindedir. Bu miktarın 44,6 TWh kısmı yerli kömüre (asfaltit dahil) aittir. Yerli kömürün toplam brüt elektrik üretimi içindeki payı 2016 yılında %16,3 olmuştur. İthal kömüre dayalı santrallerin elektrik üretimindeki payı ise 47,7 TWh ile %17,4 oranındadır (Şekil 7).



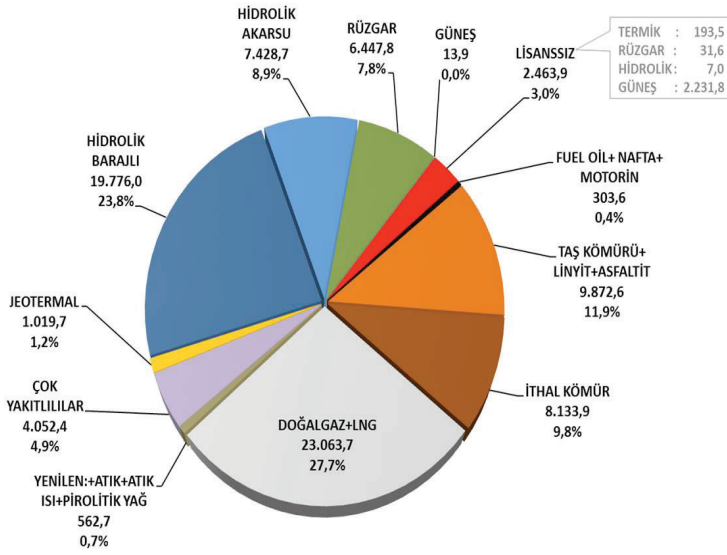

Şekil 7. 2016 sonu kurulu güç ve brüt elektrik üretimi içinde kaynakların payı (KSR 2016).

Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü her yıl artarak devam etmektedir. Bunun içinde ithal olmakla birlikte kömürün kurulu gücünün sürekli arttığı görülmektedir (Şekil 8).




Şekil 8. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücünün 1970-2016 değişimi (TEİAŞ 2017).

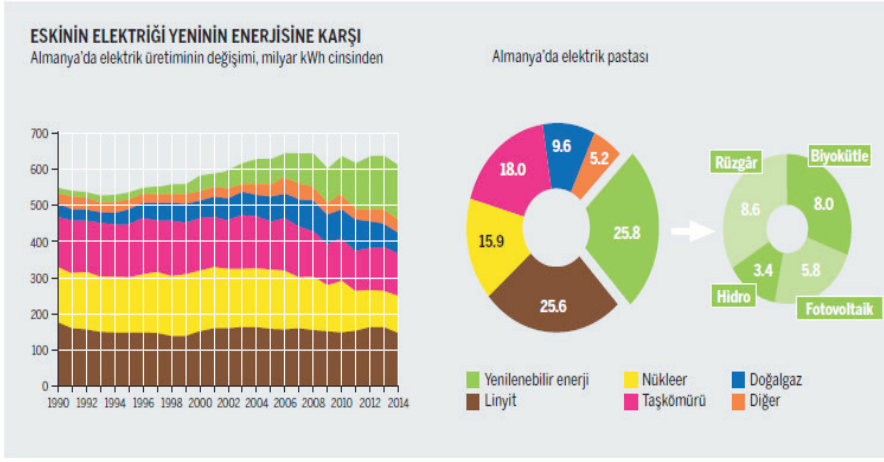
2017 Kasım sonu itibariyle Türkiye'nin kurulu gücünün kaynak ve yüzdeleri toplam da 83.139 MW olup (Şekil 9), üretilen 280 TWh elektriğin % 36'sı doğal gaz, % 21.75'i hidrolik, %16.85'i ithal kömür, %15.51'i taş kömürü ve linyit, % 6.07'i rüzgar, % 1.72'i jeotermal, % 078'i biogaz ve % 053' ü güneş ve diğer termik' den karşılanmıştır (TEİAŞ 2017).




Şekil 9. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (TEİAŞ 2017).

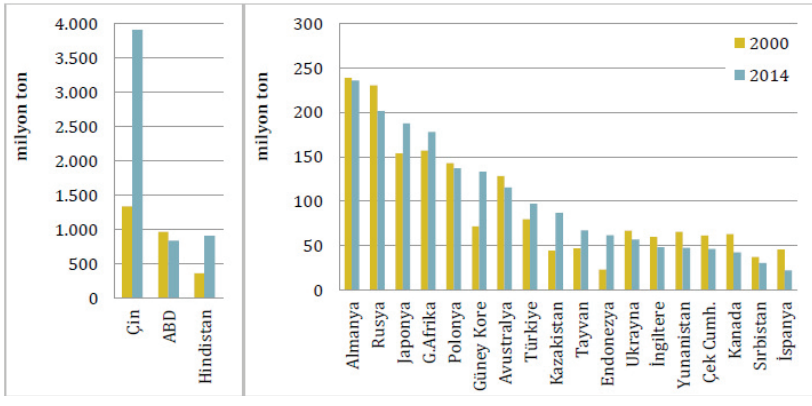
Türkiye için, birincil enerji kaynakları içerisinde doğal gazda yaklaşık % 98, petrolde ise yaklaşık % 91 oranındaki dışa bağımlılık önemli bir arz güvenliği riski oluşturmaktadır. Arz güvenliği sorununun aşılması için mevcut yerli kaynakların daha fazla değerlendirilmesi gerekmektedir. Dünya kömür talebindeki artış hızının önümüzdeki dönemde azalması beklenmektedir. 2000-2014 yılları arasında yıllık ortalama % 3,8 artan küresel kömür talebinin, 2014-2040 yılları arasında yıllık ortalama % 0,2 artması beklenmektedir (Türkiye'nin 2018 yılı programı) . Bunun bir sonucu olarak dünya elektrik üretiminde 2014 yılında yüzde 41 olan kömürün payı Uluslararası Enerji Ajansı'nın "Yeni Politikalar Senaryosu"na göre 2040 yılında yüzde 28'e gerileyecektir. Türkiye'de ise yerli kaynaklara dayalı enerji üretim programında yer alan yerli kömürün elektrik üretimi amaçlı değerlendirilmesi politikası kapsamında çalışmalar sürdürülmekte olup bunun dünya piyasalarının aksine artması gerektiği belirtilmektedir (Türkiye'nin 2018 yılı programı).

2014'de Almanya'nın taş kömürü madenlerinde 12 bin 100, linyit üretiminde madeni kazan ve onu elektrik enerjisine dönüştüren toplam insan sayısı 21 bin kişi olduğu, 2018 yılından itibaren ise yeraltında çalışan madenci sayısının sıfıra inmiş olacağı dile getirilmektedir (Kömür Atlası 2017). Ancak Şekil 10 incelendiğinde Almanya'nın enerji üretiminde kömürün payının % 43,6 olduğu ve halen kömürün Almanya için çok önemli olduğunu ortaya koymaktadır.




Şekil 10. Almanya'nın elektrik üretim kaynakları (Kömür Atlası 2017).

Bazı gelişmiş ülkelerin kömür tüketimlerinde ciddi gerilemeler olmuştur. Örneğin, 2000-2014 yılları arasında İspanya'nın kömür tüketimi %51; Kanada'nın %33; ABD'nin %14, Rusya Federasyonu'nun %13 ve Ukrayna'nın % 15 oranında azalmıştır (Şekil 11). 2015 yılı kömür tüketimi bir önceki yıla göre % 2,6 oranında gerilemiştir. Buna rağmen dünya kömür tüketimi, 2015 yılında 7.706 milyon ton düzeyindedir ve bunun içinde Türkiye'nin tükettiği kömür 87 milyon tondur. 2000 yılı sonrasında, küresel kömür tüketim artışı çok büyük ölçüde Çin'in talebinden kaynaklanmıştır. Bu ülkenin 2000-2014 dönemindeki kömür tüketim artışı %192 oranındadır. Aynı dönemde Endonezya'nın tüketimi %172, Hindistan'ın tüketimi %154, Kazakistan'ın tüketimi %97 ve Güney Kore'nin tüketimi ise %85 oranında artış göstermiştir. 2015 yılı dünya kömür tüketiminin yaklaşık yarısı Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Çin'den sonraki sıralama; Hindistan (%11,8), ABD (%9,3), Almanya (%3,1), Rusya (%2,8) ve Japonya (%2,5) şeklindedir (IEA 2016).




Şekil 11. 2000'den 2014'e Küresel kömür tüketimlerinde değişim (KSR 2016).

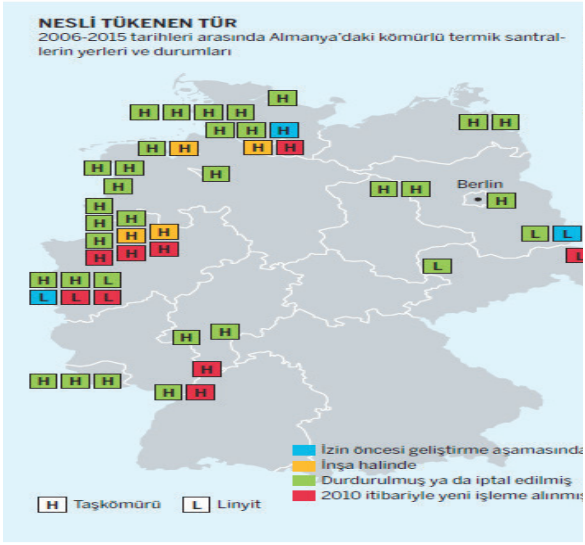
## 3. KÖMÜRÜN ÇEVREYE ETKİSİ

Maden çıkarmak toprağı kazarak bu toprağın yerini değiştirmek anlamına gelir. Açık ocak madenciliği toplam kömür üretiminin % 40'ına denk gelir ve bu yöntemde, yerin altındaki madene ulaşmak için kömürün üzerindeki bütün toprağın kaldırılması gerekir. Bu durumda arazi tamamen bozulur. Burada yaşayanlar başka yere nakledilir, bitkiler ve hayvanlar yok edilir ve üstteki canlı toprak kazınıp alınır. Açık ocaklarda, madencilik faaliyetleri bittikten onlarca yıllar sonra bile dev toprak kaymaları görülebilir. Ocaklarda ortaya çıkan atıkların oluşturduğu pasa malzemelerinin döküm sahaları topografya da yükseltiler oluştururken, kömürün alındığı yerler ise çukurluklar oluşturmaktadır. Çukurlara zamanla dolan kirletici atıklar yeraltı sularına sızarak, yeraltı sularını kirletebilmektedir. Yeraltı madenleri yüzeyde çöküntüler yaratarak binalara ve yollara zarar verebilir. Kısaca, ekosistemlerin hasar görmesi, toprağın bozulması, suların asit, sülfat vb. içeren çamurla kirlenmesi ve yeraltı su sistemlerine zarar verilmesi sayılabilir. İşletme binaları, sosyal tesisler, yollar, elektrik hatları, bölgeye çalışmak için gelenlerin oluşturduğu barınaklar çevreyi olumsuz olarak etkileyebilir. Nakliyat kamyonlarının oluşturduğu gürültü ve tozlar çevresel açıdan zararlı olabilir. Açık ocak kömür madenlerinin yakınlarında yaşayan insanlar, yüksek seviyede toz ve parçacıklı maddeye maruz kalabilirler. PM'in ana bileşenleri; sülfat, nitratlar, amonyak, sodyum klorür, karbon, mineral toz ve sudur. PM, havada asılı organik ve inorganik maddelerin katı ve sıvı parçacıklarının kompleks bir karışımından oluşur. Bu da solunum yolu hastalıklarına ve alerjik hastalıklara yol açabilir.

Kömürün yanması sonucu atmosfere katılan kirletici elemanlar, ince toz, kükürt oksitler, azot oksitler, karbon dioksit, hidrokarbonlar ve aldehitler olarak özetlenebilir. Bu elemanların doğal dengeyi ve çevreyi etkilemesi ise asit yağmuru ve atmosferdeki $CO_2$ artışı gibi iki noktada önem kazanmaktadır. Asit yağmuru, pH 5,6'dan az olan yağmur olarak tanımlanmakta ve buna neden olarak da SO ve NOx gazlarının $H_2S0_4$ ve $HNO_3$ oluşturması gösterilmektedir. NO 'in $HNO_3$ (nitrik asit)'e dönüşümü de çok karmaşıktır ve ozonun varlığında birbirini takip eden çeşitli safhalardan sonra NO $NO_3$'e dönüşür. Sülfat ve nitrat parçacıkları üzerinde yoğunlaşan su buharı zamanla su damlacıklarını oluşturur. Damlacık içinde eriyen sülfat ve nitratlar kimyasal değişime maruz kalır ve damlaların yağmur olarak yeryüzüne ulaşmasıyla asit yağmuru gerçekleşir. $CO_2$ Güneş' ten gelen kısa dalga ışınların dünya' ya ulaşmasını engellemez fakat yeryüzünden yansıtılan kızılötesi ışınları absorbe ederek yeryüzüne yeniden yansıtırlar. Böylece $CO_2$ artışı kızılötesi ışınların daha çoğunun geri dönmesi ve dünyanın ısınması demektir.

Emisyon miktarı, enerji santralinin kullandığı filtreleme sistemine bağlıdır. Her ne kadar bu sistemler oldukça gelişmiş olsa da Avrupa'da atmosfere salınan ve ince partiküller sınıfının önemli bir öğesi olan kükürt dioksitin %70'i ile endüstriyel cıva salınımlarının %50'si halen kömürlü termik santrallerden kaynaklanmaktadır.

Dünyada kömür karşıtı birçok eylem düzenlenerek kömürden elektrik enerjisi üretiminden vazgeçmeleri istenmektedir ve Almanya kömür santrallarını kapatma yoluna gittiği gerekçesi ile örnek gösterilmektedir. Hâlbuki incelendiğinde günümüzde Almanya yeni santralleri devreye soktuğu gibi, izin aşamasında ve inşa halinde olan birçok santrallerinin de olduğu görülmektedir (Şekil 12). Diğer taraftan durdurulmuş ya da iptal edilmiş santrallerin ise bir kısmının ömrünü doldurduğu ve durdurulanların ise elektrik açığı durumunda her an çalışacak biçimde hazır olarak bekletildiği bilinmektedir. Söylenenlerin aksine Almanya yılda 178 milyon ton linyit üretimiyle dünya lideri ve 2014 yılında ürettiği elektriğin %25'ini linyitten üretmiştir.




Şekil 12. Almanya'daki kömürlü termik santrallerinin yerleri ve durumları (Kömür Atlası 2017).

Bugün 2018 yılı itibariyle, Türkiye'de, yerli kömür kullanan 51 adet elektrik santrali işletmededir. Bunlardan 16 adedinin kurulu kapasitesi 100 MW'ın üzerinde olup, diğerleri küçük kapasiteli santrallerdir. 1 adet taşkömürü ve 1 adet asfaltit santrali dışındakilerin tamamı linyite dayalı santrallerdir. Ülkemizde işletmede olan 10 adet ithal kömür santrali bulunmaktadır. Bunlardan 3 adedi küçük kapasiteli santraldır (KSR 2016).

2017 yılı itibari ile Türkiye'nin 445,640 mt $CO_2$ eşdeğeri sera gazı emisyonu varken AB'nin Türkiye'nin emisyonlarının on katından fazla 4704,011 mt $CO_2$ eşdeğeri emisyonu söz konusudur. ABD, Hindistan ve Çin ise bunlardan kat kat fazladır. Bu konuda Çin dünya lideri konumundayken Amerika ise Çin'in ardından hemen 2. Sırada yer almaktadır. Türkiye'nin küresel ısınmaya yol açan gazların salınımındaki payı % 1 civarından daha azdır (TG $CO_2$ E 2015). Gelişmiş AB, sera gazı emisyonlarında hedeflediği % 40 azaltmayı bırak % 10 azaltmayı başarsa Türkiye'nin

tüm emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma etkisinden daha fazla bir etkiyi ortadan kaldırmış olacaktır.

AB hala katı yakıt olarak kömür kullanımını sürdürmektedir. 1990'da elektrik üretiminin % 39,3'ünü katı yakıtlardan sağlayan AB 2014 yılında bu payı % 25,3'e kadar indirmiştir. Ancak AB halen elektriğinin dörtte birini katı yakıtlardan sağlamaktadır. Kişi başına düşen elektrik kullanımı dünya genelinde ortalama 2230 KWh olup bu oran Kanada'da 17510, ABD'de 12711, Japonya'da 7726, Fransa'da 7139 ve Türkiye'de 3600 KWh'tir. Dünyada halen 1 milyar insan elektrikten yoksundur. Bu verilerden hareketle dünyanın kirlenmesine sanayisi gelişmiş ülkelerin yanında gelişmekte olan ülkelerin ne kadar katkı verdiği ortaya konan bir gerçektir.

## 4. SONUÇ

Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı nedeniyle kömürün elektrik sistemindeki yüksek payı yerli üretim olmak kaydıyla arttırılarak devam ettirilmelidir. Mevcut kömürlü santrallerin yenilenerek, ek yeni santraller devreye sokulmalıdır.

Başka yerde kullanılamayacak kadar düşük kaliteli olan düşük linyit kömürleri termik santrallerde değerlendirilerek ülkenin enerji, istihdam ve ekonomik ihtiyacına katkı sağlanmalıdır. Toz kömür yakan tüm termik santrallerde toz kontrol sistemleri mevcut olurken, $SO_2$ kontrol sistemi (desülfürizasyon) çok az santralde mevcuttur. Yeni yapılacak tüm santrallerde maliyeti çok yüksek de olsa elektrofiltre, baca gazı arıtma (desülfürizasyon, azot oksit giderme) vb. yatırımları yapmaları ve bu sistemleri etkin ve verimli bir şekilde çalıştırmaları zorunlu hale getirilmelidir.

Türkiye küresel ısınmaya dünyanın birçok devletinden daha az katkı yapmaktadır. Elbette küresel ısınma ile mücadele sürdürülmeli ancak gerçekten Türkiye'nin bu işin neresinde kaldığı, etkileyen mi etkilenen mi olduğu iyi ortaya koyması gerekmektedir.

Çevre açısından bazı zararları olsa da, istihdam ve dışa enerji bağımlılığını azaltma yönünde bazı riskler alınmalıdır. Çevrede yaratılan olumsuz etkileri en aza indirgemek için tüm faaliyetlerin başından sonuna kadar iyileştirme ve yeniden kazanma çalışmaları planlanarak sürdürülmelidir. İşletme sonrası rehabilitasyon çalışmaları ile bozulan alanların geri kazanımları, doğal ve sürdürülebilir bir çevrenin yeniden oluşmasına olanak sağlanmalıdır. Doktorun hastasına verdiği her ilacın belirli yan etkileri vardır, yan etkisi var diye hiçbir doktor hastasının sağlığını düzeltecek ilacı hastasına vermekten kaçınmaz şeklinde olay değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

Altın, V. 2007. Enerji Dosyamız, Yeni Ufuklara, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Ocak 2007 eki, 15s. http://www.emo.org.tr/enerji_sempozyumuII.htm.

BP Statistical World Review of Energy, Haziran 2016.

Kömür Atlası, 2017. Fosil Yakıtlar Hakkında Olgular ve Rakamlar. Heinrich Böll Stiftung Derneği, Berlin-Almanya ve Friends of the Earth International, Londra - İngiltere. www.tr.boell.org.

Kösebalaban, A. 2007. Türkiye Linyit Madenciliği, Türkiye Kömür İşletmeleri, İç Anadolu Enerji Forumu, Ankara, (İÇEF), www.emo.org.tr, 2007.

KSR, 2016. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Kömür (linyit) sektör raporu 2017.

MMO, 2017. Türkiye'de Termik Santraller, TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, yayın no, 668.

MTA, 2017. Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları, MTA Genel Müdürlüğü.

IEA, 2016. Coal Information, International Energy Agency, 2016. Paris.

TEİAŞ, 2017. Türkiye Elektrik Enerjisi İstatistikleri.

Türkiye de termik santraller, 2017. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO/668, Ankara. 2018 yılı programı. 28.10.2017 tarihli ve 30224 sayılı resmi gazetede yayımlanan 11.10.2017 tarihli ve 2017/1094 sayılı 2018 yılı programının uygulanması.

Trends in Global $CO_2$ Emissions 2015. Report, s. 27, http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-glöbal-co2-emissions-2015-report-98184.pdf.

# DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR TÜKETİMİNİN KÜRESEL ISINMAYA ETKİSİ

## *THE EFFECT OF COAL CONSUMPTION ON GLOBAL WARMING IN THE WORLD AND TURKEY*

**Hasan Eryılmaz, Kazım Onur Demirarslan***
*Artvin Çoruh Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin*

**ÖZET** Yüzyıllardan beri enerji ihtiyacımız katlanarak artmış ve endüstrileşmeyle paralel olarak belli dönemlerde belli kaynaklara bağımlı hale gelinmiştir. Bu kaynaklar arasında kömürün farklı bir değeri bulunmaktadır. Her ne kadar günümüz enerji ihtiyacının büyük bir bölümü petrolden sağlansa da kömürün dünyanın heryerinde bolca bulunması ve nispeten ucuz olması ona 19. Yüzyıl başlarından bu yana ayrı bir avantaj sağlamıştır. Özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerin kendini idame için gerekli enerji talebini karşılayabilme gayreti içinde olmaları ve enerji talebinde dışa bağımlı olunması, bir çok problemin ardarda gelmesine yol açmaktadır. Bu problemlerin aşılmasında ülkelerin kendi sınırları içerisindeki katı yakıt türünün enerji açığını kapatmak için kullanımı hep tercih sebebi olmuştur. Ancak çevre açısından bakıldığında bu kaynakların kullanımından doğan zararlar sağladıkları faydanın çok çok üzerinde uzun dönemde negatif etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumun başlıca nedenlerinden biri de özellikle kömür gibi fosil yakıtların enerji temininde yakılması olduğu görülebilmektedir. Yapılan bu çalışmada dünyada ve Türkiye'de kömür kullanımı ve bu kullanımdan meydana gelen $CO_2$ salınımları incelenmiştir.

**ABSTRACT** Since centuries, our energy needs have grown exponentially and become dependent on a variety of sources. Among these sources, the coal has a different value. Although a large part of today's energy needs are provided from petroleum, it has a distinct advantage that the coal is abundant everywhere in the world and relatively cheap. In particular, developing countries such as our country can lead to a lot of problems due to external dependence in order to meet the energy demand. For this reason, the use of domestic coal resources of the country has a vital important issue. However, when viewed from the environmental point of view, the damage caused by the use of all these sources is considerable. One of the major reasons for climate change, which is especially important nowadays, is the $CO_2$ gas released during combustion. One of the major environmental pollutant is the combustion of fosil fuels, especially.

* *onurdemirarslan@artvin.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Enerji, insan hayatında giderek önemi artan vazgeçilmez bir olgudur. Günümüz dünyasında ülkelerin gelişmişlik düzeyleri enerji tüketimleri ve bu enerjinin üretiminde çevreci alternatif üretim kaynaklarına yaptıkları yatırımlar ve arge çalışmaları ile paralel seyretmektedir. Ancak, Dünya enerji gereksiniminin %87,9'u halâ fosil yakıtlar grubunda yer alan; petrol, kömür, doğalgaz kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar içerisinde kömür, petrolden sonra en yüksek kullanım oranına sahip enerji kaynağıdır (Aykaç 2014, Karyeyen 2016). Kömür, binlerce yıldır enerji kaynağı olarak insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Kömür kullanımına ilişkin en eski yazılı kayıtlardan birinde, milattan önce 4. yüzyılda yaşayan Yunanlı filozof Aristoteles kömürden siyah renkli bir kayaç olarak bahsetmektedir (Tamzok 2012). Tanım olarak kömür, havanın oksijeni ile doğrudan yanabilen, % 55-95 arasında serbest ya da bileşim halinde karbon içeren, bitki kalıntılarından meydana gelen, organik yanıcı bir tortul oluşumdur (Kuzoluk 2014). Çoğunlukla karbon, bir miktar hidrojen ve oksijen, az miktarda da kükürt ve azot içererir. Toprak altında kalan ağaç kümeleri 250-300 milyon yıl süren kömürleşme sırasında; linyit,alt bitümlü kömür, bitümlü kömür ve antrasit türlerine dönüşürken karbon içeriği de ortalama %32, %40, %60 ve %80 şeklinde bir artış göstermektedir. Kül, karbon, uçucu madde, nem, kalori, kekleşme, koklaşma, renk, sertlik gibi özellikler bakımından, pek çok çeşitlilik gösterdiği için, Uluslararası Kömür Kurulu'nca (Uluslararası Standartlar Örgütü ISO tarafından da desteklenerek) önce iki üst, sonra da dört alt sınıfa ayrılmışlardır (URL-1 2016):

1- Sert Kömürler (Taşkömürü): Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) üzerinde kalorifik değere sahip olan kömürdür.
2- Kahverengi Kömürler: Nemli ve külsüz bazda 24 MJ/kg (5700 kcal/kg) altında kalorifik değere sahip olan kömürlerdir.

IEA/OECD kömür istatistiklerinde 1978 yılından itibaren kömür pazar analizleri ve tahminlerinde bu iki kategori alt sınıflara bölünmektedir. Çizelge 1'de uluslarası kömür sınıflandırmasında bulunan kömürlerin özellikleri verilmektedir. Kömür, dünya üzerinde geniş bir coğrafyaya yayılmış büyük rezervlere ve geniş tüketim alanlarına sahiptir. Bir trilyon ton civarında olduğu tahmin edilen dünya görünür kömür rezervlerinin yaklaşık %45'i (403,2 milyar ton) taşkömürü rezervidir.

## 2. DÜNYA KÖMÜR REZERVLERİ VE ÖMÜRLERİ

Dünyada 1 trilyon tonun üzerinde kömür rezervi bulunmaktadır. Ülkemiz açısından ele alınacak olursa 2013 yılı itibariyle ülkemizde 1.3 milyar ton taş kömürü ve 13.9 milyar ton linyit olmak üzere toplam 15.2 milyar ton kömür rezervi bulunmaktadır (Tunç 2015). Bu rezerv hacmi göz önüne alındığında, linyit Türkiye'nin en önemli tabii enerji kaynağıdır (URL-2 2016). Türkiye'de kömür olarak taşkömürü, linyit, yanında bir miktarda asfaltit üretilerek tüketilmektedir. Asfaltit yaklaşık 80 milyon

ton gibi sınırlı bir rezerv miktarı ile Güney Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır (URL-3 2007). Dünyaya bakıldığında küresel kömür üretimi 2011 yılında bir önceki yıla göre %6,6 oranında artarak 7.678 milyon ton olarak gerçekleştiği belirtilmiştir. Buhar kömürü üretimi %6,6 artışla 5.670 milyon ton, kok kömürü üretimi %7,4 artışla 967 milyon ton ve linyit üretimi ise %5,9 artışla 1.041 milyon ton olmuştur. Son on yıldaki ortalama yıllık artış oranı ise %4,5 düzeyindedir. 2011 yılı dünya kömür üretiminin %45,2'sini (3.471 milyon ton) tek başına Çin gerçekleştirmiştir. ABD'nin payı %13,1 (1.004 milyon ton), Hindistan'ın payı %7,6 (586 milyon ton) ve Avustralya'nın payı ise %5,4 (414 milyon ton) oranındadır (Aykaç 2014). Tüketim artışı büyük ölçüde Çin'in talebinden kaynaklanmıştır. Bu ülkenin 2000-2011 döneminde kömür talep artışı %165 oranındadır. Aynı dönemde Hindistan'ın talebi %83, Güney Kore'nin talebi %81 ve Türkiye'nin talebi ise %28 oranında artış göstermiştir. 2010 yılında 7.010 milyon ton olan dünya kömür tüketimi %8,4 oranında artarak 2011 yılı sonunda 7.596 milyon ton düzeyine yükselmiştir (Aykaç 2014). Bu iki kömür sınıfının dünya üzerindeki dağılımı (milyon ton: Mt) ve mevcut tüketim hızına göre ömürleri, özet olarak Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin özellikleri (Kuzoluk 2014, URL-1 2016).

| **Kahverengi Kömürler** | | **Taşkömürü** | |
|---|---|---|---|
| **Linyit** | **Alt Bitümlü** | **Bitümlü** | **Antrasit** |
| Kahverengi | Siyah | Koyu siyah | Parlak siyah |
| Kırılgan, çabuk ufalanan | Oksidasyon veya kurutma sonucunda toz halinde ufalanma | Blok şeklinde kırılma | Merceksi kırılma |
| Masif, odunsu doku | Masif | Bantlı ve kompakt | Sert ve dayanıklı |
| Isıl değer < 4610 kcal/kg | Isıl değer: 4610-5700 kcal/kg | Isıl değer: 5700-7000 kcal/kg | Isıl değer > 7000 kcal/kg |

Çizelge 2. Linyit ve taşkömürünün dünya üzerindeki dağılımı ve kalan ömürleri (URL-1 2016).

| Bölge | **Taşkömürü (Mt)** | **Linyit (Mt)** | **Toplam (Mt)** | **Yüzde (%)** | **Ömür (yıl)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Kuzey Amerika | 112,8 | 132,2 | 245 | 27,5 | 248 |
| Orta ve Güney Amerika | 7,2 | 7,3 | 14,6 | 1,6 | 142 |
| Avrupa - Afrika | 92,5 | 217,9 | 310,5 | 34,8 | 268 |
| Ortadoğu- Afrika | 32,7 | 214 | 32,9 | 3,7 | 122 |
| Asya- pasifik | 157,8 | 130,5 | 288,3 | 32,3 | 51 |
| Toplam Dünya | 403,1 | 488,3 | 891,5 | 100 | 110 |

Aynı kaynakta, Türkiye'nin görünür kömür rezervi, 2014 yılı sonu itibariyle 322 Mt taşkömürü (antrasit+ bitümlü) ve 8.380 Mt linyit (linyit+ altbitümlü) olmak üzere toplam 8.702 Mt olarak verilmekte ve ömrü 125 yıl olarak tahmin edilmektedir. Türkiye toplam kömür rezervleri dünya görünür kömür rezervlerinin yaklaşık %1'ni oluşturmaktadır. Rezerv miktarının çokluğu, kömürün uzun vadeli yeterliliğini

beraberinde getirmektedir. Mevcut üretim seviyeleri ile dünya görünür kömür rezervlerinin ortalama 110 yıllık bir sürede tüketileceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık görünür petrol ve doğal gaz rezervlerinin tükenme ömürlerinin mevcut üretim seviyeleri ile sırasıyla 53 ve 54 yıl süreceği tahmin edilmektedir. Bölgeler itibarı ile fosil yakıtların tükenme ömürleri Çizelge 3'te verilmiştir.

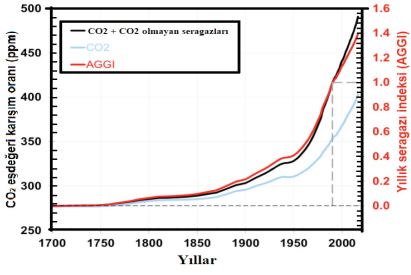
Çizelge 3. Fosil yakıtların tükenme ömürleri (yıl) (URL-1 2016).

| Bölge | Petrol | Doğal gaz | Kömür |
|---|---|---|---|
| Kuzey Amerika | 34,0 | 12,8 | 248,0 |
| Orta ve Güney Amerika | 100< | 43,8 | 142,0 |
| Avrupa - Afrika | 24,7 | 57,9 | 268,0 |
| Ortadoğu | 77,8 | 100< | 122,0 |
| Afrika | 42,8 | 69,8 | 122,0 |
| Asya ve Pasifik | 14,1 | 28,7 | 51,0 |
| Toplam Dünya | 52,5 | 54,1 | 110,0 |

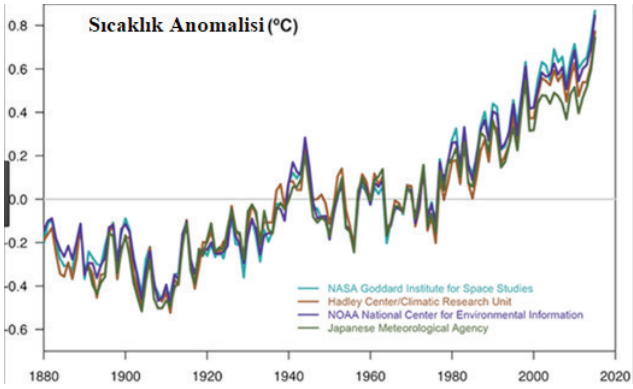
Bu değerlere göre, petrolün ömrü en uzun Güney Amerika'da olmak üzere 100 yıl, doğal gazın ömrü yine en uzun Ortadoğu'da olmak üzere 100 yıl iken, kömürün ömrü Avrupa ve Asya'da 268 yıla kadar uzamaktadır. İnsanlık tarihi içinde 268 yılın bile çok kısa bir zaman dilimi olduğu açıktır. Fosil yakıtların tükenme ömürlerine bakıldığında ise, insan yaşamında enerji gereksiniminin temininde mutlaka sürdürülebilir yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesi gerekmektedir.

## 3. ATMOSFERDEKİ $CO_2$ KONSANTRASYONU VE SICAKLIK ARTIŞI

Dünya atmosfer sıcaklığının artışında en büyük paya sahip $CO_2$ gazının konsantrasyonu, önlenemez şekilde sürekli artmaktadır. Amerikan iklim kuruluşu National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), atmosferdeki $CO_2$ miktarının tüm asrın rekorlarını kırarak, Nisan 2017'de 413 ppm değerine ulaştığını belirtmiştir (Daily $CO_2$, 2017). Atmosferdeki diğer sera gazlarının ısınmaya katkıları da hesaba katılırsa, toplam sera gazlarının $CO_2$ eşdeğeri olarak miktarı 500 ppm değerine ulaşmaktadır. NOAA verilerinden derlenen ve Şekil 1'de verilen grafik, bu durumu açıkça göstermektedir.




Şekil 1. Toplam sera gazlarının $CO_2$ eşdeğeri.




Şekil 2. Dünyadaki $CO_2$ artışı ve sıcaklık değişimi.

$CO_2$ artışı beraberinde atmosfer sıcaklığının artışını da getirmektedir. Şekil 2'deki grafikte dört kuruluşun ayrı ayrı verdiği değerlerin örtüştüğü, $CO_2$ artışı ve sıcaklık artışının doğru orantılı olduğu açıkça görülebilmektedir. NOAA verilerine göre, 2014, 2015 ve 2016 yılları peş peşe atmosfer sıcaklık rekorlarının kırıldığı yıllar olmuş, yüzyıllık küresel sıcaklık artışı 0,94 ºC' a ulaşmıştır. Ayrıca küresel ısınmayı Birleşmiş Milletler adına takip etmekle görevli en yetkili kurum olan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tarafından, sanayi öncesi yıllara göre küresel ısınmanın en çok 1,5-2,0 ºC arasında seyredebilmesi için atmosfere salınabilecek $CO_2$ miktarının, 2010 yılı baz alındığında; en çok 1000 Gt olabileceği hesaplanmıştır (IPCC 2014). Pek çok belirsizlik faktörü nedeniyle bugün elimizde kalan karbon bütçesi net olarak hesaplanamıyorsa da, 200-800 Gt kadar kaldığı belirtilmektedir. Halen sürmekte olan yaklaşık 40 Gt $CO_2$/yıl salınım hızıyla da en çok 30 yıl sonra karbon bütçesinin tükeneceği bu iki rakamdan kolayca hesaplanabilir (URL-4 2017). Küresel ısınmanın getirdiği kısıtlamanın, fosil yakıtların tükenme ömürlerinden çok daha önemli olduğu açıktır. Dünya liderlerinin toplandığı COP 21 müzakerelerinde 2015 Paris İklim Anlaşması imzalanarak çok önemli ortak kararlar alınmışsa da, uygulamada bunlara çok uyulmadığı, atmosferde artan $CO_2$ miktarlarından ortaya çıkmaktadır. Gerçekten NOAA bilgilerine göre, havadaki $CO_2$ konsantrasyonunun Haziran 2016'da ölçülen 407 ppm rekoru, Nisan 2017'de 413 ppm olarak kırılmıştır.

## 4. EN ÇOK KÖMÜR TÜKETEN VE ATMOSFERİ KİRLETEN ÜLKELER

Üretilen kömür, ithalat-ihracat yoluyla başka ülkelere gidebildiği için, havadaki $CO_2$ açısından, dünya ülkelerinin kömür üretim değerleri değil, tüketim miktarları önemlidir. Aşağıda verilen Çizelge 4'te son yılların taşkömürü tüketim rakamları görülmektedir.

2014 yılı dünya koklaşabilir taşkömürü tüketiminin %72,7'sinin Çin, ABD, Hindistan üçlüsü tarafından gerçekleştirildiği tek başına Çin'in payının % 61,68 olduğu, termal

(buhar üretim) için taşkömürü tüketiminin %78,6'sının aynı üçlü tarafından yapıldığı, Çin payının tek başına % 53,89 olduğu Çizelge 4'ten kolayca hesaplanabilir. Türkiye tüketimi kok kömüründe % 0,69 termalde % 0,40 kadardır ve dünya ortalamasından yarı yarıya düşüktür. Çizelge 5'de taşkömüründen sonra ikinci grup olan linyit kömürü tüketimleri verilmektedir. Dünya linyit kömürü tüketiminde Almanya, 2014'de % 22 ile birinci sırayı almaktadır. 2014 rakamlarıyla Almanya, ABD, Rusya, Polonya dörtlüsünün dünya linyit tüketimi payı %47,2 olurken, Türkiye'nin payı %7,64 olup, taş kömürüne göre bir hayli yüksektir. Taşkömürü ve linyit toplamına bakacak olursak, Türkiye'nin nüfusuna (yaklaşık 80 milyon) göre tüketiminin, dünya ortalamasının altında olduğu görülebilmektedir. 2000 yılından itibaren kömür tüketimine bakıldığında taşkömürü tüketiminde artış olduğu linyit tüketiminde ise az da olsa bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Çizelge 6' da çeşitlerine göre 2000-2014 yılları dünya kömür tüketimi verilmiştir. Taşkömürü ve linyit kömürü toplamında Türkiye'nin kömür tüketimi payı, 2013 yılında %0,78 iken 2014'de % 1,17 olarak gerçekleşmiştir. Dünya toplam reel kömür tüketimi 2015'de 7.707 Mt olup, ilk üç sırayı yine Çin, Hindistan, ABD % 69,77 payla almıştır ve Türkiye payı %1,13 ile dünya ortalamasına yakındır (URL-1 2016). Şekil 3 ve 4'te ülke bazında 2015 yılı toplam kömür tüketimi ve linyit tüketimi görülmektedir (URL-7 2017).

Çizelge 4. Taşkömürü tüketiminde önemli ülkeler ve tüketim miktarları (Milyon ton) (URL-1 2016).

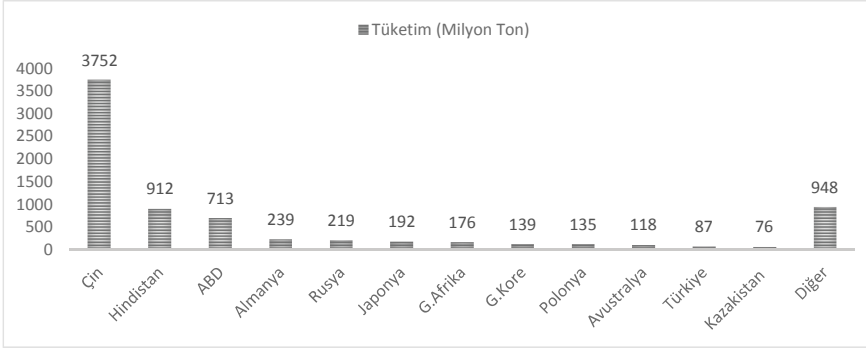
| **Yıl** | **2012** | | | **2013** | | | **2014** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ülke** | **Buhar** | **Koklaşabilir** | **Top.** | **Buhar** | **Koklaşabilr** | **Top.** | **Buhar** | **Koklaşabilir** | **Top.** |
| Çin | 3.126 | 559 | 3.685 | 3.399 | 626 | 4.026 | 3.280 | 630 | 3.909 |
| ABD | 729 | 19 | 748 | 751 | 19 | 770 | 747 | 19 | 765 |
| Hindistan | 648 | 51 | 730 | 667 | 93 | 760 | 757 | 102 | 859 |
| Japonya | 132 | 52 | 184 | 142 | 60 | 196 | 137 | 51 | 188 |
| G. Kore | 95 | 31 | 126 | 99 | 29 | 128 | 100 | 33 | 133 |
| Rusya | 119 | 57 | 176 | 85 | 53 | 137 | 77 | 55 | 132 |
| Türkiye | 25,7 | 6,5 | 32,2 | 23,8 | 6,5 | 30,3 | 24,4 | 7,1 | 31 |
| Toplam Dünya | 5.852 | 951 | 6.802 | 6.149 | 1016 | 7.164 | 6.0586 | 1.032 | 7.118 |

Çizelge 5. Ülkelerin linyit kömürü tüketimleri (Milyon ton) (URL-1 2016).

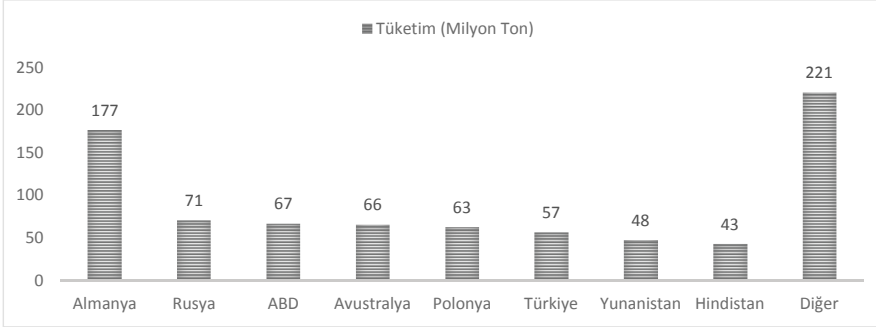
| **Ülkeler** | **2000** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Almanya | 169,9 | 169,5 | 176,7 | 158,1 | 182,5 | 177 |
| Yunanistan | 64,5 | 57,7 | 60 | 61,9 | 54,4 | 47,1 |
| Polonya | 59,4 | 56,6 | 62,7 | 64,1 | 65,9 | 63,8 |
| Türkiye | 64,4 | 69,2 | 73,9 | 68,4 | 55,3 | 61,5 |
| ABD | 74,2 | 68,3 | 74,8 | 72,1 | 69,7 | 70,1 |
| Rusya | 88,2 | 76,3 | 77,6 | 77,5 | 73,3 | 69,3 |
| Toplam Dünya | 925,6 | 855,1 | 913,8 | 885,3 | 830,8 | 804,8 |

Çizelge 6. Dünya kömürü tüketiminin çeşitlere göre dağılımı (Milyon ton) (URL-1 2016).

| | **2000** | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Taşkömürü (koklaşabilir) | 475,2 | 761,3 | 880,7 | 936,2 | 951 | 1015,6 | 1032,1 |
| Taşkömürü (buhar) | 3.235,2 | 5.162,9 | 5.411,3 | 5.676,7 | 5.850,9 | 6.148,7 | 6.086,2 |
| Toplam | 3.710,4 | 5.924,2 | 6.292 | 6.612,9 | 6.801,9 | 7.164,3 | 7.118,3 |
| Linyit | 925 | 909,2 | 855,1 | 913,8 | 885,3 | 830,8 | 804,8 |



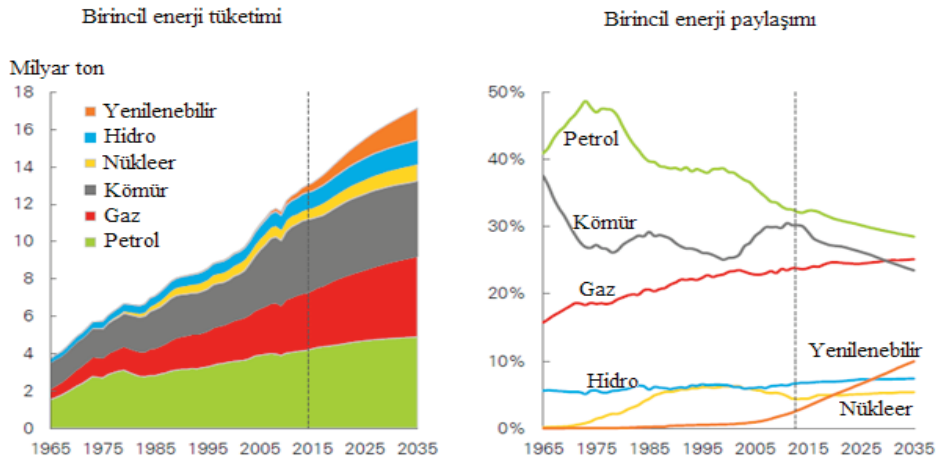

Şekil 3. Ülkelere göre 2015 yılı toplam kömür tüketimleri.




Şekil 4. Ülkelere göre 2015 yılı linyit tüketimi.

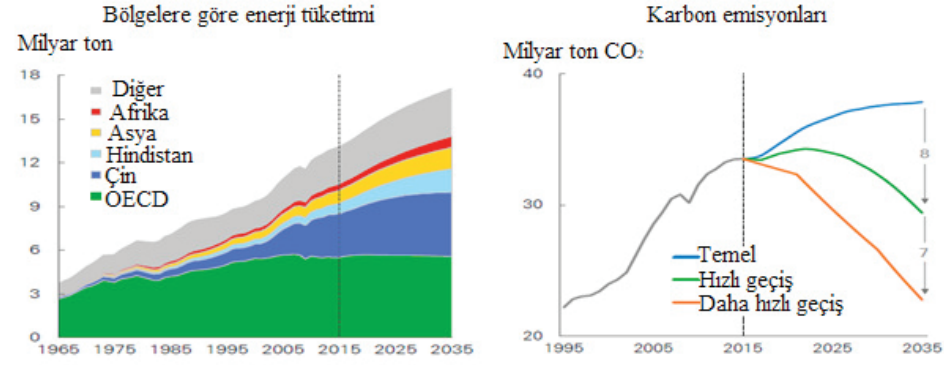
2015 yılı dünya kömür tüketiminin 1,072 milyon tonu koklaşabilir kömür ve 5,828 milyon tonu ise buhar kömürüdür. Linyit tüketimi ise toplam 807 milyon ton olmuştur. 2015 yılı linyit tüketiminde ilk sıra, uzun yıllardır olduğu gibi yine Almanya'nındır. Söz konusu yılda Almanya'nın linyit tüketimi 177 milyon ton olmuştur. 2015 yılı linyit tüketiminde Almanya'yı 71 milyon ton ile Rusya Federasyonu, 66,9 ton ile ABD ve 65,7 milyon ton ile Avustralya izlemektedir. Türkiye, 2015 yılında 56,6 milyon ton linyit kömürü tüketimi ile Dünya'da altıncı sıradadır (Şekil 4). Şekil 5'de verilen grafikler, Dünya kömür tüketiminin diğer enerji

kaynakları gibi yakın zamanda düşmeyeceğini göstermektedir (URL-5 2017). Sadece kömür, petrol, doğal gaz yüzdeleri kendi aralarında değişmekte, toplamda fosil yakıtların genel olarak tüketimi belirgin seviyede düşmediği görülmektedir. Kömürün ise tek başına 20 yıllık bir sürede yavaşça azalarak dünya enerji üretimindeki payının % 30'dan % 26'ya ineceği tahmin edilmektedir.




Şekil 5. Dünyadaki birincil enerji kaynaklarının kullanım miktarları ve paylaşımları (URL-5 2017).

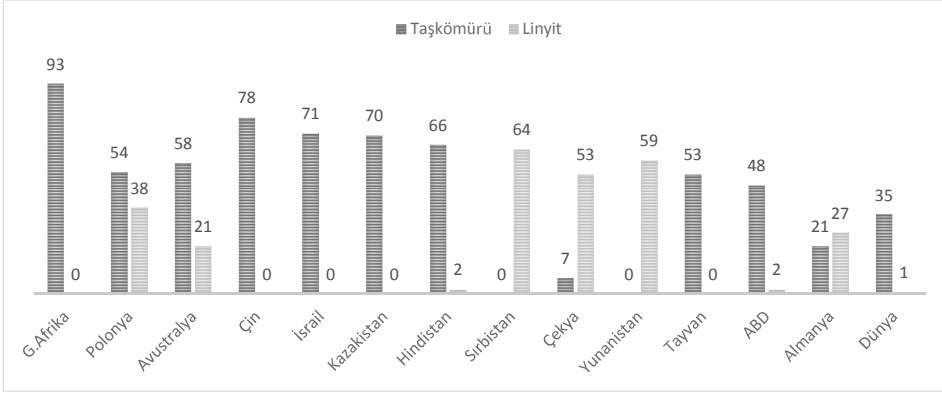
BP'den alınan Şekil 6'daki grafikte görüleceği gibi, Çin ve OECD ülkelerindeki çok az bir düşmeye karşılık, dünyanın enerji açığı sürekli artmaktadır. Buna göre Şekil 6'daki grafikte "temel" çizgide görüleceği gibi havadaki $CO_2$ miktarı da sürekli artacaktır.




Şekil 6. Bölgelere göre enerji tüketimleri ve toplam dünya karbon emisyonları (URL-5 2017).

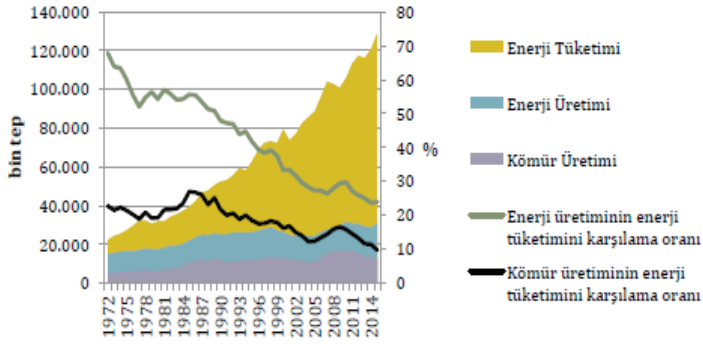
## 5. KÖMÜRDEN NE KADAR VAZGEÇİLEBİLİR?

Dünya çelik üretiminin %70'i kömüre bağımlıdır. Ancak ark ocaklarında kullanılan elektriğin önemli bir kısmının da kömürden üretildiği unutulmamalıdır. Dünyada üretilen koklaşabilir taşkömürünün %88'i pik demir üretiminde kullanılmaktadır. Son yıllarda uluslararası kömür ticaretinde demir-çelik sektöründe kullanılan PCI kömürleri de önemli yer edinmiştir. 1979 yılında yaşanan ikinci petrol krizi sırasında yüksek fırınlarda fuel-oil enjeksiyonu yerine kullanılmaya başlanan pulverize kömür enjeksiyonu (PCI) yönetimi ile 1,4 ton koklaşabilir kömür yerine 0,9 ton kömür şarjı yeterlidir. PCI kömürlerde koklaşma özelliği aranmamakta, düşük empürite içeriğine sahip olması istenmektedir. Koklaşabilir kömüre göre daha düşük fiyattan satılan PCI kömürüne olan talep, demir-çelik sektörünün hammadde fiyatlarını düşürme istekleri doğrultusunda artmaktadır. Kömürün elektrik üretiminde de vazgeçilmez bir yeri vardır. Elektrik üretimleri ağırlıklı olarak kömüre dayalı ülkeler ve kömürün elektrik üretimindeki payları Şekil 7'de verilmiştir. Elektrik üretiminin yaklaşık %92'sini kömürden sağlayan Polonya ve yine aynı oranla Güney Afrika Cumhuriyeti elektrik üretiminde kömür kullanan ülkeler arasında başı çekmektedir.



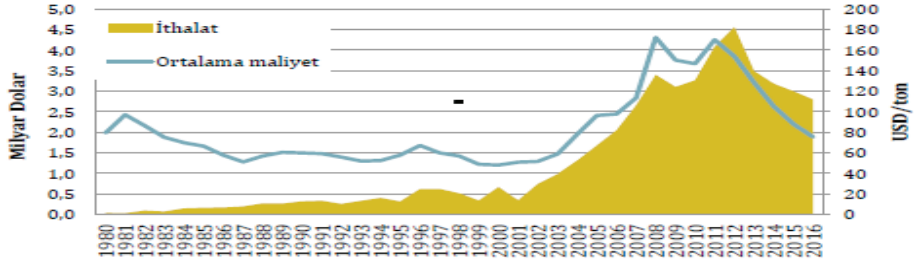

Şekil 7. Elektrik üretimlerinde kömüre dayalı ülkeler ve kömürün payları (URL-1 2016).

Ülkemiz enerji tüketimi son on yılda %45,7 artış gösterirken, enerji üretimimizde %27,7 artış sağlanabilmiştir. Dolayısıyla, enerji tüketimimizdeki artışı dış kaynaklardan temin yoluna gittiğimiz göz önüne alınacak olursa; enerji üretimindeki artış hızı yeterli değildir. Bu nedenle, yerli üretiminde alternatif kaynaklara yönelinmesi, arge çalışmalarının hızlandırılması, açığın kapatılmasında karbon salınımı yapmayan alternatif kaynakların kullanımına geçilmesi gerekmektedir. Yerli üretimde tüketimi karşılama oranı on yıl önce %27,3 düzeyindeyken 2015 yılı itibariyle %23,9'a düşmüştür. Eşdeğer petrol bazında kömür üretimindeki gerileme ise son yıllık dönemde %7,2 olmuştur. Yerli kömür üretiminin enerji tüketimi karşılama oranı 2005 yılında %12,4 düzeyindeyken 2015 yılında %9,8 şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 8) (URL-7 2016).




Şekil 8. Türkiye enerji tüketimi ve toplam enerji üretimi ile kömür üretiminin payları (URL-7 2016).

Yerli enerji üretiminin tüketimi giderek daha az oranda karşılayabilmesi sonucunda enerji ithalatının da hızla artması kaçınılmaz olmuştur. 2015 yılı itibariyle ülkemizdeki enerji tüketiminin %23,9'u yerli enerji kaynaklarından elde edilirken %76,1 gibi önemli bir kısmı ise ithal kaynaklardan sağlanmıştır. Net enerji ithalatının kaynaklara dağılımı; 40 mtep doğal gaz, 49,9 mtep petrol ve 22,3 mtep kömür şeklindedir. Şekil 8 deki grafiklerden, 2015 yılında ülkemiz enerji tüketiminin sadece % 23,9'nun yerli kaynaklardan sağlandığı (yeşil çizgi), yerli kömürümüzün de bu tüketimin ancak %9,8'ini karşılayabildiği görülmektedir (siyah çizgi). Bu nedenle ithal ettiğimiz taş kömürü miktarı, neredeyse ithal ettiğimiz petrolün yarısına yaklaşmaktadır. Son yıllarda kömür ithalatındaki artışın en önemli nedeni, elektrik üretimi amaçlı kullanılacak buhar kömürlerine olan talepteki ciddi artıştır. İlk defa 2004 yılında 1 milyar Dolar eşiğini geçen kömür ithalatı 2006 yılında 2 milyar Dolar, 2008 yılında 3 milyar Dolar ve 2011 yılında ise 4 milyar Dolar seviyesine geçmiştir. 2012 yılı kömür ithalat harcamamız yaklaşık 4,6 milyar Dolar olarak gerçekleşmiş, ancak daha sonra uluslararası piyasalarda kömür fiyatlarının gerilemesiyle 2013 yılı faturası 3,5 milyar Dolar ve 2014 yılı faturası ise tahminen on milyar Dolar civarındadır. Yıllar itibariyle ithalata ödenen döviz ile yıllık ortalama ithalat maliyetleri Şekil 9'da verilmektedir (URL-7 2016).




Şekil 9. Yıllar itibariyle kömür ithalatına ödenen döviz ve ortalama ithalat maliyetleri (URL-7 2016).

Birincil enerji arzı 2015 yılında bir önceki yıla göre %7 artış göstererek 129 mtep olmuştur. Bu arzın kaynaklara dağılımında ilk sırayı 39,7 mtep ile doğal gaz almaktadır. Doğal gazı sırasıyla; 39,2 mtep ile ham petrol ve petrol ürünleri, 34,7 mtep ile kömür, 6,7 milyon tep ile jeotermal, rüzgar ve güneş gibi yenilebilir kaynaklar, 5,8 milyon tep ile hidrolik ve 2,9 mtep ile odun, hayvan ve bitki atıkları izlemektedir. Yerli kömür arzı; 11,4 mtep linyit, 0,9 mtep taşkömürü ve 0,5 mtep asfaltit olmak üzere toplam 12,8 mtep ve ithal kömür arzı ise 21,9 mtep taşkömürü ve 0,3 mtep kok olmak üzere toplam 22,2 mtep düzeyindedir. 2015 yılında yerli kömür arzındaki yıllık gerileme %9,6 ve ithal kömür arzındaki artış ise %14,1 düzeyinde olmuştur (URL-7 2016). Türkiye'nin kömür ihtiyacı, elektrik ve özellikle demir-çelik üretiminde şimdilik vazgeçilemez görünmektedir. Kalkınmakta olan bir ülke olarak kömürden asla vazgeçilemez. Bu nedenle doğal gaz ve petrol ithal edildiği gibi taşkömürü de ithal edilmektedir. Şu halde özellikle taş kömürü ithalatını sıfırlamak bakımından T.C.TTK 'nun yerli ve milli taşkömürü ocakları ve üretimini olabildiği kadar attırması gerekmektedir. Fakat bu iki sektör dışında özellikle ısınma, aydınlatma ve enerji amaçlı olarak kullanım önce azaltılmalı belirlenecek bir zaman içerisinde de bütünüyle kaldırılmalıdır. Ancak gelişmiş ülkelerin yaptığı gibi mutlaka çıkarılmamış rezerv bilinmeli ve ocaklar faaliyete hazır şekilde bekletilmelidir. Yanma ısısı daha az olduğu halde havayı daha çok kirlettiği için, linyit kömürü üretiminin kademeli olarak azaltılması, yeni linyit ocaklarının açılmaması gerekmektedir. Bunun yerine yenilenebilir ve sürdürülebilir GES, RES, JES gibi kaynaklara olabildiğince yatırım yapılmalıdır.

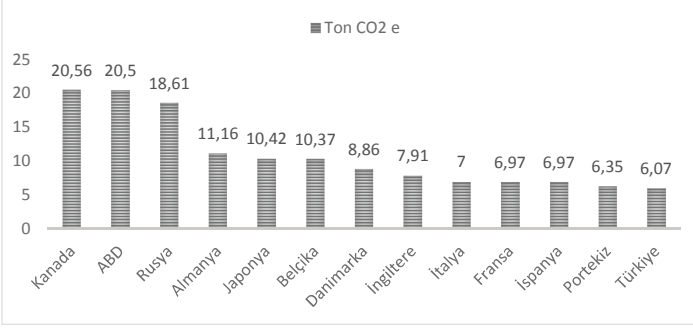
## 6. SONUÇLAR

Gelişmiş ülkeler, sınırları içerisinde bulunan enerji kaynaklarını kullanarak ülkelerini kalkındırabilmişlerdir. Ancak tüm bu ilerlemenin bir bedeli bulunmakta ve genellikle söz konusu bedel çevre problemleri şeklinde ödenmektedir. Bu çevre problemleri arasında hava kirliliği ayrı bir öneme sahiptir. Çizelge 7'de havayı kirleten ve atmosferi ısıtanların hangi ülkeler olduğu açıkça görülmektedir. Kişi başına yıllık salınım miktarlarını gösteren ikinci kolona bakıldığında dünya atmosferini $CO_2$ bakımından en çok kimin kirlettiği açık bir şekilde görülebilmektedir.

Çizelge 7. $CO_2$ emisyonlarının dünyadaki dağılımı (URL-1 2016).

| **Ülke** | **$CO_2$ Emisyonları (Milyon ton $CO_2$)** | **Kişi Başına $CO_2$ (Ton $CO_2$ / Kişi)** | **$CO_2$ /Toplam Birincil Enerji Arzı ( Ton $CO_2$/TEP)** | **$CO_2$/ GSMH (kg $CO_2$/2005S)** |
|---|---|---|---|---|
| Türkiye | 283,8 | 3,75 | 2,44 | 0,43 |
| Çin | 8.977,1 | 6,60 | 2,98 | 1,85 |
| Dünya | 32.189,7 | 4,52 | 2,38 | 0,57 |
| Fransa | 315,6 | 4,79 | 1,25 | 0,13 |
| İngiltere | 448,7 | 7,00 | 2,35 | 0,17 |
| Almanya | 759,6 | 9,25 | 2,39 | 0,24 |
| Rusya | 1.543,1 | 10,79 | 2,11 | 1,55 |
| OECD | 12.037,7 | 9,55 | 2,27 | 0,30 |
| ABD | 5.119,7 | 16,18 | 2,34 | 0,35 |

Yine Çizelge 7'den 1. ABD, 2.Rusya olduğu Türkiye'nin ise bu tablonun sonuncusu olduğu görülebilmektedir. Şekil 10'da verilen grafikteki rakamlar bir önceki listedekinden biraz farklı ise de (Çizelge 7'de sadece $CO_2$ verilirken Şekil 10' da toplam sera gazları verilmektedir) sonucun değişmediği görülebilmektedir (URL-6 2017). Burada da ABD ve Kanada'nın birinci, Rusya'nın ise ikinci sırada olduğu görülmektedir. Ülke bazında Çin açık ara birinciliği elinde tutarken, fert başına $CO_2$ salınımında 6,51 ile gerilere düşmekte İspanya ile Portekiz arasında yer almaktadır. Hele bu rakamlara, Brezilya tarafından ortaya atılan ve sanayi öncesi dönemden bu yana atmosfere salınan toplam sera gazı miktarlarını hesaba katan "Tarihi Sorumluluk" rakamları da eklenince, atmosferi en çok kirletenlerin ABD ve AB ülkeleri olduğu görülecektir. Ancak bunun faturasını mavi gezegenimiz ödemekte böceğinden hayvanına, otundan insanoğluna kadar tüm canlılar kalıcı olarak etkilenmektedir. Ancak söz konusu ülkeler bu bedeli üstlenmek bir yana verdikleri zararları diğer ülkelere fatura etmektedirler.




Şekil 10. 2015 yılına ait seçilmiş bazı ülkelerde kişi başına düşen seragazı salım miktarı (URL-6 2017).

ABD yeni başkanı Haziran 2017'de COP 21 Paris İklim Anlaşmasını tanımadığını açıklamış ve temiz kömür üreteceklerini ifade etmiştir. Hâlbuki bu teknik bakımdan imkansızdır. Çünkü kömür ne kadar temiz olursa olsun atmosferi $CO_2$ bakımından kirletmeye devam edecektir ve tersi asla mümkün değildir. Şu apaçık bir gerçektir ki, en çok kirletenler en çok sesi çıkan ülkeler olmuştur ve atmosferdeki $CO_2$ ve sıcaklık artışı da kesintisiz devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

Aykaç, U. 2014. Akışkan Yataklı Hava Bazlı Kömür Yıkama Sistemlerinde Akışkanlaştırma Karakteristiklerinin Kömür-inorganik Madde Ayrımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Climate Change, Synthesis Report, 2014, http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/ (Kasım 2017).

Daily $CO_2$, https://www.co2.earth/daily-co2, (Kasım 2017).

Karyeyen, S. 2016. Geliştirilen Bir Yakıcıda Kömür Gazlarının Yanma Karakteristiklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Kuzoluk, E. 2014. Farklı Miktar ve Özellikteki Kömür Yığınlarının Kendiliğinden Yanma Davranışları, Önlenmesi ve Önceden Tespit Edilmesine bir Örnek; Çayırhan Kömür Stokları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Tamzok, N. 2012. Kömürün Geleceği, http://www.maden.org.tr/resimler, (Kasım 2017).

Tunç, İ. 2015. Yarı Pilot Ölçek Yeraltı Kömür Gazlaştırma Deney Düzeneğinde Malkara Pirinççeşme Kömür Sahasına Ait Blok Kömür Örneklerinin Gazlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

URL-1, 2016. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Taşkömürü Kurumu, Taşkömürü Sektör Raporu, http://www.enerji.gov.tr/ (Kasım 2017).

URL-2, 2016. Türkiye Kömür Madenciliği Sektöründe Sözleşmesel Düzenlemeler, http://www.tepav.org.tr (Kasım 2017).

URL-3, 2007. Kömür Çalışma Grubu Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, www.dektmk.org.tr/upresimler/2007calismagrubu/komur_raporu_304.pdf (Kasım 2017).

URL-4, 2017. http://www.globalcarbonproject.org/meetings/index.htm (Kasım 2017).

URL-5, 2017. https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017 (Kasım 2017).

URL-6, 2017. https://www.iklimhaber.org/2015-yilinda-secilmis-bazi-ulkelerde-kisi-basina-dusen-seragazi-salim-miktari/ (Kasım 2017).

URL-7, 2017. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Faaliyet Raporu 2016, http://www.tki.gov.tr/depo/2017/2016faaliyetraporu.pdf. (Kasım 2017).

# YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE ZARARLI GAZLARIN İZLENMESİ İÇİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI

## *USING OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR MONITORING OF HARMFUL GASES IN UNDERGROUND COAL MINES*

**Arif Emre Dursun**[*], **Hakan Terzioğlu**
*Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya*

**Mevlüt Çalkaya**
*MTA Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya*

**ÖZET** Yeraltı kömür madenlerinde çalışma koşullarının sıcaklık, gaz ve toz gibi parametreler açısından sürekli izlenmesi, riskli durumların gözlenmesi ve önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle, yeraltı kömür ocağındaki hava kalitesi değerlendirmesi yapılırken genellikle sıcaklık, nem oranı, hava akım hızı, metan ($CH_4$), oksijen ($O_2$), kükürtdioksit ($SO_2$), karbondioksit ($CO_2$), hidrojensülfür ($H_2S$), azot oksitler (NOx), karbonmonoksit (CO), hidrojen ($H_2$), azot ($N_2$) gibi parametrelerin analizleri yapılmaktadır. Bu nedenle karmaşık ve tehlikeli maden ortamının sürekli izlenmesi, güvenli bir kömür üretiminin sağlanması için gereklidir. Bunun içinde, günümüzde kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) teknolojisi yeraltı kömür madenlerinde işyeri ortamını ve diğer yönlerini izlemek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada ülkemizde yeraltı kömür madenlerindeki zararlı gazlar, sıcaklık ve nem gibi çevresel parametrelerin KAA teknolojisi ile sürekli izlenmesi için bazı öneriler sunulmuştur. Özellikle $CH_4$ gibi patlayıcı ve CO gibi zehirli gazların konsantrasyonlarındaki ani artışların bu sistemle izlenerek zamanında tespit edilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

**ABSTRACT** In underground coal mines, continuous monitoring of working conditions in terms of parameters such as temperature, gas and dust, observing of risky situations and taking measures are needed. For this reason, while evaluating the air quality in underground coal mine, generally the parameters such as temperature, humidity, airflow speed, methane ($CH_4$), oxygen ($O_2$), sulphur dioxide ($SO_2$), carbon dioxide ($CO_2$), hydrogen sulphur ($H_2S$), nitrogen oxides (NOx), carbon monoxide (CO), hydrogen ($H_2$), nitrogen ($N_2$) are analyzed. Hence, continuous monitoring of the complex and hazardous mine environment is essential for ensuring safe coal production. Nowadays, wireless sensor network (WSN) technique is widely used for monitoring of workplace environment and other aspects in underground coal mines. In this study, some suggestions have been offered for continuous monitoring environmental conditions such as harmful gases, humidity and temperature in underground coal mines using by WSN technique in Turkey. Especially, it has been emphasized that the sudden increases in concentration of explosive gases such as $CH_4$ and poisonous gases such as CO must be monitored with this system in a timely manner.

[*] *aedursun@selcuk.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinde, yeryüzüne yakın kömür ve metal maden yataklarının azalması ve çevre ile ilgili kısıtlamalardan dolayı üreticiler hızla yeraltı madenciliğine yönlenmektedir. Yeraltı madenciliğinde ise doğal ortamdan kaynaklanan ve ocak içerisine yayılan zararlı gazlar, taş ve kömür tozu, sıcaklık, nem gibi birçok faktörün bir araya gelmesiyle zararlı bir ocak havası meydana gelmektedir. Yeraltı kömür madenlerinde çalışma alanlarındaki hava kalitesi, çalışma ortamında bulunan personelin sadece konforu için değil, sağlığı için de büyük önem taşımaktadır. Bu durum çevresel analizlerin, işçi sağlığı ve iş güvenliği prensipleriyle birebir örtüştürülmesinin gerekliliğini gözler önüne sermektedir. Bu ortamlarda yapılacak ortam ölçümlerinin doğruluğu, çalışma bölgesinin temizlenmesi ve yeterli koruma önlemlerinin alınması konusunda işverenlere kolaylık tanımaktadır. Ülkemizde maden ocakları, çevre ve insan sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Maden ocaklarında çalışanların sağlıklarının korunması adına yapılması gerekli ortam ölçümlerinin yeterli düzeyde olmadığı bilinmektedir. Bu durum maden sektöründe çalışan kişilerin meslek hastalıklarına yakalanma riskini arttırmaktadır. Sonuç olarak, kötü havalandırma ve büyük miktarda ısı, nem, zehirli ve patlayıcı gazlar ve toz oluşması nedeniyle daha derinlerdeki madenlerin çevresel durumunu kötüleştirmektedir. Ayrıca artan kömür üretim talebini karşılamak için yüksek mekanizasyon teknolojisini kullanmakta madenlerin çevresel şartlarını bozabilmektedir. Bu nedenle, karmaşık ve tehlikeli yeraltı kömür ocaklarında bu sayılan çevresel koşulların sürekli izlenmesi, madencilerin sağlıklı ve güvenli çalışma koşullarının sağlanması için şarttır. Yeraltı kömür ocaklarında çoğunlukla ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilecek patlayıcı, zehirli ya da boğucu özellikte gaz yayılımları mevcuttur. Bu nedenle yeraltı kömür ocaklarında özellikle $CH_4$, CO, $CO_2$ ve $H_2S$ konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi kritik öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, sıcaklık, nem ve hava hızı gibi havalandırma açısından önem arz eden parametreler ve belirli ocaklarda tehlike yaratabilecek diğer spesifik gazların da sürekli izlenmesine ihtiyaç duyulabilmektedir.

Şimdiye kadar çoğu yer altı kömür madenlerinde çalışma koşullarını izleme teknikleri olarak kablolu iletişim sistemi kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerde, yaşanan bazı aksaklıklar nedeniyle sistemle ilgili bazı sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunlardan dolayı kablolu iletişim sistemine alternatif olarak KAA tekniği kullanılmaya başlanmıştır (Akyıldız vd. 2002). Son yıllarda KAA kullanarak yer altı kömür madenlerinin çevrimiçi izlenmesi yaygın bir uygulama haline gelmiştir (Akyıldız vd. 2002, Queiroz vd. 2017, Yick vd. 2008, Rawat vd. 2014, Baronti vd. 2007). Günümüzde, kablosuz yeraltı algılayıcı ağı, yer altı kömür madenlerindeki işyeri ortamlarının sürekli izlenmesi için gerekli bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır (Akyıldız ve Stuntebeck 2006) ve son dönemlerde özellikle yurtdışındaki madenlerde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik kullanılarak yeraltı kömür ocaklarında uygun yerlere algılayıcı sensörler yerleştirilerek çevresel parametrelerin (maden gazları, hava akımı, nem, sıcaklık) izlenmesi ve ocak içerisinde olabilecek yangın, patlama ve göçük gibi olası tehlikelerin varlığı önceden tespit edilmesi imkânı

sağlanmıştır. (Zhi-zhong vd. 2010). Bu teknolojinin en büyük avantajı tehlikeli yeraltı ocak ortamından yerüstündeki izleme merkezine ihtiyati tedbirler almak için erken uyarı sinyalleri göndermesidir. Ancak, yer altı kömür madenlerinde KAA tekniğinin kullanılmasıyla ilgili birçok zorluk vardır, bu zorluklardan en önemlisi de algılayıcı ağların uygun bir şekilde yerleştirilmesidir (Akyıldız ve Stuntebeck 2006).

Bu çalışmadaki amaç Türkiye'deki yeraltı kömür ocaklarında KAA tekniği kullanarak özellikle $CH_4$, CO, $CO_2$ ve $H_2S$ gibi gazların konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi için taşınabilir sürekli olarak gaz izlenmesi yapılabilen bir sistem geliştirmektir. Bu sistemde gaz algılayıcı bir sensör maden işçilerinin baretlerine yerleştirilerek ocak havasındaki $CH_4$, CO, $CO_2$, ve $H_2S$ gibi gazların konsantrasyonları KAA tekniği ile sürekli izlenerek takip edilerek ocak içerisinde oluşabilecek patlayıcı, zehirli veya boğucu bir havanın oluşmaması için önceden tedbirler alarak çalışanların uyarılması ve bu gazların ocaktan atılması için havalandırma sistemini yeniden kurgulamaları sağlanacaktır.

## 2. OCAK HAVASINDAKİ GAZLAR

Yeraltına gönderilen temiz hava, işyeri çevresindeki cevher, kömür ve kayaç ortamından gelen zararlı gazlar ile birlikte, cevher ile kömürün oksidasyonu sonucu ocak havasına karışan gazlar ve oluşan tozlar nedeniyle kirlenmekte, yeraltında çalışanların solunumu, delme-patlatma işlemleri ve kullanılan çeşitli makinaların çalıştırılması sonucu oksijen miktarı azalmaktadır. Bu şekilde oluşan kirli ocak havası, içerdiği kirleticilerle ve dolayısıyla taşıdığı özelliklere göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (ÇSGB 2011).

*Pis hava:* %20'den daha az oksijen içerir. Bu özelliğe sahip işyerlerinde çalışanlarda kısa süre içinde yorgunluk belirtileri görülür. Bu hava, boğucu özellik gösterdiğinden "boğucu hava" olarak da isimlendirilebilir.

*Zehirli Hava:* Organizmayı fiziksel etkileriyle bozan ve insan hayatı için son derece tehlikeli olan gazları içeren havadır. Bu zehirli gazlar: CO, $H_2S$, azot oksitleri (NO, $NO_2$, $N_2O_3$ ve diğerleri), kükürt dioksit ($SO_2$) ve radon (Ra) gazlarıdır.

*Patlayıcı Hava:* $C_nH_{2n+2}$ genel formülü ile gösterilen $CH_4$, etan ($C_2H_6$), propan ($C_3H_8$), bütan ($C_4H_{10}$) ile hidrojen ($H_2$), CO gibi bütün yanıcı gazları bünyesinde bulunduran havadır. Bunların en önemlisi hidrokarbonlar ve özellikle metan olup, metan ile havanın karışımı madencilikte "grizu" olarak isimlendirilir. Yüksek patlama şiddetine sahip olduğundan madencilerin korkulu rüyasıdır.

*Tozlu Hava:* İçeriğinde taş ve/veya kömür tozu bulunan havadır. Patlayıcı ve sağlığa zararlı özelliklere sahip olabilir. Kömür tozu her iki özelliği de taşır. Taş tozu ise daha çok sağlığa zararlıdır ve genel adı "pnömokonyoz" olan akciğer toz hastalıklarına neden olur.

19.09.2013 tarihli resmi gazetede yayınlanan 28770 sayılı Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde yeraltı kömür ocaklarında çalışma şartlarında hangi önlemler alınacağı ve bazı gazların konsantrasyonlarının sınır değerleri belirlenmiştir. Buna göre; yönetmeliğin EK-3 8.5 inci bendinde "Havasında %19'dan az oksijen, %2'den çok metan, %0.5'ten çok karbondioksit, 50 ppm (%0.005) den çok karbonmonoksit ve diğer tehlikeli gazlar bulunan yerlerde gerekli güvenlik önlemleri alınarak mevcut olan tehlikeyi bertaraf etmek amacıyla önleyici faaliyetler ve kurtarma çalışmaları dışında çalışılmaz. 8 saatlik çalışma için müsaade edilen en yüksek hidrojen sülfür oranı 20 ppm (%0,002)'dir."

$CH_4$ renksiz, kokusuz bir gaz olup, yoğunluğu, 0,716 kg/m$^3$'tür. Havaya göre spesifik ağırlığı 0,554 olduğundan hafiftir ve tavanda toplanır. Hava içinde çok çabuk dağılır. Hava ile karıştığında tekrar ayrılma olanağı yoktur. Zehirli değildir. Dokular üzerinde bir etkisi yoktur. Ancak fazla miktarda metan bulunan havada oksijen oranı düşük kalacağından boğulma olayı görülür. Asıl tehlike metanın yanıcı ve patlayıcı olmasından ileri gelir. Tam yanma metan hava oranının 1/11 olduğu durumda veya %9,5 konsantrasyonda olur. Ancak yanmayı doğuran kaynağın cinsi, şiddeti ve süresi, karbondioksit ve su buharının varlığı, basınç ve galerinin şekli de etkili olduğundan tehlikeli patlama konsantrasyonu %5-15 olarak kabul edilir. Patlama için gerekli sıcaklık 650-750°C'dir (ÇSGB 2003). $CH_4$ konsantrasyonu %5'in altında ise patlama olmaz, yanar. Fakat yüksek sıcaklıkta (100°C'de %5,5, 175°C'de %5, 250°C'de %4,5, 600°C'de %3 konsantrasyonda) patlama olabilir. %15'in üzerindeki konsantrasyonlarda, 0,53 olan yüksek özgül ısı ve oksijen azlığı (%12'nin altında) yüzünden patlama özelliği yok olur. Bu değerler metan-hava karışımına ait sınırlardır. Karışımda başka yanıcı ve patlayıcı gazlar (etan, hidrojen, karbonmonoksit vb.) varsa patlama sınır değerleri değişebilir (ÇSGB 2011).

CO renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Yoğunluğunun havanın yoğunluğuna çok yakın olması nedeniyle ocak havası içinde her noktaya yayılmış şekilde bulunur. Çok düşük konsantrasyonlarda bile zehirleyici etkisi vardır. Maden yangınlarında meydana gelen ölüm olaylarının %90'ından fazlası CO'dan kaynaklanmaktadır. CO'nun insanlar üzerindeki etkisi, kandaki hemoglobin ile birleşmesi ve hemoglobinin dokulara oksijen taşıma kabiliyetini felce uğratmasıyla kendini gösterir. Hemoglobinin CO'ya karşı çekiciliği oksijene göre 250-300 kat fazladır. Bu nedenle solunan havada çok az CO ve yeterli oksijen bulunsa bile kan CO'yu absorbe eder. CO'lu havanın solunmasında önce baş ağrısı, baş dönmesi sonrada bulantı ve halsizlik görülür. Daha ileri safhada (yüksek CO konsantrasyonu veya uzun solunum süresi) denge bozukluğu, kendini kaybetme görülür ve komaya girilir. Sonuç, felç ve ölümdür. Yapay solunum gibi çözümler yararsızdır. Hava içindeki sınır değeri 50 ppm (%0,005)'dir. 200 ppm'e ulaşıldığında tahlisiye cihazı ile çalışılır (ÇSGB 2011).

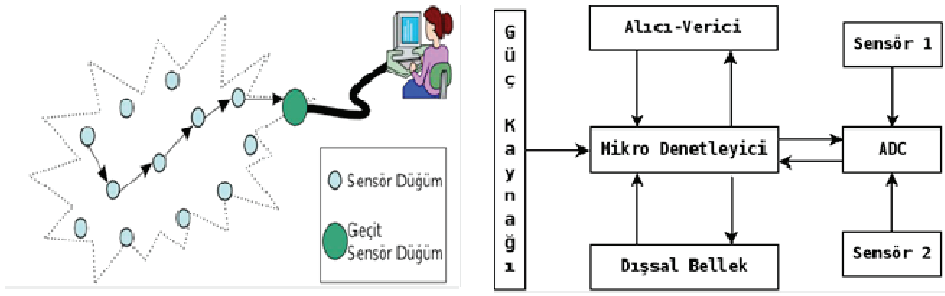
$CO_2$ renksiz, hafif asit kokusu ve tadında olan bir gazdır. Havadan ağır olduğundan ocakta üretim boşluklarının taban kısımlarında toplanır. Göz, ağız ve burun mukozasını tahrip eder. Yüksek konsantrasyonlarda (≥%20) cilt üzerinde yanma etkisi gösterir. Havadaki $CO_2$ miktarı artarsa (%1 veya daha fazla) soluk alma

sıklaşır. %3'lük konsantrasyonda solunum, dinlenme durumuna oranla iki kat artar. Bu durum çalışan bir insan için ölümle sonuçlanabilecek niteliktedir. %5'lik konsantrasyonda solunum 3 kat artar ve zorlaşır. %10'luk konsantrasyonda komaya girilir, zamanla %20-25'e ulaşan konsantrasyonda ölüm kaçınılmazdır. $CO_2$'li hava organizmayı etkilemediği için boğucu hava olarak nitelendirilir. Ocak havasında müsaade edilen maksimum $CO_2$ konsantrasyonu %0,5'tir (ÇSGB 2011).

$H_2S$, çürük yumurta kokusunda, renksiz, yanıcı bir gaz olup hava içerisinde % 6 oranında patlayıcı özelliğe sahiptir, ancak bu konsantrasyonda çok nadir bulunur. Suda çok kolay ve çabuk çözünür. Çok zehirlidir, göz ve solunum yollarını tahriş eder. En düşük oranlarında bile kokusundan saptanabilir. Ancak $H_2S$'li ortamda sürekli olarak kalındığı takdirde burunun koku alma duyarlığı azalır. Havadan ağır olup, ocakta taban kısımlarında bulunur. Emniyet sınırı, 8 saatlik süre için %0,002'dir (ÇSGB 2011).

## 3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

KAA teknolojisi son zamanlarda oldukça gündemde olan ve birçok alanda uygulanabilen yeni bir teknolojidir. KAA kullanılarak ortamla etkileşimli olarak bilgi toplanabilmekte, bu bilgi kolektif bir şekilde değerlendirilebilmekte ve gerektiğinde bilgiye dayalı olarak ortam üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Donanım ve kablosuz sistemlerdeki gelişmeler düşük maliyetli, düşük güç tüketimli, çok işlevli minyatür algılama aygıtlarının üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu aygıtlardan yüzlercesi, binlercesi yardımıyla *ad-hoc* ağlar oluşturulabilmektedir. Örneğin bu aygıtlar geniş bir coğrafyaya dağıtılarak kablosuz, *ad-hoc* bir ağ oluşturulmaktadır. Bu dağıtılan ve ağı oluşturan sensörler işbirliği yaparak bir algılama ağ sistemini (Şekil 1a) oluşturmaktadır. Bir algılayıcı ağı bilgiye her an, her yerden kolayca erişilmesini sağlar. Bu işlevi veriyi toplayarak, işleyerek, çözümleyerek ve yayarak yerine getirir. Böylece ağ, etkin bir şekilde zeki bir ortam oluşmasında rol oynamış olur. Algılayıcı düğümü, kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılan ve hesaplama, algısal bilgi toplama ve ağdaki diğer bağlantılı düğümlerle haberleşme yeteneklerine sahip düğümlerdir. Tipik bir algılayıcı düğümü mimarisi Şekil 1b'de görülebilir. Algılayıcı düğümünün ana bileşenleri (Şekil 1b) mikrodenetleyici, alıcı-verici, dışsal bellek, güç kaynağı ve bir veya daha fazla algılayıcıdır. KAA; geniş bir yelpazede, değişik uygulama alanları için devrimsel algılama özelliği yetenekleri sunmaktadır. Bunun nedeni algılayıcı ağlarının güvenilirlik, doğruluk, esneklik, maliyet verimliliği, kurulum kolaylığı özelliklerine sahip olmasıdır (Kalaycı 2009). KAA, güvenlik ve verimliliği artırmak ve operasyonel maliyetleri düşürmek için yeraltı madenlerinde alternatif olarak kullanılmaktadır (Chehri vd. 2009, Bhattacharjee vd. 2012). Yeraltı madenciliğinde izleme ve iletişim sistemi için Bluetooth, Wi-Fi ve ZigBee teknolojileri en yaygın kullanılan kablosuz algılayıcı ağlardır.




(a) (b)

Şekil 1. Bir algılayıcı ağı (a) ve algılayıcı düğüm mimarisi (b) (Kalaycı 2009).

Çizelge 1'de bazı kablosuz algılayıcı ağ teknolojileri ve bunların özelliklerinin karşılaştırılması görülmektedir (Kawamura vd. 2013, Bandyopadhyay vd. 2009, Bluetooth 2013).

Çizelge 1. ZigBee, Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerinin karşılaştırması.

| Parametreler | Bluetooth | Wi-Fi | ZigBee |
|---|---|---|---|
| Mesafe | 10 m | 50 m | 50-1600 m |
| Genişleme | Yok | Ağın varlığına bağlı | Otomatik |
| Batarya ömrü | Günler | Saatler | Yıllar |
| İletim hızı | 1 Mbps | 1-54 Mbps | 250 Mbps |
| Karmaşıklık | Karmaşık | Çok karmaşık | Basit |
| Ağdaki düğüm sayısı | 8 | 50 | 65535 |

## 4. YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR TEKNOLOJİSİNİN UYGULAMALARI

Yeraltı kömür ocaklarında ocağın çevresel parametrelerinin izlenmesi için son yıllarda KAA tekniği kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, yeraltındaki tehlikeli durumlar düşünüldüğünde kullanılacak elektriksel ve/veya elektronik sistemlerin dâhili güvenlikli ve ex-proof (patlamaya dayanıklı) özellikte olması gerekmektedir. Bu nedenle KAA tekniğinin bu dezavantajlara karşı doğru bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.

Maden ocağında farklı parametreleri izlemek ve tehlikelere karşı her türlü önlem almak madencilik için ana faktördür. Malzeme kaybı ve daha da önemlisi madencilerin can güvenliğini korumak için kablosuz bir sistem geliştirilmesi gerekmektedir. Madenlerde güvenliği ve verimliliği arttırmak için maden içerisinde güvenilir bir iletişim kurmak gerekir. Bunun için de işçiler arasında kurulan sabit bir baz istasyonu olmalıdır. Maden içerisinde, kablolu iletişim yeteri kadar etkili değildir.

Zorlu maden koşullarında iletişim sistemlerinin uzun ömürlü ve güvenilir olmaması her zaman bir sorun oluşturmuştur. Madenlerin iç kısımlarında kurulum ve bakım maliyeti kablolu iletişim ağları için her zaman yüksek olmuştur. Herhangi bir nedenle madenlerin çökmesi sonrasında kablolu haberleşme sistemini yeniden kurmak çok zor olacaktır. Herhangi bir göçük durumunda işçiler ile iletişim sürekliliğini sağlamak için ve maden içinde sıkışmış iseler gerçek konum ve durumlarını belirlemek hayati önem taşımaktadır. Buna göre, maden izleme sistemleri geliştirerek sıcaklık, basınç, yanıcı ve zehirli gaz tespiti ve gerçek zamanlı yeraltını izleme, felaketlerden korunmak açısından oldukça önemlidir (Maity vd. 2012).

Yeraltı kömür ocaklarında uygun yerlere algılayıcı ağlar yerleştirilerek çevresel parametrelerin (maden gazları, hava akımı, nem, sıcaklık) izlenmesi ve ocak içerisinde olabilecek yangın, patlama ve göçük gibi olası tehlikelerin varlığı önceden tespit edilebilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle son yıllarda KAA teknolojisi ile yeraltı maden ocakları izlenmeye başlanmıştır. Bu izleme hem personelin ve ekipmanın izlenmesi hem de tehlike arz eden çevresel koşulların izlenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Yeraltı kömür madenlerinde KAA'ların tipik bir uygulaması Şekil 2'de verilmektedir (Muduli vd. 2018).

Şekil 2. Kablosuz algılayıcı ağlar ile yeraltı kömür madenlerini tipik bir izleme sistemi (Muduli vd. 2018).

Son yıllarda yeraltı kömür madenlerinde KAA teknolojisi ile kömür ocaklarında çalışma ortamında oluşabilecek zararlı gazlar, patlamalar, yangın, göçük, toz, nem, sıcaklık, hava akımı gibi tehlike arz eden durumlar ile personelin ve ekipmanın izlenmesi yapılabilmektedir. Şimdiye kadar yapılan çeşitli çalışmalarda bu parametrelerin sürekli izlenmesi için KAA tekniği kullanılmıştır.

Maden ocaklarında güvenlik sistemleri ile ilgili çalışma gerçekleştiren Qiang vd. (2009) ZigBee tabanlı akıllı sistemi düşünmüşlerdir. Madencilerin baretlerine yerleştirmeyi düşündükleri ZigBee tabanlı KAA'lar sayesinde maden ocağındaki sıcaklık, nem ve metan gazının değerini gerçek zamanlı olarak izleyeceklerini ve kömür üretimindeki potansiyel güvenlik sorunlarının azaltacaklarından bahsetmişlerdir. Çalışmalarının devamında düşük maliyet ve düşük güç ile ZigBee tabanlı KAA sisteminin özgün tasarımı sunulmuştur. Bunu hızlı ve kolay kurulum ile güvenilir bir sistem olarak tanımlamışlardır.

Bazı araştırmacılar yeraltı kömür ocaklarında KAA teknolojisini kullanarak ocaktaki patlayıcı, boğucu ve zehirli gazların izlenmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır (Bai vd. 2007, Zhu vd. 2011, Wang vd. 2008, Kato vd. 2014, Osunmakinde vd. 2013, Zhou vd. 2015). Bunun yanında bazı araştırmacılarda sıcaklık ve nem gibi çalışanların sağlığını olumsuz yönde etkileyen bu iki parametreyi KAA ile sürekli izlemeye çalışmışlardır (Zhao 2016, Chen ve Varshney 2004).

Bazı araştırmacılar ocak yangınlarını KAA tekniği ile izlenmeye çalışmıştır (Bhattacharjee vd. 2012, Muduli vd. 2017). Yeraltı kömür ocaklarında ciddi iş kazalarına neden olan patlamalar (Grizu ve kömür tozu patlaması) sonucu ciddi kayıplar meydana gelmektedir. Bu nedenle grizu patlamalarını önlemek için $CH_4$ gazının belli konsantrasyona ulaşmadan önce belirlenmesi hayati önem arz etmektedir. Son zamanlarda bu durumların önlenmesi için KAA tekniği kullanılarak $CH_4$ gazının konsantrasyonu belli sınır değerleri aşmaması için takip edilmeye çalışılmıştır (Cheng vd. 2015, Niu vd. 2007). Yeraltı kömür ocaklarında büyük kayıplara neden olan göçüklerde bazı araştırmacılar tarafından KAA kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır (Li ve Liu 2009, Hu vd. 2013, Yan vd. 2011).

Yeraltı kömür madenlerinde KAA teknolojisinin en çok uygulandığı alan personel, makine ve ekipman takibidir. Özellikle yeraltında çalışanların güvenliği için madencilerin ve hareketli ekipmanın lokasyonunu belirlemek için KAA teknolojisi kullanılmaktadır. Ayrıca, ocağın güvenliğini sağlamak için yapılan çalışmalarda genellikle havalandırma sisteminin kontrolü, enerji hatlarının kontrolü gibi çalışmaları aksatacak durumları da izlemek için yine bazı araştırmacılar KAA teknolojisinden faydalanmışlardır (Xia vd. 2014, Moridi vd. 2015, Chen vd. 2013, Bandyopadhyay vd. 2009, Xu vd. 2015). Yeraltı kömür ocaklarında KAA'nın en çok kullanıldığı alan personel takip sistemi olmuştur. Çalışanların yeraltındaki konumları izlenerek tehlikeli bir durum ile karşı karşıya kalmamaları için bu sistem ile çalışanlar takip edilmektedir (Liu vd. 2010, Guo vd. 2012, Xu vd. 2012, Chehri vd. 2009, Chen vd. 2008, Wang vd. 2011a, Savic vd. 2013, Pei vd. 2009, Wang vd. 2011b, Akkaş 2018, Qiao vd. 2016, Wang vd. 2010). Ayrıca maden ocağının gözetimi ve güvenliği içinde yine KAA tekniği kullanılmıştır (Yang ve Huang 2007, Kumari ve Om 2016, Zhang vd. 2014).

## 5. YERALTI KÖMÜR OCAKLARINDA GAZ İZLEME SİSTEMLERİ

Gerek yeraltı kömür üretimi gerekse diğer metalik madenlerin üretiminde, eğer ortamda bir gaz geliri riski varsa, bu riski ortadan kaldırmak için gaz izleme ve erken uyarı sistemleri devreye alınmalıdır. Madencilik endüstrisi geliştikçe paralelinde gelişen teknolojik destekle, gaz sensörleri vasıtasıyla ocak içerisinde gazın sürekli kontrolü sağlanmıştır. Özellikle kömür madenciliğinde, grizu patlama riskinin tahmininde ve iş kazalarının azaltılmasında erken uyarı sistemlerinin çalışma koşullarına ve üretime, önemli katkılar sağladığı bilinmektedir (Liu vd. 2013).

Başlangıçta uygulanan ölçüm yöntemlerinde, gazların ölçümünde kullanılan sensörler sabit ve el sensörleri olarak ikiye ayrılmaktadır. El sensörleri; $CH_4$, CO, $CO_2$ $O_2$, $H_2S$ gibi farklı gazları ölçmekte ve gazlar limit değerleri aştığında sesli ve ışıklı alarm vererek sensörü taşıyan kişiyi uyarmaktadır. Sabit sensörler; ise insanlar tarafından taşınması riskli olan kritik noktalara yerleştirilir. Gaz sensörleri belirli bir alanda mevcut çeşitli gazların varlığını saptamak için kullanılır. Sensörler algılanacak gazın konsantrasyonuna bağlı olarak orantılı bir elektriksel tepki verirler. İlk gelişimleri sırasında, gaz artışları başladığında sensör, dijital ekranında gaz seviyelerini göstermekteydi. Fakat daha sonraki yıllarda sensörlerin sadece değer göstermesinin yeterli olmayacağı düşünülerek, sensörler üzerinde sesli ve ışıklı ikaz sistemleri monte edilmiştir. Ayrıca günümüzde, tüm noktalarda bulunan sensörler, "ana izleme merkezi" adı verilen ve yerüstünde bulunan bir merkezde, bilgisayarlar vasıtasıyla izlenecek şekilde tasarlanmıştır.

Genelde ülkemizdeki yeraltı kömür ocaklarında gazların tespiti ocağın belli bölgelerine yerleştirilen sabit sensörler ile veya portatif anlık gaz tespiti yapan ölçüm aletleriyle tespit edilmektedir. Ülkemizdeki mevcut mevzuatta merkezi gaz izleme sistemlerinde kullanılan sensörlerin ocak içerisindeki yerleri kabaca tarif edilmiş olsa da kesit içerisindeki konumla ilgili net bilgiler verilmemektedir. Oysa gelişmiş ülkelerde ölçümlerin yapılacağı yerler ve izleme enstrümanlarının ocak içerisindeki yerleri net olarak tarif edilmektedir. Hâlbuki yeraltı kömür ocaklarında gaz konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi hayati önem taşımaktadır. Kömür ocaklarının her bölgesinde sürekli olarak gazların izlenmesi ve konsantrasyonlarının belirlenmesi için taşınabilir sürekli bir gaz izleme ve erken uyarı sistemine ihtiyaç olduğu görülmektedir. Yeraltı kömür ocaklarında gazların izlenmesinde esas olan, sensörlerin ocak içinde doğru noktalarda ve sensörlerin bulunduğu kesit alanı içinde doğru şekilde konumlandırılmalarıdır. Ayrıca, sensörlerin kalibrasyonu ve sensör ölçümlerinin doğruluklarının kontrolü de önem arz etmektedir. İzlenecek gazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi kullanılacak sensörlerin seçimi ve doğru konumlandırma açısından oldukça önemlidir.

Yeraltı kömür madenlerinde tehlikeli durumların önüne geçebilmek için özellikle yeraltı kömür işletmelerinde ocak yangını, grizu patlaması, zehirlenme veya boğulma vb. tehditlerin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak, işletmelerde sürekli olarak gazların izlenebildiği, kontrol ve erken uyarı sistemlerinin olması gerekliliği ortaya

çıkmaktadır. Bununla birlikte, yeraltı madenciliğinde uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinin kullanımı, elektronikteki gelişmelere bağlı olarak oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin kullanımı çoğu gelişmiş ülkelerde yasal bir zorunluluk haline gelmiştir.

## 6. SONUÇ

Günümüzde yukarıda sayılan riskli durumların önüne geçilebilmesi için özellikle yeraltı kömür işletmelerinde ocak yangını, grizu patlaması, zehirlenme veya boğulma vb. tehditlerin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak, ocaklarda sürekli olarak gazların izlenebildiği, kontrol ve erken uyarı sistemlerinin olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, yeraltı madenciliğinde uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinin kullanımı, elektronikteki gelişmelere bağlı olarak oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin kullanımı çoğu gelişmiş ülkelerde yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Ülkemizde ise 2014 yılında Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde yapılan değişiklik ile sadece personel takip ve izlenmesi sistemleri zorunlu hale gelmiştir. KAA tekniği henüz tek başına ülkemizde veri almak için tam olarak kullanılmamaktadır. Ülkemizde faaliyet gösteren yeraltı kömür işletmeleri personel takibi için KAA tekniği ile birlikte kablolu sistemler ve radyo dalgalarının bir arada kullanıldığı veri alma sistemlerini kurgulamışlardır. Ancak ülkemizdeki ocaklarda şimdiye kadar zararlı gazların KAA tekniği ile izlenmesi ile ilgili henüz net bir çalışma olmamıştır. Ülkemizde gazların sürekli izlenmesi ile ilgili çalışmaların sınırlı oluşu nedeniyle ocak havasındaki CO, $CO_2$, $CH_4$, ve $H_2S$ gibi zararlı gazların sınır değerlerine ulaşmadan önce konsantrasyonlarının kolayca belirlenebilmesi için çalışmalar yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Dünyada ve ülkemizde, özellikle kömür madenlerinde meydana gelen gaz patlamalarının asıl nedeni, ortamdaki gaz konsantrasyonlarının belirlenen sınır değerlerin üzerinde seyrettiğinin zamanında tespit edilememesidir. Bu nedenle az ya da çok miktarda gaz geliri olan yeraltı kömür işletmelerinde, gaz izleme ve erken uyarı sistemlerinin kurulup ocak havasının, madenin ömrü boyunca izlenmesi ve kayıt altına alınması gerekmektedir.

Bu çalışmadaki amaç yeraltı kömür ocaklarında özellikle $CH_4$, CO, $CO_2$ ve $H_2S$ gibi gazların konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi için taşınabilir sürekli olarak gaz izlenmesi yapılabilen bir sistemin geliştirmesinin önemine vurguda bulunmaktır. Genelde ülkemizde sabit veya el sensörleri ile gaz ölçümleri yapılmakta ve bu durumda gazların ani çıkışını ve özellikle işçilerin çalıştığı bölgelerdeki ani gaz degajı algılanamamakta ve ciddi patlamalara neden olmaktadır. Bu çalışmada işçilerin baretlerine ergonomik olarak uygun bir şekilde tasarlanmış bir gaz sensörünün yerleştirilmesi ile ocak havasındaki CO, $CO_2$, $CH_4$, ve $H_2S$ gibi gazların konsantrasyonlarının KAA tekniği ile kolaylıkla belirlenerek yeryüzündeki gaz izleme istasyonuna verilerin aktarılması ile sürekli biz gaz izleme sistemi kurulmuş olacaktır. Böylece ocak içerisinde oluşabilecek patlayıcı, zehirli veya boğucu bir havanın oluşmadan önce tespiti mümkün olacaktır. Bu çalışma ile bu duruma ışık tutularak çalışanların önceden tedbirlerini almaları ve bu gazların ocaktan atılması

için havalandırma sistemini yeniden kurgulamaları gerektiğini ve teknolojik gelişmeler dikkate alınarak üretim ve havalandırma yöntemleri seçilmesinin önemi belirtilmeye çalışılmıştır. Yapılacak araştırmada madencilerin baretleri üzerine yerleştirilecek bir gaz sensörü ile KAA tekniği kullanılarak gazların konsantrasyonları yeryüzündeki izleme merkezinden takip edilerek oluşabilecek patlayıcı, boğucu ve zehirli bir ortamdan önceden haberdar olunarak olabilecek bir kaza önlenmiş olacaktır. Bu sistem sürekli taşınabilir özellikte olacağı için özellikle ani gaz çıkışlarının olduğu lağım atımlarından sonra galerilerde oluşan patlayıcı ve zehirli özelliğe sahip zararlı gazların ve arın ile ayak bölgelerindeki ani metan gazı çıkışını hızlı bir şekilde tespit edilebilecektir. Teknolojik gelişmeler sayesinde ise KAA sistemi ile veriler uygun bir haberleşme sistemi ile ilgili yerlere hemen aktarılacağından zararlı bir gazın varlığı sınır değerlere ulaşmadan tespit edilmiş olacaktır. Böylelikle oluşabilecek bir patlama, zehirlenme veya boğulma gibi tehlikeli bir durumdan kurtulmuş olunacaktır.

## KAYNAKLAR

Akkaş, M.A. 2018. Using Wireless Underground Sensor Networks for Mine and Miner Safety. Wireless Networks, 24, 1, pp. 17-26.

Akyıldız, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E. 2002. Wireless Sensor Networks: a Survey. Computer Networks, 38, 4, pp. 393-422.

Akyildiz, I.F., Stuntebeck, E.P. 2006. Wireless Underground Sensor Networks: Research Challenges. Ad Hoc Networks, 4, 6, pp. 669-686.

Bai, M., Zhao, X., Hou, Z.G., Tan, M. 2007. A Wireless Sensor Network Used in Coal Mines. In IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, pp. 319-323.

Bandyopadhyay, L.K., Chaulya, S.K., Mishra, P.K. 2009. ZigBee Technology: A Unique Wireless Sensor Networking Solution Wireless Communication in Underground Mines, Springer, US, pp. 153-174.

Bandyopadhyay, L.K., Chaulya, S.K., Mishra, P.K., Choure, A., Baveja, B.M. 2009. Wireless Information and Safety System for Mines, Journal of Scientific and Industrial research, 68, 2,107.

Baronti, P., Pillai, P., Chook, V.W.C., Chessa, S., Gotta, A., Hu, Y.F. 2007. Wireless Sensor Networks: A Survey on the State of the Art and the 802.15. 4 and Zigbee Standards. Computer communications, 30, 7, pp. 1655-1695.

Bhattacharjee, S., Roy, P., Ghosh, S., Misra, S., Obaidat, M.S. 2012. Wireless Sensor Network Based Fire Detection, Alarming, Monitoring and Prevention System for Bord and Pillar Coal mines, Journal of Systems and Software, 85, 3, pp. 571-581.

Bluetooth SIG Inc., 2013. Bluetooth Basics. http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx

Chehri, A., Fortier, P., Tardif, P.M. 2009. Uwb-Based Sensor Networks for Localization in Mining Environments, Ad Hoc Networks, 7, 5, pp. 987-1000.

Chen, D., Varshney, P.K. 2004. Qos Support in Wireless Sensor Networks: A Survey, In International Conference on Wireless Networks, 13244, pp. 227-233.

Chen, G.Z., Zhu, Z.C., Zhou, G.B., Shen, C., Sun, Y.J. 2008. Sensor Deployment Strategy for Chain-Type Wireless Underground Mine Sensor Network, Journal of China University of Mining and Technology, 18, 4, pp. 561-566.

Chen, W., Jiang, X., Li, X., Gao, J., Xu, X., Ding, S. 2013. Wireless Sensor Network Nodes Correlation Method in Coal Mine Tunnel based on Bayesian Decision. Measurement, 46, 8, pp. 2335-2340.

Cheng, B., Cheng, X., Chen, J. 2015. Lightweight Monitoring and Control System for Coal Mine Safety Using Rest Style, ISA transactions, 54, pp. 229-239.

ÇSGB, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı 2011. Yeraltı ve Yerüstü Maden Işletmelerinde Iş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi, Yayın no: 43. https://www.csgb.gov.tr/media/6003/2011_43.pdf Erişim Tarihi:Aralık 2017.

Guo, P., Jiang, T., Zhang, K. 2012. Novel Energy Efficient Miner Monitoring System with Duty-Cycled Wireless Sensor Networks, International Journal of Distributed Sensor Networks.

Hu, S., Shu, H., Song, X. 2013. Fisher Information of Mine Collapse Hole Detection based on Sensor Nodes Connectivity, International Journal of Distributed Sensor Networks.

Kalaycı, T.E. 2009. Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamalar. Akademik Bilişim, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

Kawamura, Y., Dewan, A.M., Veenendaal, B., Hayashi, M., Kitahara, I., Nobuhara, H., Ishii, K., 2013. Using GIS to Develop a Mobile Communications Network for Disaster-Damaged Areas. International Journal of Digital Earth, 7, 4, pp. 279-293.

Kumari, S., Om, H. 2016. Authentication Protocol for Wireless Sensor Networks Applications like Safety Monitoring in Coal Mines, Computer Networks, 104, pp. 137-154.

Li, M., Liu, Y. 2009. Underground Coal Mine Monitoring with Wireless Sensor Networks, ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 5, 2, pp. 10.

Liu, Z., Li, C., Wu, D., Dai, W., Geng, S., Ding, Q. 2010. A Wireless Sensor Network based Personnel Positioning Scheme in Coal Mines with Blind Areas, Sensors, 10(11), pp.9891-9918.

Liu, X., Zhao, X., Zhang, Q. 2013. Study on early Warning System of Coal and Gas Outburst, The Open Electrical and Electronic Engineering Journal, 7, s. 116-122.

Mahdavipour, O., Mueller-Sim, T., Fahimi, D., Croshere, S., Pillatsch, P., Merukh, J., Baruffa, V.Z., Sabino, J., Tran, K., Alanis, G. 2015. Wireless Sensors for Automated Control of Total Incombustible Content (tic) of Dust Deposited in Underground Coal Mines. In SENSORS, pp. 1-4, IEEE.

Maity, T., Das, P.S., Mukherjee, M. 2012. A Wireless Surveillance and Safety System for Mine Workers based on Zigbee, Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2012 1st International Conference, Dhanbad, pp. 148-151.

Moridi, M.A., Kawamura, Y., Sharifzadeh, M., Chanda, E.K., Wagner, M., Jang, H., Okawa, H. 2015. Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated Zigbee and Gis, International Journal of Mining Science and Technology, 25, 5, pp. 811-818.

Muduli, L., Jana, PK., Mishra, DP. 2017. Wireless Sensor Network based Fire Monitoring in Underground Coal Mines: A fuzzy logic approach. Process Safety and Environmental Protection.

Muduli, L., Mishra, D.P., Jana, P.K. 2018. Application of Wireless Sensor Network for Environmental Monitoring in Underground Coal Mines: A Systematic Review, Journal of Network and Computer Applications, doi: 10.1016/j.jnca.2017.12.022

Niu, X., Huang, X., Zhao, Z., Zhang, Y., Huang, C., Cui, L. 2007. The Design and Evaluation of a Wireless Sensor Network for Mine Safety Monitoring, In IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), pp. 1291-1295.

Osunmakinde, I.O. 2013. Towards Safety from Toxic Gases in Underground Mines Using Wireless Sensor Networks and Ambient Intelligence. International Journal of Distributed Sensor Networks, 9, 2, pp. 1-15.

Pei, Z., Deng, Z., Xu, S., Xu, X. 2009. Anchor-Free Localization Method for Mobile Targets in Coal Mine Wireless Sensor Networks, Sensors, 9, 4, pp. 2836-2850.

Qiang, C., Ji-Ping, S., Zhe, Z., Fan, Z. 2009. ZigBee Based Intelligent Helmet for Coal Miners, World Congress on Computer Science and Information Engineering, Los Angeles, CA, 3, pp. 433-435.

Qiao, G.Z., Zeng J.C., Zhao, M. 2016. Mobile Wireless Sensor Network Localisation Algorithm for Coal Mine, International Journal of Wireless and Mobile Computing, 10, 1, pp. 68-75.

Queiroz, D.V., Alencar, M.S., Gomes, R.D., Fonseca, I.E., Benavente-Peces, C. 2017. Survey and Systematic Mapping of Industrial Wireless Sensor Networks. Journal of Network and Computer Applications, 97, pp. 96-125.

Rawat, P., Singh, D.P., Chaouchi, H., Bonnin, J.M. 2014. Wireless Sensor Networks: a Survey on Recent Developments and Potential Synergies. The Journal of Supercomputing, 68, 1, pp. 1-48.

Savic, V., Wymeersch, H., Larsson, E.G. 2013. Simultaneous Sensor Localization and Target Tracking in Mine Tunnels, In 16th International Conference on Information Fusion (FUSION), pp. 1427-1433. IEEE.

Xia, X., Chen, Z., Li, D., Li. W. 2014. Proposal for Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Network in Coal Mine Goaf, Wireless personal communications, 77, 3, pp. 1699-1711.

Xu, X., Zheng, P., Li, L., Chen, H., Ye, J., Wang, J. 2012. Design of Underground Miner Positioning System based on Zigbee Technology, In Web Information Systems and Mining, pp. 342-349, Springer.

Xu, J., Yang, W., Zhang, L., Han, R., Shao, X. 2015. Multi-Sensor Detection with Particle Swarm Optimization for Time-Frequency Coded Cooperative WSNS Based on Mc-Cdma for Underground Coal Mines, Sensors, 15, 9, pp. 21134-21152.

Yan, F., Martins, P., Decreusefond, L. 2011. Connectivity-Based Distributed Coverage Hole Detection in Wireless Sensor Networks, In Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Kathmandu, Nepal, pp. 1-6. IEEE.

Yang, W., Huang, Y. 2007. Wireless Sensor Network based Coal Mine Wireless and Integrated Security Monitoring Information System, In Sixth International Conference on Networking (ICN), pp. 13-13. IEEE.

Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D. 2008. Wireless Sensor Network Survey. Computer Networks, 52, 12, pp. 2292-2330.

Wang, X.R., Lizier, J.T., Obst, O., Prokopenko, M., Wang, P. 2008. Spatiotemporal Anomaly Detection in Gas Monitoring Sensor Networks, In Wireless Sensor Networks, pp. 90-105. Springer.

Wang, Y., Huang, L., Yang, W. 2010. A Novel Real-Time Coal Miner Localization and Tracking System based on Self-Organized Sensor Networks, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, (1):1.

Wang, D., Feng, H., Xing, T., Sun, J. 2011a. Optimized Anchor Nodes Placement for Underground Mine Localization System based on Zigbee Technology, In International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), pp. 478-481. IEEE.

Wang, Q., Wang, L., Zhou, R., Jiang, D. 2011b. An Approach of K-Barrier Coverage of WSN for Mine. In Communication Systems and Information Technology, pp. 295-302. Springer.

Zhang, Y., Yang, W., Han, D., Kim, Y. 2014. An Integrated Environment Monitoring System for Underground Coal Mines Wireless Sensor Network Subsystem with Multi-Parameter Monitoring, Sensors, 14, 7, pp. 13149-13170.

Zhao, Q., Zhang, Y., Gao, Y., Ji, Y., Huang, Z. 2016. Mechanism Research and Application on Distributed Optical Fibre Temperature Measurement in Coalmine Goaf Area based on the Sensor Network, International Journal of Sensor Networks, 20, 2, pp. 104-110.

Zhi-zhong, J., Simplot-Ryl, D., Leung, V.C.M. 2010. Ad Hoc Networks: Second International Conference, ADHOCNETS 2010, Victoria, BC, Canada, 49, Springer.

Zhou, G., Zhang, P., Zhu, Z., Xia, S. 2015. Congestion Avoidance for Band-Typed Wireless Sensor Networks in Coal Mine Tunnel, In 2015 International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC), pp. 55-58, IEEE.

Zhu, Z.C., Zhou, G.B., Chen, G.Z. 2011. Chain-Type Wireless Underground Mine Sensor Networks for Gas Monitoring, Advanced Science Letters, 4. 2, pp. 391-399.

# NETCAD/MADİOS MODÜLÜNÜN ÖRNEK BİR MADEN SAHASINA UYGULANMASI

## *APPLICATION OF THE NETCAD/MADIOS MODULE TO AN EXAMPLE MINING AREA*

**Ali Can Özdemir**[*], **Suphi Ural, Ahmet Dağ**
*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**Tunç Emre Toptaş**
*Netcad Yazılım A.Ş., Ankara*
*Gazi Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara*

**Yavuz Töre**
*Netcad Yazılım A. Ş., Ankara*

**ÖZET** Maden sahalarındaki işletme süreçlerinde, belirlenen zaman aralıklarında, gerçekleştirilen açık ocak imalatı haritasının hazırlanması ve hafriyatın hesaplanması, düzenli olarak takip edilmesi, olası jeoteknik risklerin önüne geçilebilmesi için gerçek görüntüler üzerinden sahadaki değişimlerin izlenmesi ve analiz edilebilmesi, günümüz görüntü ve yazılım teknolojilerinin bir arada kullanılması ile mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, Netcad masaüstü, mobil ve web tabanlı bütünleşik maden yazılım teknolojileri kullanılarak Kütahya Ömerler Köyü açık işletmesi kömür sahasında t1 ve t2 zamanlarında drone ile alınan nokta bulut verileri analiz edilmiştir. Böylece belirlenen zaman aralıklarında ne kadar kazı yapıldığı, cevher ve pasa aynalarındaki değişim miktarı, tasarım projesine uygunluk, şev açıları ve basamak genişlikleri ve yüksekliklerindeki olası sorunlar incelenmiştir.

**ABSTRACT** It is possible to prepare the open kiln production map and to calculate the excavation, to follow regularly, to monitor and analyze the changes in the field through real images so that possible geotechnical risks can be avoided in the operating periods of the minefields, at the determined time intervals, by using today's image and software technologies together it is.

In this study, the point cloud data obtained by drone at t1 and t2 times in the coalfield of Kütahya Ömerler village open house were analyzed using Netcad desktop, mobile and web based integrated mine software technologies. Thus, the extent of excavation, the amount of change in ore and pasa mirrors, the suitability of the design project, the slope angles and step widths, and the possible problems in height are investigated.

[*]*acozdemir@cu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Gelişmekte olan teknolojiler ile birlikte birçok mühendislik alanında, ortam analizinin hızlı bir şekilde yapılması ve 3B modellenmesi mümkün hale gelmiştir. Özellikle madencilik uygulamalarında mevcut maden sahasının güncel durumu ve değişimi hakkında hızlı ve doğru bilgi almak oldukça önemlidir. Bu sayede, hem yapılacak olan üretim hem de iş sağlığı ve güvenliği açısından maden sahası takip edilecektir. Ayrıca, müdahale edilmesi veya önlem alınması gereken durumlar tespit edilecektir.

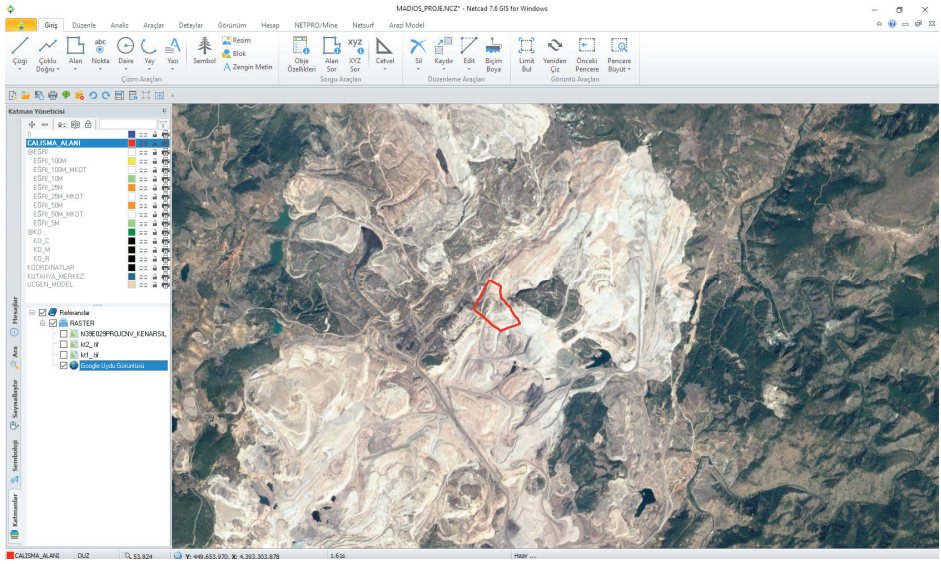
Son zamanlarda nokta bulutu verileri kullanılarak analizler yapabilen yazılımlar geliştirilmektedir. Netcad tarafından geliştirilen Madencilik Üretim İzleme ve Otomasyon Sistemi (MADİOS) bu yazılımlardan birisidir. MADİOS, imalat haritalarının hazırlanması, gerçekleştirilen üretimin takibi, kübaj hesaplamalarının yapılması, sahadaki şev/tasman hareketlerinin incelenmesi ve analiz edilmesi gibi birçok madencilik uygulamasını gerçekleştirmektedir. Ayrıca, masaüstü yazılım teknolojileri kullanılarak üretilen projenin sonuç verileri mobil ve web ortamlarında anlık izlenebilir yapıda yönetilebilir hale getirilmiştir. Bu uygulamalar klasik yöntemlerle ele alındığında hesaplamaların güvenilirliği ve harcanan zaman tartışılmaktadır. Günümüz teknolojisi, sahadan anlık gerçek verilerin elde edilmesini ve bilişim teknolojileri desteği ile bu uygulamaların oldukça kısa sürede ve hassas bir şekilde yapılması imkanını sağlamıştır.

Geçmiş yıllarda, nokta bulutu verisinde yer noktalarının filtrelenmesi ve sayısal arazi modeli oluşturulması, nokta sıklığının ve interpolasyon yönteminin sayısal arazi modeli üzerindeki etkisi ve sayısal arazi model doğruluk değerlendirmesi vb. konular üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. (Axelsson 2010, Sithole ve Vosselman 2004, Meng vd. 2010, Guo vd. 2010, Bater ve Coops 2009, Su ve Bork 2006, Anderson vd. 2005, Lui vd. 2007, Aguilar vd. 2007, Kraus vd. 2006).

Bu çalışmada, Netcad yazılımına ait MADİOS modülünün yetenekleri ve madencilik alanına kazandıracağı yenilikler incelenmiştir. Ayrıca, örnek bir uygulama olması açısından Kütahya Ömerler Köyü açık işletmesi kömür sahasından alınan veriler MADİOS modülü kullanılarak değerlendirilmiş ve kübaj hesaplamaları, tasman analizi, şev açılarının kontrolü sağlanmıştır.

## 2. ÖRNEK UYGULAMA

Çalışma alanı olarak Kütahya İli'nin kuzey batısında Ömerler köyü mevkiinde bulunan GLİ Ömerler Yeraltı ve Açık İşletmesine ait kömür sahası seçilmiştir. MADİOS, Ömerler açık ocak işletmesinde Şekil 1'de görülmekte olan belirli bir alan üzerinde uygulanmıştır. Bu alana ait koordinat bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. MADİOS uygulamasının yapıldığı alan.

Çizelge 1. MADİOS uygulama alanı koordinat bilgileri.

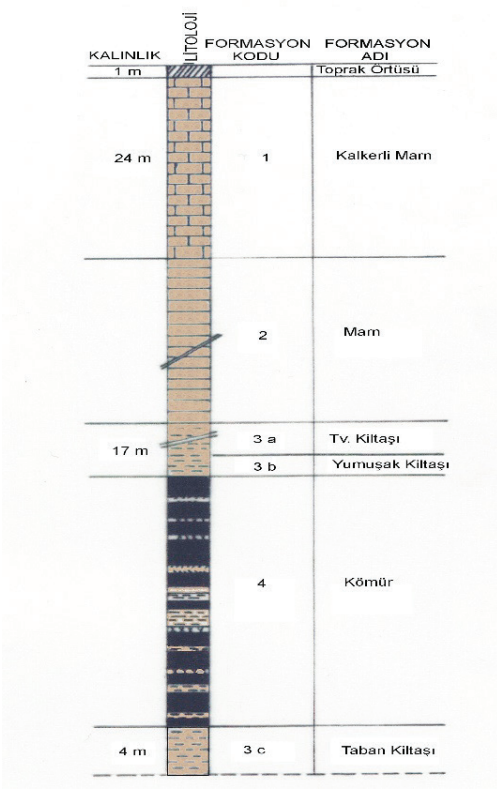
| Nokta No | Y (Doğu) | X (Kuzey) |
|---|---|---|
| 1 | 453560.755 | 4394489.000 |
| 2 | 453747.598 | 4394378.895 |
| 3 | 453727.399 | 4394302.137 |
| 4 | 453750.628 | 4394205.181 |
| 5 | 453900.102 | 4394043.586 |
| 6 | 453903.132 | 4394013.288 |
| 7 | 453955.650 | 4393923.401 |
| 8 | 454006.149 | 4393883.002 |
| 9 | 454048.567 | 4393793.115 |
| 10 | 453945.551 | 4393756.757 |
| 11 | 453911.212 | 4393751.707 |
| 12 | 453817.285 | 4393719.388 |
| 13 | 453740.528 | 4393683.029 |
| 14 | 453683.970 | 4393721.408 |
| 15 | 453655.691 | 4393740.597 |
| 16 | 453616.303 | 4393765.846 |
| 17 | 453529.446 | 4393851.693 |
| 18 | 453458.748 | 4393913.301 |
| 19 | 453377.951 | 4393972.889 |
| 20 | 453322.403 | 4394034.497 |
| 21 | 453475.918 | 4394334.456 |

Tunçbilek kömür havzasının temelini paleozoik yaşlı, metamorfik slot ve kristalize kireçtaşları ile bunun üzerinde diskordan olarak bulunan mesozoik (kretase) yaşlı

serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar teşkil eder. Temel üzerinde diskordan olarak bulunan alt ve ya Tunçbilek serisi, pliosende çökelenlere de üst ve ya Domaniç serisi denir.

Temel üzerinde diskordan olarak bulunan neojeni konglemera ve kumtaşları ile başlar. Bu seviyelerinde ekonomik değeri olmayan merceksel linyit damarları mevcuttur. Bu horizonun üzerinde sırasıyla, içinde ekonomik linyit damarının yer aldığı marn, kalkerli marn ve silisli kalker horizonu yer alır.

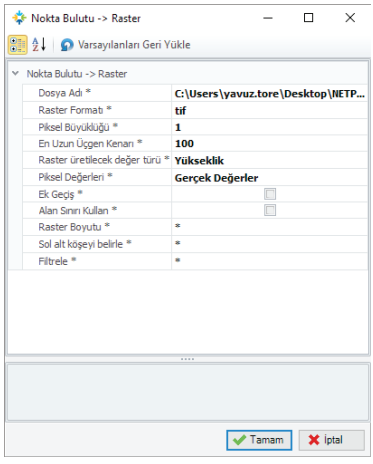
Tunçbilek neojen havzası, epirojenik hareketler sonucunda meydana gelen 10-50 m atımlı normal faylarla bloklara ayrılmıştır. Epirojenik hareketler etkisiyle tabakaların ilk konumları bozulmuş 8-10 derecelik bir eğim kazanmıştır. Tunçbilek havzasında halen işletilmekte olan ana linyit damarının kalınlığı 4-12 m arasında değişmekte olup, ortalama kalınlığı 8 m damar içerisinde muhtelif kalınlıkta ara kesme bulunmaktadır (Aşkın 1999). Şekil 2'de çalışma alanına ait stratigrafik dikme kesit görülmektedir.



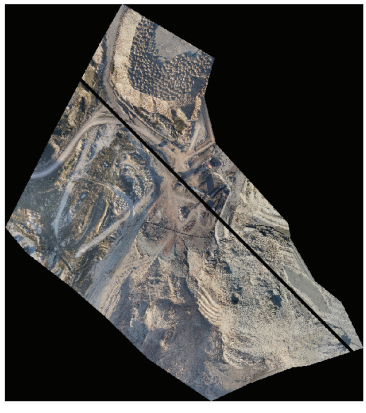

Şekil 2. Çalışma alanına ait stratigrafik dikme kesit.

## 2.1. MADİOS Modülü

Uygulama sırasında, DRONE kullanılarak t1 ve t2 zamanları için nokta bulutu verileri sahadan alınmıştır. Netcad yazılım mimarisi içerisinde bulunan operatörler yardımı ile vektörel nitelikteki Nokta Bulutu verileri raster veriye dönüştürülmektedir. Girdi olarak kullanılan Nokta Bulutu (*las, *laz) verileri, aşağıda görselde belirtilen operatör yardımı ile Raster Formatı, Piksel Büyüklüğü, En Uzun Üçgen Kenarı, Raster Üretilecek Değer Türü vb. parametreler yardımı ile raster veriye dönüştürülmektedir (Şekil 3). Bu şekilde, iki farklı zamanlarda ölçümlerden elde edilen verilerden 3 boyutlu yüzeyler oluşturulmuş ve bu yüzeyler arasında hacim ve konum değişimlerinde kullanılan yöntemlere alternatif nokta bulutu verisinden "Raster" verisi üretilmiştir. (Şekil 4)

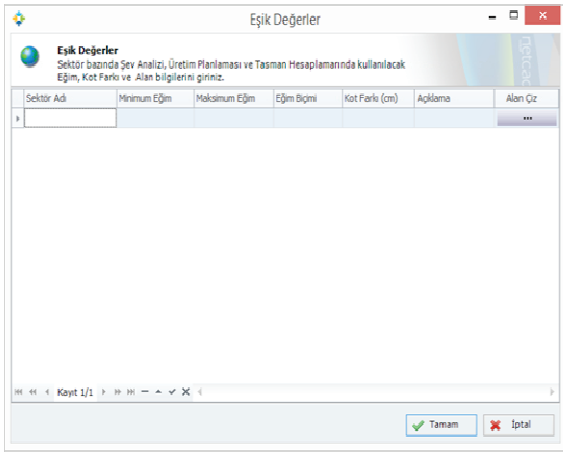



Şekil 3. Nokta Bulutu verisini, Raster veriye dönüştüren operatör.



Şekil 4. Çalışma alanına ait raster veri görüntüsü.

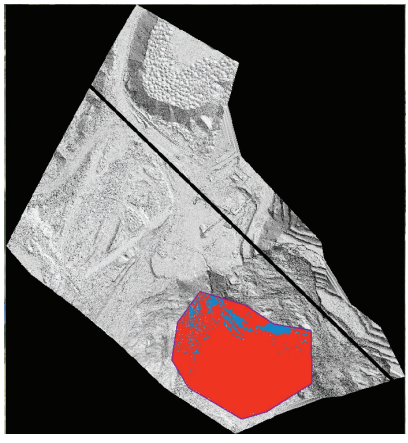
Nokta bulutu verilerinin okutulmasından sonra tasman ve şev analizlerinde kullanılmak üzere uygulama sahasına ilişkin eşik değerlerin girilmesi gerekmektedir (Şekil 5).



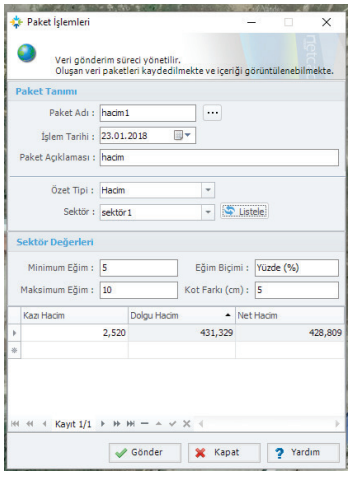

Şekil 5. Tasman ve Şev Analizinde kullanılacak parametrelerin belirlendiği pencere.

### *2.1.1. Kübaj Hesaplamaları*

Farklı iki zamana ait nokta bulutu verileri ve belirli bir sınır kullanılarak hacim hesabı gerçekleştirilmiştir. Hesap sonrası grafik ekran üzerinde kazı ve dolgu alanları farklı tematik renkler ile görüntülenmiştir (Şekil 6). Ayrıca gerçekleştirilen hacim hesabına ait kazı ve dolgu sonuçları editör üzerinde görüntülenmiştir (Şekil 7).



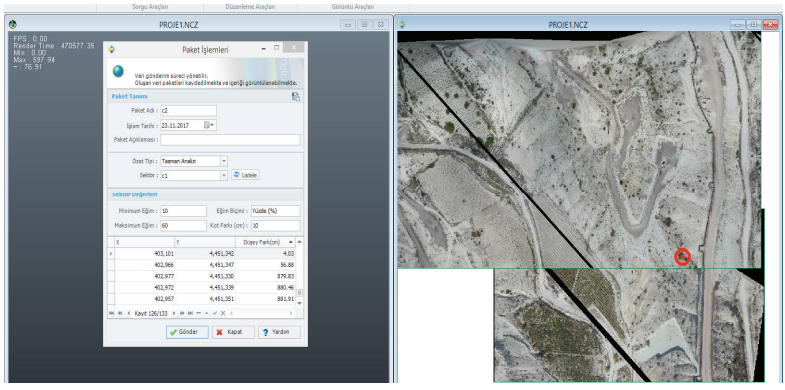
Şekil 6. Kübaj hesabı sonrası üretilen sonuç kazı-dolgu alanları.




Şekil 7. Kübaj hesabı sonrası kazı-dolgu hacim değerleri.

### *2.1.2. Tasman Analizi*

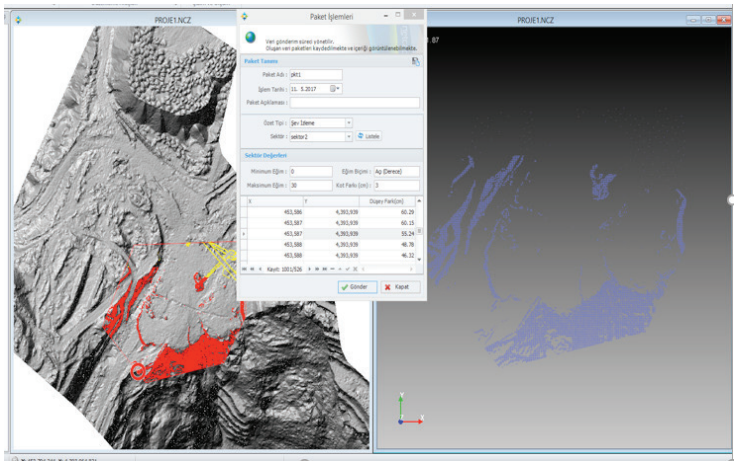
Proje eşik değerler bölümünde belirlenen parametreler kullanılarak bölgeye ait tasman analizi gerçekleştirilmiştir. Eşik değerler penceresinde belirlenen kot farkından daha büyük kot farkındaki değişiklikler noktasal olarak editör ve grafik ekran üzerinde görüntülenmiştir (Şekil 8).




Şekil 8. Tasman analizi sonrasında kot farkının gözlendiği noktalar.

### *2.1.3. Şev Açılarının Kontrolü*

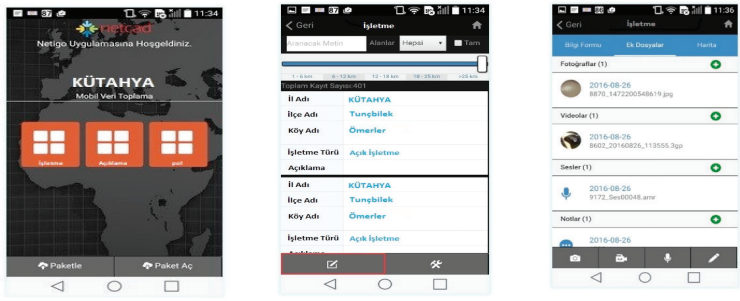
Proje eşik değerler bölümünde belirlenen parametreler kullanılarak bölgeye ait şev analizi gerçekleştirilmiştir. Eşik değerler penceresinde belirlenen minumum maksimum eğim değeri dışında kalan değişiklikler noktasal olarak editör ve grafik ekran üzerinde görüntülenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Şev analizi sonrasında şevlerde değişikliğin olduğu noktalar.

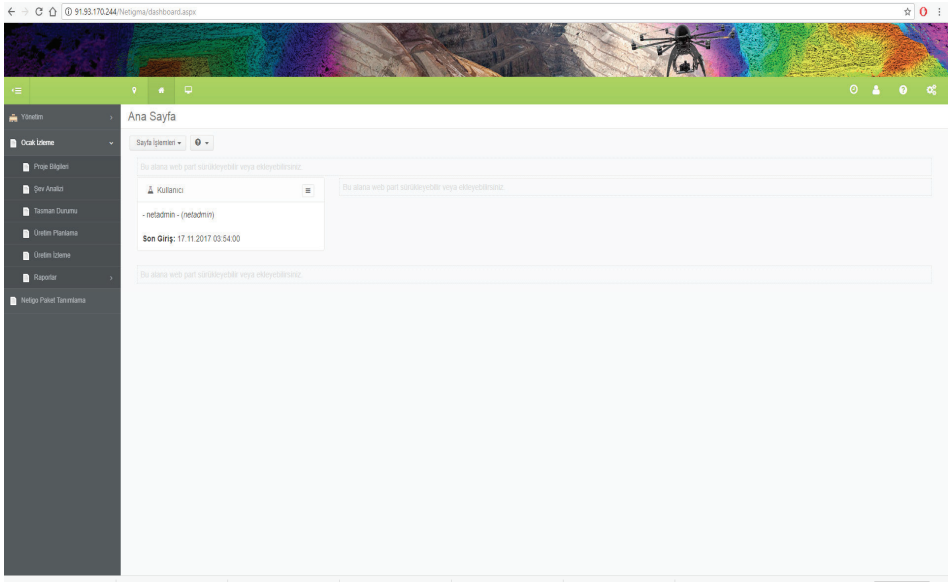
### *2.1.4. Mobil Uygulama*

Mobil uygulama desteği ile gelen proje paketinin içeriğini kullanıcıya göstererek güncelleme imkanı sağlamaktadır. Paketin detayı harita üzerinde görüntülenebilmektedir. Gelen paketin içeriğinin desteklenmesi için metin, ses ve görüntü kaydı alınabilmektedir. Mobil uygulama ile ilgili arayüzler Şekil 10'da görünmektedir.

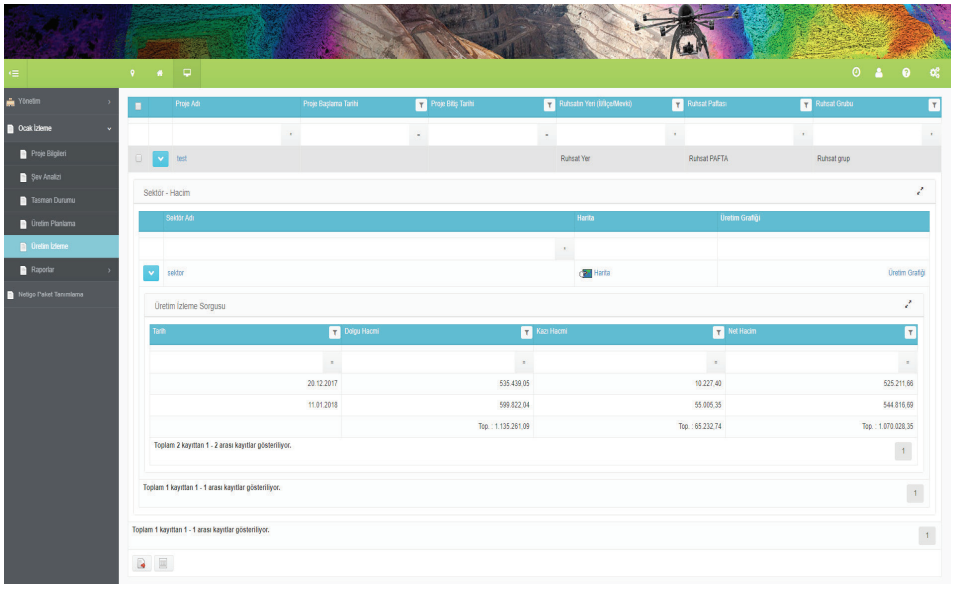



Şekil 10. Mobil uygulama üzerinde görüntülenen arayüzler.

Hacim Hesabı, Tasman Analizi ve Şev Analizi işlemleri sonrasında üretilen sonuçlar Paket Gönder işlemi yardımı ile online olarak web arayüzüne aktarılabilmektedir. Sunucuya bağlanıldığında kontrol eden kişi tarafından sonuçlar sektör bazlı olarak raporlanabilmekte ve grafiksel olarak ve harita üzerinde görüntülenebilmektedir. Proje raporları ve sonuç değerleri web üzerinden anlık olarak izlenebilmektedir (Şekil 11-14). Şev izleme sonrası sunucu üzerinde tespit edilen alarm/uyarı noktalarının web tabanlı harita üzerindeki gösterimi.

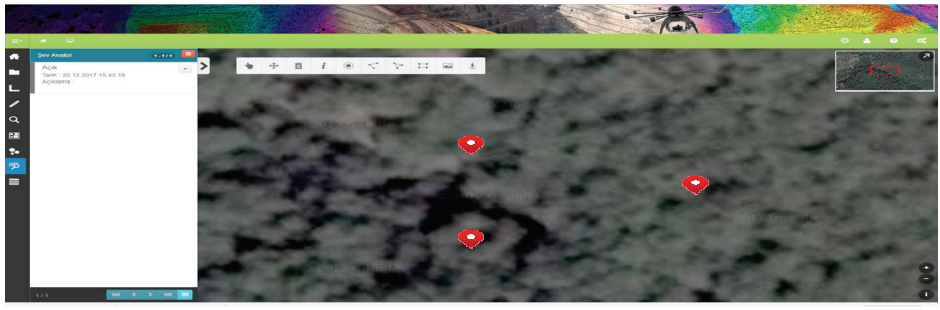



Şekil 11. Web (Netigma) raporlama arayüzü.




Şekil 12. Sektör bazlı hacim sonuçlarının web arayüzünde görüntülenmesi.

Şekil 13. Sektörel bazlı üretim grafiği.




Şekil 14. Alarm/uyarı noktalarının web tabanlı harita üzerinde gösterimi.

## 3. SONUÇLAR

Sonuç olarak, maden işletme süreçlerinin günümüz yazılım teknolojileri ile bütünleşik olarak gerçekleştirilmesi sayesinde daha az iş gücü ile daha kısa zamanda etkin işletme süreçleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca; kullanılan gerçek veriler sayesinde fizibilite sağlanmakta, mobil yazılım yetenekleri sayesinde kaliteli denetim süreçleri periyodik olarak gerçekleşebilir hale gelmektedir. Özellikle büyük ölçekli madenlerde sahanın her noktasını anlık kontrol etmemiz mümkün değildir ancak bu yazılım sayesinde tehlikeleri fark ederek önlemler alınabilir ve olası kazaların önlenebilir.

## KAYNAKLAR

Aguilar, F. J., Aguilar, M. A. ve Agüera, F. 2007. Accuracy Assessment of Digital Elevation Models Using a Non-Parametric Approach, International Journal of Geographical Information Science, 21, 6, pp. 667–686.

Anderson, E. S., Thompson, J. A. ve Austin, R. E. 2005. LIDAR Density and Linear Interpolator Effects on Elevation Estimates. International Journal of Remote Sensing, 26, 18, pp. 3889–3900.

Aşkın, Y. 1999. G.L.İ. Tunçbilek İşletmesinde Uygulanan Yöntemlerin Ekonomik Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. ADANA. s.69

Axelsson, P. E. 2010. DEM Generation From Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models, International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, 33, pp. 85-92.

Bater, C. W. ve Coops, N. C. 2009. Evaluating Error Associated with Lidar-Derived DEM Interpolation, Computers & Geosciences, 35, 2, pp. 289-300.

Guo, Q., Li, W., Yu, H., Alvarez, O., 2010. Effects of Topographic Variability and Lidar Sampling Density on Several DEM Interpolation Methods, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 76, 6, pp. 1–12.

Kraus, K., Karel, W., Briese, C., Mandlburger, G. 2006. Local Accuracy Measures for Digital Terrain Models. The Photogrammetric Record. 21, 116, pp. 342-354.

Lui, X. ve Zhang, Z., Peterson, J., Chandra, S. 2007. The effect of LIDAR Data Density on DEM Accuracy. International Congress on Modelling and Simulation: Land, Water and Environmental Management: Integrated Systems for Sustainability, 10-13 Dec, Christchurch, New Zealand.

Meng, X., Currit, N. ve Zhao, K. 2010. Ground Filtering Algorithms for Airborne LIDAR Data: A Review of Critical Issues. Remote Sensing, 2, pp. 833-860.

Sithole, G. ve Vosselman, G. 2004. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare-Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59, pp. 85-101.

Su, J. ve Bork, E. 2006. Influence of Vegetation, Slope, and Lidar Sampling Angle on DEM Accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72, 11, pp. 1265–1274.

# DÜŞÜK SICAKLIK KOKLAŞTIRMASI VE MANYETİK AYIRMA İLE TEKİRDAĞ KÖMÜRÜNDEN KÜKÜRDÜN UZAKLAŞTIRILMASI

## *REMOVING SULPHUR FROM TEKIRDAG COAL WITH LOW TEMPERATURE COKING AND MAGNETIC SEPARATION*

**Ümit Horasan***
*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**Mustafa Çınar**
*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Çanakkale*

**ÖZET** Linyit kömürleri çevre standartları için yüksek kükürt içeriğine sahiptir. Temiz bir kömürün satış değerini belirleyen kömürün kül, kükürt ve kalorifik değeridir. Bu linyit kömürlerinin sanayide, termik santrallerde ve evsel yakıt olarak kullanılabilmesi için bir takım zenginleştirme işlemlerinden geçmesi teknolojik ve çevresel bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında ülkemizde bulunan Tekirdağ-Malkara linyit kömürleşme derecelerine sahip kömürün düşük sıcaklık koklaştırması ve manyetik ayırma işlemleri ile kalitelerinin artırılarak temiz kömür üretimi amaçlanmıştır. Kömürün sahip olduğu toplam kükürt miktarları yapılan düşük sıcaklık koklaştırmasıyla % 30 oranında uzaklaştırılmıştır. Düşük sıcaklık koklaştırmasını takiben yapılan manyetik ayırma ile % 90 a varan Kükürt uzaklaştırma verimi ve % 1'in altında da kükürt içeriğine sahip düşük kül içerikli temiz kömürler elde edilmiştir.

**ABSTRACT** Lignite coals have high sulphur content for the environment standards. It is the ash, sulphur and calorific rates that determine the sales value of clean coal. It is an environmental and technological necessity to carry out some enrichment processes so that these lignite coals can be used in industry and thermal power plants.

In this study, it aimed to produce clean coal by raising quality of the coal, Tekirdağ-Malkara of coal lignite with the coking in low temperature and magnetic separation processes. The total amount of sulfur in the coal was removed ratio 30% by low temperature coking. Clean coal were produced which Sulphur have content with up to 90% sulfur removal recovery and below 1 % from the coal after low temperature coking followed by magnetic separation.

* *umit.horasan@deu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önemli göstergelerinden birisi enerji üretimidir. Enerji üretiminde, fosil yakıtlar (kömür, bitümlü şeyl, petrol ve doğalgaz) büyük öneme sahiptir (Kural 1991). Kömürün uzun vadeli enerji kullanımında lider enerji kaynağı olmayı sürdürecek olması ve gelişen teknolojiye paralel olarak üretimde artan toz kömür oranı, toz kömürün temizlenmesine ilginin artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle de kömürün daha değerli olması ancak çok daha temiz bir yakıt haline gelmesi ile mümkün olmaktadır (Ateşok 2004, Kemal ve Arslan 1999, Gülsuna 2007). Enerji tüketiminin hızla arttığı günümüz koşullarında, yenilenmeyen bir enerji kaynağı olan linyitlerimizin en iyi şekilde değerlendirilmesi yanı sıra çeşitli prosesler de oluşan toz kömürünün değerlendirilmesi gerekmektedir (Boylu ve Ateşok 1999).

Kömürün yapısında bulunan kül ve kükürt istenmeyen safsızlıkların başında gelmektedir. Kül kömürün ısıl değerini düşürür, nakliye giderini arttırır, koklaştırma, gazlaştırma ve sıvılaştırma işlemlerinde sorun yaratır. Yine aynı şekilde yüksek kükürt içeren kömür yakıldığı zaman atmosferdeki kükürtdioksit ($SO_2$) emisyonları artmakta çevre ve insan sağlığına zarar vermektedir (Hacıfazlıoğlu ve Uçkan 2014). Kömür yakmadan önce düşük sıcaklıkta ısıl işlem uygulandığında, kömürün yapısında bulunan kül ve kükürt uzaklaştırılabilir (Saeid vd. 1993, Renda vd. 2001). Düşük sıcaklık koklaştırmayla hem semi kok üretilmekte hemde uçucu gazlardan arındırılmış temiz kömür üretilmektedir (Bilir 2008).

Kömürdeki kükürt inorganik ve organik olmak üzere iki ana grupta toplanır. İnorganik kükürt kömürün yapısında piritik elemental ve sülfatik kükürt şeklinde olabilmektedir. Piritik kükürt kömürden fizksel yöntemlerle (jig, sallantılı masa, hidrosiklon, flotasyon, ağır ortam siklonu, yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma, Elektrostatik ayırma, Yüksek alan şiddetli kuru manyetik tambur ayırıcısı vb.) uzaklaştırılabilmektedir (Asmatülü 1995), Boyatan 1994, Wencheng 2017). Düşük kalorili kömürden organic sülfürü uzaklaştırmak zordur. Kimyasal yöntemlerle kömürden kükürt uzaklaştırmak daha etkilidir, anacak endüstride uygulamak hem pahalı hem zordur (Ateşok vd. 1998). Ancak, kömür ve piritin manyetik duyarlılıkları arasındaki fark çok azdır ve bilinen manyetik ayırıcılarla ayrılması mümkün değildir. Bu yüzden pirit parçacıklarının yüzeyini demir oksitlere, pyrotite, demir sülfatlara ve manyetite dönüştürmek için buhar veya hava ile ısıtma şeklinde farklı işlemlerin etkisi test edilmiştir. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla kömürün temizlenmesinin teknik olarak mümkün olduğu gösterilmiştir (Çelik ve Yıldırım 2000, Male 1985, Kester 1965).

Bu çalışmada Tekirdağ (Malkara) bölgesi linyit kömürü -1+0,125 mm boyutları arasına getirilen numune (600-550-500 $^oC$) ve (15-30-60 dakika) süresince koklaştırıldıktan sonra yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıda ayrılarak toplam kükürdü uzaklaştırılması amaçlanmıştır**.**

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, Tekirdağ-Malkara bölgelerine ait kömürler kullanılmıştır. Düşük sıcaklık koklaştırılması, -1+0,125 mm numuneler ile çalışmalar yapılmıştır. Yapılan ön çalışmalar doğrultusunda -0,125 mm tane boyutu ısıl işlemle hemen aglomera olduğu için çalışmaya dahil edilmemiştir. Tekirdağ-Malkara bölgelerine ait Linyit kömürlerin standart analiz değerleri Çizelge 1. de orjinal, havada kuru ve kuru kömür bazında sırasıyla verilmiştir. Tüm testler de toplam kükürt miktarı 5E-IRSII Manual IR kükürt analiz cihazı ile tespit edilmiştir.

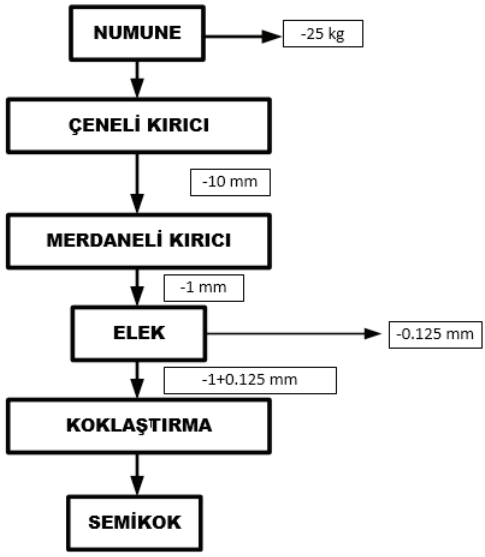
Çizelge 1. Tekirdağ-Malkara numunesinin standart kömür analizi sonuçları.

| İçerik | Orijinal Kömür | Havada Kuru Kömür | Kuru Kömür |
|---|---|---|---|
| Rutubet (%) | 30,06 | 24,20 | - |
| Kül (%) | 6,70 | 7,24 | 9,59 |
| Uçucu madde (%) | 53,28 | 59,81 | 63,81 |
| Sabit karbon (%) | 30,34 | 32,92 | 43,6 |
| Kükürt (%) | 2,83 | 3,07 | 4,05 |
| Alt ısıl değeri (Kcal/kg) | 3886 | 4309 | 5811 |

### 2.1. Isıl İşlem Deneyleri

Düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinde kullanılan retort çelikten yapılmış silindirik bir kap olup, 12 cm çapın da 400 $cm^3$ iç hacmine sahiptir. Düşük Sıçaklık koklaştırma deneylerinde kullanılan kömür numuneleri Şekil 1'de belirtilen akım şemasına uygun olarak hazırlanmıştır.

-1 mm kömür numunesinin 0,125 mm den elenmesi sonrasında elde edilen -1+0,125 mm boyutları arasındaki 400 g'lık havada kuru kömür numuneleriyle öngörülen koklaştırma sıcaklıklarına getirilen (500-550-600 $^oC$) fırın içerisine numune yerleştirilmiş ve önceden belirlenen sürelerde (15-30-60 dakika) fırın içerisinde bekletilmiştir. Koklaştırma süresi bittikten sonra, fırın dışına alınmış ve soğutulmuştur. Soğutma işlemi tamamlandıktan sonra ürünlerden temsili örnekler alınarak toplam uçucu kısım ve toplam kükürt miktarları tespit edilmiştir.




Şekil 1. Semikok hazırlanmasında izlenen yol.

### *2.1.1. Düşük Sıcaklık Koklaştırılmasında Uçucu Kısmın Davranışı*

-1+0,125 mm boyut grubundaki malzemenin düşük sıcaklık koklaştırma yapıldığında uçucu kısmın koklaştırma süresine bağlı olarak değişimi Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'de verilmiştir.

Şekil 2'den görüldüğü gibi Tekirdağ linyit kömüründe uçucu madde çıkışındaki değişimin yaklaşık olarak 550-600 $^{o}$C'de sıcaklıklarda 30 dakika sonunda aynı olmasından dolayı 550 $^{o}$C sıcaklık değeri sonraki bölümlerde verilecek olan manyetik zenginleştirme deneylerin de baz sıcaklık olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinin sonuçları (15 dakika).

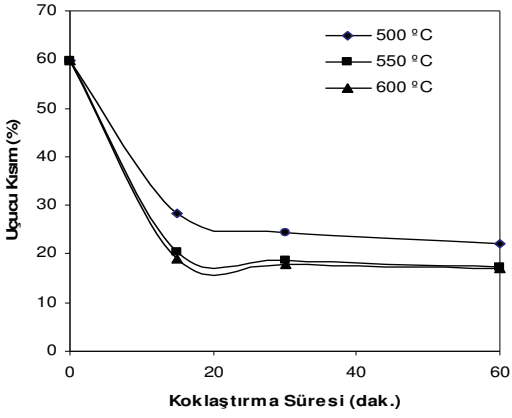
| **Koklaştırma sıcaklığı ($^{o}$C)** | **Kül (%)** | **Uçucu madde (%)** | **Kükürt (%)** | **Uzaklaştırılan kükürt miktarı (%)** |
|---|---|---|---|---|
| Başlangıç | 7,24 | 59,81 | 3,07 | - |
| 500 | 11,10 | 28,34 | 4,01 | 10,49 |
| 550 | 11,52 | 20,45 | 3,64 | 28,10 |
| 600 | 11,63 | 18,88 | 3,62 | 30,35 |

Çizelge 3. Düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinin sonuçları (30 dakika).

| Koklaştırma sıcaklığı (ºC) | Kül (%) | Uçucu madde (%) | Kükürt (%) | Uzaklaştırılan kükürt miktarı (%) |
|---|---|---|---|---|
| Başlangıç | 7,24 | 59,81 | 3,07 | 0 |
| 500 | 11,18 | 24,45 | 4,24 | 10,73 |
| 550 | 11,52 | 18,75 | 3,73 | 28,38 |
| 600 | 11,63 | 17,91 | 3,2 | 29,60 |

Çizelge 4. Düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinin sonuçları (60 dakika).

| Koklaştırma sıcaklığı (ºC) | Kül (%) | Uçucu madde (%) | Kükürt (%) | Uzaklaştırılan kükürt miktarı (%) |
|---|---|---|---|---|
| Başlangıç | 7,24 | 59,81 | 3,07 | - |
| 500 | 11,32 | 22,10 | 3,93 | 20,26 |
| 550 | 11,97 | 17,15 | 3,78 | 29,39 |
| 600 | 12,03 | 17,10 | 3,68 | 31,33 |

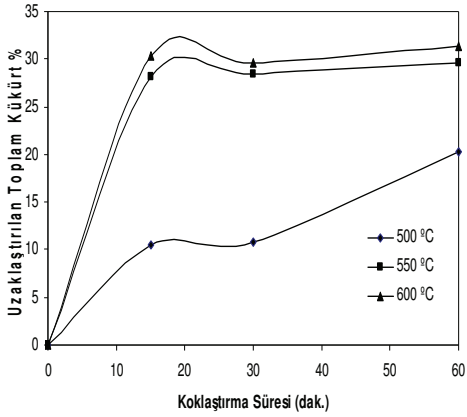



Şekil 2. Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uçucu kısmın davranışı.

### *2.1.2. Düşük Sıcaklık Koklaştırmalarında Kömürdeki Kükürdün Davranışı*

Yapılan düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinde kömürde bulunan yanabilir kükürdün büyük bir bölümünün kömürden uzaklaştırıldığı belirlenmiştir. Linyit kömürünün koklaştırma sıcaklıkları ve sürelere bağlı olarak uzaklaştırılan toplam kükürt miktarına ait sonuçlar Şekil 3. de verilmiştir.

Tekirdağ linyit kömüründen semikok üretimiyle ancak toplam kükürdün yaklaşık % 30 civarında uzaklaştırılabileceği tespit edilmiştir. Optimum toplam kükürt uzaklaştırma sıcaklığı ve süresi sırasıyla 550 ºC ve 30 dakika olarak belirlenmiştir.



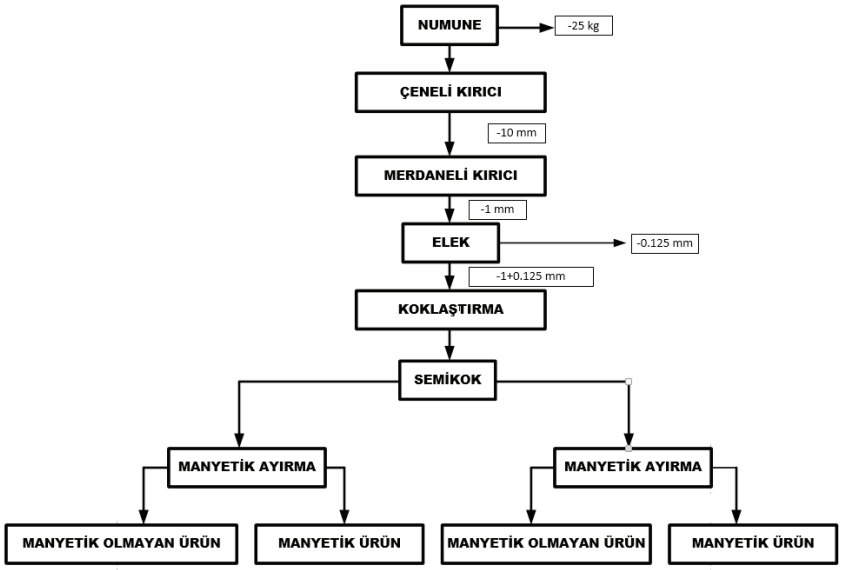

Şekil 3. Kömüründe uzaklaştırılan toplam % kükürt miktarının koklaştırma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak değişimi.

## 2.2. Manyetik Ayırma Deneyleri

Manyetik ayırma deneylerinde kömürden düşük sıcaklık koklaştırması sonrası elde edilen ürünlerden kükürdün uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Kömürde kükürt oluşumuna sebep olan piritin ve kül yapıcı demirli safsızlıkların ayrılması için sabit mıknatıslı AKSA Magnet marka manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Manyetik ayırıcı 13 mm'den 0,075 mm'ye kadar etkin bir ayırma için kullanılabilir. Manyetik ayırıcının manyetik alanı tambur yüzeyinde yaklaşık 10000 Gauss'dur.

Manyetik zenginleştirme deneylerinde kömür numunesi -1+0,125 mm boyutunda farklı sıcaklık ve sürelerde retort içerisinde düşük sıcaklık koklaştırmasıyla semikok haline getirilen numunelerle çalışılmıştır. Fırından çıkarılan numuneler soğutulduktan sonra -0,5 mm'lik elekten elenerek -1+0,5 ve -0,5+0,125 mm boyut gruplarına ayrılarak Rare Earth tipi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Şekil 4'de görülen akım şemasına uygun olarak ürünler alınmıştır.

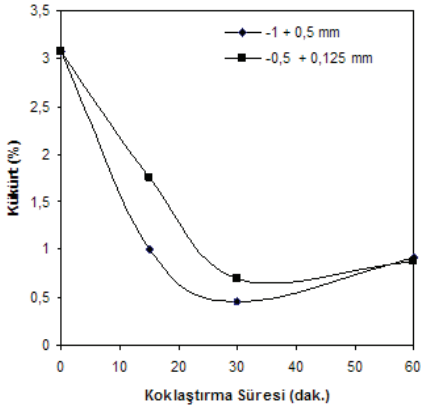
Tekirdağ kömürüyle düşük sıcaklık koklaştırmasıyla elde edilen ürünlere yapılan kimyasal analiz sonucunda kükürt içeriklerinin yeteri kadar düşürülmediği tespit edilmiştir. Bundan dolayı düşük sıcaklık koklaşması takiben (500-550-600 ºC) sıcaklıkta (15-30-60 dakika) da elde edilen ürünlerle manyetik ayırma deneyleri yapılmıştır. Tekirdağ kömürünün koklaştırma işleminin tamamlandığı düşünülen 550 ºC sıcaklıkta 30 dak. süreyle yapılan manyetik ayırma deney sonuçları Çizelge 5.' de görüldüğü gibidir. Tekirdağ kömürü ile 550 ºC'de manyetik olmayan ürünlerdeki kükürt değişimi Şekil 5. de görüldüğü gibidir.




Şekil 4. Yapılan deneysel çalışmaların akım şeması

Çizelge 5. Tekirdağ kömürünün 550 ºC sıcaklıkta 30 dakika süreyle yapılan düşük sıcaklık koklaştırma sonrası yapılan manyetik zenginleştirme deney sonuçları.

| **Boyut (mm) Miktar (%)** | **Ürünler** | **Miktar (%)** | **Kül (%)** | **Kükürt (%)** | **Yanabilir Verim (%)** | **Kükürt Dağılımı (%)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| -1+0,5 (% 46,18) | Manyetik Olmayan | 73,20 | 5,29 | 0,47 | 81,20 | 8,65 |
| | Manyetik | 26,80 | 40,13 | 13,56 | 18,80 | 91,35 |
| | Toplam | 100,00 | 14,63 | 3,97 | 100,00 | 100,00 |
| -0,5+0,125 (% 53,82) | Manyetik Olmayan | 67,96 | 5,48 | 0,76 | 85,53 | 22,14 |
| | Manyetik | 32,04 | 65,22 | 7,28 | 14,47 | 77,86 |
| | Toplam | 100,00 | 24,31 | 2,85 | 100,00 | 100,00 |




Şekil 5. Tekirdağ kömürü ile 550 ºC'de manyetik olmayan ürünlerdeki kükürt değişimi.

## 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde en önemli parametrenin koklaştırma sıcaklığı olduğu görülmüştür. Yüksek uçuculu kömürlerden düşük sıcaklık koklaştırması ile yüksek oranlarda kükürt uzaklaştırılabileceği saptanmıştır. Yine bu kömürlerde yapılan düşük sıcaklık koklaştırma işlemini takiben de manyetik ayırma ile kül ve kükürt içerikleri oldukça düşük temiz kömür konsantrelerinin alınabileceği görülmüştür.

1- Semikok üretimi ile Tekirdağ kömürünün uçucu madde oranı optimum sartlarda % 59,81 den %18,75 düşürülebilmiştir.
2- Tekirdağ kömürüyle düşük sıcaklık koklaştırmasının tamamlandığı sıcaklık olarak seçilen 550 ºC'de 30 dakikalık sürede kükürt'ün yaklaşık % 30'u kömürden uzaklaştırılarak % 3,07 den % 2,15 e düşürülmüştür.
3- Belirlenen optimum ısıl işlem ve süre sonrası elde edilen semikoka manyetik zenginleştirme uygulandığında kükürdün % 85 uzaklaştırılarak % 3,07 den % 0,47 ye düşürülmüştür.Ayrıca kül miktarının da % 27 uzaklaştırılarak % 7,24 den % 5,29'a düşürülmüştür. Külün düşmesinin sebebi manyetik ürün içinde ince bağlar halinde olduğu tahmin edilen inert manyetik minarallerdir.
4- Tekirdağ linyit kömürüne yapılan (düşük sıcaklık koklaştıma + manyetik ayırma) deneyleri ile linyit kömürü havada kuru bazda % 5,29 kül, % 0,47 kükürt, % 18,75 uçucu madde içerikli daha temiz bir toz kömür elde edilmiştir.
5- Böylece üretilmiş olan semikok birçok yerde kullanılabilecek özelliktedir. Örneğin bu semikok belirli oranlar da melas (bağlayıcı) ve kireç (hem bağlayıcı hem bir miktar kükürt tutucu) ile karştırılarak biriket kömür olarak değerlendirilebilir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde düşük sıcaklık koklaştırmasıyla kömürlerin sahip olduğu uçucu madde + nem'in ve toplam kükürt içeriklerinin azaltılması ile temiz kömür elde edilebileceği görülmüştür. Düşük sıcaklık koklaştırmasını takiben yapılacak manyetik ayırma sonrasında ise kömürlerin sahip olduğu kül ve kükürt içeriklerinin daha da azaltılması ile çevre için uyumlu standartlarda bir temiz kömür elde edilebilmektedir.

**KAYNAKLAR**

Asmatülü, R. 1995. İstanbul Bölgesi Kömürlerinin Yarı koklaştırma yoluyla Zenginleştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1-112 s.

Ateşok, G. Perek T., Ünal L. B.1998. Decreasing Of Ash and Sulfur Contents of İstanbul Yenıkoy Region Semicoked Lignite By High Intensity dry Magnetic Separator, Proceedings of the II th Turkısh Coal congress, İstanbul, pp. 1-25.

Ateşok, G. 2004. Kömür hazırlama ve Teknolojisi, Beril Yayıncılık ve Matbaacılık Ltd.Şti., İstanbul, 336 s.

Bilir, K. 2008. Kömürden Piritik Kükürt ve Marnınn Mgs ile Uzaklaştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 1 s.

Boyatan, N. 1994. Değişik Gaz Ortamlarında Pirit Minarallerinin Termal Bozunma Kinetiği, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1-20 s.

Boylu, F., Ateşok, G. 1999. Çevre Dostu Yeni Bir Enerji Hammaddesi: Kömür-Su karışımları, Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Sempozyumu, İstanbul, s. 154, 162.

Çelik, M.S., Yıldırım, I. 2000. A New Physical Process for Desulfurization of Low-Rank Coals. Fuel, 79, pp. 1665-1669.

Çelik, M.S., Yıldırım, I. 2000. The Science and Technology of Coal and Coal Utilization, Plenum Press, USA, pp. 47-124.

Çelik, M.S., 2010. Dry Cleaning of Low-Rank Coals by Low Temperature Carbonization and Magnetic Separation, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 22, pp. 311-322.

Gülsuna, G. 2007. Linyit Kömürü Ara Ürününün Flotasyon ile Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1-19 s.

Hacıfazlıoğlu, H., Uçkan, D. 2014. Ash and Sulfur Removal from Tosya Lignite Coal with Boric Acid Leaching, Mining, 53, 3, pp. 21-29.

Kemal, M., Arslan, V. 1999. Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 1-89 s.

Kester, W.M. 1965, Magnetic Demineralization of Pulverized Coal, Mining Engineering, 17, pp. 72-76.

Kural, O. 1991. Kömür, Kurtiş Matbaa Basım Evi, İstanbul, 524 s.

Saeid, A.M., Butcher, D.A., Rowson, N.A. 1993. Coal Desulphurisation and Ash Removal in Intensified Magnetic Fields, Gordon and Breach Science Publishers S.A. Magnetic and Electrical Separation, 4, pp. 107-116.

Male, S.E. 1985. The Magnetic Beneficiation of Coal, Magnetic Separation News, United Kingdom, pp. 1-48.

Renda, D., Önal, G., Mustafaev, I. 2001. Consecutive Thermomagnetic Beneficiation of Turkish Lignites, Fuel, 80, pp. 641-644.

Wencheng, X. 2017. A Novel and Effective Method for Removing Organic Sulfur from Lowrank Coal, Journal of Cleaner Production, 172, pp. 2708-2710.

# TERMİK SANTRALLERDEN ELDE EDİLEN ARTIKLARIN $CO_2$ GAZINI DEPOLAMA POTANSİYELİNİN MİNERAL KARBONATLAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

# *DETERMINATION OF $CO_2$ SEQUESTRATION POTENTIAL OF TAILINGS OBTAINED FROM THERMAL PLANTS BY MINERAL CARBONATION METHOD*

**Mahmut Altıner***
*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**Ahmet Teymen**
*Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**ÖZET** Mineral karbonatlaştırma yöntemi ile karbondioksit ($CO_2$) gazının inorganik karbonat formunda depolanabilmesi için son yıllarda oldukça fazla çalışma gerçekleştirilmektedir. Kimyasal içeriği bakımından yüksek alkali metal oksit içeren uçucu kül ve desülfürizasyon ünitesinden elde edilen jips artıkları mineral karbonatlaştırma yönteminde hammadde olarak değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada, Soma/Manisa bölgesinden alınan uçucu kül ve Adana'da bulunan Çimento fabrikasının stok sahasından alınan jips artıklarının direk katı-gaz ve sulu mineral karbonatlaştırma yöntemi ile $CO_2$ depolama kapasiteleri araştırılmıştır. XRF, XRD ve SEM analizleri ile deneyler sonunda elde edilen ürünlerin özellikleri belirlenmiştir. Sulu mineral karbonatlaştırma yöntemi ile, jips artıklarından oldukça yüksek saflıkta, kübik kristal yapıya sahip çöktürülmüş kalsiyum karbonat ($CaCO_3$, ÇKK) tanecikleri elde edilmiştir. Kullanılan kimyasala bağlı olarak sodyum sülfat veya amonyum sülfat çözeltisi elde edilmiş, kristalizasyon işlemi ile bu çözeltiler kristalize hale getirilmiştir. Uçucu külün $CO_2$ depolama kapasitesi ise hem kuru hem de sulu mineral karbonatlaştırma sistemi ile araştırılmıştır. Sulu bir şekilde yapılan işlemin daha yüksek verimde gerçekleştiği belirlenmiştir.

**ABSTRACT** Recently, a number of studies have been performed on the sequestration of $CO_2$ in a form of mineral carbonate by a mineral carbonation method. Fly ash and desulfurization gypsum in terms of their chemical compositions can be evaluated as feedstock material in the mineral carbonation. In this study, the $CO_2$ sequestration capacities of fly ash collected from Soma/Manisa and gypsum waste obtained from a Cement Factory in Adana were investigated by dry and aqueous mineral carbonation processes. The properties of each product were determined by XRF, XRD and SEM analyses. Precipitated calcium carbonate ($CaCO_3$, PCC) with high purity and cubic shapes were obtained from gypsum wastes by aqueous mineral carbonation. Depending on chemicals used in the carbonation process, sodium sulphate or ammonium sulphate solution was obtained as a by-product, which was crystallized by the evaporation. The $CO_2$ sequestration capacity of fly ash was determined using both methods. Experimental results indicate that aqueous mineral carbonation of fly ash give more satisfactory results compared to the dry mineral carbonation of fly ash.

* *maltiner@cu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Düşük kalorifik değere sahip linyitlerden termik santrallerde yakma işlemi sonucunda elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir. Yanma işlemi sırasında ise termik santrallerden $SO_x$, $NO_x$ ve $CO_2$ gazlarından oluşan baca gazları atmosfere salınmaktadır. Baca gazının bünyesindeki $SO_x$ gazları desülfürizasyon ünitelerinde inorganik desülfojips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) olarak depolanmaktadır. Ancak, bu işlem sonucunda atmosfere salınan gaz hacimce %10 – 14 karbondioksit ($CO_2$) ve %75 – 80 azot ($N_2$) gazlarının karışımından oluşmaktadır (Lee vd. 2012). $CO_2$ gazı sera gazı etkisi yaratan en önemli gazlardan biridir ve küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır.

İklim değişikliğinin önlenmesi amacıyla insan kaynaklı $CO_2$ gaz konsantrasyonun düşürülmesi için bir dizi önlemler gündeme gelmiştir. Bu önlemlerden en önemlisi Kyoto Protokolü'dür. Bu protokole göre, taraf ülkeler atmosfere salmış oldukları $CO_2$ gaz miktarlarının kontrol altına alınmasını sağlayacak ve belirlenen seviyenin üzerinde salınım gerçekleştirildiğinde ise "*karbon vergisi*" adı altında bir vergi ödemekle yükümlü olacaklardır.

Bu amaçla; son yıllarda insan kaynaklı $CO_2$ gazlarının tutulması ve depolanması ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda uygulanan yöntemler sırasıyla (i) derin jeolojik depolama, (ii) derin okyanusal depolama ve (iii) mineral karbonatlaştırma yöntemi ile inorganik karbonat formunda depolamadır (Arslan 2010, Bang vd. 2014).

Mineral karbonatlaştırma yönteminde kalsiyum veya magnezyum açısından zengin doğal mineraller (Olivin, serpantin, volastonit ve tremolit gibi) ile birlikte endüstriyel yan ürünlerde (uçucu kül, desülfo jips, fosfojips ve çelikhane cürufu) $CO_2$ depolama için hammadde kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak, doğal mineraller atmosferik şartlar altında oldukça kararlıdır ve bu nedenle mineral karbonatlaştırma işlemlerinde oldukça düşük verim elde edilmektedir (Huijgen vd. 2006). Yüksek verimlerde sonuçlar elde etmek için yüksek basınç ve sıcaklık gibi etkenlerin devreye girmesi gereklidir. Ayrıca, mineral karbonatlaştırma için bazı ön cevher hazırlama (üretim, kırma ve öğütme işlemleri gibi) işlemlerinin gerçekleştirilmesi gereklidir. Benzer şekilde endüstriyel atıklardan üretim içinde kullanılacak olan çözücüler oldukça pahalıdır (Huijgen vd. 2007).

Bu işlemler göz önüne alındığında doğal mineraller ve bazı endüstriyel yan ürünlerin $CO_2$ depolanması işlemi için ekonomik bir yöntem olmadığı açıktır. Buna karşın, uçucu kül, desülfojips ve kalsiyum karpit cürufları oldukça ince tane boyut dağılımına sahiptir ve mineral karbonatlaştırma işlemi öncesinde herhangi bir madencilik işleminin uygulanmasına gerek yoktur. Bu çalışma bir ön araştırma niteliğinde olup, uçucu kül ve desülfojips mineral karbonatlaştırma yöntemi ile $CO_2$ depolama potansiyelleri araştırılmıştır. Elde edilen ürünlerin özellikleri ise elektron mikroskop (SEM) ve X-ışını difraksiyon (XRD) analizleri ile incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada kalsiyum açısından zengin olan iki farklı termik santral yan ürünün $CO_2$ depolama potansiyelleri belirlenmiştir. Mineral karbonatlaştırma deneylerinde kullanılan numunelerin isimleri, nereden alındıkları ve kimyasal içerikleri hakkında bilgiler aşağıda listelenmiştir.

1) Desülfojips (DJ), Adana ilinde bulunan özel bir çimento fabrikasının stok sahasından alınmıştır. DJ'in içeriği ise; %32,5 CaO, %46,51% $SO_3$, %0,56 $Al_2O_3$, %0,43 $Fe_2O_3$ ve %19,70 kristal şeklinde bağlı $H_2O$'dur.

2) Uçucu kül (UK), Manisa ilinde bulunan termik santralin stok sahasından alınmıştır. UK'ün kimyasal içeriği; %6,91 $Al_2O_3$, %12,49 $SiO_2$, %11,56 $SO_3$, %0,69 $K_2O$, %59,50 CaO, %3,28 $Fe_2O_3$'dür. Kızdırma kaybı değeri ise %9,81'dir.

### 2.2. Yöntem

Bu çalışmada, iki farklı numune için farklı şekillerde mineral karbonatlaştırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. KKC ve DJ numunelerine özgü olarak gerçekleştirilen deneyler hakkında bilgiler aşağıda listelenmiştir.

1) DJ numunesi için, iki farklı sulu mineral karbonatlaştırma deneyi gerçekleştirilmiştir. DJ atmosferik şartlarda termodinamik açıdan oldukça kararlı bir yan üründür. Bu nedenle, bünyesinde içermiş olduğu kalsiyumun çözünmesi için hesaplanan stokimetrik mol oranında ayrı ayrı NaOH ve $NH_4OH$ ilaveleri yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde katı sıvı oranı 1:9, numune miktarı 50 g, karıştırma hızı 250 dev/dk, $[OH]^-/Ca^{2+}$ mol oranı 2,1 ve $CO_2$ besleme hızı 3 lt/dk olarak sabit tutulmuştur. Bu çalışmada %99,99 saflığa sahip $CO_2$ kullanılmıştır. Bir önceki deneyde de olduğu gibi çözeltinin pH değeri anlık olarak ölçülmüş ve istenilen seviyeye düştüğünde deney sonlandırılmıştır. Katı/sıvı ayrımı yapılarak elde edilen katı tanecikler önceden 105 ˚C'e ayarlanan fırında karekterizasyon testleri için sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Deney sonunda elde edilen çözeltiden ise kontrollü buharlaştırma ile sodyum sülfat ve amonyum sülfat kristalleri elde edilmiştir. Deneyler sırasında gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki eşitliklerde gösterilmektedir.

$$CaSO_42H_2O_{(k)} + 2NaOH_{(s)} + CO_{2(g)} \rightarrow CaCO_{3(k)} + Na_2SO_{4(s)} + H_2O \quad (1)$$

$$CaSO_42H_2O_{(k)} + 2(NH_4)OH_{(s)} + CO_{2(g)} \rightarrow CaCO_{3(k)} + (NH4)_2SO_{4(s)} + H_2O \quad (2)$$

2) UK numunesi kullanılarak iki farklı basınç altında katı-gaz mineral karbonatlaştırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Katı-gaz mineral karbonatlaştırma işlemi öncesinde 20 gr UK numunesi 20 gr su ile ıslatılmıştır. Reaksiyon sırasında suyun varlığı, $CO_2$ gazının çözünmesini ve UK bünyesindeki Ca, Mg, K veya Na ile daha hızlı bir şekilde bağ yapmasını sağlamaktadır. Hacmi 3,5 L olan paslanmaz çelikten yapılmış olan basınca dayanıklı reaktörün basıncı 0,5 Mpa olacak şekilde ayarlanmış ve deney süresi 2 saat olarak belirlenmiştir. Mekanik manometre ile deney süresinde basınç kaybı değeri takip edilmiştir. Deney süresi sona erdiğinde, emniyet valfi kullanılarak reaksiyona girmeyen $CO_2$ gazı daha sonraki deneylerde kullanılmak üzere laboratuvar ölçekli gazometre tankında depolanmıştır. Ayrıca sulu ortamda UK'ün mineral karbonatlaştırma özelliği belirlenmiştir. Bu nedenle; katı oranı %10 olan çözelti 300 dev/dk hız ile karıştırılırken ortama %99,99 saflığa sahip $CO_2$ gazı 5 lt/dk besleme hızında beslenmiştir. Deneyin sonlandırılması için çözeltinin pH değeri kontrol edilmiştir. Her bir deney sonunda elde edilen katı tanecikler karekterizasyon testleri için kurutulmuştur.

### 2.3. Karekterizasyon Testleri

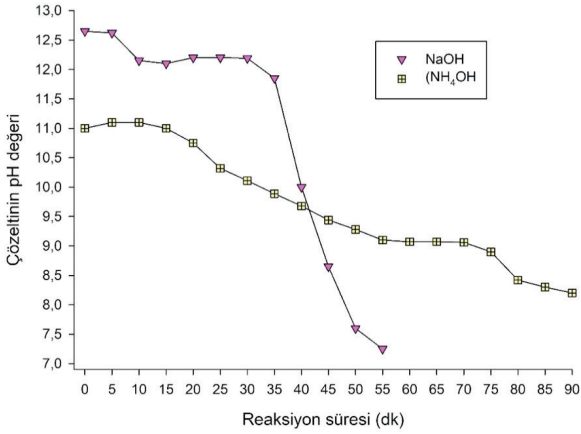
Deney öncesinde ve sonrasında elde edilen numunelerin morfolojik özellikleri, Quanta PEG 650 marka taramalı elektron mikroskopu ile, kristal yapıları Rigaku marka X-Işını difraktometre (XRD) cihazı ile belirlenmiştir. Cu-K radyasyonu kullanılarak 15 ve 85$^o$ aralığında dk'da 2$^o$ tarama hızında taranmıştır. Elde edilen pattern grafikleri PDXL programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Desülfojipsin (DJ) Karbonatlaştırması

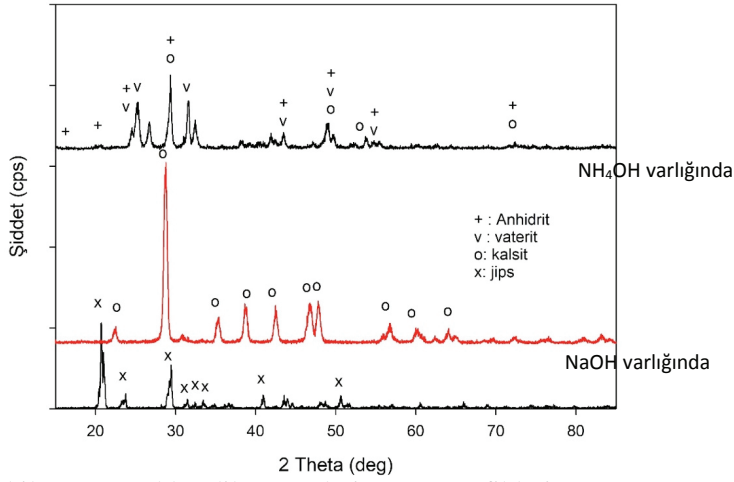
Bir önceki aşamadan farklı olarak, bu aşamada mineral karbonatlaştırma deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi, atmosferik şartlarda DJ termodinamik açıdan oldukça kararlıdır ve su ile çözünmesi çok zordur. Bu nedenle, iki farklı baz kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 3 lt/dk besleme hızında $CO_2$ gazı sisteme beslenirken, çözeltinin pH değişimi Şekil 1'de görülmektedir.

Her iki deneyin pH değerleri birbiri ile kıyaslandığında, NaOH ilave edilerek gerçekleştirilen deneyde başlangıç pH değerinin daha yüksek iken, deney sonunda ise daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı deney şartlarında gerçekleştirilen deneylerde reaksiyon süresi NaOH için 55 dk, $NH_4OH$ için 90 dk olarak belirlenmiştir. Bu durumun deneylerde $[OH]^-$ kaynağı olarak kullanılan bazların gücü ile ilgili olduğu düşünülmektedir. NaOH oldukça kuvvetli bir çözücüdür ve DJ'in içerdiği kalsiyum iyonlarının çözünerek sisteme beslenen $CO_2$ gazları ile bağ yapmasını daha kısa sürede sağlamıştır.



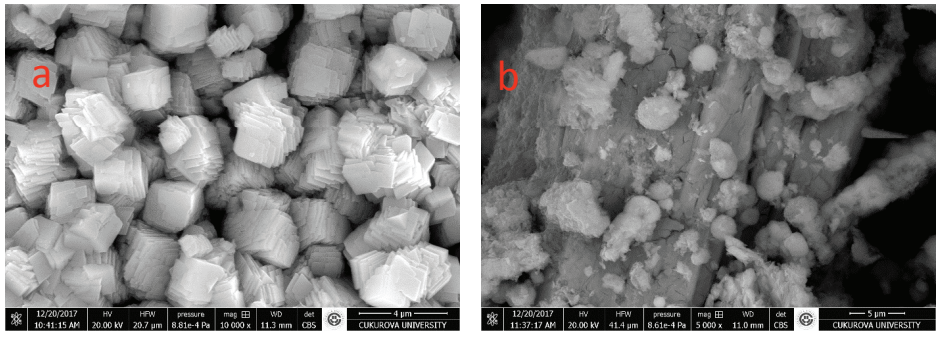

Şekil 1. DJ'nin karbonatlaştırması süresinde zamana bağlı olarak çözeltinin pH değişimi.

Şekil 2, deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin XRD grafiklerini göstermektedir. NaOH varlığında gerçekleştirilen deneyler sonucunda DJ numunesinin tamamı kalsit kristallerine dönüşürken, safsızlık olarak nitelendirilebilecek herhangi bir faz belirlenmemiştir. Buna karşın, $NH_4OH$ varlığında gerçekleştirilen deneylerde tam anlamıyla dönüşüm tamamlanmamıştır. Elde edilen nihai ürün kalsit, vaterit ve anhidrit kristalerinin karışımından oluşmaktadır. Kalsit kristalleri birlikte vaterit kristallerinin oluşmasının nedeni ortamda bulunan $NH_4^+$ iyonlarından kaynaklanmıştır. Elde edilen bu bulgular daha önce gerçekleştirilen çalışma ile uyum içindedir (Lee ve ark., 2016). Anhidrit kristallerinin tespit edilmesi, dönüşümün istenilen verimde gerçekleşmediğine işaret etmektedir. Reaksiyonun tam anlamıyla gerçekleşmesi için ortama daha fazla $NH_4OH$ ilave edilmesi gerektiği kanaati oluşmuştur.




Şekil 2. DJ ve elde edilen ürünlerin XRD grafikleri.

Şekil 3'de deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin SEM görüntüleri verilmiştir. NaOH varlığında elde edilen taneciklerin pürüzsüz, keskin köşeli ve kübik bir morfolojik yapıya sahip kalsit kristalleri olduğu görülmektedir. Buna karşın, yetersiz şekilde eklenen $NH_4OH$ nedeniyle reaksiyonun tamamlamadığı, homojen bir yapıya sahip olmayan ürün elde edilmesinden de anlaşılmaktadır. Küre şeklinde vaterit ve iğnemsi yapıdaki kalsit kristallerinin anhidrit kristallerinin üzerinde dağınık kümeler şeklinde oluştuğu tespit edilmiştir.

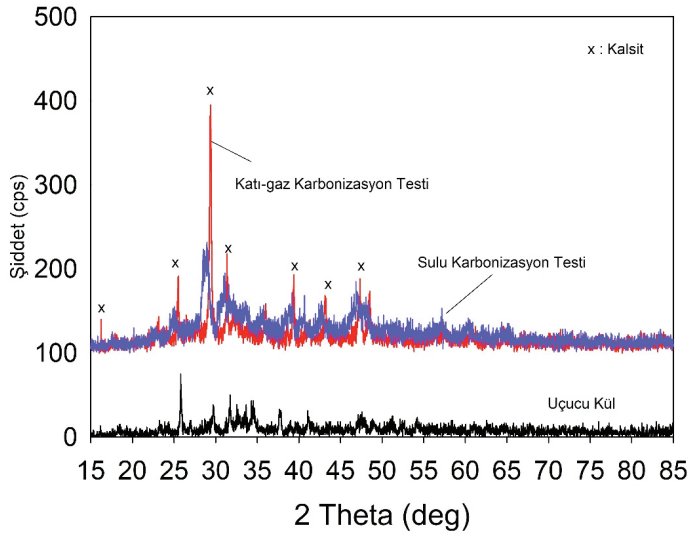



Şekil 3. Elde edilen ürünlerin SEM görüntüleri: a) NaOH varlığında, b) $NH_4OH$ varlığında.

XRD analizine göre (çalışmada verilmeyen); NaOH varlığında gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen kristal taneciklerinin sodyum sülfat minerali olan tenardit olduğu belirlenmiştir. Tenardit minerali, kimyasal özellikleri nedeniyle deterjan, kağıt endüstrisi gibi sektörlerde oldukça çok kullanım alanına sahiptir.

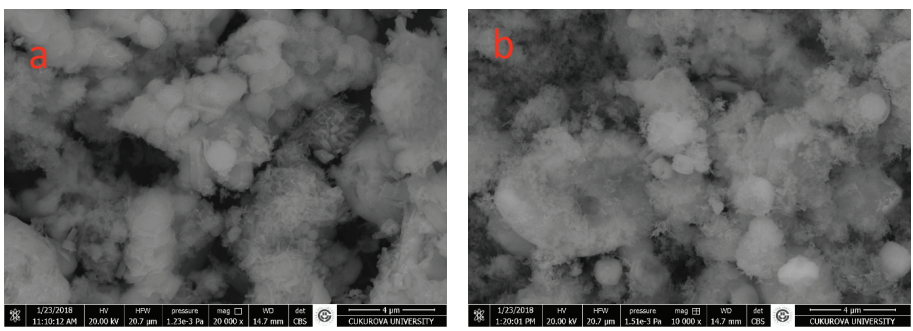
### 3.3. Uçucu küllerin (UK) Karbonizasyonu

Katı – gaz mineral karbonizasyon işlemi sonunda bünyesinde mineral karbonat formunda $CO_2$ depolayan UK'nın kızdırma kaybı değeri %12,97 olarak belirlenmiştir. Sulu işlemde ise bu değer %21 civarındadır. Deney öncesinde ise bu değer %9,81'dir. Bu değerler, sulu karbonizasyon işleminde daha etkili sonuçlar elde edildiğine işaret etmektedir. Şekil 4'de deney öncesi ve sonrası UK'ün kristal yapısındaki değişiklikler görülmektedir. XRD analizine göre, UK'ün içerdiği amorf miktarı oldukça fazladır. Deney sonunda ise; kalsit kristallerini temsil eden şiddetli pik değerleri elde edilmiştir.




Şekil 4. UK ve elde edilen ürünlerin XRD grafikleri.

Şekil 5'de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde, her iki aşamada da elde edilen karbonatlı UK ürünlerinde kübik yapıya sahip kalsit kristalleri tespit edilmiştir. Ancak, katı-gaz mineral karbonatlaştırma işlemi ile yapılan deneyde elde edilen UK'ün içerdiği kalsit kristalleri daha belirgin ve keskin hatlara sahiptir. Sulu sistemde elde edilen kalsit taneciklerini seçebilmek oldukça zordur.




Şekil 5. Karbonatlaştırma deneyi sonucunda elde edilen ürünlere ait SEM görüntüleri, a) Katı-gaz mineral karbonatlaştırma, b) Sulu mineral karbonatlaştırma.

## 4. SONUÇ

Bu çalışma, mineral karbonatlaştırma yöntemi uygulanarak termik santrallerden elde edilen yan ürünlerin $CO_2$ gazını depolama potansiyelinin belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen sonuçlar, alkalinitesi

yüksek yan ürünlerin $CO_2$'in inorganik karbonat formunda depolanabileceğini ortaya koymuştur.

Desülfojips (DJ) kullanılarak saflığı yüksek, homojen tane boyut dağılımına sahip ve morfolojik yapısına göre birçok kullanım alanına sahip çöktürülmüş kalsiyum karbonat (ÇKK) kristalleri elde edilmiştir. Ayrıca; desülfojips ile ÇKK üretimi sırasında kullanılan $[OH]^-$ kaynağına bağlı olarak sodyum veya amonyum sülfat kristal tanecikleri elde edilebilecektir. Türkiye'de nitratlı gübrenin kullanımının da yasaklandığı dikkate alınırsa, bu sistemin oldukça cazip ve ekonomik olduğu görülmektedir. Ayrıca, uçucu kül (UK) çimento ve beton üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir. Literatür incelendiğinde, son yıllarda uçucu kül içeren betonların $CO_2$ depolama kapasiteleri de araştırılmaktadır. $CO_2$ gazının karbonat formuna dönüşerek betonda dolgu maddesi özelliği gösterdiği belirtilmektedir. Bu çalışmada elde edilen karbonatlı UK, eğer istenirse bu şekilde katkı maddesi olarak kullanılabilecek niteliktedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmektedir (Proje No: FBA-2017-7912).

## KAYNAKLAR

Arslan, E.R. 2010. İklim Değişikliği ile Mücadelede Karbondioksit Depolama, Bilim ve Teknik, s. 85-87.

Bang, J.H., Kim, W., Song, K.S., Jeon, C.W., Chae, S.C., Cho, H.J., Jang Y.N., Park, S.J. 2014. Effect of Experimental Parameters on the Carbonate Mineralization with $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ using $CO_2$ Microbubbles, Chemical Engineering Journal, 244, pp. 282-287.

Huijgen, W.J.J., Comans R.N.J., Witkamp, G.J. 2007. Cost Evaluation of $CO_2$ Sequestration by Aqueous Mineral Carbonation, Energy Conversion and Management, 487 pp. 1923-1935.

Huijgen, W.J.J., Witkamp, G.J., Comans, R.N.J. 2006. Mechanisms of Aqueous Wollastonite Carbonation as a Possible CO2 Sequestration Process, Chemical Engineering Science, 6113, pp. 4242-4251.

Lee, M.G., Kang, D., Jo, H., Park, J. 2016. Carbon Dioxide Utilization with Carbonation Using Industrial Waste-Desulfurization Gypsum and Waste Concrete, Journal of Material Cycles and Waste Management, 183, pp. 407-412.

Lee, M.G., Jang, Y.N., Ryu, K.W., Kim, W., Bang, J.H. 2012. Mineral Carbonation of Flue Gas Desulfurization Gypsum for $CO_2$ sequestration, Energy, 471, pp. 370-377.

# COMPREHENSIVE APPROACH FOR THE FAR EASTERN COAL ASH UTILIZATION

## *UZAK DOĞU KÖMÜR KÜLÜ KULLANIMI İÇİN KAPSAMLI YAKLAŞIM*

**I. Ju Rasskazov, A.V. Rasskazova*, A.G. Sekisov, N.M. Litvinova, N.A. Lavrik**

*Mining Institute Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation*

**ABSTRACT** Annual production of fly ash may be as much as 1.5 billion tones globally. A considerable proportion of the total fly ash produced globally may be under-utilized or unutilized. Comprehensive approach for the Far Eastern coal ash utilization is proposed in the article. Combined screening and floatation flowsheet of coal ash processing provides high carbon, intermediate in carbon content and low-carbon fractions. Studies of floatation of unburnt coal have shown that 68 – 75 % carbon extraction was achieved. Carbon content in a flotation concentrate varies from 35 to 39%. Metal-bearing potential of Far Eastern coal were researched by mineralogical method and by scanning electron microscopy (SEM).

**ÖZET** Yıllık uçucu kül üretimi 1.5 milyon ton olabilmektedir. Küresel olarak üretilen toplam uçucu külün önemli bir bölümü kullanılabilmekte veya kullanılamamaktadır. Bu bildiride, uzak doğu kömür külü kullanımı için kapsamlı yaklaşım önerilmektedir. Kömür külü prosesi için birleştirilmiş eleme ve flotasyon akım şemaları yüksek karbon, ara karbon ve düşük karbon fraksiyonları sağlamaktadır. Yanmamış kömürün flotasyon çalışmaları %68-75 karbon kazanımının sağlandığını göstermiştir. Bir flotasyon konsantresi karbon içeriği %35 ile 39 arasında değişmektedir. Uzak doğu kömürünün metal taşıma potansiyeli, mineralojik yöntemler ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile araştırılmıştır.

* *annbot87@mail.ru*

## 1. INTRODUCTION

Power plants produce great amount of coal ash in the Far East of Russian Federation. Power plants of Primorye Territory produce 2.5 – 3.0 million tons of coal ash per year. Khabarovsk Territory landfills up to 1.0 million tons. More than 16 million tons of ash is stored in Khabarovsk coal ash landfill. Russian Federation coal ash landfilling contains more than 1.5 billion t in general. Coal ash wastage is underutilized. Dumps dust, pollute air; some water soluble elements are leached, polluting waters and soils. Utilization of products of coal combustion is one of the most current problems (Cherepanov 2008). The paper is devoted to the study of floatation extraction of an unburnt coal form coal ash of Khabarovsk power plant. Research of metal-bearing potential of brown coal (Sutarsk and Ushumunsk deposits, Jewish autonomous region) is the second direction discussed in the article.

## 2. COAL ASH PROCESSING TECHNOLOGIES

### 2.1. Unburned Carbon in the Bottom Ash and Its Utilization

The research of Business Feasibility for an Integrated Coal Ash Processing Plant (Butcher 2007) demonstrates the viability of processing coal ash. Coal ash can be broken down into several useful by-products. The coarse fraction, known as bottom ash, has been used as a fine aggregate in manufacture of concrete masonry and similar products. The finer material, known as type F fly ash, has been used commercially to replace up to 20% of the Portland cement in concrete.

Traditionally, much of the ash produced by power generation has been used as additives to concrete. The coarse material (+ 100 mesh), known as bottom ash, can be used as a filler in making concrete masonry units and other applications.

The finer material (-100 mesh), known as fly ash, was often used to replace up to 20% of the Portland cement in ready-mix concrete. The long-term strength of the concrete made with such a fly ash substitution was either nearly equal to, or in some cases even greater than concrete made without the ash.

The incoming ash from a landfill or pond is put over a very coarse 6-mesh screen to remove the largest particles and other debris that may have found its way in with the ash. This comprises less than 1% of the material to be treated, but it is desirable to remove it so that it does not interfere with downstream operations.

The material then moves to an attrition scrubber where it is slurried with water and agitated to break apart particles which may be loosely bound together.

From there it is put through a 30-mesh screen. The plus 30-mesh fraction is collected as part of the bottom ash. The minus 30-mesh fraction (the bulk of the material) moves into the flotation process.

In the flotation process, a very small amount of a flotation agent is added to the slurry. Air is also incorporated, and the slurry agitated to create a froth. The flotation agent is generally an oil.

Three streams of material emerge from this process. One is the high carbon (high LOI) fraction. This is put through a filter to mechanically remove as much water as possible and then through a drying process to bring the water content down below 3%. This high carbon stream is one of the end products of the plant.

The second stream emitted from the flotation process is the low-carbon (low LOI) stream. The parameters of the flotation process are adjusted so that this stream consistently meets the specification for Type F fly ash.

The flotation process also produces a third stream of material. This fraction is intermediate in carbon content, too high to qualify as low-carbon type F ash, and too low to be of interest as a fuel or additive for steel making. This intermediate stream is combined with sludge, as, for example, sludge from a paper mill. The mixture is pelletized, dried and fired to about 2200° F, forming a lightweight aggregate.

Researchers from China University of Mining and Technology concluded that under optimal flotation conditions, the performance comparison between the flotation column and the traditional mechanical flotation cell showed that the recovery of unburned carbon in the flotation column was equal to 89.69%, and was 6.5% greater than the recovery in the traditional flotation cell. A flotation column was beneficial for the recovery of fine particles (Xu et al. 2017). Turkish and Canadian scientists examined the influence of dosages collector (kerosene) and frother (AF65) on flotation of unburned carbon from bottom ashes. Factorial design revealed that the most important factor is collector dosage, while the frother has a secondary significance. The effect of impeller (conditioning) speed is also statistically significant. The recovery levels of combustible matter for the concentrates varied from 45.7 % to 84.0% (Sahbaz et al. 2016).

Industrial Scale application of a cyclonic-static microbubble flotation column (FCSMC) for separation of unburned carbon from ash materials is introduced in China. A commercial flotation plant with a handling capacity of 110 ton dry coal fly ash per hour was set up. Using the optimum operational parameters, a clean ash with loss on ignition (LOI) of 3.08% and a removal rate of unburned carbon (RUC) of 80.41 % was obtained. Industrial-scale flotation tests on the circulation pulp pressure demonstrated that the energy input mode and internal recycling process of FCSMC separator was effective in removing unburned carbon from HCFA (Guosheng et al. 2015).

### 2.2. Metal-Bearing Potential of Brown Coal

Metalliferous coals have attracted much attention because the concentrations of rare metals in the ashes of some coals are equal to or higher than those found in

conventional types of rare metal ores (Seredin and Finkelman 2008). V. Seredin demonstrated in his research that coal metal-bearing potential can be successfully realized. Recovery of valuable metals (Al and Ga) from China Jungar coal ash has become true. The research and the resultant pilot plant presented by Seredin demonstrated how important it is to conduct full geochemical analysis of coals, not limited only to toxic or technologically important elements for coal power production.

Another example is the uranium production from coal seams. Uranium production from coals of high U content in the USA and the former USSR brought essential acceleration to the establishment of a nuclear industry in both countries during post-WWII years. However, after discovery of richer and larger uranium deposits in other formations, extraction of uranium from coal has now almost come to a stop (Seredin 2012).

S. Dai with co-authors marked the elevated trace elements contents both in coals and non-coal sediment partings include quartz, kaolinite, and chamosite, as well as interstratified illite/smectite and anatase. China coals (Xinde Mine, near Xuanwei in eastern Yunnan) which is located are enriched with V, Sc, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Zr, Nb, Hf, and Ta (Shifeng 2014).

Similar approach was applied in the process of research of metalliferous potential of brown coal of Far Eastern deposits. Both coal and bearing strata were assayed (Rasskazova 2014).

## 3. RESEARCH OF PROCESSES OF FLOATATION EXTRACTION OF AN UNBURNT COAL

### 3.1. Materials and Methods

Coal ash of Khabarovsk power plant was researched. This coal ash contains 11-14% carbon in average. Floatation experiments were carried out in the laboratory floatation machine with 1-liter cell. Solid: liquid ratio is 1:3. Impeller rotation frequency was 2500 rpm. Pulp aeration was 10 l/min. A foaming agent (pine oil) was constant for all experiments (0,72 kg/t). The floatation collector (kerosene) consumption varied 12,5 – 17,5 kg/t.

Floatation flowsheet including rough and cleaning stages is in Figure 1. Preliminary magnetic separation was applied for magnetite extraction.

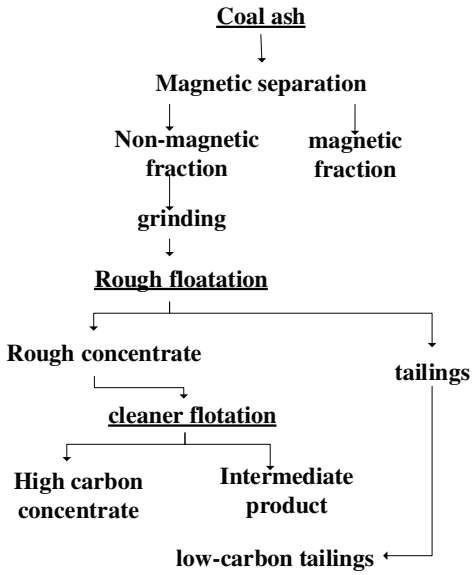



Figure 1. Flowsheet of floatation extraction of unburnt carbon from coal ash.

Water temperature was 40 $^0$C, feed grind size was -0,25 mm, agitation duration was 7 min, duration of the rough and cleaning flotation was 5 min both. Additional reagents were not added for cleaning floatation.

### 3.2. Results and Conclusions

Results of floatation extraction of unburnt carbon from coal ash are presented in Table 1.

Table 1. Results of floatation extraction of an unburnt carbon from coal ash.

| Product | Floatation collector output, kg/ton | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12,5 | | | 15 | | | 17,5 | | |
| | γ[1], % | C[2], % | ε(C)[3], % | γ, % | C, % | ε(C), % | γ, % | C, % | ε(C), % |
| High carbon concentrate | 22,6 | 35,5 | 68,9 | 27,3 | 35,4 | 74,8 | 21,4 | 39,0 | 68,1 |
| Low carbon tailings | 73,0 | 4,4 | 27,7 | 69,7 | 4,3 | 23,4 | 71,8 | 4,3 | 25,3 |
| Intermediate product | 4,4 | 9,2 | 3,4 | 3,0 | 7,8 | 1,8 | 6,8 | 11,8 | 6,6 |
| Summary | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 |

[1] γ – yield, %.
[2] C – carbon content in product of floatation, %.
[3] ε(C) – carbon recovery, %.

Concentrate output varies from 21 to 27%, carbon extraction is 68–75% for concentrate. Carbon content in a flotation concentrate varies from 35 to 39%.

The consumption of floatation reagents for achievement of optimum carbon extraction for unburnt carbon containing in coal ash is higher than for conventional coal floatation. Part of organic carbon in such particles are burnt, carbon is partly integrated with silica-alumina phase. This processes increase ash content in unburnt coal particles and decrease in a share of carbon in comparison with initial coal.

The surface of unburnt particle is intensively oxidized after combustion processes. Mixture of mineral oils and polar collectors for floatation extraction of unburnt particles is the perspective direction of further researches.

## 4. METAL BEARING POTENTIAL OF BROWN COAL

### 4.1. Materials and Methods

The Ushumunsk and Sutarsk brown coal deposits are located in the South of the Far East of Russian Federation, in the Jewish Autonomous Region. Material for a research were samples from a vertical profile of 5 prospecting wells (Sutarsk deposit) and on a vertical profile of operating coal mine of the Ushumunsk deposit. Research of qualitative characteristics of coal was conducted by standardized procedure. Results of coal analysis are presented in Table 2.

Table 2. Results of coal analysis.

| Deposit | Ash content $A^a$, % | Volatile matter $V^a$, % | Coal moisture $W^a$, % | Sulfur content S, % | Calorific value Q, MJ/kg |
|---|---|---|---|---|---|
| Ushumun | 20-23 | 56-58,7 | 30-35 | 0,22-07 | 26,6-27,6 |
| Sutarsk | 29,9-36,6 | 12-27,7 | 30,3 | 0,13-0,56 | 15,6-23,3 |

The qualitative and quantitative element composition of coal was defined by spectral, chemical-spectral, X-ray fluorescence and ICP-MS methods of the analysis. Besides, macroscopic and technological researches (mineralogical description; definition of element and chemical composition; assessment of coal qualitative characteristics), the studying of micro-mineral composition of coal, coal ash and clay minerals was carried out.

Samples of coals, coal ash and clay minerals were powdering for electronic-microscope researches. The electronic and microscopic research of samples was conducted on the raster electronic microscope "EVO 40HV" (Karl Zeiss, Germany) equipped with the power dispersion analyzer "INCA-ENERGY 350". Accelerated current is 20 kV, cathode-ray current ~ 200 picoamperes.

The detector of back dispelled electrons (QBS detector) was used in the process of analysis. By means of the QBS-detector, phases with higher average atomic number are reflected more brightly in comparison with phases with smaller atomic number. As the difference of atomic weights of a matrix and inclusions is great, we have got more contrast images, allowing visual revealing of metal inclusions. The structure of a matrix and the inclusions was compared. Despite of inaccuracies of definition of carbon and hydrogen, micro-mineral phases of metals are defined with feasible accuracy. The power dispersion analyzer "INCA-ENERGY 350" was used to carry out a local quantitative chemical analysis of a sample. Sensitivity of a method makes ~ 0.1 % (wt.). Width of an electron beam is ~ 20-30 nanometers. Depth of its penetration is ~ 1 micron.

### 4.2. Results of the Research of Coal Metal-Bearing Potential

#### *4.2.1. Gravity Concentration*

Coal ash and products of its processing were studied to reveal free gold. Silica-alumina microspheres and unburnt carbon were extracted from coal ash. Then coal ash tailings were divided by magnetic separation (magnetic fraction and non-magnetic fraction). All products were gravity concentrated by gold pan (weight of initial sample is in table 3). Free gold was separated from gold pan gravity concentrate (after sinking in bromoform) by microscope assistance. Weight of extracted free gold is given in Table 3.

Table 3. Results of the reduced mineralogical analysis on gold.

| Sample | Sample weight for gold pan, kg | Weight of extracted gold, mg | Gold yield, ppb |
|---|---|---|---|
| Coal ash | 1 | 0,6 | 600 |
| Magnetic fraction of coal ash processing | 1,249 | 0,56 | 448 |
| Silica-alumina microspheres | 1,129 | 0,46 | 407 |
| Unburnt carbon | 1 | 1,37 | 1370 |
| Non-magnetic fraction of coal ash processing | 1,48 | 1,28 | 865 |

The gold grain size is less than 0,1 mm. The extracted gold grains are presented in the Figure 2.

Figure 2. Gold grains extracted from coal ash.

Size of gold particles is 0,001-0,01, 0,07-0,1 mm grains are rarer. Gold particles forms are cloggy and tabular. Color is yellow, reddish - and green-yellow with black carbon films. Gold grains often contain silver impurities.

### *4.2.2. Scanning Electron Microscopy*

Metal-bearing brown coal and coal ash can have practical importance as the alternate sources of metals. Brown coal of Sutarsk and Ushumunsk deposits, as well as other coal deposits of the Far East, contain rare and rare-earth, noble and ferrous metals. At a comprehensive approach they can be sequentially extracted from coal ashes. The possibility of metal extraction heavily depends on mode of their occurrence and dimension of grains. Metals are localized in various mineral phases in coal ash of the researched deposits. They are presented in oxides, sulfides, carbonates, phosphates, in a native mode of occurrence and as a part of intermetallic compounds. Metal particles are very small (1-30 microns). Gold, silver, copper, bismuth, iron, titanium, tungsten, zinc, barium, alloy of rare earths (cerium - lanthanum - neodymium) are found in native mode of occurrence.

Three coal layers of Ushumunsk suite are investigated; thickness of seams is 3.5; 0.7 and 0.5 m. Brown coal ash (produced by laboratory coal combustion, t=800 ºC) of the Ushumunsk deposit contain on average: Au 0.4 ppm, Pt 0.11 ppm; Ag 0.25 ppm, W 124 ppm; Sb 33 ppm; Nb 14 ppm; Ge 2 ppm; Ga 32 ppm; Y 235 ppm; Yb 6 ppm; Zr 273 ppm; Sc 36 ppm; Rb 127 ppm; V 145 ppm; Sr 848 ppm; Cu 278 ppm; Cr 102 ppm; Ba 2211 ppm; Co 193 ppm; Hg 21 ppm, Fe 4.6 % (Rasskazova et al. 2014).

Coal ash of Sutarsk deposit contain by results of the spectral and X-ray fluorescence analysis (on average): Au 0.37 ppm; Pt 0.084 ppm; Pd 0.03 ppm; Ag 1.1 ppm; Ti 3953 ppm; V 76 ppm; Cr 90 ppm; Mn 745 ppm; Co 49 ppm; Ni 26 ppm; Cu 180 ppm; Zn 47 ppm; As 36 ppm; Rb 136 ppm; Sr 1107 ppm; Zr 339 ppm; Sn 10 ppm; Sb 15 ppm; Ba 863 ppm; W 76 ppm; Hg 42 ppm; Pb 48 ppm; Bi 0.7 ppm; Li 14 ppm; Ge 6 ppm, Fe 4.2 % (Lavrik et al. 2011).

Some rare-earth metals (Ce, La, Nd, Y, Gd, Dy, etc.) are found in coal and coal ash of these deposits. Their summary content in coal ash makes about 300 ppm for each of deposits by results of ICP-MS (Rasskazova et al. 2014).

Native mode of occurrence of iron, nickel, tungsten, zinc, silver, barium (?), intermetallic compounds (Cr-Fe, Fe-Ti, Al-Cu-Ag) and Nd-La-Ce-Si-P alloys are found in Ushumunsk brown coal deposit. Native mode of occurrence of iron, gold, silver, titanium, zinc, bismuth, intermetallic compounds (Fe-Cr-Cu, Cu-Zn) are found in coal and coal ash of Sutarsk deposit.

*Rare-earth metals (Ce, La, Nd):* Native rare-earth metals are found in Kola superdeep well and in the form of microfilms on crystals of the Brazilian diamonds (Lyutoyev and Filippov, 2005). One isomeric grain (a rounded dipyramid) of unusual structure – natural Ce-La-Nd alloy (?) with phosphorus, silicon, aluminum and thorium (their distribution in a crystal is nonuniformly) is found in coals of Ushumunsk deposit (Figure 3). Content of rare-earth metals makes up to 83% (weight). Usually all rare-earth metals are localized in coals and clay minerals of Ushumunsk deposit as a part of a turnerite as single grains and accumulations of 1-8 microns. The structure of turnerite is changeable. Silicates like cerite and a thalenite are less often found in a form of the tabular and lamellar joints.

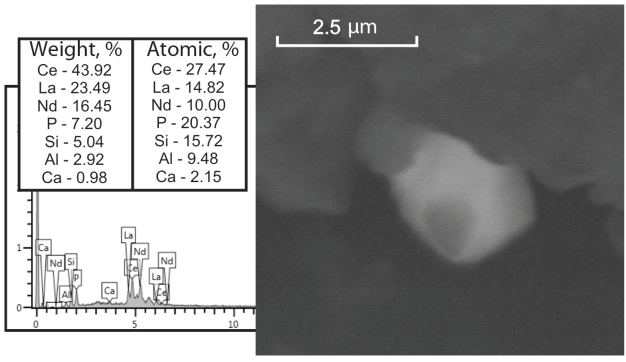



Figure 3. Isomeric (dipyramidal) grain of natural alloy (?) Nd-La-Ce-P-Si with a non-uniform distribution of impurities in brown coals of Ushumunsk deposit.

Marcasite, melanterite, barite, intermetallic Cr-Fe compound, zircon, a turnerite, native Zn, iron oxides – wustite and hematite are found in association with natural alloy of rare-earth metals in the sample.

*Silver (Ag):* Native silver is found only in 3 coal samples and coal clay. Copper impurities are observed in all cases as Ag:Cu=10:1 atomic ratio. Native silver is observed in the form of cubic or lamellar crystals in intergrowth with anorthoclase in clay. In coals native silver is located in the form of rounded ribbed grain (3 microns) and oblong prismatic (or barrel-shaped) grains with uneven surface. The structure of

the latter association is more complex; it also contains aluminum except copper. The atomic ratio of metals is Ag (10): Al (5): Cu (1). Silver grains are apparently covered with cerargyrite (AgCl) as a surface coating. Barium sulfide and barite with strontium and arsenopyrite impurities are noted in association with native silver in samples.

*Gold (Au):* Fine-grained (from submicrons up to 3-5 microns) native gold is found in coal and coal ash in the form of single spherical and irregular-shaped grains, friable aggregations. Similar forms are characteristic also for gold macro-formations. Gold contains Ag and Fe impurities. In certain cases, gold is found in the coal ash lumps of the complex composition (Fe-Zr-Cr-W-Ti) of nano-size. Turnerite, fibrous grains of Cr-Fe intermetallic compound; barite (in coal), sphalerite, zincite, strontianite, xenotime, titaniferous magnetite, bismite are noted in coal ash together with native gold in samples.

Native elements (Fe, Ti, Ni, Bi, W, Zn, Cu, Au, Ag, Ba) and intermetallic compounds or alloys (Fe-Cr, Fe-Cr-Cu, Fe-Ti, Cu-Zn, Ce-La-Nd-P-Si) are found in micromineral mode in coal, coal ashes and the clay minerals of Ushumunsk and Sutarsk deposits.

## 5. CONCLUSIONS

Nowadays great amounts of coal ash are underutilized. Coal ash damps pollute environment. Comprehensive approach for the Far Eastern coal ash utilization includes coal ash separation to three fractions with different carbon content and use of metal-bearing potential of coal ash.

Combined screening and floatation flowsheet of coal ash processing provides high carbon, intermediate in carbon content and low-carbon fractions. Low-carbon fraction can be used for construction purposes. Studies of floatation of unburnt coal have shown that 68–75 % carbon extraction was achieved. Carbon content in a flotation concentrate varies from 35 to 39%. Carbon content in low-carbon fraction 7,8–11,8 %.

Metal-bearing potential of Far Eastern coal were researched by mineralogical method including gravity concentration and microscopy. Scanning electron microscopy provided composition and microstructure of rare-earth metals (Ce, La, Nd) and noble metal associations.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Program of Fundamental Research of the Far Eastern branch of Russian Academy of Sciences "Far East" (Project No. 15-I-2-060) and Program of the Russian Fund of Fundamental Research (Project No. 16-35-00470). Authors thank A. Poltaretskaya and V. Stepanova for the laboratory assistance with mineral processing and mineralogy research.

## REFERENCES

Butcher, K 2007. Integrated Coal Ash Processing Plant Business Feasibility Study http://infohouse.p2ric.org/ref/49/48988.pdf (March, 2007).

Cherepanov, A.A. 2008. Noble Metals in Ash-Cinder Wastes of the Far East Thermal Power Plants, Russian Journal of Pacific Geology, 2, 2, pp. 110-121.

Lavrik, N.A., Alexandrova, T.N., Wang-Wang-E, A.P. 2011. Brown Coal Deposits of Jewish Autonomous Region are Possible Nonconventional Sources of Noble Metals, Mine Surveying and Subsurface Use, 5, pp. 12–16.

Li, G., Deng, L., Liu, J. 2015. Technique for Removing Unburned Carbon from Coal fly Ash at an Industrial Scale, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 35, 5, pp. 273-279.

Rasskazova, A.V., Lavrik, N.A., Alexandrova, T.N. 2014. The Increase of Effectiveness of Power Utilization of Brown Coal of Russian Far East and Prospects of Valuable Metals Extraction, Eurasian Mining, 1, pp. 25-27.

Sahbaz, O., Cinar, M., Kelebek, S. 2016. Analysis of Flotation of Unburned Carbon from Bottom Ashes, Acta Montanistica Slovaca, 21, 2, pp. 93-101.

Seredin, V.V. 2012. From Coal Science to Metal Production and Environmental Protection: A New Story of Success, International Journal of Coal Geology, 90, pp. 1–3.

Seredin, V., Finkelman, R. 2008. Metalliferous Coals: A Review of the Main Genetic and Geochemical Types, International Journal of Coal Geology, 76, pp. 253-289.

Shifeng, D., Li, T., Seredin, V. 2014. Origin of Minerals and Elements in the Late Permian Coals, Tonsteins, and Host Rocks of the Xinde Mine, Xuanwei, Eastern Yunnan, China, International Journal of Coal Geology, 121, pp. 53–78.

Xu, M., Zhang, H., Liu, Ch. et al. 2017. A Comparison of Removal of Unburned Carbon from Coal Fly Ash Using a Traditional Flotation Cell and a New Flotation Column, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 53, 1, pp. 628-643.

# HALOJEN VE ELEKTRİKLİ FIRINLARDA ÇANAKKALE (ÇAN) LİNYİT TOZ KÖMÜRÜNÜN KURUTULMASI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

## *COMPARISON OF ÇANAKKALE (ÇAN) FINE COAL DRYING USING HALOGEN AND ELECTRIC OVENS*

**Hasan Hacıfazlıoğlu*, İlgin Kurşun, Mert Terzi, Ceren Aksoy**
*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

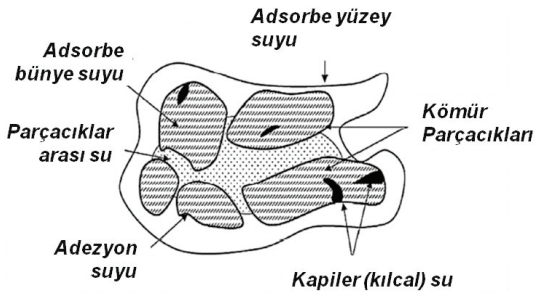
**ÖZET** Kömür kurutmada endüstriyel ölçekte genellikle döner kurutucular ve akışkan yataklı kurutucular kullanılmaktadır. Alternatif kurutucular arasında insan sağlığına zararlı etkisi daha az olan ve kapasiteleri kolaylıkla arttırılabilen halojen fırınlar ise madencilik sektörü için ümit vaat etmektedir. Bu çalışmada, hem halojen hem de konvansiyonel elektrikli fırın (rezistans ısıtmalı) olarak kullanılabilen 1000 Watt gücünde hibrit bir fırın kullanılmış ve bu fırında Çanakkale-Çan (-10 mm) kömürü kurutulmuştur. Deney sonuçları göstermiştir ki, halojen fırın kömürü elektrikli fırına göre 2 kat daha hızlı kurutmuştur. Ayrıca, halojen fırında kurutma için harcanan enerji miktarı da elektrikli fırına göre yaklaşık %50 daha azdır. Ancak ürünlerin yüzey sıcaklıkları halojen fırında daha yüksek olup, bu durum özellikle yüksek kurutma sürelerinde halojen fırında kömürde kızışmalar ve yanmaların meydana gelebileceğini göstermektedir. Bununla beraber kömür kızışmasının uygun sensörlerle düzenli olarak kontrol edilmesi durumunda sistemin endüstriyel olarak da uygulanma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

**ABSTRACT** Rotary dryers and fluid bed dryers are generally used in industrial scale for coal drying. Halogen furnaces which are less harmful to human health among alternative dryers and whose capacities can easily be increased shows promise for the use in the mining industry. In this study, a hybrid oven was used at 1000 Watt power, which can be used both as a halogen and a conventional electric furnace (with resistance heating), for the drying of fine coal (-10 mm) of Canakkale-Can region of Turkey. The test results showed that the sample was dried 2 times faster in halogen oven compared to the electric oven. In addition, the amount of energy consumed for halogen oven drying is about 50% less than for an electric furnace. However, the surface temperatures of the dried products were found to be higher in the halogen furnace, which indicates that in the case of high drying times, the flaming and self-burning in the coal may occur. However, if the heating of coal is regularly checked with appropriate sensors, the system has the potential to be applied industrially as well.

* *hasanh@istanbul.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz linyitlerinde en önemli safsızlığı nem oluşturmaktadır. Bazı linyitlerde % 50'ye varan oranlarda bulunan nem, kömürün ısıl değerini düşürdüğü gibi, nakliye, stoklama ve fırınlarda gereksiz yük oluşturmaktadır. Ayrıca, kömürlerde giderilen %1'lik nem ile kömürün ısıl değerinde kömür tipine bağlı olarak ortalama 40-60 kcal/kg'lık bir artış sağlamaktadır. Kömürler, gözenekli yapıları ve içeriğindeki yüksek absorpsiyon yetenekli kil mineralleri nedeni ile önemli miktarlarda nemi bünyelerinde hapsedebilmektedir. Kömürlerin boyutu küçüldükçe aşırı yüzey alanı artışı nedeni ile nem tutma kapasiteleri de o derece artmaktadır. İnce boyutlu kömürlerde bulunabilecek nem tipleri Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu nemlerin büyük bir bölümü filtre ve santrifujler gibi çeşitli "susuzlandırma" ekipmanları ile giderilebilirken, özellikle kömüre kimyasal bağlarla bağlı olan bünye suyu "kurutma" yani "termal buharlaştırma" yöntemi ile giderilebilir. Adhezyon ve kapiler suyun giderilmesi için de kurutma, susuzlandırmaya göre daha verimli bir yöntemdir (Karthikeyan et al. 2009).




Şekil 1. Toz kömürdeki nem tipleri (Karthikeyan et al. 2009).

Kurutma işleminin gerçekleştirilebilmesi için kurutulacak kömüre ısı transferi yapılır. Bu ısı kömürün içerisindeki suyu buharlaştırarak malzemenin kurumasını sağlar. Termodinamik kanunlarına göre, ısı transferinin yönü yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur ve bu ısı transferi, kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşıma) ve radyasyon (ışıma) yoluyla yapılabilir. Klasik kömür kurutucularında kondüksiyon ve konveksiyonla ısı transferi gerçekleşirken, son yıllarda özellikle düşük enerji tüketimleri nedeniyle mikrodalga, kızılötesi ışın, radyo dalgası gibi radyasyon yoluyla kurutma çalışmalarına da ağırlık verilmiştir (Kowalski ve Rajewska 2009, Riadh vd. 2015, Hacıfazlıoglu 2016). Isının radyasyon yolu ile transferinde maddesel bir ortama ihtiyaç duyulmaz. Birbirini gören yüzeyler arasında sıcaklık farkı olduğu sürece radyasyonla ısı aktarımı mümkündür. Örneğin güneş ışınlarının uzay boşluğunu geçip dünyamızı ısıtması veya evlerde kullanılan kızılötesi (infrared) ısıtıcıların odayı ısıtması bu şekildedir. Radyasyonla ısıtma, ultraviyole, radyo dalgaları, mikrodalga ve kızılötesi ışıma yoluyla gerçekleştirilebilir. Kızılötesi ışınım etraflarındaki havayı ısıtmadan sadece ışık geçirmeyen cisimleri ısıtmaktadır.

Kızılötesi ısıtma sanayide boya kurutma, plastik üretimi, tavlama, plastik kaynaklama ve meyve kurutma gibi alanlarda da popüler olmaya başlamıştır (Aktaş vd. 2013, Riadh vd. 2015, Zhou ve Jin 2016, Chen vd. 2017). Bu tip uygulamalarda kızılötesi ısıtma yavaş yavaş geleneksel fırın ve ısıtma elemanlarının yerini almaktadır. Malzemenin karakteristiğine uygun kızılötesi frekans seçimi enerji verimliliğini de arttırmaktadır. Temelde 3 tip kızıl ötesi ışın vardır. Bunlar, kısa, orta ve uzun dalga kızılötesi ışınlardır. Aralarındaki temel fark radyasyonun işleme derinliğidir. Uzun dalgalar malzemenin sadece yüzeyini ısıtırken, kısa dalgalar malzemenin içine kadar işler. Orta dalga kızılötesi ışınlar ise uzun ve kısa dalgaların işleyebildiği derinliğin ortalaması kadar bir derinliğe işleyebilir (Şekil 2). Kurutmada en avantajlı olan kısa dalga kızılötesi ışın olup, hızlı ve ekonomik kurutma yeteneğiyle bilinir (Kowalski ve Rajewsk 2009, Riadh vd. 2015).

Halojen kurutucular, bir çeşit kızılötesi kurutucular olup, kısa elektromanyetik dalga yaymaktadır. Isıtmayı sağlayan halojen lamba içerisinde, periyodik tablonun 8A grubunda bulunan ksenon, argon ve kripton gibi halojen gazlar bulunur. Halojen lamba yüksek verimlidir, tükettiği elektrik enerjisinin %90'ını kızılötesi (infrared) ısıtmaya dönüştürür. Lamba içerisinde bulunan gaz ısı etkisi ile uyarılarak ışıması sağlanır. Halojen fırındaki kısa kızılötesi dalgaların havadaki kayıpları daha az olduğu için malzemeleri yüksek oranda ısıtabilmekte ve özellikle yemeklerin pişirilmesi için kullanılmaktadır (Hacıfazlıoğlu 2017).

Şekil 2. Işınların işleyebilme derinliği.

Kömür kurutmada endüstriyel ölçekte genellikle döner kurutucular ve akışkan yataklı kurutucular kullanılmaktadır. Mikrodalga, halojen ve konvansiyonel elektrikli fırınlar ise küçük kapasitelerde, daha çok gıda sektöründe meyve ve sebzelerin kurutulması için tercih edilmektedir. Mikrodalgaların insan sağlığı üzerine olumsuz etkisi ve madencilik sektöründeki yüksek tonajları karşılayamaması nedeni ile kullanımı kısıtlanmaktadır. Bu durumda, insan sağlığına zararlı etkisi daha az olan ve kapasiteleri kolaylıkla arttırılabilen halojen fırınlar madencilik sektörü için ümit vaat etmektedir. Günümüzde, madencilik sektöründe halojen lamba ısıtma sisteminin kullanımı ile ilgili çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak SPT Makine'nın ürettiği özel olarak dizayn edilmiş infrared sistemli partikül ısıtma, kurutma ve nem alma fırınlarına sahip sistem, zeolit, kömür, alçı ham maddesi, yapı taşları, bentonit, krom, kalsit, gübre, çimento ham maddesi

olan kum, moloz, ufak çakıl kum gibi madenlerin kurutma işlemlerinde yenilikçi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Madencilik Türkiye 2015).

Halojen fırınlarda ısıtma bir çeşit elektromanyetik dalga olan kızılötesi (infrared) ışınlarla yapılır. Konvansiyonel elektrikli fırınlarda ise rezistans önce havayı ısıtır daha sonra termodinamiğin ikinci kanununa göre havanın cisimle teması sonucu cismin ısınması sağlanır. Bu çalışmada, hem halojen hem de konvansiyonel elektrikli fırın (rezistans ısıtmalı) olarak kullanılabilen 1000 Watt gücünde hibrit bir fırın kullanılmış ve bu fırında Çanakkale-Çan -10 mm kömürü kurutulmuştur.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesi, TKİ Çan (Çanakkale) Linyit İşletmeleri Müdürlüğü'nün işletmekte olduğu bir açık ocaktan alınmıştır. Damardan kazılarak alınan parça numuneler kapalı kaplarla İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Numunenin bir bölümü konileme dörtleme metoduyla azaltılmış ve kırılıp öğütüldükten sonra kimyasal analiz işlemine tabi tutulmuştur. Kömür numunesinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre kömürün orijinal bazda nem değeri %26, alt ısıl değeri ise 2237 kcal/kg'dır. Kömürün neminin tamamen giderilmesi ile alt ısıl değer 3335 kcal/kg'a kadar ulaşmaktadır.

Açık ocaktan üretilen kömür, 320 MW kurulu gücü olan Çan Termik Santrali'nde yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Çan Santrali'nde akışkan yataklı bir kazan kullanılmakta ve kömür ince boyutta (-10 mm) alttan hava verilerek askıda hareketli yakılmaktadır. Bu kazana verilecek olan kömürün alt ısıl değeri (kazan tasarım değeri) minimum 2600 kcal/kg olmalıdır. Aksi takdirde, kazanda çeşitli problemler (cüruf oluşumu vb.) oluşmakta ve santral verimi düşmektedir. Bu nedenle deneylere esas kömür numunesi, kurutma deneylerinden önce sırasıyla çeneli ve merdaneli kırıcılardan geçirilerek tamamı 10 mm tane boyutunun ($d_{80}$ boyutu 3,3 mm) altına indirilmiştir.

Çizelge 1'deki verilerden de görülebileceği gibi, %26 nemli Çan kömürünün orijinal bazda alt ısıl değeri 2237 kcal/kg'dır. Bu değer, kazan ısı tasarım değerinin altında olup, kış aylarında kömürün kalorisi nem artışından dolayı daha da düşmektedir. Kömürün ısıl değerini arttırmanın en kolay yolu, kömürün içeriğindeki nemin uzaklaştırılmasıdır. Nem tamamen giderildikten sonra kuru bazda yapılan kalori analizi sonucunda kömürün alt kalorifik değeri 3335 kcal/kg bulunmuştur.

Çizelge 1. Kömür örneğinin kısa analizi.

| İçerik | Orijinal Bazda | Kuru Bazda |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 26,00 | - |
| Kül (%) | 31,36 | 42,38 |
| Uçucu Madde (%) | 18,52 | 23,30 |
| Toplam Kükürt (%) | 5,39 | 6,76 |
| Sabit Karbon (%) | 18,73 | 27,56 |
| Üst Kalori Değeri (kcal/kg) | 2784 | 3496 |
| Alt Kalori Değeri (kcal/kg) | 2237 | 3335 |

Bu çalışmada, Çan linyit kömürünün halojen ve elektrikli fırınla kurutularak neminin giderilmesi amaçlanmıştır. Kurutma deneylerinde 1000 Watt gücünde tasarlanmış mutfak tipi halojen lambalı ve aynı zamanda istenildiğinde rezistanslı elektrikli de olabilen hibrit bir fırın kullanılmıştır. Numuneler üzerinde her bir ısıtma teknolojisi ile 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 ve 36 dk'lık sürelerde kurutmalar yapılmış, fırınların güç tüketimleri, nem giderim değerleri ve ürünlerin yüzey sıcaklıkları tespit edilmiştir. Nem giderim değeri (%) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır. Burada, Mf beslenen kömürün nemi, Md herhangi bir t zamanında kurutulmuş olan kömürün nemidir.

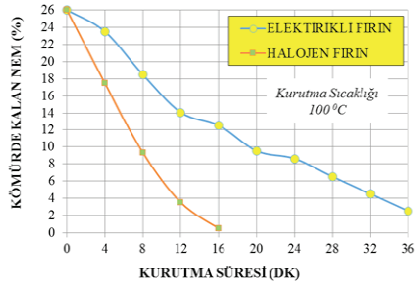
$$R_m(\%) = \frac{[M_f - M_d]}{M_f} * 100 \quad (1)$$

Fırın sıcaklıkları 100, 150 ve 200 $^0$C olacak şekilde 3 farklı sıcaklık değerinde çalıştırılmış ve 100'er gramlık kömür numuneleri ile kurutma deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, kızışmanın olup olmayacağının tespiti için kurutulmuş ürünlerin yüzey sıcaklıkları kızılötesi (infrared) termometre ile ölçülmüştür. Elektrikli fırındaki rezistans ve halojen fırındaki lamba ile kurutulan kömür arasındaki mesafe 10 cm olarak belirlenmiştir. Daha yakın mesafelerde kömür yüzeyinin hızlı ısınması nedeni ile tutuşma meydana gelmekte, daha uzak mesafelerde ise kurutma hızı düşmektedir. Son aşamada her iki fırın tipinin kurutma işlemi için harcadığı enerjiler karşılaştırılmıştır. Enerji tüketimlerinin ölçümünde REV marka bir enerji ölçer kullanılmıştır.

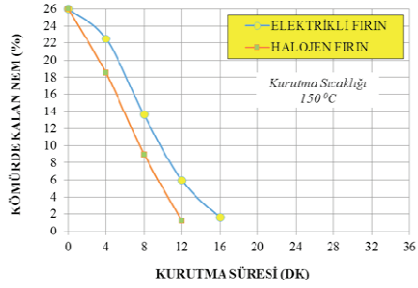
## 3. SONUÇLAR VE YORUMLAR

### 3.1.Halojen ve Elektrikli Fırında Kurutma Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

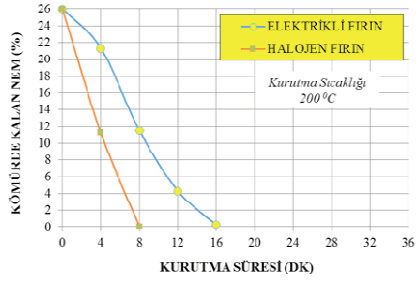
Elektrikli ve halojen fırında, 100, 150 ve 200 $^0$C'de yapılan kurutma deneylerinin sonucunda elde edilen ürünlerin kurutma süresine bağlı olarak nem içerik değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.




(a)




(b)



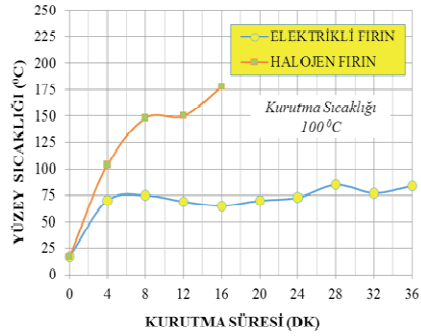

(c)

Şekil 3. Elektrikli ve halojen fırında 100 $^0$C'de (a), 150 $^0$C'de (b) ve 200 $^0$C'de (c) kurutma.

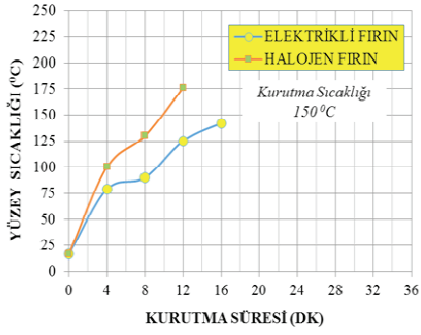
Şekil 3'te görülebileceği gibi, halojen fırın elektrikli fırına göre yaklaşık 2 kat daha hızlı kurutmaktadır. 200 $^0$C'lik bir kurutma sıcaklığında, halojen fırın kömürdeki nemin hemen hemen tamamını 8 dk'da gidermişken, elektrikli fırın 16 dk'da giderebilmiştir. Halojen fırın elektrikli fırına göre daha hızlı kurutmaktadır. Fırın içi sıcaklık artışı ile elektrikli ve halojen fırınlarda elde edilen kurutma süreleri arasındaki farkta bir kapanma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Halojen fırının elektrikli fırına göre kurutma süresi 100 $^0$C'de, 150 $^0$C'de ve 200 $^0$C'de sırasıyla 2,25, 1,33 ve 2 kat daha kısa olmuştur. Fırın içi ortam sıcaklık artışı ile birlikte kurutma süresindeki elektrikli fırın lehine bir azalma oluşması doğal bir durum olmakla beraber bu etkinin fırın içi sıcaklığın bünye nemi üzerindeki etkisinin ancak belirli bir noktaya kadar etken olması nedeniyle 150 $^0$C'den sonra azalmaya başladığı görülmüştür.

### 3.2. Kurutulmuş Kömürlerin Yüzey Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

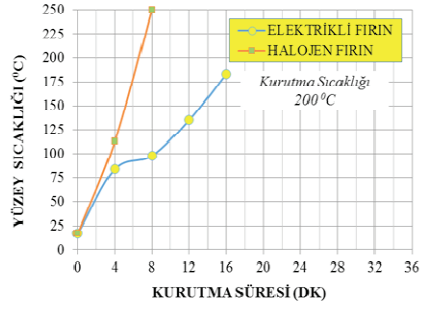
Elektrikli ve halojen fırında farklı sürelerde kurutulan kömür örneklerinin yüzey sıcaklıkları karşılaştırmalı olarak Şekil 4'te verilmiştir. Yüzey sıcaklığının belli bir değerin altında olması kömürün kızışmasını önlemek açısından büyük önem arz etmektedir. Yüzey sıcaklıkları TFA marka bir infrared termometre ile ölçülmüştür.




(a)




(b)



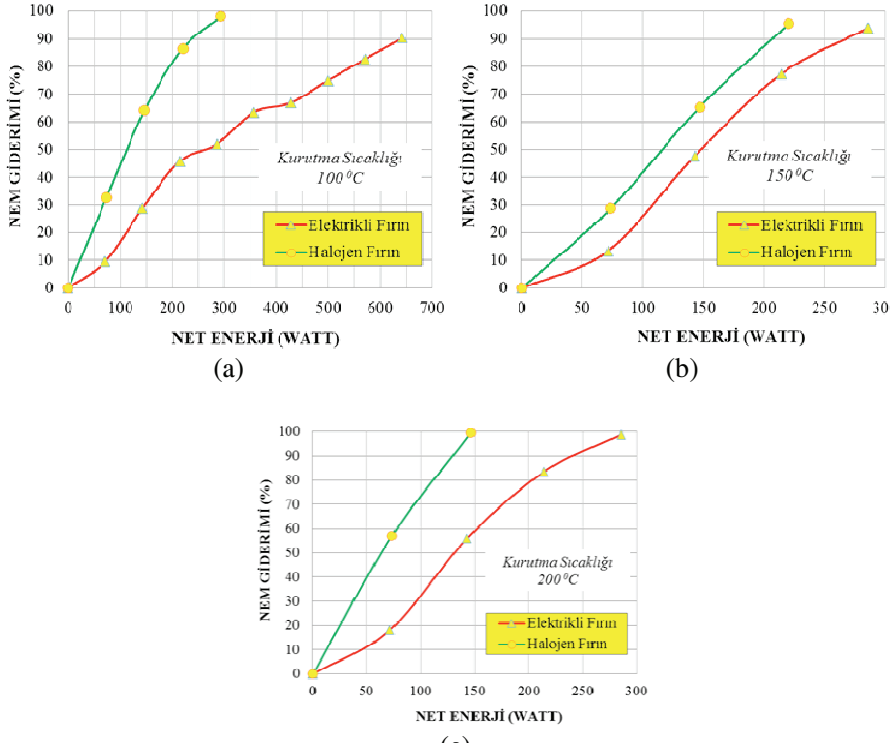

(c)

Şekil 4. Kömürün yüzey sıcaklıkları 100 $^0$C'de (a), 150 $^0$C'de (b) ve 200 $^0$C'de (c) kurutma.

Şekil 4'te görülebileceği gibi, halojen fırından elde edilen kurutulmuş ürünlerin yüzey sıcaklıkları daha yüksektir. Bu bakımdan halojen fırında kurtulan kömürün elektrikli fırına göre daha kısa sürede kızışma ihtimali bulunmaktadır. Öyle ki, 200 $^0$C'lik bir kurutma sıcaklığında, halojen fırında 8 dk ve üzerinde bekletilen kömür kızışmaya ve içten içe yanmaya başlamıştır. Oysa, elektrikli fırında kızışma, 16. dk'dan sonraki kurutma sürelerinde meydana geleceği tahmin edilmektedir. Bununla beraber kömür kızışmasının uygun sensörlerle düzenli olarak kontrol edilmesi durumunda sistemin endüstriyel olarak da uygulanma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.3. Kurutmada Harcanan Enerjilerin Karşılaştırılması

Elektrikli ve halojen fırında nem giderimi için harcanan enerjinin tespiti amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Enerji ölçümleri için, fırının fişine ve aynı anda prize monte edilebilen REV marka bir enerji ölçer kullanılmıştır. Farklı kurutma süreleri için fırınların enerji tüketim değerleri hesaplanarak Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.




Şekil 5. Elektrikli ve halojen fırında nem giderim yüzdesine bağlı olarak net enerji tüketimleri 100 $^0$C'de (a), 150 $^0$C'de (b) ve 200 $^0$C'de (c) kurutma.

Şekil 5'te görülebileceği gibi, kömür kurutmada halojen fırın elektrikli fırına göre daha az enerji tüketmiştir. Özellikle, düşük (100 $^0$C'de) ve yüksek sıcaklıklarda (200 $^0$C'de) yapılan kurutma deneylerinde, elektrikli fırın halojen fırının yaklaşık 2 katı enerji tüketmiştir. Öyle ki; 200 $^0$C'de kömürdeki nemin tamamına yakınını giderebilmek için gerekli olan enerji halojen fırında 146 Watt iken, elektrikli fırında 285 Watt bulunmuştur. Fırın içi ortam sıcaklık artışı ile birlikte net enerji tüketimlerinde yine kurutma süresine benzer şekilde elektrikli fırında belirli bir noktaya kadar önemli derecede azalma gözlenmiş olup, bununla beraber enerji tüketiminde gözlenen bu durumun yine 150 $^0$C'den itibaren azalmaya başladığı görülmüştür.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Çanakkale-Çan -10 mm tüvenan kömürünün, termik santral yakıtı olarak değerlendirilebilmesi için kalorisinin yükseltilmesi amacıyla farklı fırınlarda kurutma deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada yeni bir teknoloji olan halojen fırın ile kömür kurutması yapılmış ve elde edilen sonuçlar konvansiyonel elektrikli fırınla karşılaştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- 100 gr numuneler ile gerçekleştirilen deneylerde %26 nem içeren Çan linyit kömürü 200 $^0$C'lik bir kurutma ortamında halojen fırın ile 8 dk'da kurutulabilmiş ve bu süre sonunda harcanan net enerji 146 Watt olmuştur.

- Konvansiyonel elektrikli fırında ise benzer kurutma oranı için en az 16 dk gerekmiş ve harcanan net enerji miktarı 285 Watt olmuştur.

- Yani, halojen fırın hem kurutma süresini yarıya düşürmekte, hem de elektrikli fırına göre 139 Watt'lık bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bununla beraber elde edilmiş olan bu sonuç literatürde halojen kurutucuların kullanıldığı bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile farklılık arz etmektedir. Eskibalcı ve Işıktaş (2017) farklı kurutucuların üleksit mineralinin kurutulmasındaki verimlerini inceledikleri çalışmalarında halojen fırının kurutma süresinin konvansiyonel fırından %50 daha kısa olmasına karşın, enerji maliyetinin konvansiyonel fırına göre 4 kat, mikrodalga fırına göre 2,5 kat fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Malzemeden kaynaklı farklılıklar haricinde bunun en büyük muhtemel nedeni laboratuvar deneylerinden kullanılan halojen fırınların kurutma ortamdaki nemi dışarı verip vermeme gibi farklı tasarımsal unsurlara sahip olması ve buna bağlı olarak da enerji tüketimi verilerinin büyük bir değişkenlik gösterebilmesidir. Bu çalışmada kullanılan halojen kurutucu nemi direk ortamdan uzaklaştırabilir özelliğe sahip olması nedeniyle ortamdaki nemin yeterince uzaklaştırılamamasının yaratabileceği fazla enerji tüketiminin önüne geçilmiştir.

- Halojen fırın kömürü elektrikli fırına göre 2 kat daha hızlı kurutmaktadır. Ayrıca, halojen fırında kurutma için harcanan enerji miktarı da elektrikli fırına göre yaklaşık %50 daha azdır.

- Kurutulan ürünlerin yüzey sıcaklıkları ise halojen fırında daha yüksek olup, bu durum özellikle yüksek kurutma sürelerinde halojen fırında kömürde kızışmalar ve yanmaların meydana gelebileceğini göstermektedir. Bununla beraber kömür kızışmasının uygun sensörlerle düzenli olarak kontrol edilmesi durumunda sistemin endüstriyel olarak da uygulanma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

- Ayrıca, kurutma için kullanılacak olan halojen lambaların mevcut kurutucu sonrasında da kolaylıkla birleştirilebileceği ve ürünlerde ilave bir kurutma sağlayacağı gerçeği unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A., Şahin, M. 2013. Kızılötesi Işınımlı Bir Kurutucuda Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, 4, s.767-775.

Chen, N.N., Chen, M.Q., Fu, B.A., Song, J.J. 2017. Far-infrared Irradiation Drying Behavior of Typical Biomass Briquettes, Energy, 121, pp. 726-738.

Eskibalci M.F., Işıktaş O.V., 2017, Üleksitin Kurutulmasında Farklı Isıtıcıların Verimliliğinin İncelenmesi, Erzincan University Journal of Science and Technology, 10, s. 11-22.

Hacıfazlıoğlu, H. 2016. Comparison of Efficiencies of Microwave and Conventional Electric Ovens in the Drying of Slime-Coal Agglomerates, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 37, pp. 69-178.

Hacıfazlıoğlu, H. 2017. Endüstriyel Kurutucular, ST Ağır Sanayi Çözümleri Dergisi, Kasım, s. 108-116.

Karthikeyan, M., Zhonghua, W., Mujumdar A.S. 2009. Low-Rank Coal Drying Technologies—Current Status and New Developments, Drying Technology, 27, pp. 403–415.

Kowalski S.J., Rajewska, K. 2009. Convective Drying Enhanced with Microwave and Infrared Radiation, Drying Technology, 27, 7-8, pp. 878-887.

Madencilik Türkiye. 2015. SPT Infrared Kurutma: Maden Kurutmada Yenilikçi Çözüm, 48, s. 40-43.

Riadh, M.H., Ahmad, S.A.B., Marhaban, M.H., Soh, A.C. 2015. Infrared Heating in Food Drying: An Overview, Drying Technology, 33, 3, pp. 322-335

Zhou, Y., Jin, Y. 2016. Mathematical modeling of thin-layer infrared drying of dewatered municipal sewage sludge (DWMSS), Procedia Environmental Sciences, 31, pp. 758-766.

# ŞLAM KÖMÜRÜN AGLOFLOTASYONUNDA BİTKİSEL KÖKENLİ YAĞLARIN TOPLAYICILIK PERFORMANSININ VERİMLİLİK İNDEKSİ İLE BELİRLENMESİ

## *PERFORMANCE ANALYSIS OF VEGETABLE OILS BY EFFICIENCY INDEX IN AGGLOFLOTATION OF SLIME COAL*

**Hasan Hacıfazlıoğlu, İlgin Kurşun*, Mert Terzi**
*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Bu çalışmada, Zonguldak şlam kömüründen temiz kömür üretimi için bitkisel yağlarla agloflotasyon çalışması yapılmıştır. Agloflotasyon yöntemi, ince boyutlu tanelerin önce yağlarla aglomere edilmesi ve daha sonra flotasyon hücresinde hava kabarcıkları ile yüzdürülerek ayrılması esasına dayanmaktadır. Flotasyon esnasında köpürtücü kullanılmamıştır. Deneysel çalışmalarda bitkisel yağ olarak; Hint yağı, Ayçiçek yağı, Soya yağı ve Prina yağı kullanılmıştır. Bu yağların toplayıcılık performansı, flotasyonda yaygın olarak kullanılan gazyağı toplayıcısı ile karşılaştırılmış ve ayrı ayrı verimlilik indeks değerleri saptanmıştır.

**ABSTRACT** In this study, aggloflotation experiments were carried out with vegetable oils for the production of clean coal from Zonguldak slime coal. Aggloflotation method is based on agglomeration of fine particles with oil in first step and subsequently flotation of these agglomerates with air bubbles in a flotation cell. No frother was used during flotation. In experimental studies, Indian oil, sunflower oil, soybean oil and prina oil are used as collectors. The collecting performance of these oils were compared with kerosene, a common collector used in coal flotation, and finally, efficiency index values were determined individually.

* *ilginkur@istanbul.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Tükenebilir fosil yakıtlardan olan kömür, halen dünya enerji üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de de fosil yakıt kaynakları içerisinde en büyük rezerve sahip olan kaynak kömürdür. Petrol ve doğalgaz gibi diğer fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün hızla tükendiği göz önüne alınırsa, gelecekte de enerji üretiminde önemli rol oynayacak olan kömür rezervlerinin en etkin şekilde kullanılması ve değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Türkiye kömürlerinin üretilmesi ve tüketime hazırlanması esnasında oldukça yüksek miktarda ince boyutlu kömür ortaya çıkmaktadır. Yüksek kül içerikli ince kömürlerin değerlendirilmesi ülke ekonomisi ve gelecekteki enerji hammadde gereksinimleri açısından bir zorunluluktur. Önceleri herhangi bir temizleme işlemine girmeden, doğrudan santrallerde yakılan ince ve şlam kömürler, günümüzde çeşitli temizleme işlemlerinden geçirilerek sanayinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Bu sayede, kömür yakılmadan önce daha temiz bir yakıt haline gelmekte ve pazarı genişleyerek satış fiyatı da yükselmektedir. Örneğin Zonguldak ince kömürü flotasyonla zenginleştirilerek demir çelik sanayisinin ham maddesi olan kok üretimi için kullanılabilmektedir. Zonguldak havzasında, flotasyon yöntemi ile ortalama kül içeriği %50 olan ince kömürlerden, %6-12 küllü temiz kömürler üretilebilmektedir (Hacıfazlıoğlu 2009, Bilir 2011, Hacıfazlıoğlu ve Gerdan 2016).

Flotasyon ve agloflotasyon yöntemlerinde verimi etkileyen en önemli işletim parametresi toplayıcı/bağlayıcı tipi ve miktarıdır. Toplayıcının uygun seçilememesi ve miktarının uygun olmaması durumunda flotasyon verimi önemli ölçüde düşer. Toplayıcılar hidrokarbon zinciri içeren iyonlaşan ve iyonlaşmayan organik bileşiklerdir. İyonlaşan toplayıcılar polar ve apolar gruplardan oluşur. Bu toplayıcılar polar ucu mineral yüzeyine yapışarak minerale hidrofilik özellik kazandırır. Suda çözünmeyen emülsiyon olarak kullanılan ve mineral yüzeyini kaplayarak o yüzeyi hidrofob hale getiren bileşikler, iyonlaşmayan toplayıcılardır. Bunların en önemlileri kömür flotasyonunda da yaygın olarak kullanılan gazyağı, dizel, fuel oil gibi petrol ürünleri ve henüz flotasyonda kullanımı bulunmayan doğal bitkisel yağlardır (Bhattacharya ve Pascoe 2005, Bulatovic 2007, Atak ve Tolun 2014).

Ülkemizde petrol fiyatlarının yüksek olması nedeniyle kömür flotasyonu yaygın olarak yapılmaz. Oysa, pek çok ülkede özellikle şlam kömürlerin zenginleştirilmesi için flotasyon yönteminden faydalanılır. Çünkü şlam diye tabir edilen çok ince boyutlu taneleri klasik gravite yöntemleri ile zenginleştirmek mümkün değildir. Türkiye'de yılda ortalama 70 milyon ton düzeyinde kömür üretilmekte ve bunun en az 1 milyon tonu çok ince boyutlu olduğu için özellikle linyitler atık barajlarına gönderilmektedir. Taş kömürleri ise hiçbir işleme sokulmadan direk termik santral yakıtı olarak değerlendirilmektedir. Ancak ekonomik bir flotasyon yönteminin bulunması durumunda bu kömürlerin geri kazanılması mümkün olabilir. Bu çalışma kapsamında, gazyağı toplayıcısına alternatif olarak bitkisel yağlar klasik flotasyonda toplayıcı olarak kullanılmıştır. Türkiye'de ayçiçeği yağı başta olmak üzere soya,

pamuk, zeytin, susam, mısır ve diğer pek çok bitkisel yağ tipi üretilebilmektedir. Ayrıca bu bitkisel yağların fiyatı da petrol türevi toplayıcılara göre daha ekonomiktir (BYSD 2017). Son yıllarda bitkisel yağların toplayıcı ya da bağlayıcı olarak kullanılmasıyla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Hindistan'da kömür flotasyonu için bitkisel yağlardan özel bir toplayıcı üretilmiştir. Ayrıca, bu toplayıcının kullanılması durumunda köpürtücüye de ihtiyaç duyulmayacağı belirtilmiştir (Vasumathi vd. 2013). Kömürün flotasyonunda bitkisel yağların da kullanılabileceği gerçeği pek çok bilimsel çalışma (Alonso vd. 2000, Valdes ve Garcia 2006, Chary ve Dastidar 2013) ile ortaya konmuş durumdadır. Bu çalışmada kömürün agloflotasyonu için bitkisel yağların performansı petrol kökenli gazyağı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Numune Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan şlam kömür numunesi, Zonguldak Çatalağzı beldesinde faaliyet gösteren bir kömür yıkama tesisinin atık havuzundan alınmıştır. Laboratuvara getirilen, sulu şlam kömür numunesi mikser yardımı ile homojen hale getirildikten sonra, suyu uzaklaştırılmış ve konileme-dörtleme ile azaltılarak deneylerde kullanılmıştır. Çizelge 1'de şlam kömür örneğinin kısa kimyasal analizi, Çizelge 2'de ise yaş elek analizi ve fraksiyonel olarak kül sonuçları verilmiştir. Söz konusu numunenin kül içeriği %33,75, ortalama tane boyutu ($d_{50}$) ise 30 µm civarındadır.

Çizelge 1. Numunenin kısa kimyasal analizi.

| **Analizler** | **Kuru Kömürde** |
|---|---|
| Kül (%) | 33,75 |
| Uçucu Madde (%) | 29,20 |
| Sabit Karbon (%) | 37,05 |
| Toplam Kükürt (%) | 0,70 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 5220 |

Çizelge 2. Numunenin yaş elek analizi sonuçları ve boyuta göre kül dağılımları.

| **Elek Açıklığı (µm)** | **Miktar (%)** | **Kül (%)** | **Kümülatif Eleküstü (%)** | **Kümülatif Elekaltı (%)** |
|---|---|---|---|---|
| -500+300 | 3,51 | 8,20 | 3,51 | 100,00 |
| -300+212 | 10,12 | 7,10 | 13,63 | 96,49 |
| -212+150 | 14,40 | 13,30 | 28,02 | 86,37 |
| -150+125 | 4,62 | 9,60 | 32,64 | 71,98 |
| -125+63 | 9,58 | 22,30 | 42,22 | 67,36 |
| -63+38 | 4,94 | 44,60 | 47,16 | 57,78 |
| -38 | 52,84 | 49,30 | 100,00 | 52,84 |
| Toplam | 100,00 | 33,75 | - | - |

## 2.2. Yöntem

Agloflotasyon deneyleri, 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Daihan marka HS-120A modeli bir karıştırıcı (stirrer) ile 2000 mL'lik cam bir beher içerisinde, 1500 dev/dk'lık bir karıştırma hızında; 330 gr kuru kömür ve 1320 gr şebeke suyu kullanılarak %20 katı oranında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada aglomerasyondan elde edilen aglomeratların toplanması için Denver marka flotasyon makinesi kullanılmıştır. 10 dakikalık bir aglomerasyon süresi sonunda elde edilen aglomeratlı pülp flotasyon hücresine alınmış ve aglomeratlar köpürtücüsüz 1000 dev/dk'lık karıştırma hızında yüzdürülmüştür. Yukarıdaki prosedür, soya yağı, ayçiçeği yağı, hint yağı ve pirina yağı ile ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Ayrıca, bitkisel yağların performansının daha sağlıklı belirlenebilmesi amacıyla agloflotasyonda yüksek verimlilik sağladığı kanıtlanmış olan "gazyağı" toplayıcısı ile de deneyler yürütülmüştür. Aglomeratların toplandığı flotasyon hücresi (1) ve elde edilen ürünlerin görüntüleri (2) ve filtre keki (3) Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Agloflotasyon deney düzeneği ve elde edilen ürünlerin görüntüleri.

Deneylerde kullanılan bitkisel yağlardan soya ve ayçiçek yağı yiyeceklerin kızartılması işleminde kullanılan ve yerel marketten temin edilen Zade markalı yağlardır. Prina yağı, Balıkesir'de faaliyet gösteren bir zeytinyağı fabrikasından alınmıştır. Hint yağı ise ithal olup Akbel Kimya'dan satın alınmıştır. Bu yağlar içerisinde en ekonomik olanı Soya ve Ayçiçeği yağı olup, litre fiyatı ortalama 1-1.5 $'dır. int yağı ve prina yağları ise yaklaşık olarak aynı fiyatta olup, litresi 3-4 $ arasındadır. Bitkisel yağlarla yapılan deneylerin agloflotasyon koşulları Çizelge 3'te, agloflotasyon anı görüntüleri ise Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekle göre soya ve ayçiçek yağının daha fazla miktarda hidrofob malzemeyi köpük ürününe taşıdığı görülmektedir.

Çizelge 3. Genel agloflotasyon koşulları.

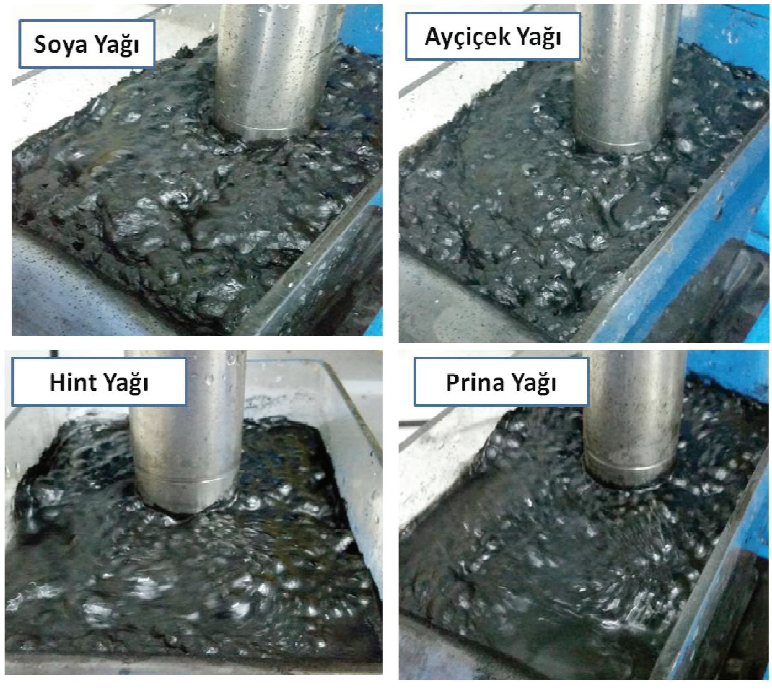
| **Parametre** | **Değeri** |
|---|---|
| Toplayıcı (Bitkisel Yağ) | 5, 50, 100, 200, 300 kg/t |
| Karıştırma Hızı | 1000 dev./dk |
| Katı Oranı | %20 |
| Pülp Sıcaklığı | 25 $^0$C |

Farklı bitkisel yağlar ile yapılan agloflotasyon deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için verimlilik indeksi formülünden faydalanılmıştır. Verimlilik indeksi aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

Verimlilik İndeksi (E)= Yanabilir verim x $K_a$ / $K_t$ (1)

$$YanabilirVerim(\%) = \frac{M_t x(100 - K_t)}{M_b x(100 - K_b)} x100 \quad (2)$$

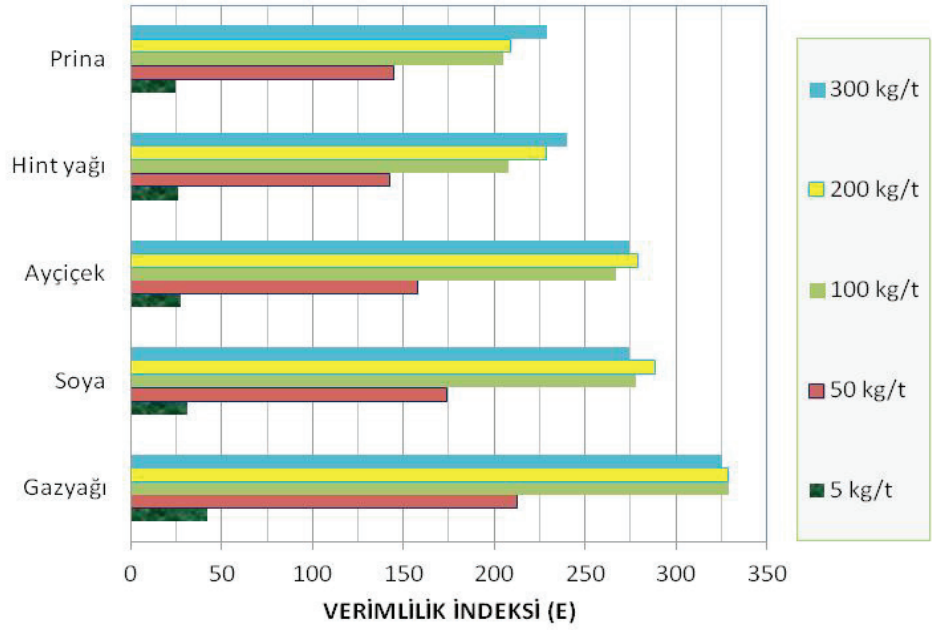
Bu eşitliklerde, $M_t$ temiz kömürün % miktarı, $K_t$ temiz kömürün % külü, $M_b$ beslenen kömürün % miktarı, $K_b$ beslenen kömürün ve $K_a$ artığın % kül değeridir.




Şekil 2. Farklı yağlarla yapılan deneylerin agloflotasyon anı görüntüleri.

## 3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5, 50, 100, 200 ve 300 kg/t yağ miktarlarında ayrı ayrı yağlarla yapılmış olan agloflotasyon çalışmaları sonucunda elde edilen Verimlilik indeksi (E) değerleri grafik halinde Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu sonuçlardan görülebileceği gibi en yüksek E değeri sırasıyla gazyağı, soya yağı, ayçiçeği yağı, hint yağı ve pirina yağı ile elde edilmiştir. Tüm sonuçlar, Şekil 3 (f)'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.




Şekil 3. Yağların toplayıcılık özelliğinin verimlilik indeksi yönünden karşılaştırılması.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, %33,75 kül içeriğine sahip Zonguldak şlam kömürüne farklı bitkisel yağlarla (soya, ayçiçek, hint ve pirina yağları) agloflotasyon uygulanmış ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Bitkisel yağlar içerisinde en yüksek performans sırasıyla soya, ayçiçek yağı, Hint yağı ve Pirina yağı ile elde edilmiştir. Optimum bir yağ konsantrasyonunda (200 kg/t) soya, ayçiçek yağı, hint yağı ve pirina yağı için E değerleri sırasıyla 288,51, 279,18, 228,74 ve 209,29 bulunmuştur. Bunların içerisinde daha düşük performans sağlayan hint yağı ve pirina yağları en pahalı yağlar olup, soya ve ayçiçeği yağına göre 2-3 kat daha pahalıdır.

Bitkisel yağların genel performansı gazyağına göre daha düşüktür. En düşük yağ ilave miktarında gazyağının E değeri 42,19 iken, gazyağına yakın en iyi sonucu veren Soya yağının E değeri 30,91'dir. 200 g/t yağ ilave miktarında ise gazyağının E değeri 329 iken, soya yağının E değeri 288,51 bulunmuştur. Bu E değerlerinin elde edildiği koşullarda ürünlerin kül içerikleri soya ve gazyağı için sırasıyla %14,80 ve %14 bulunmuş iken, yanabilir verim değerleri %72,74 ve %75,51 bulunmuştur.

Sonuç olarak, bitkisel yağlardan en iyi performansı sağlayan soya yağı gazyağına göre %13 daha düşük E değeri vermiştir. Ancak, fosil kaynaklı ürünlerin hızla tükendiği günümüzde soya yağının yenilenebilir ve çevre dostu bir yağ olduğu gerçeği unutulmamalıdır.

## KAYNAKLAR

Alanso, M.I., Castano, C., Garcia, B. 2000. Performance of Vegetable Oils as Flotation Collectors for the recovery of Coal from Coal fines wastes, Coal Preparation, 21, pp. 411-420.

Atak, S., Tolun, R. 2014. Cevher Hazırlama El Kitabı, Ed. G. Önal, G. Ateşok, K.T., Perek., YMGV, İstanbul, s. 185-236.

Bhattacharya, S., Pascoe, R.D. 2005. Effect of Temperature on Coal Flotation Performance - A Review, Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 26, 1, pp. 31-61.

Bilir, K. 2011. Kömür Flotasyonunda Kullanılan Gazyağı Miktarının Oranların Farkı Testi ile Optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, 1, s. 119-130.

Bulatovic, S.M. 2007. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Volume 1: Flotation of Sulfide Ores, Elsevier Science, Peterborough, Ontario, Canada.

BYSD, 2017. Vegetable Oil Production Report, Bitkisel Yağ Sanayicileri Derneği, Çankaya/Ankara-Turkiye.

Chary, G.H.V.C., Dastidar, M.G. 2013. Comprehensive Study of Process Parameters Affecting Oil Agglomeration Using Vegetable Oils, Fuel, 106, 285–292.

Hacıfazlıoğlu, H. 2009. İnce Boyutlu Kömürlerin Flotasyonu İçin Yeni Bir Flotasyon Makinesinin (Siklojet Hücresinin) Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Hacifazlioğlu H., Gerdan, G.H. 2016. Taşkömürü Tozları Flotasyonunda Sıcaklığın Etkisi, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, s. 1-8.

Valdes, A.F., Garcia, A.B. 2006. On the Utilization of Waste Vegetable Oil (WVO) as Agglomerants to Recover Coal from Coal Fines Cleaning Wastes (CFCW), Fuel, 85, pp. 607-614.

Vasumathi, N., Kumar, T.V.J., Rao, S.S., Parabhakar, S., Raju, G.B., Kumar, S.S., Raman, U. 2013. Eco Friendly and Cost Effective Reagent for Coal Flotation, International Journal of Engineering Research, 2, 7, pp. 418-423.

# LİNYİTLERİN İZ ELEMENT İÇERİKLERİ – KÖMÜR YIKAMAYLA CIVA UZAKLAŞTIRMA ÖRNEKLEMESİ

## *TRACE ELEMENTS CONTENTS OF LIGNITES – A CASE STUDY FOR THE REMOVAL OF MERCURY BY COAL WASHING*

**Gülhan Özbayoğlu***
*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** 15,68 milyar tona ulaşan linyit rezervlerimizin çoğu elektrik üretiminde tüketilmekte olup kül, kükürt ve iz element içerikleri oluştukları ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle iz elementler potansiyel hava kirleticileri olup yalnızca insan sağlığını değil, eko sistemi de yakından etkilemektedir. Bunlar arasında en önemlileri As, Be, Cr, Cd, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se ve U'dur. İz elementler kömürün organik yapısına bağlı oldukları gibi kömürün içindeki inorganik maddelerin içinde de bulunmaktadır. Kömür yıkama işlemleri, iz elementlerin önemli bir kısmını yakma öncesinde kömürden uzaklaştırabilmektedir. Bu çalışmada, iz elementlerden özelde cıva elementi ele alınacak ve kömür yıkama işlemleriyle kömürden uzaklaştırma olasılığı belirlenecektir.

**ABSTRACT** Lignite rezerves of Turkey is around 15.68 billion tons and it is utilized mostly for electricity generation. The ash, sulfur and trace elements contents of lignites vary depending upon the chemical and physical properties of the enviroment of coal formation.Trace elements are potantial air pollutants with their effects on human healths and ecosystems. As, Be, Cr, Cd, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, and U are the most important trace elements which can be found not only in organic matrix, but also in inorganic matters. Coal washing methods have capacity to remove most of the trace elements before combustion. In this study, mercury removal by coal washing methods was investigated as a case study.

**gulhano@metu.edu.tr*

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Kömürlerdeki İz Elementlerin Önemi

Kömür geçmişte olduğu gibi günümüzde de başlıca enerji kaynağı olma özelliğini korumaktadır. Dünya kömür üretiminin %40'ı elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Kömürlerin heterojen bir yapıya sahip olması birbirinden farklı kül, kükürt ve iz elementleri içermelerine neden olmaktadır. Kömürün kalitesini, kömürün oluşumu sırasındaki jeolojik, fiziksel ve kimyasal koşullar belirler. Kömürlerdeki farklı kompozisyonlar sadece farklı yöre ve damara bağlı olmayıp, aynı damar içinde de görülebilir. Düşük kaliteli kömürler yakma işleminde ciddi çevresel sorunlar yaratabilmektedir. Özellikle atmosfere verilen emisyonlar, içerdikleri iz elementler nedeniyle insan sağlığını ve ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir. Amerika Çevre Koruma Ajansı 25 iz elementin canlı varlıklar ve çevre için tehlikeli olduğunu kabul etmiştir (Swain 2000).

Kömürler yakıldıkları zaman içerdikleri inorganik maddenin % 20'si cürufa, yaklaşık % 80'i ise uçucu küle geçmektedir (Marto vd. 2011). İz elementlerin bir kısmı cürufa geçmekte, bir kısmı da uçucu küller (fly ash) içinde katı halde ve baca gazları (flue gas) içinde buhar fazında bulunmaktadır.

Yakma öncesi ve yakma sonrası yöntemlerle atmosfere salınan iz elementlerin emisyonunu kontrol etmek mümkündür. Sb, Be, Cd, Co, Pb ve Mn gibi uçucu küllerin içinde bulunan iz elementler kimyasal işlemler gibi yakma sonrası yöntemlerle uzaklaştırılabilir (Nalbandian 2012). As, Cl, Hg ve Se gibi iz elementlerin buharlaşma özelliklerinden dolayı yakma sonrası yöntemlerle kontrolü zordur. Buna karşın, kömür yıkama gibi yakma öncesi yöntemlerle kömürün içindeki kül uzaklaştırılırken bazı iz elementleri de atılabilmektedir. İz elementlerin uzaklaştırma derecesi iz elementleri taşıyan inorganik maddenin serbestleşme derecesine, tane boyutuna ve yıkama tekniğine bağlı olarak değişmektedir. Her ne kadar kömür yıkama tekniklerinin kül, kükürt ve iz element uzaklaştırma başarısı sınırlı ise de diğer tekniklerle karşılaştırıldığında çevresel problemleri azaltma açısından ekonomik bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Wang vd. 2009).

## 1.2. İz Elementlerin Kaynakları ve İçerikleri

Kömürlerdeki iz elementler organik yapıya bağlı olarak bulunabildiği gibi kömürün kül içeriğini oluşturan inorganik maddelerin içinde de görülebilir. Kömürün organik yapısının içinde bulunabilen iz elementleri arasında S, Be, B, Ge, V, W, Zr sayılabilir. Kömürün oluşumunu sağlayan bitkiler biyolojik ve kimyasal işlemler süresince iz elementlerin adsorplanmasına neden olabilir. Ayrıca göl ve akarsu çökeltileri, orman yangınları, volkanik küller, mikroorganizmaların atıkları ve meteorik küller de

kömürlerin iz element içeriğine katkıda bulunurlar. Organik yapıdaki cıva, kükürt içeren R-SH grubuna bağlı olarak görülmektedir.

İnorganik minerallere meyil gösteren iz elementler en çok kaolinit ve montmorillonitin dahil olduğu kil grubunda görülmektedir. Ba, Bi, Cr, Ce, Cu. Ga, Li, Ni, Pb, Sn, Sr, U, V, P, Rb, Th kil grubuna bağlı iz elementleridir (US NRC, 1980). As, Hg, Se, Cd gibi iz elementleri sülfürlü minerallere bağlı olarak görülürler, örneğin As ve Hg pirite ve markazite, Cd da sfalerite bağlıdır. Çizelge 1'de iz elementlerin içerik aralıkları ve bağlı oldukları yapılar gösterilmiştir (Senior vd. 2000; Tuncali vd. 2002).

Çizelge 1'de Türk linyitlerinin As, Cd, Cr, Co, Pb, Ni ve Se içeriklerinin dünya kömürlerinin üst sınırlarını aştığı görülmektedir.

Çizelge 1. Kömürlerin iz element içerik aralıkları ve bağlı oldukları yapılar.

| Element | İçerik, ppm | Türk linyiti | Bulunduğu Yapı |
|---|---|---|---|
| Antimuan | 0,1-40 | | Sülfürler, pirit |
| Arsenik | <1-250 | 2-286 | Pirit |
| Berilyum | <1-30 | 0,2-7 | Killer, organik yapı |
| Bor | <1-500 | | Killer, organik yapı |
| Kadmiyum | <0,1-10 | 0,01-45 | ZnS, killer, karbonatlar |
| Krom | 1-100 | 7-580 | Killer, $FeCrO_4$?, CrOOH? |
| Kobalt | <1-50 | 1-55 | Sülfürler, killer |
| Bakır | <1-200 | | Sülfürler, organik yapı |
| Kurşun | <1-100 | 0,1-286 | PbS, pirit, PbSe |
| Manganez | 5-1000 | 5-691 | Organik yapı, karbonat |
| Cıva | 0,01-10 | 0,03-0,7 | Sülfürler, Hg, organik yapı |
| Molibden | 0,5-50 | | Pirit, $MoS_2$, organik yapı |
| Nikel | 1-100 | 3-1700 | Sülfürler, organik yapı |
| Selenyum | 0,1-20 | 0,1-26 | Organik, sülfürler |
| Kalay | 0,1-20 | | Oksitler, sülfürler, organik yapı |
| Talyum | 0,1-3 | | Sülfürler |
| Toryum | <1-50 | 1-29 | Monazit, zirkon |
| Vanadyum | <1-300 | 6-287 | Killer, organik yapı |
| Çinko | 1-300 | | ZnS, organik yapı |

Kömürlerden kül ve kükürtü uzaklaştırarak kaliteyi arttırmak için yapılan kömür yıkama işlemleri iz elementlerin de azaltılmasını sağlamaktadır. Kömürdeki külü oluşturan inorganik minerallere bağlı olan iz elementler yıkama işlemi sırasında külle birlikte atılmaktadır. Fiziksel bir işlem olan kömür yıkama, yakma öncesi kömürlerin temizlenmesini ve insan sağlığı ve ekosistem için zararlı olan iz elementlerin atılmasında etkin bir rol oynamaktadır. Soma linyiti üzerinde yapılan bir araştırmada,

1,80 yoğunlukta yapılan yüzdürme-batırma işlemi ile Sr, Y, Pb ve Th gibi iz elementlerin % 70-84'ünün, V, Cr, Rb ve As gibi iz elementlerin ise % 30'unun külle birlikte kömürden uzaklaştırılabildiği görülmüştür. Uranyum iz elementi ise organik yapıya bağlı olduğu için külle birlikte ancak % 15'i atılabilmiştir (Özbayoğlu 2010, 2011).

## 2. KÖMÜRLERDEKİ CIVA İÇERİĞİ

### 2.1. Kömürlerdeki Cıva İçeriğinin Önemi

Halen ülkelerde cıva konusunda bir standart bulunmamasına karşın özellikle Hollanda, ABD ve Almanya termik santralların cıva emisyonlarına dikkat etmekte ve insan sağlığını ve çevreyi korumaya çalışmaktadır (Sloss 2016). Avrupa Birliği, kömür yakan santrallarda cıva emisyonları için bir formulasyona gitmiştir. Buna göre linyit yakan ve kapasitesi 300 MW'ın üstündeki santrallarda cıva emisyonu eski tesislerde <7 µg/Nm$^3$, yeni tesislerde ise <4 µg/Nm$^3$ olarak sınırlandırılmıştır. Kapasitesi 300 MW'in altındaki eski santrallarda cıva emisyonu <10 µg/Nm$^3$, yeni tesislerde ise <7 µg/Nm$^3$ olarak belirtilmiştir (Wdowiak ve Henc 2016).

Atmosfere verilen cıva emisyonu doğal veya insanın yarattığı (antropojenik) kaynaklardan meydana gelmektedir. Rüzgarlar cıvayı binlerce mil uzağa taşımakta ve yağmurla okyanuslara depolamaktadır. Sığ sulardaki cıva güneş ışığıyla desteklenen kimyasal işlemler sonucu giderilebilmektedir. Fakat derin sulardaki bakteriler cıvayı çok zehirli olan monometilcıva bileşiğine çevirmektedir. Hayvan dokusunda biriken bu bileşik insanların merkezi sinir sistemini etkilemektedir. Derin deniz balıklarında yüksek seviyede cıva bulunmaktadır (Barber 2013).

Birleşmiş Milletlerin 2013 yılı raporlarına göre senede 6200 Mg cıva doğal kaynaklardan, 2600 Mg cıva ise insana bağlı kaynaklardan yayılmaktadır. ABD'deki cıva emisyonunun %40'ı, Asya ülkelerinde ise %50'si termik santrallardan kaynaklanmaktadır. Polonya`nın cıva emisyonu yıllık 9,6-10,3 Mg olup %96'sı termik santrallardan yayılmaktadır (Baic ve Blaschke 2017). Son zamanlarda Avrupa ve Kuzey Amerika'da temiz kömür teknolojileri ve baca gazı temizleme yöntemlerinin uygulanmasıyla cıva emisyonunun azaldığı gözlenmektedir.

#### *2.1.1. Kömürlerdeki Cıva İçeriği*

Cıva, kömürün organik yapısına tiol grubu olarak tanımlanan R-SH bağları ile bağlı görülebildiği gibi elementel olarak, kömürün külünü oluşturan inorganik maddelerden sülfürlü ve selenit minerallerine bağlı olarak da bulunabilmektedir. Sülfürlü minerallerden en önemlileri pirit ve markazittir. Çizelge 2'de dünya kömürlerinin cıva içerikleri gösterilmiştir (Senior vd. 2000).

Çizelge 2. Dünya ülkeleri kömürlerinin cıva içerikleri.

| Ülke | Kömür Sınıfı | Ort. Hg (µg/kg) | Hg Aralığı (µg/kg) |
|---|---|---|---|
| Arjantin | Taşkömürü | 490 | 21-960 |
| Avustralya | Taşkömürü | 215 | 30-400 |
| Çin | Taşkömürü | 571 | 8-1134 |
| Hindistan | Taşkömürü | 171 | 3-340 |
| Endonezya | Taşkömürü | 30 | 10-50 |
| Kanada | Taşkömürü | 205 | 18-393 |
| Almanya | Taşkömürü | 735 | 70-1400 |
| G. Afrika | Taşkömürü | 505 | 10-1000 |
| Rusya | Taşkömürü | 651 | 2-1300 |
| Ukrayna | Taşkömürü | 1765 | 30-3500 |
| ABD | Taşkömürü | 1655 | 10-3300 |
| İngiltere | Taşkömürü | 505 | 10-1000 |
| Zambiya | Taşkömürü | 1820 | 40-3600 |
| Çin | Antrasit | 275 | 9-541 |
| ABD | Antrasit | 1580 | 160-3000 |
| Çin | Linyit | 1139 | 30-2248 |
| Endonezya | Linyit | 105 | 20-190 |
| Kanada | Linyit | 579 | 66-1092 |
| Almanya | Linyit | 105 | 20-190 |
| Türkiye | Linyit | 345 | 30-660 |
| ABD | Linyit | 515 | 30-1000 |

Çizelge 2'de Türk linyitlerinin cıva içeriği sınırları 30-600 (µg/kg) yani 0,03-0,6 ppm olarak verilmiştir. Çan linyit kömürü için bu değer 0,03-0,12 ppm olarak saptanırken Türk linyitlerinin ortalama Hg değeri 0,11 olarak belirtilmiştir (Palmer vd. 2004).

Çin'de 1699 kömür numunesi üzerinde yapılan bir cıva araştırmasında farklı kömür havzalarındaki kömürlerin cıva içeriklerinin jeolojik periodlara ve kömürün yaşına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Yüksek kükürt ve cıva içerikli kömürlerde cıvanın piritin içinde katı eriyik şeklinde bulunduğu, silikata bağlı cıvanın ise magma kaynaklı olduğu tespit edilmiştir (Zheng vd. 2007). Kömürün jeolojik ve jeokimyasal orijinine bağlı olarak cıvanın kömürdeki maseral grubundan inertinitte değil vitrinitte bulunma eğilimine sahip olduğu gözlenmiştir (Xiangfei vd. 2017).

### *2.1.2. Kömürlerdeki Cıva İçeriğini Azaltma Yöntemleri*

Kömürlerdeki cıvanın yakma öncesi giderilmesi yöntemleri arasında ısıl, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin yanında kömür hazırlama yöntemleri etkili olmaktadır. Önceden de belirtildiği gibi kömür hazırlama yöntemleri kömürden kül ve kükürtü uzaklaştırırken

pirit, markazit gibi sülfürlü minerallere bağlı cıva içeriğini de azaltmaktadır. Kömür hazırlama diğerlerinin aksine endüstriyel çapta uygulanan en ekonomik yöntemdir. Kömürden cıvanın uzaklaştırılma başarısı kömürün cinsine, sülfürlü minerallerin serbestleşme derecesine ve uygulanan yönteme bağlı olarak değişmektedir. Örneğin epijenetik orijinli, yani iri taneli piritler kolaylıkla kömürden uzaklaştırılabildiği halde kömür matriksi içine dağılmış durumda olan, yani ince taneli piritlerin uzaklaştırılması konvansiyonel yöntemlerle mümkün olamamaktadır.

Kömür yıkama teknikleri arasında yaş ve kuru temizleme yöntemleri bulunmaktadır. 1999`da ABD'de USGS tarafından yapılan geniş kapsamlı bir araştırmada kömür yıkama teknikleriyle kömürden cıvanın yaklaşık %37 oranında uzaklaştırılabildiği bulunmuştur (Toole-O'Neil vd. 1999). ABD'de FGX tipli havalı vibratör ayırıcılarda bile kömürdeki cıva içeriğinin azaltılabildiği gösterilmiştir (Honaker 2007). Polonya`da üretilen ve cıva içeriği 0,01-0,8 olan taşkömürü havalı titreşimli ayırıcı ile temizlenmiş ve cıva içeriğinin %32-57'si azaltılabilmiştir (Baic 2017). Yaş yöntemlerden ağır ortam ayırıcıları, gravite ayırıcıları ve flotasyon endüstriyel çapta uygulanan kömür yıkama yöntemleridir. İleri temiz kömür teknolojileri kömürlerden cıva dahil diğer iz elementlerin uzaklaştırılmasını arttırmaktadır (Makino 2016).

## 3. SOMA BÖLGESİ KÖMÜRLERİNE AİT BİR UYGULAMA

Soma kömürleri üzerinde yapılan bir araştırmada alınan temsili numune üzerinde tane boyutu analizi yapılmış ve elek fraksiyonlarındaki Hg içeriği tespit edilmiştir (Özbayoğlu 2011). Her bir elek fraksiyonu üzerinde 1,90 yoğunlukta yapılan yüzdürme-batırma deneyi ile 1,90'da çöken üründen cıvanın ne ölçüde uzaklaştırılabileceği incelenmiştir. Çizelge 3'te neticesi verilen bu deneye göre 0,8 ppm Hg içeren Soma kömürü 1,90 yoğunlukta yıkandığında toplam cıva içeriğinin % 57,15'i uzaklaştırılabilmektedir.

Çizelge 3. Soma kömürü elek analizi ve +1,90'da atılan cıva oranı.

| Tane boyutu, mm | Ağırlık % | Hg, ppm | +1,90'da atılan Hg% |
|---|---|---|---|
| +50 | 27,22 | 1,0 | 17,31 |
| -50 +18 | 33,67 | 1,0 | 17,15 |
| -18 | 39,11 | 0,6 | 22,69 |
| Toplam | 100,00 | 0,8 | 57,15 |

Endüstriyel çapta çalışan bir tesisten atılabilecek Hg oranını tespit etmek amacıyla Soma bölgesi kömürlerini yıkayan İmbat Lavvarı'ndan çıkan ürünlerin herbirinden temsili numuneler alınmış ve bunların Hg içeriği tespit edilmiştir (Özbayoğlu 2013). Lavvardan +1,80 yoğunlukta atılan şistlerle birlikte cıva içeriğinin ne oranda uzaklaştırılabileceği

saptanmıştır. Çizelge 4'te İmbat Lavvarı ürünleri ve bu ürünlerle uzaklaştırılan Hg oranları verilmiştir.

Çizelge 4. İmbat Lavvarı ürünleri ve Hg uzaklaştırma oranları.

| Ürünler | Ağırlık % | Hg, ppm | Hg içeriğinin dağılımı,% |
|---|---|---|---|
| +18mm temiz kömür | 17,16 | 0,7 | 13,5 |
| 10-18 mm temiz kömür | 4,46 | 1,0 | 5,0 |
| 0,5-10 mm temiz kömür | 14,75 | 1,0 | 16,7 |
| İri miks ve siklon alt akım | 12,74 | 0,7 | 9,9 |
| İri şist | 28,67 | 1,0 | 32,3 |
| İnce şist | 17,96 | 1,0 | 20,2 |
| Tikiner alt akım | 4,26 | 0,5 | 2,3 |
| Tüvenan kömür | 100,0 | 0,89 | 100,0 |

Çizelge 4'teki verilerden iri ve ince şist birleştirildiğinde, İmbat Lavvarı'ndan 1,80 yoğunlukta, 0,89 ppm Hg içeren tüvenan kömürün ağırlıkça % 46,63`ü şist olarak atılmakta ve şistlerin içinde toplam cıva içeriğinin % 52,5'i uzaklaştırılabilmektedir.

## 4. SONUÇLAR

İz elementler arasında en önemlileri As, Be, Cd, Cr, Co, Hg, Ni, Pb, Sb, Se ve U olup insan sağlığını ve ekosistemi bozduğundan tehlikeli hava kirleticileri olarak adlandırılmaktadır. Özellikle termik santral kaynaklı emisyonlardaki iz elementlerin olumsuz etkilerini azaltmak için yakma öncesi temizleme çalışmalarına ağırlık verilmektedir. Yakma öncesi yöntemler arasında biyolojik, kimyasal ve fiziksel bir yöntem olan kömür yıkama sayılabilir. Bu yöntemler arasında kömür yıkama, iz elementlerin uzaklaştırılmasında endüstriyel çapta uygulanan en ekonomik ve pratik yöntemdir.

Cıva, iz elementler arasında en tehlikelilerden birisi olup toksik bileşiği monometilcıva insanların merkezi sinir sistemini bozmaktadır. Yurdumuzdaki linyitlerin cıva içeriği 0,03-0,6 ppm olup yörelere göre içerik değişiklik göstermektir.

Soma linyitleri üzerinde 1,90 yoğunlukta yapılan yüzdürme batırma deneyinde çöken kısımda kömürdeki cıva içeriğinin % 57,15'i atılabilmiştir. Endüstriyel çapta bir kömür yıkama tesisi olan İmbat lavvarında 1,80'de yapılan yıkamada, ince ve iri şistten atılan toplam cıva oranı %52,5'tur. Bu sonuçlar kömürlerin yakılmadan önce temizlenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

Baic, I., Blaschke, W. 2017. Reduction of Mercury Content in Steam Coal- Preliminary Study, 5th International Conference and Exhibition- Coal Washing: A Sustainable Approach Toward Greener Environment, Conference Proceedings, 6-7 Nov, New Delhi, India, pp. 141-151.

Barber, E. 2013. Why Deep Sea Fish Contain more Toxic Mercury than Shallow Water Fish ?, The Christian Science Monitor, Environment, http://www.csmonitor.com/.../Why-deep-sea-fish-contain.

Honaker, R.Q. 2007. Development of an Advanced Deshaling Technology to Improve the Energy Efficiency of Coal Handling, Processing, and Utilization Operations. US Department of Energy, Industrial Technologies Program, Mining of the Future, ID Number:DE-FC26-05NT42501.

Makino, K. 2016. Clean Coal Technology-For the Future Utilization, Clean Coal Technology and Sustainable Development, Proceedings of the 8th International Symposium on Coal Combustion, G. Yue, S. Li (eds), Springer, pp. 3-9.

Marto, A., Awang, A.R., Makhtar, A.M. 2011. Compaction Characteristics and Permeability of Tanjung Bin Coal Ash Mixtures, International Conference on Environment Science and Engineering, IPCBEE, 8. Singapor, IACSIT Press.

Nalbandian, H. 2012. Trace Elements Emissions from Coal, IEA Clean Coal Centre, CCC/203, pp. 1-84.

Özbayoğlu, G. 2010. Potential of Removing Trace Elements from a Turkish Lignite, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 30, pp. 322-330.

Özbayoğlu, G. 2011. Partitioning of Major and Trace Elements of a Turkish Lignite with Size and Density, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 47, pp. 51-60.

Özbayoğlu, G. 2011. Coal Preparation Effect on the Removal of Trace Elements, XIV. Balkan Mineral Processing Congress, Tuzla-Bosnia, Herzegovina, II, pp. 661-664.

Özbayoğlu, G. 2013. Removal of Hazardous Air Pollutants Based on Commercial Coal Preparatıon Plant Data, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 49, 2, pp. 621-629.

Palmer, A.C., Tuncali, E., Dennem, O.K., Coburn, C.T., Finkelman, R.B. 2004. Characterization of Turkish Coals: A Nationwide Perspective, International Journal of Coal Jeology, 60, pp. 85-115.

Senior, C.L., Zeng, T., Che, J., Ames, M.R., Sarofim, A.F., Olmez, I., Huggins, F.E., Shah, N., Huffman, G.P., Kolker, A., Mroczkowski, S., Palmer, C., Finkelman, R. 2000. Distribution of Trace Elements in Selected Pulverizes Coals as a Function of Particle Size and Density, Fuel Processing Technology, 63, pp. 215-241.

Sloss, L.L., 2016. International Overview of Trace Element Legislation and Control, CRF Seminar on the Control of Mercury and Trace Element Emissions, London, IEA Clean Coal Center. IEA Clean Coal Center, www.iea-coal.org

Swain, D. 2000. Why Trace Elements are Important, Fuel Processing Technology, 65-66, pp. 21-33.

Toole-O'Neil, B., Tewalt, S.J., Finkelman, R.B., Akers, D.J. 1999. Mercury Concentrations in Coal, Unraveling the Puzzle, Fuel, 78, pp. 47-54.

Tuncali, E., Ciftci, B., Yavuz, N., Toprak, S., Koker, A., Gencer, Z., Aycık, H., Sahin, N. 2002. Türk Linyitlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri, MTA, Ankara, ISBN:6595.

US National Research Council, 1980. Trace Element Geochemistry of Coal Resource Development Related to Environmental Quality and Health. Washington, DC, USA, National Academy Press.

Wdowiak, M., Henc, M. 2016. Redukcja Rteci w Jednostkach Wytworczych FGE GiEK S.A. w kontekscie wymagan Konkluzji BAT.XI Konferencja Naukowo-Techniczna, Ochrona Srodowiska w Energetyce, Katowice.

Wang, W., Qin, Y., Wang, J., Li, J. 2009. Partitioning of Hazardous Trace Elements During Coal Preparation, The 6th International Conference on Mining Science and Technology, Procedia Earth and Planetary Science 1, pp. 838-844.

Xiangfei, B., Wenhua, L., Yue, W., Hua, D. 2017. International Journal of Coal Science and Technology, 4, 2, p. 172-182.

Zheng, L., Liu, G., Chou, C.L. 2007. The Distribution, Occurrence and Environmental Effect of Mercury in Chinese Coal, Science of the Total Environment, 384, 1-3, p. 374-383.

# KÜKÜRT UZAKLAŞTIRMADA ALKALİ ORTAMIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

## *INVESTIGATION OF EFFECTS OF ALKALINE MEDIA ON DESULFURIZATION*

**Uğur Demir*, Ahmet Aydın**
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Kömüre hem oluşum aşamasında hem de üretim aşamasında karışan çeşitli kirleticilerin önemli çevresel sorunlara neden olduğu bilinmektedir. Kömürde bulunan kükürt ve kül oluşturan mineral maddeler bu çevresel sorunların ana kaynağı olarak görülmekte, bu kirleticiler çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler ile kömürden uzaklaştırılabilmektedir. Bu çalışmada kömür içerisinde oldukça ince boyutlarda dağılmış olan mineral maddeler ve kükürdün (organik ve inorganik) uzaklaştırılmasında kimyasal yöntemlerden yararlanılmıştır. Kükürt ve mineral madde uzaklaştırmada alkali kimyasal olarak NaOH'ın kullanıldığı deneylerde, kimyasal konsantrasyonu, kimyasal işlem süresi, ortam sıcaklığı ve tane boyutunun etkileri incelenmiş ve en yüksek oranda kükürt ve külün uzaklaştırıldığı çalışma şartları belirlenmiştir. %7,06 toplam kükürt ve %25,99 kül içeren kömürden alkali kimyasal yöntemler uygulanarak %6,24 toplam kükürt içeren kömür elde edilmiştir.

**ABSTRACT** It is known that various impurities in coal, which both involved in the coalification process and during production of coal cause important environmental problems. Main sources of these environmental problems are sulfur and ash forming mineral matters. These impurities are removed from coal by physical and chemical desulfurization and demineralization methods. In this study, chemical methods are used for desulfurization and demineralization of coal. NaOH was used as chemical reagent in experimental studies. Effects of operation parameters such as concentration of chemical, chemical reaction time, temperature of reaction media and particle size of coal samples were investigated on desulfurization and optimum operation conditions were determinated. From 7,06% total sulfur and 25,99% ash containing coal, 6,24% total sulfur containing clean coal were obtained by chemical methods.

* *ugur.demir@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Kömürlerin çok büyük miktarlarda tüketildiği tesislerde, özellikle termik santrallerde, yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan çeşitli kirleticiler (kükürt oksitler, azot oksitler, partikül maddeler ve hidrojen sülfitler gibi) atmosfere salınmakta (Jorjani vd. 2004a, 2004b ve 2006, Demir 2016), salınan bu kirleticiler, başta hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisi gibi çok ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu çevresel sorunların ana sorumlularından biri kömürde bulunan kükürttür. Kükürt kömürde, organik ve inorganik formlarda olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. İnorganik kükürt genel olarak iki ana formda disülfitler (pirit ve markasit) ve sülfatlar (kalsiyum, demir ve baryum sülfat) şeklinde, organik kükürt ise kömürün organik yapısı (matriksi) ile doğrudan bağ yapmış şekilde bulunmaktadır (Kawatra ve Eisele 2001, Jorjani vd. 2004a, 2004b ve 2006, Demir 2016, Demir ve Aydın 2016). İnorganik ve organik kükürdün toplamı kömürde toplam kükürt olarak ifade edilmektedir. Organik kükürt oranı toplam kükürt içerisinde %50 civarında bulunuyor ise fiziksel yöntemler ile kükürdün uzaklaştırılması mümkün görülmemektedir. Organik kükürdün kömürden uzaklaştırılabilmesi için kimyasal yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Kimyasal yöntemlerin uygulanması organik kükürt ile birlikte inorganik kükürt ve kül yapıcı minerallerin de uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Fakat kimyasal kükürt uzaklaştırma yöntemleri bugünkü ekonomik koşullarda uygulanabilir değildir. Kömürden kükürt ve kül yapıcı minerallerin önemli bir bölümü kömürün yakılmasından önce (kömür hazırlama yöntemleri kullanılarak), yakılması sırasında (yakma odalarına ilave edilen çeşitli reaktifler ile) ve yakılmasından sonra (baca gazlarından çeşitli filtreleme yöntemleri kullanılarak) atmosfere karışmadan uzaklaştırılmasını sağlayan birçok yöntem mevcuttur (Kawatra ve Eisele 2001, Demir 2016, Aydın ve Demir 2016).

Kömürün bünyesinde bulunan organik ve çok ince boyutlarda serbestleşen inorganik kükürdün fiziksel yöntemler ile uzaklaştırılamaması, kükürt ile seçimli olarak tepkimeye girme özelliğine sahip kimyasal maddelerin kullanıldığı kimyasal yöntemlerin geliştirilmesine neden olmuştur. Bu yöntemlerin uygulanması sonucunda kömürde bulunan kükürt ya doğrudan kömürden ayrılmakta ya da kömürden kolayca uzaklaştırılabilen bir yapıya dönüştürülmektedir. Kimyasal yöntemleri çeşitli gaz ortamlarında ısıl işleme dayanan yöntemler ve yaş kimyasal yöntemler olarak iki grupta ele almak mümkündür.

Yaş kimyasal yöntem ile kömür bünyesinden kükürdün başarılı bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için;

- Kimyasalın kömür bünyesinde bulunan piritik ve organik kükürde seçici olarak etki etmesi,
- Kimyasalın kömürün diğer kısımlarını önemli ölçüde etkilememesi,
- Kimyasalın geri kazanılabilmesi,
- Kimyasalın kömürden ayrılabilmesi için tepkimeye girmeden ve girdikten sonra ya kolay çözünebilir ya da kolay uçurulabilir olması,

- Kimyasalın geri kazanılabilirliği %100 olmadığından, ucuz olması,
- Kimyasalın kullanılmasının yeni bir çevre kirliliği kaynağı oluşturmaması gerekir.

Kömürün kükürdünün giderilmesine yönelik olarak kullanılan kimyasal maddeleri, metaller, metal tuzları, asitler, bazlar, çözücüler, indirgeyici veya yükseltgeyiciler vs. olmak üzere gruplandırmak olasıdır (Karaca vd. 2003, Levent vd. 2007, Alam vd. 2008).

Lolja (1999) kükürt içeriği %3.69 olan Arnavutluk Memaliaj kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılması amacıyla yapmış olduğu çalışmada, önce ağır ortam yöntemi uygulanarak kömürün kül yapıcı mineral madde içeriğini ayırılmaya çalışılmış, daha sonra alkali kimyasal (KOH) ile kimyasal işlem uygulamıştır. Kimyasal işleminin ilk 30 dakikasında toplam kükürdün %38.6'sı uzaklaştırılabilirken 2. saatin sonunda uzaklaştırılan kükürt miktarının %50'ye ulaştığı ifade edilmiştir. Demirbaş (1999) Türkiye'nin farklı yörelerinden aldığı kömür numuneleri üzerinde yaptığı kükürt uzaklaştırma çalışmalarında, alkali ortamın etkilerini araştırmış, alkali ortam oluşturmak amacıyla ağaç külü kullanmıştır. Farklı sıcaklık ve basıncın kükürt uzaklaştırmaya olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada toplam kükürtte %73.2'ye, piritik kükürtte %88.9'a ve organik kükürtte %25.2'ye varan uzaklaştırmaların elde edildiği ifade edilmiştir. Mukherjee ve Borthakur (2001) yüksek kükürt içerikli Hindistan kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılması amacıyla NaOH kullanılmış, en yüksek oranda kükürdün uzaklaştırılmasını sağlamak için farklı çalışma parametreleri üzerinde denemeler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile inorganik kükürtte %50 organik kükürtte ise %10 oranında uzaklaştırmaların sağlandığı belirtilmiştir. Ratanakandilok vd. (2001) yüksek oranda kükürt içeren Tayland kömürlerinden mineral madde ve kükürdün uzaklaştırılması amacıyla Metanol/su ve Metanol/KOH karışımları kullanılmış, uygulanan bu işlemler ile piritik kükürtte %74'e, organik kükürtte %42'ye ve toplam kükürtte %62'ye varan uzaklaştırma oranlarının elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca yazarlar tarafından metanol ve KOH'dan gelen hidrojenin, C-S bağlarının kırılmasında önemli bir rol oynadıkları ifade edilmiştir. Benzer bir çalışma Charutawai vd. (2003) tarafından yapılmış, düşük kaliteli Tayland kömürlerinde bulunan kükürdün, Etanol/KOH karışımı kullanılarak uzaklaştırılabilirliği araştırılmıştır. Ortam sıcaklığı ve sürenin kükürt uzaklaştırmada olumlu etkiler sağladığı, yapılan bu çalışma ile KOH konsantrasyonundaki artışla uzaklaştırılan kükürt miktarında belirgin artışların sağlandığı ve %48 oranında kömürden kükürdün uzaklaştırılabildiği ifade edilmiştir. Demirbaş (2002) Türkiye'nin çeşitli kömür yataklarından alınan farklı oranlarda kükürt içeren kömürlerden kükürt uzaklaştırmak amacıyla bazik kimyasal ortam oluşturmak için ağaç külü, katı atık (organik madde içeren kağıt, karton, yiyecek ve tekstiller) ve çay artığı kullanılmıştır. Organik yapılı atıkların kükürt uzaklaştırmada etkili olduğu ve bu çalışma ile toplam kükürtte %37.2, piritik kükürtte %60.7 ve organik kükürtte ise %22.1 oranında uzaklaştırmaların sağlandığı yazar tarafından ifade edilmektedir. Mukherjee ve Borthakur (2003 ve 2003c) yapmış oldukları bir diğer çalışmada

yüksek oranda kükürt içeren Hindistan kömürleri üzerinde yaptıkları kükürt giderme çalışmalarında KOH ve NaOH'ı önce tek kademe halinde kullanmışlar daha sonra HCl ile beraber tekrar kimyasal işlem gerçekleştirmişlerdir. KOH ve HCl'in kullanıldığı iki kademe kükürt uzaklaştırma işleminde piritik kükürdün tamamı uzaklaştırılırken, organik kükürdün %35-37'si, NaOH ile yapılan çalışmada ise inorganik kükürdün %74.2'sinin uzaklaştırılabildiği ifade edilmiştir. Lui vd. (2008) Çin kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılması işleminde bazik ortamdan (NaOH) yararlanılmış ve çeşitli çalışma parametrelerinin uzaklaştırmaya olan etkinlikleri ve mekanizmanın işleyişini ortaya koymak için çeşitli analiz yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmada sadece bazik ortamda organik kükürdün %66'sı, sülfat kükürdünün %44'ü ve piritik kükürdün %15 uzaklaştırılabilmiş, sonrasında ikinci kademe olarak HCl ile yapılan işlemde organik kükürdün %73'ü, sülfat kükürdünün %83'ü ve piritik kükürdün %84'nün uzaklaştırılabildiği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, yüksek oranda kükürt içeren Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden kükürt ve kül uzaklaştırmada kimyasal yöntemler uygulanmış, alkali özellik taşıyan NaOH kullanılmıştır. Gediz yöresi kömürlerinden kükürt ve kül uzaklaştırmada kimyasal konsantrasyonu, kimyasal işlem süresi, ortam sıcaklığı ve kömür tane boyutunun etkileri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numuneleri, Kütahya merkeze yaklaşık 90 km ve Gediz ilçe merkezine yaklaşık 25 km mesafedeki Gökler kasabasında faaliyet gösteren özel bir şirkete ait kömür ocağından alınmıştır. Temsili olarak alınan kömür numuneleri deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere boyut küçültme işlemine tabi tutulmuş, konileme-dörtleme yöntemi ile azaltma işlemi uygulanmış ve özelliklerinin değişmesinin engellenmesi amacıyla hava geçirmez kilitli poşetlerde depolanmıştır.

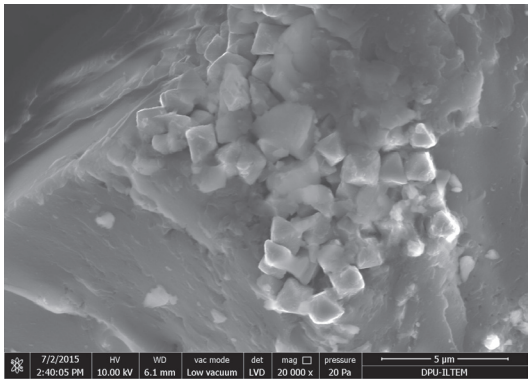
Gediz yöresi kömürleri üzerinde yapılan kısa analiz sonuçları Çizelge 1'de, elementer analiz sonuçları ise Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 1 ve 2 incelendiğinde yöre kömürlerinin %7,06 toplam kükürt içeriğine sahip olduğu, bu kükürdün ise yarıya yakınının (%2,89) organik kökenli olduğu görülmektedir. Ayrıca, yöre kömürlerinin yüksek oranda kül içermesine (%25,99) rağmen ısıl değerinin (5607 Kcal/kg) yüksek olduğu belirlenmiş (Çizelge 1), bu hali ile yöre kömürlerinin yakıt olarak kullanımının önemli çevresel sorunlar oluşturacağı düşünülmektedir. Şekil 1'de Gediz yöresi kömürlerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) ile 20000 kez büyütülmüş görüntüsü görülmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere yöre kömürleri çok ince boyutta pirit tanecikleri içermektedir. Piritin büyük bölümü kömür parçaları içinde kenetli halde, az miktarda kükürt serbest taneler halinde bulunmaktadır.

Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin kısa analiz sonuçları.

| Kısa analiz | (%) |
|---|---|
| Nem | 3,3 |
| Kül | 25,99 |
| Uçucu madde | 32,81 |
| Sabit Karbon | 37,90 |
| | |
| Alt Isıl Değer | 5607 Kcal/kg |

Çizelge 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin elementer analiz sonuçları.

| Elementer Analiz | (%) |
|---|---|
| Karbon | 78,41 |
| Hidrojen | 5,12 |
| Azot | 1,61 |
| Oksijen (farktan) | 7,8 |
| | |
| Toplam Kükürt | 7,06 |
| Organik Kükürt | 2,89 |
| Piritik Kükürt | 3,55 |
| Sülfat Kükürdü | 0,62 |



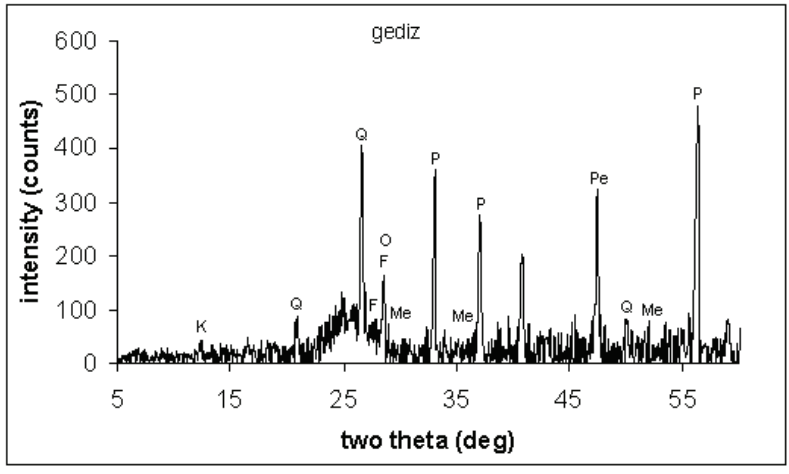

Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin SEM görüntüsü (20000 kez büyütülmüş).

Gediz yöresi kömürlerinin kimyasal analizi Spectro marka X Lab 2000 model XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde kömür bünyesinde önemli miktarda silikat mineralleri ve demirin varlığı görülmektedir.

Çizelge 3. Gediz yöresi kömürlerinin kimyasal analiz sonuçları.

| Bileşik Adı | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $SO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Miktarı (%) | 4,15 | 0,014 | 3,75 | 0,25 | 0,16 | 2,26 | 0,14 | 22,07 |

Gediz yöresi kömürlerinin içerdikleri mineral maddelerin belirlenmesi amacıyla Rigaku MiniFlex marka XRD cihazı ile mineralojik analiz yapılmış elde edilen XRD paterni Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde kömür numunesinde önemli miktarda pirit ve melnikovit (jel pirit) varlığı görülmektedir, piritle beraber bünyede ayrıca kuvarsın ve kalsitin varlığı da görülmektedir. Yöre kömürlerinde ayrıca ikincil olarak kaolin, illit, dolomit, jibs ve markasit bulunurken, az miktarda da karışık kil mineralleri, feldispat ve opal varlığına rastlanmaktadır. Yöre kömürleri bünyesinde az miktarda da olsa serbest pirit tanecikleri de bulundurmaktadır. Yöre kömürlerinin içerdiği kükürt, kömür matriksi içerisine çok ince boyutta dissemine olmuş jel pirit ve kömürün oluşumundan kaynaklanan organik kökenli kükürt şeklindedir. İnorganik yapının önemli bir kısmını oluşturan piritler 5-20 mikronluk tanecikler ve kümeler halinde kömür matriksi içerisinde (diajenetik framboidal pirit) ve mikro çatlaklar içerisinde (epijenetik kristal ve masif tanecikler) dağılmış olarak bulunmaktadır.




Şekil 2. Gediz yöresi kömürleri XRD paterni (K: Kaolin, Q: Kuvars, F: Feldispat, O: Ortoklaz, P: Pirit, Pe: Perovskite (CaTiO3), Me: Melnikovite).

Deneysel çalışmalarda kullanılan temsili kömür numunesi çeneli kırıcıda iki kademe olarak kırıldıktan sonra farklı boyut gruplarına ayrılmıştır. Tane boyutuna bağlı olarak kül ve kükürtte meydana gelen değişim Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi tane boyutu küçüldükçe kül oranında belirgin bir artış meydana gelirken, kükürt oranlarından çok belirgin bir değişim görülmemektedir.

Çizelge 4. Ocaktan alınan temsili kömür numunesinin tane boyut dağılımı ve boyuta bağlı olarak kül, kükürt ve ısıl değer analizleri.

| Tane Boyutu (mm) | Miktar (%) | Kül (%) | Toplam Kükürt (%) | Alt Isıl Değer (Kcal/kg) |
|---|---|---|---|---|
| +63 | 11.51 | 19.51 | 6.90 | 6237 |
| -63+31.5 | 18.31 | 25.21 | 7.42 | 5683 |
| -31.5+16 | 22.95 | 25.20 | 6.93 | 5685 |
| -16+12.5 | 4.37 | 24.48 | 7.08 | 5754 |
| -12.5+4 | 24.04 | 23.97 | 7.35 | 5803 |
| -4+2 | 8.86 | 26.80 | 6.62 | 5529 |
| -2+1 | 4.64 | 35.50 | 6.68 | 4684 |
| -1 | 5.32 | 46.85 | 6.42 | 3582 |
| Toplam | 100 | 25.99 | 7.06 | 5607 |

## 2.2. Yöntem

Yüksek oranda kükürt içeren Gediz yöresi kömürlerinden kükürt uzaklaştırmak amacıyla bazik ortam oluşturmak için NaOH kullanılmıştır. Kömür bünyesinden kükürdü uzaklaştırmak amacıyla bazik kimyasal ortamın kullanıldığı pek çok araştırmada, bazik ortamın kükürt uzaklaştırmada oldukça etkili olduğu belirtilmektedir (Mukherjee vd. 2001, Mukherjee ve Borthakur 2003, Kara ve Ceylan 1988, Lolja 1999). 250 ml hacimli beherler içerisinde saf su ve granül haldeki NaOH karıştırılarak oluşturulan çözeltiye 10 gram öğütülmüş temsili kömür numunesi ilave edilmiştir. Sıcaklık ve devir hızı ayarlanabilen manyetik karıştırıcı kullanılarak belirlenen sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda kömür ve çözeltinin birbirinden ayrılması amacıyla ince filtre kağıtları kullanılarak süzme işlemi yapılmış, kömür sıcak saf su ile birkaç defa yıkanarak çözeltinin bütünüyle uzaklaştırılması sağlanmıştır. Süzülen kömür numuneleri etüvde kurutularak standartlara uygun olarak kül ve kükürt analizleri gerçekleştirilmiştir. Bazik ortam konsantrasyonu (0.5-3 M), ortam sıcaklığı (oda sıcaklığı-90$^{o}$C), reaksiyon süresi (15-120 dk.), katı oranı (%5-30), tane boyutu (38-212 mikron), karıştırma hızı (600-1500 rpm) gibi çalışma parametrelerinin Gediz yöresi kömürlerinden kükürt uzaklaştırmaya olan etkileri incelenmiştir. Kül analizleri Nüve marka MF120 model kül fırınında, kükürt analizleri ise Leco marka SC 144 DR kükürt karbon cihazından yapılmıştır. Uygulanan kimyasal işlem sonrasında kömür bünyesinden uzaklaştırılan kükürt ve kül oranları hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda Merck marka granül halinde NaOH ile saf su kullanılarak konsantrasyon ayarlamaları yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kimyasal işlem sırasında kömür tanecikleri ve kömürün mikro gözenekleri arasına nüfuz eden $Na^{+}/K^{+}$, $OH^{-}$ iyonları kömürün içerdiği organik ve inorganik bileşenler ile çeşitli reaksiyonlara girmekte, bu reaksiyon sırasında inorganik yapının bir kısmını ($SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $SO4^{2-}$, sülfatlar, alkali silikatlar, alüminatlar ve

ferratlar) çözerek bünyeden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Bazik kimyasal ortamın, kömür bünyesinde bulunan kükürdün (sülfat, piritik ve organik) uzaklaştırılmasında oldukça etkili olduğu, sülfatik ve piritik kükürdün büyük bölümünün, organik kükürdün ise önemli bir kısmının (<%40) başarılı bir şekilde uzaklaştırılabildiği yapılan birçok çalışmada ifade edilmektedir (Mukherjee vd. 2001, Mukherjee ve Borthakur 2003, 2003c, Lui vd. 2008, Bolat vd. 1998, Lee ve Shon 1997, Araya vd. 1981, Kara ve Ceylan 1988, Lolja 1999). Elde edilen bu kükürt uzaklaştırma oranları kömürün yapısına ve kükürdün türüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Kömürün bünyesinde bulunan mineral maddelerden, özellikle killi yapıların içerdiği silikat ve alüminat, bazik kimyasal ortam ile reaksiyona girerek yeni çözünebilir silikatların ve alüminatların oluşmasına neden olmaktadır.

$SiO_2 + 2NaOH$ ------ $Na_2SiO_3 + H_2O$
$Al_2O_3 + 2NaOH$ ------ $2NaAlO_2 + H_2O$

Artan bazik ortam konsantrasyonu ve süreye bağlı olarak; meydana gelen yeni bileşiklerin miktarı artmakta, artan miktar ile birlikte bu bileşiklerin konsantrasyonları da artarak çözünmeyen yapılara dönüşmekte, kimyasal ortam içerisinde çökelmektedirler.

$Na_2SiO_3 + NaAlO_3 + NaOH + H_2O$ ----- $[Na_a(AlO_2)_b(SiO_2)_c.NaOH.H_2O]$

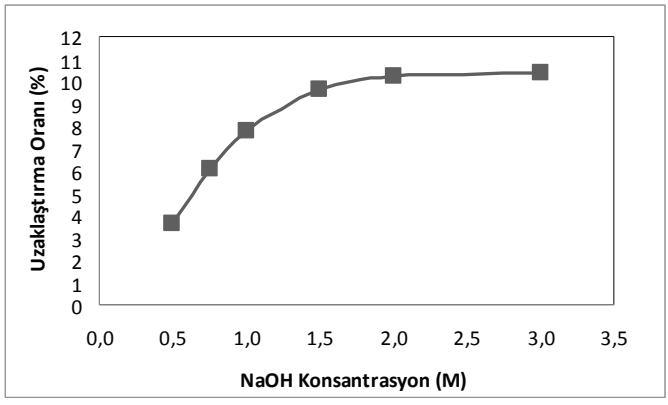
Çökelerek kalan bu yeni yapılar, sodyum alümina silikat olarak isimlendirilmektedir. Kömür ile bazik kimyasal ortamda gerçekleştirilen kükürt uzaklaştırma çalışmaları sonrasında elde edilen ürünün, kükürt içeriğinde belirgin bir azalma meydana gelirken, kül içeriğinde meydana gelen önemli orandaki artış oluşan bu yeni yapılardan kaynaklanmaktadır. Oluşan bu yeni yapıların bünyeden uzaklaştırılması için seyreltik asidik çözelti ile yıkanmasının gerekliliği belirtilmektedir (Yang vd. 1985, Mukherjee ve Borthakur 2003c, Sharma ve Gihar 1991, Demir 2011).

NaOH kömür bünyesinde bulunan piritik kükürt ile tepkimeye girdiğinde çözünebilen sodyum sülfat ve demir hidroksil bileşikleri ile elementer kükürt meydana gelmektedir. Aşağıda NaOH ile pirit arasında meydana gelen reaksiyon görülmektedir.

$2NaOH + FeS_2$ ------ $Na_2S + Fe(OH)_2 + S^0$
$Na_2S + 2H_2O$ ------ $2NaOH + H_2S$
$FeS_2 + H_2O + O_2$ ------ $2FeSO_4 + 2H_2SO_4$

Pirit sulu çözelti içerisinde tepkimeye girmesi sonucu, çözeltinin pH değeri kademeli olarak azalmaya başlamakta, azalan pH değerine bağlı olarak demirde kısmi çözünmeler başlamakta ve demir sülfat ile sülfürik asit oluşmaktadır (Kara ve Ceylan 1988).

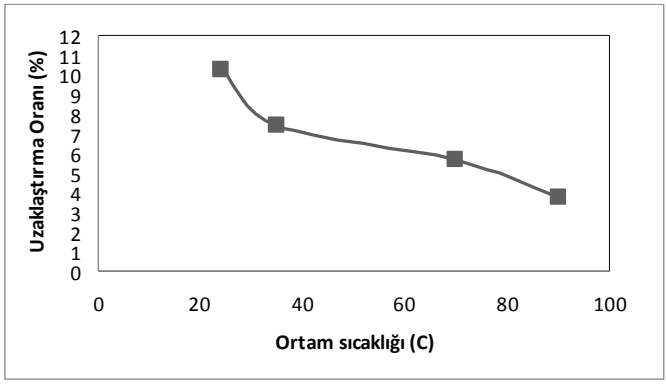
Bazik kimyasal ortamda gerçekleştirilen kükürt uzaklaştırma çalışmalarında ilk olarak kimyasal konsantrasyonunun etkileri incelenmiş ve bu amaçla 0.5-3 M konsantrasyon aralığında deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'den de görüldüğü gibi NaOH konsantrasyonu artışına bağlı olarak Gediz yöresi kömürlerinden uzaklaştırılan kükürt miktarında sürekli bir artış görülmektedir. 1.5 M NaOH konsantrasyonuna kadar belirgin bir şekilde artan kükürt uzaklaştırma oranı, bu değerden sonra yatay bir seyir izlemeye başlamakta, 2 ve 3 M NaOH konsantrasyon değerleri arasında çok büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir (%10.24-10.37). Bu bulgular ışığında 2 M en uygun NaOH konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. Bazik kimyasal ortamda gerçekleştirilen kükürt uzaklaştırma işlemleri sırasında, kömürün bünyesinde bulunan çeşitli mineral maddeler (silikat ve alüminat) NaOH ile reaksiyona girerek yeni çözünmeyen bileşiklerin (sodyum alüminasilikat, $[Na_a(AlO_2)_b(SiO_2)_c.NaOH.H_2O]$) oluşmasına neden olmaktadır. Bu yeni çözünmeyen bileşikler çökelerek kömür bünyesinde kalmakta ve kömürün kül içeriğinde bir miktar artışa neden olmaktadır. Farklı NaOH konsantrasyonlarında gerçekleştirilen kükürt uzaklaştırma deneyleri sonucunda elde edilen ürünlerin kül içeriklerinin beslenen kömürden fazla olması nedeniyle grafiklerde kül değerlerinde meydana gelen değişimler gösterilmemiştir.




Şekil 3. NaOH konsantrasyonunun kükürt uzaklaştırmaya etkisi.

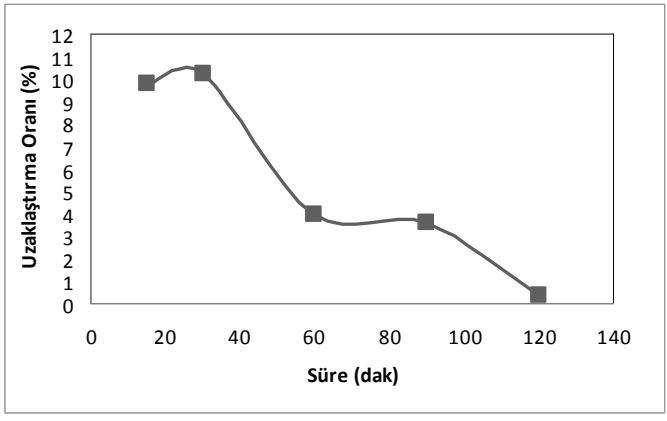
En uygun NaOH konsantrasyonu (2M) belirlendikten sonra, ortam sıcaklığının kükürt uzaklaştırmaya olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla düşük sıcaklık olarak belirtilen oda sıcaklığı ile 90ºC sıcaklık aralığında deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde artan ortam sıcaklığı, uzaklaştırılan kükürt miktarında sürekli olarak azalmaların meydana gelmesine neden olmaktadır. En yüksek kükürt uzaklaştırma değeri olan %10.24 oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir. Genel olarak kimyasal işlemlerde ortam sıcaklığındaki artış kimyasal reaksiyonun etkinliğini olumlu yönde etkilerken, yapılan bu çalışmada farklı bir durum görülmektedir. Kömürden kükürt uzaklaştırmada önemli parametrelerden olan ortam sıcaklığı, NaOH çözeltisinin hazırlanması

sırasında meydana gelen ekzotermik reaksiyon sonucu bir miktar ısınmakta, bu ısı kömür ile çözelti arasındaki reaksiyonun hızlı bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde NaOH ile gerçekleştirilen kükürt uzaklaştırma çalışmalarında, ortamın ısıtılmasının etkin bir parametre olmadığı ortaya konulmuştur.




Şekil 4. Sıcaklık değişiminin kükürt uzaklaştırmaya etkisi.

Bir diğer önemli işlem parametresi olan, reaksiyon süresinin Gediz yöresi kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkisini belirlemek amacıyla farklı reaksiyon sürelerinde (15-120 dakika) deneyler gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir.



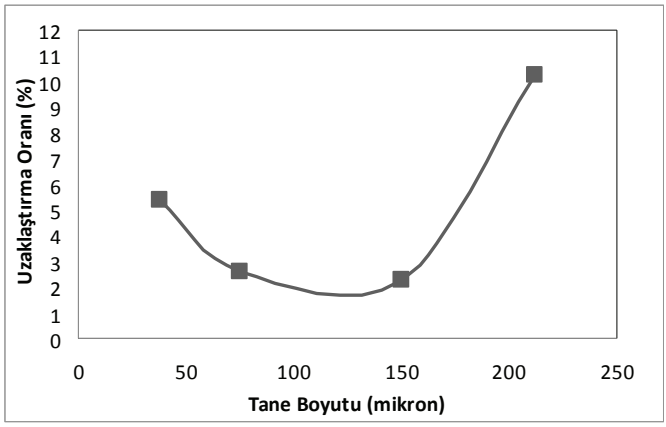

Şekil 5. Reaksiyon süresinin kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi.

Şekil 5 incelendiğinde reaksiyon süresinde meydana gelen artış, uzaklaştırılan kükürt miktarının önce bir miktar artmasına neden olmuştur. 30 dakikalık reaksiyon

süresinde en yüksek oranda kükürt uzaklaştırma elde edilirken, devam eden süre artışı uzaklaştırılan kükürt miktarının sürekli olarak azalmasına neden olmaktadır. Bazik kimyasal ortamda meydana gelen, kömürde bulunan kükürtlü bileşikler ile çözelti arasındaki reaksiyonun büyük bölümü ilk 30 dakikada gerçekleşmektedir. Artan reaksiyon süresi çözünerek sıvı faza geçmiş olan kükürtlü bileşiklerin, kömürde bulunan diğer mineraller ile tekrar bileşik oluşturarak katı faza geçmesine, böylece uzaklaştırılan kükürt miktarında sürekli olarak azalmaların meydana gelmesine neden olmaktadır (Araya vd. 1981, Kara ve Ceylan 1988, Lolja 1999). Ayrıca artan reaksiyon süresi, yeni oluşan çözünmeyen bileşiklerin de artmasına neden olmaktadır. 30 dakikalık reaksiyon süresinin en uygun çalışma süresi olduğu belirlenmiştir.

Kimyasal reaksiyonlarda, reaksiyon hızını etkileyen, kimyasal ile malzemenin en iyi şekilde temasını sağlayan bir nevi katalizör görevi gören önemli parametrelerden birisi de ortamın karıştırılma hızıdır. Yöntem kısmında da belirtildiği gibi kükürt uzaklaştırma çalışmaları, karıştırma hızının ayarlanabildiği ısıtıcılı manyetik karıştırıcılarda gerçekleştirilmiştir. Karıştırma hızının Gediz yöresi kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkisini belirlemek amacıyla 600-1500 rpm karıştırma hızlarında deneyler gerçekleştirilmiş, karıştırma hızının Gediz yöresi kömürlerinden kükürt uzaklaştırmada olumlu etkiler göstermediği belirlenmiştir. Devam eden kükürt uzaklaştırma deneylerinde en yavaş karıştırma hızı olan 600 rpm karıştırma hızı kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Kimyasal reaksiyonda etken parametrelerden, tane boyutu değişiminin Gediz yöresi kömürlerinden kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi incelenmiş, bu amaçla farklı tane boyutundaki (38-212 mikron) kömür numuneleri ile belirlenen çalışma şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde tane boyutunda meydana gelen değişime bağlı olarak uzaklaştırılan kükürt miktarında belirgin bir azalmanın olduğu görülmektedir. Nispeten daha iri boyut olan -212 mikron tane boyutunda, en yüksek kükürt uzaklaştırma oranı elde edilmektedir. Tane boyutundaki azalma, numunenin toplam yüzey alanında önemli artışlara neden olmakta, kimyasal ile kömür taneciklerinin çok daha iyi temas etmesini sağlamaktadır. Bu durum tane boyutunda meydana gelen küçülme ile kükürtlü bileşiklerin serbestleşme derecesinin artması ve böylece uzaklaştırılan kükürt miktarının da artması gerektiğini göstermektedir. Fakat elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde -212 mikron tane boyutunda uzaklaştırılan kükürt miktarı daha ince tane boyutları ile karşılaştırıldığında nispeten daha fazla olmaktadır. Bu durum ise kullanılan kimyasal miktarının yetersizliğinden, serbestleşen tüm taneciklerin kimyasal ile yeteri kadar reaksiyona girememesinden kaynaklanmaktadır. Yapılmış birçok çalışmada kimyasal olarak kükürt uzaklaştırmak için -212 mikron tane boyutunun tercih edildiği görülmektedir.




Şekil 6. Tane boyut değişiminin kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi (2M NaOH, Oda sıcaklığı, 30 dk. reaksiyon süresi, 600 rpm karıştırma hızı, %10 katı oranı).

## 4. SONUÇLAR

NaOH ile hazırlanan bazik kimyasal ortamda Gediz yöresi kömürlerinden kükürt uzaklaştırma çalışmalarında çeşitli işlem parametrelerinin etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar dikkate alındığında en yüksek %10.24 oranında kükürt uzaklaştırılabilmiştir. Oda sıcaklığında, 30 dakika reaksiyon süresi uygulanarak, -212 mikron tane boyutundaki kömür numunesi, 600 rpm karıştırma hızı ve %10 katı oranında yapılan deneyler sonucunda %7.06 kükürt içeren Gediz yöresi kömürlerinden %6.24 kükürt içeren ürün elde edilmiş, bu sonuç istenilen kükürt uzaklaştırma oranı yanında çok düşük seviyelerde kalmıştır.

Uzaklaştırma oranlarının düşük seviyelerde kalmasına, hem piritik kükürdün çok ince boyutta ve kömür içerisinde dağılmış vaziyette olmasından, hem de organik kükürt oranının yüksek seviyelerde olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında oldukça düşük uzaklaştırma oranları elde edilmiştir. Bu durum Gediz yöresi kömürlerinin içerdikleri kükürdün kimyasallara olan direncinin yüksek olduğu türlerin daha fazla olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

Alam, H.G., Moghaddam, A.Z., Omidkhah, M.R. 2008. The Influence of Process Parameters on Desulfuruzation of Mezino Coal by HNO3/HCl Leaching, Fuel Processing Technology, 90, pp. 1-7.

Araya, P.E., Badilla-Ohlbaum, R., Droguett, S.E. 1981. Study of the Treatment of Subbituminous Coals by NaOH Solutions, Fuel, 60, December, pp. 1127-1131.

Bolat, E., Sağlam, S., Pişkin, S. 1998. Chemical Demineralization of a Turkish High Ash Bituminous Coal. Fuel Processing Tehcnology, 57, pp. 93-99.

Charutawai, K., Ngamprasertsith, S., Prasassarakich, P. 2003. Supercritical Desulphurization of Low Rank Coal with Ethanol/KOH. Fuel Processing Technology, 84, pp. 207-216.

Demir, U, 2011. Kütahya Gediz Yöresi Kömürlerindeki Kükürdün Uzaklaştırılması, Doktora tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Demir, U., 2016. Characterization and Desulfurization Possibilities of High Sulfur Gediz-Turkey Coal, 2. International Conference on Engineering and Natural Science Sarajova, Bosna Herzegovia.

Demir, U., Aydın, A. 2016. Desulfurization of High Sulfur Coal by Electron Transfer Method, XV. Mineral Processing Symposium, Istanbul, Turkey.

Demirbaş, A. 1999. Sulfur Removal from Coal by Oxydesulfurization Using Alkaline Solution from Wood Ash, Energy Conversation & Management, 40, pp. 1815-1824.

Demirbaş, A. 2002. Desulfurization of Coal Using Biomass Ash, Energy Sources, 24, pp. 1099-1105.

Jorjani, E,. Rezai, B., Vossoughi, M., Osanloo, M., Abdollahi, M. 2004a. Oxidation Pretreatment for Enhancing Desulfurization of Coal with Sodium Butoxide, Minerals Engineering, 17, pp. 545-552.

Jorjani, E., Rezai, B., Vossouhgi, M., Osanloo, M. 2004b. Desulfurization of Tabas Coal with Microwave Irridation/Peroxyacetic Acid Washing at 25, 55 and 85 °C, Fuel, 83, pp. 943-949.

Kara, H., Ceylan, R., 1988. Removal of Sulphur from Four Central Anatolian Lignites by NaOH, Fuel, 67, pp. 170-173.

Karaca, S., Akyürek, M., Bayrakçeken, S. 2003. The Removal of Pyritic Sulfur from Aşkale Lignite in Aqueous Suspention by Nitric Acid, Fuel Processing Technology, 80, pp. 1-8.

Kawatra, S.K., Eisele, T.C. 2001. Coal Desulfurization, High-Efficiency Preparation Methods, Printed by Edwards Brothers, Ann Arbor, Taylor & Francis Inc., 349 p.

Lee, S,H., Shon, E.K. 1997. Effect of Molten Caustic Leaching on the Combustion Characteristics of Anthracite, Fuel, 76, 3, pp. 241-246.

Levent, M., Kaya, Ö., Kocakerim, M., Yiğit, V., Küçük, Ö. 2007. Optimization of Desulphurization of Artvin-Yusufeli Lignite with Acidic Hydrogen Peroxide Solutions, Fuel, 86, pp. 983-992.

Lolja, S.A. 1999. A Model for Alkaline Removal of Sulfur from a Low-Rank Coal, Fuel Processing Technology, 60, pp. 185-194.

Lui, K., Yang, J., Jia, J., Wang, Y. 2008. Desulfurization of Coal via Low Temperature Atmospheric Alkaline Oxidation, Chemosphere, 71, pp. 183-188.

Mukherjee, S., Borthakur, P., C. 2003a. Effect of Leaching High Sulphur Subbituminous Coal by Potassium Hydroxide and Acid on Removal of Mineral Matter and Sulphur, Fuel, 82, pp. 783-788.

Mukherjee, S., Borthakur, P.C. 2003b. Effect of Alkali Treatment on Ash and Sulphur Removal from Assam Coal, Fuel Processing Technology, 85, pp. 93-101.

Mukherjee, S., Mahjuddin, S., Borthakur, P.C. 2001. Demineralization and Desulfurization of Subbituminous Coal with Hydrogen Peroxide, Energy & Fuels, 15, pp. 1418-1424.

Ratanakandilok, S., Ngamprasertsith, S., Prasassarakick, P. 2001. Coal Desulphurization with Methanol/Water and Methanol/KOH, Fuel, 80, pp. 1937-1942.

Sharma, D.K., Gihar S. 1991. Chemical Cleaning of Low Grade Coals through Alkali-Acid Leaching Employing Mild Conditions Under Ambient Pressure, Fuel, 70, pp. 663-666.

Yang, R.T., Das, S.K., Tsai, B.M.C. 1985. Coal Demineralization Using Sodium Hydroxide and Acid Solutions, Fuel, 64, pp. 735-743.

# KÜKÜRT VE KÜL UZAKLAŞTIRMADA ASİDİK ORTAMIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

## *INVESTIGATION OF EFFECTS OF ACIDIC MEDIA ON DESULFURIZATION AND DEASHING*

**Uğur Demir*, Ahmet Aydın**
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Kömürün içerdiği çeşitli impuritelerin önemli çevresel sorunlara neden olduğu bilinmektedir. Bu impuritelerden kükürt ve kül oluşturan mineral maddeler fiziksel ve kimyasal yöntemler ile kömürden uzaklaştırılabilmektedir. Bu çalışmada kömür içerisinde oldukça ince boyutlarda dağılmış olan mineral maddeler ve kükürdün uzaklaştırılmasında kimyasal yöntemler uygulanmıştır. HCl ve $HNO_3$'ün kullanıldığı deneylerde, asidik kimyasal ortamın kükürt ve mineral madde uzaklaştırmada etkisinin belirlenmesi amacıyla asidik kimyasal konsantrasyonu, kimyasal işlem süresi, ortam sıcaklığı ve tane boyutunun etkileri incelenmiş ve en yüksek oranda kükürt ve külün uzaklaştırıldığı çalışma şartları belirlenmiştir. %7,06 toplam kükürt ve %25,99 kül içeren kömürden kimyasal yöntemler uygulanarak %2,33 toplam kükürt ve %15,92 kül içeren temiz kömür elde edilmiştir. Sonuç olarak, kimyasal yöntemler uygulanarak hem kükürt hem de külde belirgin azalmaların olduğu tespit edilmiştir.

**ABSTRACT** It is well known that various impurities in coal have been caused serious environmental problems. These impurities such as sulfur and ash made mineral matters have been removed from coal by physical and chemical desulfurization and demineralization methods. In this study, chemical desulfurization and demineralization methods were carried out. HCl and $HNO_3$ were used as chemical reagents. Optimum desulfurization and demineralization operation parameters such as concentration of chemical, chemical reaction time, temperature of reaction media and particle size of coal samples were determinated. From 7,06% total sulfur and 25,99% ash containing coal, 2,33% total sulfur and 15,92% ash containing clean coal were obtained by chemical methods. As a result, chemical method was efficiently removed both sulfur and ash from coal.

* *ugur.demir@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Kömür dünyadaki en önemli enerji kaynaklarından birisidir. Kömür rezervlerinin dünyanın birçok yerinde ve önemli miktarda bulunması, geçmişte olduğu gibi gelecekte de kömürün önemini koruyacağını göstermektedir. Düşük kaliteli kömürlerin çok büyük miktarlarda tüketildiği tesislerde, özellikle termik santrallerde, yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan kükürt oksitler, azot oksitler, partikül maddeler ve hidrojen sülfidler vb. kirleticiler atmosfere yayılmaktadır (Jorjani vd. 2004a, 2004b ve 2006, Demir 2016). Atmosfere yayılan bu kirleticiler, başta hava kirliliği, asit yağmurları ve sera etkisi gibi çok ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Düşük kaliteli kömürlerin ortak özelliği, içerdikleri yüksek oranda kükürt, azot, nem, kül ve düşük ısıl değere sahip olmalarıdır. Bu çevresel sorunların ana sorumlularından biri kömürde bulunan kükürttür. Kükürt kömürde, organik ve inorganik formlarda olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. İnorganik kükürt genel olarak iki ana formda disülfidler (pirit ve markasit) ve sülfatlar (kalsiyum, demir ve baryum sülfat) şeklinde, organik kükürt ise kömürün organik yapısı (matriksi) ile doğrudan bağ yapmış şekilde bulunmaktadır. Kömürde organik kükürtler tioller, sülfidler, disülfidler, tiofenler ve siklik sülfidler şeklinde kendini göstermektedir (Kawatra ve Eisele 2001, Jorjani vd. 2004a, 2004b ve 2006, Demir 2016, Demir ve Aydın 2016). İnorganik ve organik kükürdün toplamı kömürde toplam kükürt olarak ifade edilmektedir. Organik kükürt oranı toplam kükürt içerisinde %50 civarında bulunuyor ise fiziksel yöntemler ile kükürdün uzaklaştırılması mümkün olamamaktadır. Organik kükürdün uzaklaştırılabilmesi için kimyasal yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Kimyasal yöntemlerin uygulanması organik kükürt ile birlikte inorganik kükürt ve kül yapıcı mineral maddelerinde uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Fakat kimyasal kükürt uzaklaştırma yöntemleri bugünkü ekonomik koşullarda uygulanabilirliği mümkün değildir. Kömürden kükürt ve kül yapıcı minerallerin önemli bir bölümü kömürün yakılmasından önce (kömür hazırlama yöntemleri kullanılarak), yakılması sırasında (yakma odalarına ilave edilen çeşitli reaktifler ile) ve yakılmasından sonra (baca gazlarından çeşitli filtreleme yöntemleri kullanılarak) atmosfere karışmadan uzaklaştırılmasını sağlayan birçok yöntem bulunmaktadır (Kawatra ve Eisele 2001, Demir 2016, Aydın ve Demir 2016).

Kömürün bünyesinde bulunan organik ve inorganik kükürdün fiziksel yöntemler ile uzaklaştırılamaması, kükürt ile seçimli olarak tepkimeye girme özelliğine sahip kimyasal maddelerin kullanıldığı yöntemlerin geliştirilmesine neden olmuştur. Bu yöntemlerin uygulanması sonucunda kömürde bulunan kükürt ya doğrudan kömürden ayrılmakta ya da kömürden kolayca uzaklaştırılabilen bir yapıya dönüştürülmektedir. Kimyasal yöntemleri çeşitli gaz ortamlarında ısıl işleme dayanan yöntemler ve yaş kimyasal yöntemler olarak iki grupta ele almak mümkündür.

Bir yaş kimyasal yöntem ile kömür bünyesinden kükürdün başarılı bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için; 1- Kimyasalın kömür bünyesinde bulunan piritik ve organik kükürde seçici olarak etki etmesi, 2-Kimyasalın kömürün diğer kısımlarını önemli ölçüde etkilememesi, 3-Kimyasalın geri kazanılabilmesi, 4-Kimyasalın kömürden

ayrılabilmesi için tepkimeye girmeden ve girdikten sonra ya kolay çözünebilir ya da kolay uçurulabilir olması, 5-Kimyasalın geri kazanılabilirliği %100 olmadığından, ucuz olması, 6-Kimyasalın kullanılmasının yeni bir çevre kirliliği kaynağı oluşturmaması gerekir. Kömürün kükürdünün giderilmesine yönelik olarak kullanılan kimyasal maddeleri, metaller, metal tuzları, asitler, bazlar, çözücüler, indirgeyici veya yükseltgeyiciler vs. olmak üzere gruplandırmak olasıdır (Karaca vd. 2003, Levent vd. 2007, Alam vd. 2008).

Karaca ve Ceylan (1997) Beypazarı ve Tunçbilek kömürlerinden mineral madde ve kükürt uzaklaştırmak için $H_2O_2$ ve $H_2SO_4$ kullanmışlar, mineral maddede %70, piritik kükürtte %95, toplam kükürtte ise %58 oranında uzaklaştırma sağlamışlardır. Van Aelst vd. (2000) kömürden kükürt uzaklaştırmada $HNO_3$'ü kullanmışlar, nitrik asidin piritik kükürt üzerinde oldukça etkili olduğunu, aynı zamanda organik kükürdün de uzaklaştırılmasında olumlu etkiler gösterdiğini ifade etmişlerdir. Das ve Sharma (2001) yüksek oranda kükürt içeren Hindistan Assam kömürlerinden organik kükürdün uzaklaştırılmasında kullanılacak kimyasal ve bu kimyasalların etkili olduğu litotipleri belirlemeye çalışmışlardır. Belirlenen kimyasallar ile Assam kömüründe bulunan organik kükürdün %80'inden fazlasının uzaklaştırılabildiği ifade edilmiştir. Karaca vd. (2003) Aşkale linyitlerinden piritik kükürdün uzaklaştırılması amacıyla (%3.22 S) $HNO_3$ kullanmışlar, kömür bünyesinde bulunan piritik kükürdün tamamına yakınını, çözeltinin kaynama sıcaklığında (≈103 ºC), %25 $HNO_3$ konsantrasyonunda uzaklaştırılabildiğini ifade etmişlerdir. Alvarez vd. (2003) İspanyol kömürlerinden (%5.2 ve %7.7 S) $HNO_3$ kullanarak piritik ve sülfat kükürdünün uzaklaştırılmasına çalışmışlar, inorganik kükürdün neredeyse tamamını uzaklaştırdıklarını, toplam kükürtte ise %53 oranında uzaklaştırma sağlayabildiklerini ifade etmişlerdir. Mukherjee ve Borthakur (2003) yüksek kükürt içeren Hindistan Boragolia (%8.4 kül, %4.3 S) ve Ledo (%10.4 kül ve %4.3 S) kömürlerinden mineral madde ve kükürt uzaklaştırma çalışmalarında farklı kimyasallar ($H_2SO_4$, $HNO_3$ ve HCl) kullanmışlar, mineral madde ve kükürt uzaklaştırmadaki etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada en etkili kimyasalın nitrik asit olduğu ifade etmişlerdir. Elsamak vd. (2003) %5.3 toplam kükürt içeren Çayırhan linyitlerinden kükürt uzaklaştırmak amacıyla klasik ısıtma ve mikrodalga ısıtma kullanmışlar, ısıl işlem ile kükürt türlerinde istenilen değişimlerin meydana gelmesinden sonra Hidroiyodik asit (HI) ile kimyasal işlem uygulayarak toplam kükürtte meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Mikrodalga ısıtma ile kısa sürelerde daha yüksek kükürt uzaklaştırma oranlarının elde edildiği ifade edilmiştir. Jorjani vd. (2004a) tarafından İran Tabas kömürlerinden kükürt uzaklaştırmada farklı oksidasyon yöntemleri (açık havada ve PAA ile oksidasyon) ve sodyum batoksitin etkileri araştırılmış, piritik kükürtte %84, organik kükürtte %49 ve toplam kükürtte %67 oranında uzaklaştırmaların sağlandığı belirtilmiştir. Yine Jorjani ve diğ. (2004b) %1.44 toplam kükürt içeren İran Tabas kömürlerinden piritik ve organik kükürdün uzaklaştırılmasında, mikrodalga enerji ve pereksiasetik asitin (PAA) etkilerini araştırmışlar, mikrodalga enerji süresi ile kimyasal konsantrasyonunun artışı ile bünyeden uzaklaştırılan kükürt miktarında artışların (%61.89) olduğunu ifade etmişlerdir. Pietrzak ve Wachowska (2006) yapmış oldukları çalışmada $HNO_3$ ile oksitlenmiş, yüksek kükürt içeren İspanyol

Mequinenza (%4.4 S) ve Hirvatistan Labin (%4.5 S) kömürlerinden, $HNO_3$ kullanılarak piritik kükürdün uzaklaştırılmasına çalışılmış, genel olarak nitrik asit ile oksitlenmiş kömürlerin yüzeylerindeki piritik kükürt tamamıyla uzaklaştırılırken, okside olmuş organik kükürt kalıntılarının bulunduğu belirtilmiştir. Gürü (2007) yüksek oranda kükürt içeren Aşkale linyitlerinden yanabilir kükürdü, nitrik asit kullanarak yanmayan kükürt formuna dönüştürülmeye çalışmış, %38.7'lik kükürt uzaklaştırma oranlarının sağlandığını belirtmiştir. Yine Gürü vd. (2008) Tufanbeyli linyitlerinden kükürt uzaklaştırmak amacıyla hidrojen peroksit kullanmışlar, bünyede bulunan kükürdün %74'ü başarılı bir şekilde uzaklaştırılabilmiştir. Levent vd. (2007) Artvin-Yusufeli yüksek kükürt içeren linyit kömürlerinden kükürdün uzaklaştırılması amacıyla $H_2O_2$ ve $H_2SO_4$ kullanmışlar, Taguchi deney tasarımını kullanarak en uygun çalışma şartlarını belirlemeye çalışmışlardır. Yapılan bu çalışma ile piritik kükürtte %97.85, toplam kükürtte %56.54, organik kükürtte %21.33 ve kül oranında %61.52 oranında azalmaların olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, yüksek oranda kükürt içeren Kütahya-Gediz yöresi kömürlerinden kükürt ve kül oluşturan mineral madde uzaklaştırmada kimyasal yöntemler uygulanmış, asidik özellik taşıyan HCl ve $HNO_3$ kullanılmıştır. Gediz yöresi kömürlerinden kükürt ve kül uzaklaştırmada etkili olan kimyasal konsantrasyonu, kimyasal işlem süresi, ortam sıcaklığı ve kömür tane boyutunun etkileri incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numuneleri, Kütahya merkeze yaklaşık 90 km ve Gediz ilçe merkezine yaklaşık 25 km mesafedeki Gökler kasabasında faaliyet gösteren özel bir şirkete ait kömür ocağından alınmıştır. Temsili olarak alınan kömür numuneleri deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere boyut küçültme işlemine tabi tutulmuş, konileme-dörtleme yöntemi ile azaltma işlemi uygulanmış ve özelliklerinin değişmesinin engellenmesi amacıyla hava geçirmez kilitli poşetlerde depolanmıştır.

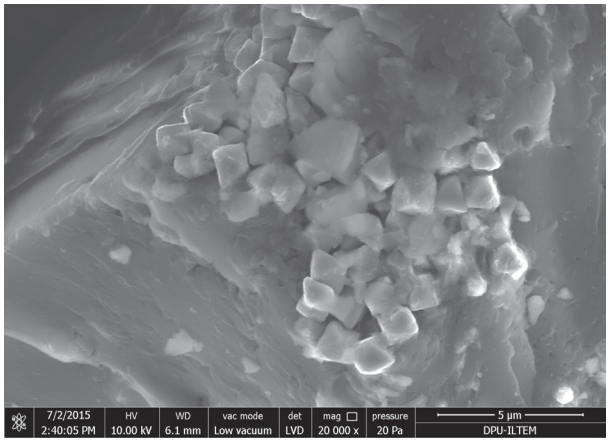
Gediz yöresi kömürleri üzerinde yapılan kısa analiz sonuçları Çizelge 1'de, elementer analiz sonuçları ise Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 1 ve 2 incelendiğinde yöre kömürlerinin %7,06 toplam kükürt içeriğine sahip olduğu, bu kükürdün ise yarıya yakınının (%2,89) organik kökenli olduğu görülmektedir. Ayrıca, yöre kömürlerinin yüksek oranda kül içermesine (%25,99) rağmen ısıl değerinin (5607 Kcal/kg) yüksek olduğu belirlenmiş (Çizelge 1), bu hali ile yöre kömürlerinin yakıt olarak kullanımının önemli çevresel sorunlar oluşturacağı düşünülmektedir. Şekil 1'de Gediz yöresi kömürlerinin taramalı elektron mikroskop (SEM) ile 20000 kez büyütülmüş görüntüsü görülmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü üzere yöre kömürleri çok ince boyutta pirit tanecikleri içermektedir. Piritin büyük bölümü kömür parçaları içinde kenetli halde, az miktarda kükürt serbest taneler halinde bulunmaktadır.

Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin kısa analiz sonuçları.

| Kısa analiz | (%) |
|---|---|
| Nem | 3,3 |
| Kül | 25,99 |
| Uçucu madde | 32,81 |
| Sabit Karbon | 37,90 |
| | |
| Alt Isıl Değer | 5607 Kcal/kg |

Çizelge 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin elementer analiz sonuçları.

| Elementer Analiz | (%) |
|---|---|
| Karbon | 78,41 |
| Hidrojen | 5,12 |
| Azot | 1,61 |
| Oksijen (farktan) | 7,8 |
| | |
| Toplam Kükürt | 7,06 |
| Organik Kükürt | 2,89 |
| Piritik Kükürt | 3,55 |
| Sülfat Kükürdü | 0,62 |




Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesinin SEM görüntüsü (20000 kez büyütülmüş).

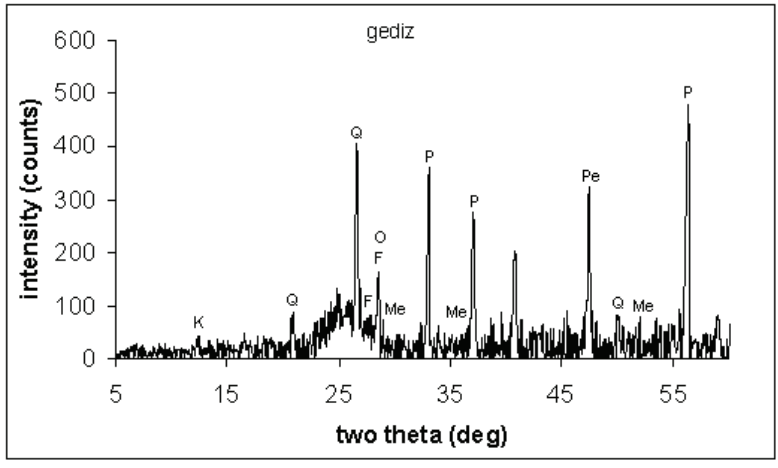
Gediz yöresi kömürlerinin kimyasal analizi Spectro marka X Lab 2000 model XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3

incelendiğinde kömür bünyesinde önemli miktarda silikat mineralleri ve demirin varlığı görülmektedir.

Çizelge 3. Gediz yöresi kömürlerinin kimyasal analiz sonuçları.

| Bileşik Adı | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $SO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Miktarı (%) | 4,15 | 0,014 | 3,75 | 0,25 | 0,16 | 2,26 | 0,14 | 22,07 |

Gediz yöresi kömürlerinin içerdikleri mineral maddelerin belirlenmesi amacıyla Rigaku MiniFlex marka XRD cihazı ile minerolojik analiz yapılmış elde edilen XRD paterni Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde kömür numunesinde önemli miktarda pirit ve melnikovit (jel pirit) varlığı görülmektedir, piritle beraber bünyede ayrıca kuvarsın ve kalsitin varlığı da görülmektedir. Yöre kömürlerinde ayrıca ikincil olarak kaolin, illit, dolomit, jibs ve markasit bulunurken, az miktarda da karışık kil mineralleri, feldispat ve opal varlığına rastlanmaktadır. Yöre kömürleri bünyesinde az miktarda da olsa serbest pirit tanecikleri de bulundurmaktadır. Yöre kömürlerinin içerdiği kükürt, kömür matriksi içerisine çok ince boyutta dissemine olmuş jel pirit ve kömürün oluşumundan kaynaklanan organik kökenli kükürt şeklindedir. İnorganik yapının önemli bir kısmını oluşturan piritler 5-20 mikronluk tanecikler ve kümeler halinde kömür matriksi içerisinde (diajenetik framboidal pirit) ve mikro çatlaklar içerisinde (epijenetik kristal ve masif tanecikler) dağılmış olarak bulunmaktadır.




Şekil 2. Gediz yöresi kömürleri XRD paterni (K: Kaolin, Q: Kuvars, F: Feldispat, O: Ortoklaz, P: Pirit, Pe: Perovskite ($CaTiO_3$), Me: Melnikovite).

Deneysel çalışmalarda kullanılan tüvenan temsili kömür numunesi çeneli kırıcıda iki kademe olarak kırıldıktan sonra farklı boyut gruplarına ayrılmıştır. Tane boyutuna bağlı olarak kül ve kükürtte meydana gelen değişim Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelgeden de görüldüğü gibi tane boyutu küçüldükçe kül oranında belirgin bir artış meydana gelirken, kükürt oranlarından çok belirgin bir değişim görülmemektedir.

Çizelge 4. Ocaktan alınan temsili kömür numunesinin tane boyut dağılımı ve boyuta bağlı olarak kül, kükürt ve ısıl değer analizleri.

| Tane Boyutu (mm) | Miktar (%) | Kül (%) | Toplam Kükürt (%) | Alt Isıl Değer (Kcal/kg) |
|---|---|---|---|---|
| +63 | 11.51 | 19.51 | 6.90 | 6237 |
| -63+31.5 | 18.31 | 25.21 | 7.42 | 5683 |
| -31.5+16 | 22.95 | 25.20 | 6.93 | 5685 |
| -16+12.5 | 4.37 | 24.48 | 7.08 | 5754 |
| -12.5+4 | 24.04 | 23.97 | 7.35 | 5803 |
| -4+2 | 8.86 | 26.80 | 6.62 | 5529 |
| -2+1 | 4.64 | 35.50 | 6.68 | 4684 |
| -1 | 5.32 | 46.85 | 6.42 | 3582 |
| Toplam | 100 | 25.99 | 7.06 | 5607 |

### 2.2. Yöntem

HCl ve $HNO_3$'ün Gediz yöresi kömürlerinden kül ve kükürt uzaklaştırmaya olan etkilerini belirlemek amacıyla kimyasal konsantrasyonu (%5-30), ortam sıcaklığı (oda sıcaklığı-90 $^oC$), reaksiyon süresi (15-120 dk.), katı oranı (%5-30), tane boyutu (38-212 mikron), karıştırma hızı (600-1500 rpm) gibi çeşitli çalışma parametreleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. 250 ml hacimli beherler içerisinde saf su ve asidik kimyasallar karıştırılarak oluşturulan çözeltiye 10 gram öğütülmüş temsili kömür numunesi ilave edilmiştir. Sıcaklık ve devir hızı ayarlanabilen manyetik karıştırıcı kullanılarak belirlenen sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda kömür ve çözeltinin birbirinden ayrılması amacıyla ince filtre kağıtları kullanılarak süzme işlemi yapılmış, kömür sıcak saf su ile birkaç defa yıkanarak çözeltinin bütünüyle uzaklaştırılması sağlanmıştır. Süzülen kömür numuneleri etüvde kurutularak standartlara uygun olarak kül ve kükürt analizleri gerçekleştirilmiştir. Kül analizleri Nüve marka MF120 model kül fırınında, kükürt analizleri ise Leco marka SC 144 DR kükürt karbon cihazından yapılmıştır. Uygulanan kimyasal işlem sonrasında kömür bünyesinden uzaklaştırılan kükürt (%SR) ve kül (%AR) oranları hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda Merck marka %37 derişimde HCl ve %65 derişimde $HNO_3$ kullanılmıştır. Saf su kullanılarak konsantrasyon ayarlamaları yapılmıştır.

## 3. BULGULARLAR VE TARTIŞMA

Hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit ($HNO_3$) kömür bünyesinden mineral madde ve kükürdün uzaklaştırılmasında etkili olduğu yapılan birçok çalışmada belirtilmektedir (Van Aelst vd. 2000, Karaca vd. 2003, Alvarez vd. 2003, Mukherjee ve Borthakur 2003b, Pietrzak ve Wachowska 2006, Gürü 2007). Hidroklorik asit çoğunlukla kömür bünyesinden mineral madde uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Nitrik asit, hidrojen

peroksit gibi önemli oksitleyici kimyasallardan birisidir. Kömür bünyesinde bulunan piritik kükürdün çözünebilir sülfat formuna dönüştürülmesini sağlamaktadır. Nitrik asit ile piritik kükürt arasında meydana gelen reaksiyon aşağıdaki gibidir (Demir 2011).

$FeS_2 + 2HNO_3$ ------- $Fe(NO_3)_2 + H_2S + S$
$2FeS_2 + 6HNO_3$ ----- $2\ Fe(NO_3)_3 + 3H_2S + S$
$6FeS_2 + 30HNO_3$ ------ $3\ Fe(SO_4)_3 + 3\ H_2SO_4 + 30\ NO + 12\ H_2O$

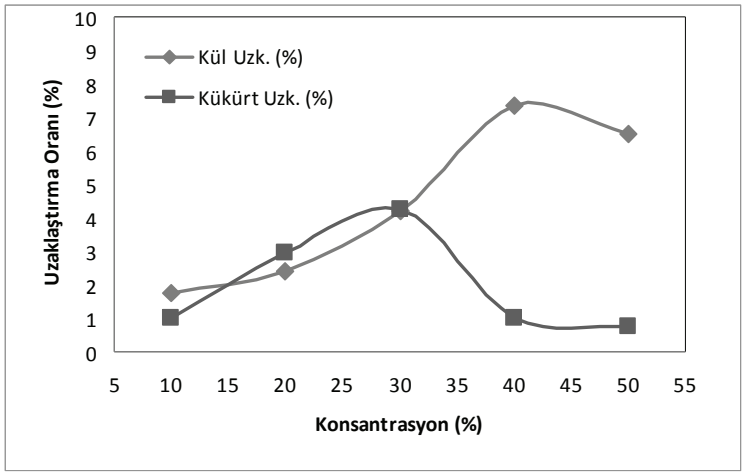
Yapılmış olan birçok çalışmada kömürde bulunan piritik ve sülfat kükürdünün tamamına yakını, organik kükürdün ise belirli orandaki kısmı uzaklaştırılabilmektedir (Karaca ve diğ. 2003, Alvarez ve diğ. 2003, Pietrizak ve Wachowska 2006). Organik kükürdün bünyeden uzaklaştırılmasında, kullanılan kimyasallar kadar kömürde bulunan organik kükürdün türü de etkili olmaktadır. Düşük kaliteli kömürlerde uzaklaştırılması nispeten daha kolay olan organik kükürt türleri (tiyoller) baskın olarak bulunurlarken, kömürün kalitesindeki artışa bağlı olarak kimyasal maddelere karşı daha dirençli olan kükürt türleri (tiyofenler) bulunmaktadır.

Malzeme kısmında belirtildiği gibi Gediz yöresi kömürleri önemli miktarda pirit ile birlikte ikincil olarak kaolin, illit, dolomit, jibs ve markasit bulunurken, az miktarda da karışık kil mineralleri, feldispat ve opal mevcuttur. Kül yapıcı bu mineral maddeler asidik kimyasallar ile önemli oranda tepkimeye girerek ya çözünmekte, yada çözünebilen formlara dönüşmektedir. Böylece kül oluşturan mineral maddelerin önemli bir bölümü uzaklaştırılabilmekte, buna bağlı olarak ısıl değerde belirli bir artış meydana gelmektedir. Feldispat, kalsit ve dolamit gibi minerallerin önemli bir bölümü $HNO_3$ ile kimyasal olarak çözünebilmekte diğer kül yapıcı minerallerde de kısmi çözünmeler meydana gelmektedir. Kalsiyum içeren mineral maddelerin hemen hemen tamamı HCl ile reaksiyona girerek çözünmekte ve kömürün kül oranının azalmasına neden olmaktadır.

Hidroklorik asit ve nitrik asit karışımının beraber kullanıldığı bu çalışmada Gediz yöresi kömürlerinden kül ve kükürdün uzaklaştırılmasındaki etkilerini incelemek amacıyla farklı çalışma parametreleri (HCl ve $HNO_3$ konsantrasyonu, ortam sıcaklığı, reaksiyon süresi, tane boyutu) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak yöre kömürlerinden kül ve kükürt uzaklaştırılmasında tek başına HCl konsantrasyonunun etkilerini belirlemek amacıyla deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir.

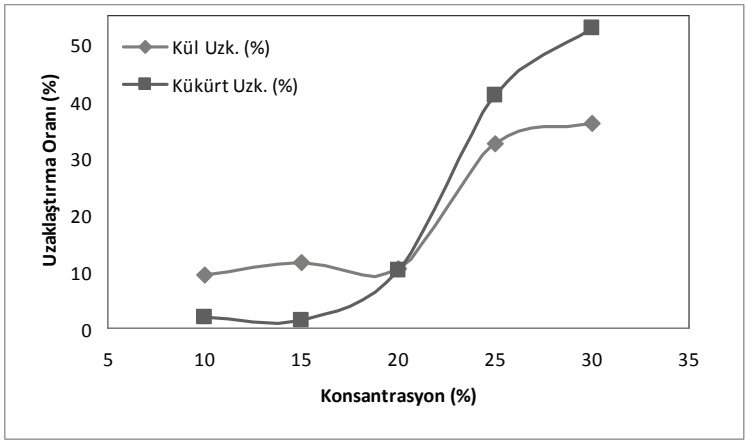
Şekil 3 incelendiğinde HCl'in tek başına hem kül hem de kükürt uzaklaştırmada etkili olamadığı görülmektedir. Kül uzaklaştırma oranında %40 HCl konsantrasyonuna kadar sürekli bir artış meydana gelirken, uzaklaştırılan kükürt miktarı incelendiğinde %30 HCl konsantrasyonuna kadar belirgin bir artış meydana gelmekte, devam eden konsantrasyon artışına bağlı olarak uzaklaştırılan kükürt miktarında azalmaların olduğu görülmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalarda HCl mineral madde uzaklaştırmada etkili iken uzaklaştırılan kükürt miktarında yeterli olamadığı

belirtilmektedir (Mukherjee ve Borthakur 2003). HCl'in düşük molekül ağırlığına ve viskoziteye sahip olması, kömür tanecikleri arasına ve gözeneklere girme kabileyetinin yüksek olmasına neden olmaktadır.




Şekil 3. Hidroklorik asit konsantrasyonunun kül ve kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi.

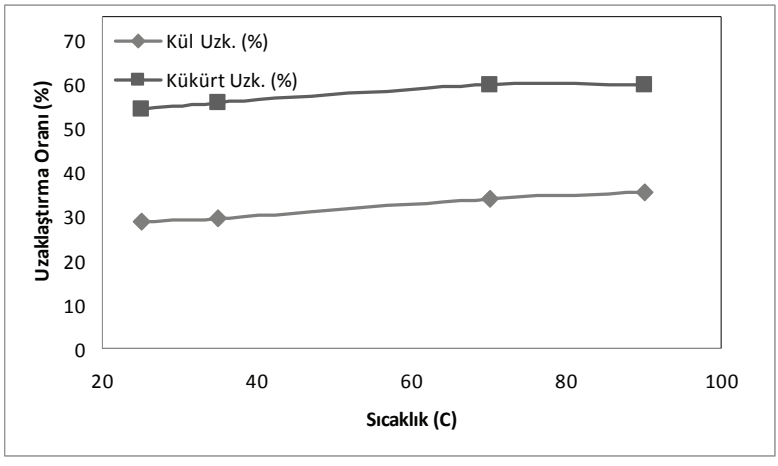
Hidroklorik asit ve nitrik asidin beraber kullanıldığı bu çalışmada HCl konsantrasyonunun (%30) etkisi belirlendikten sonra nitrik asit konsantrasyonunun Gediz yöresi kömürlerinden kül ve kükürt uzaklaştırmadaki etkisini belirlemek amacıyla farklı nitrik asit konsantrasyonlarında (%10-30) deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir.




Şekil 4. Nitrik asit konsantrasyonunun kül ve kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi.

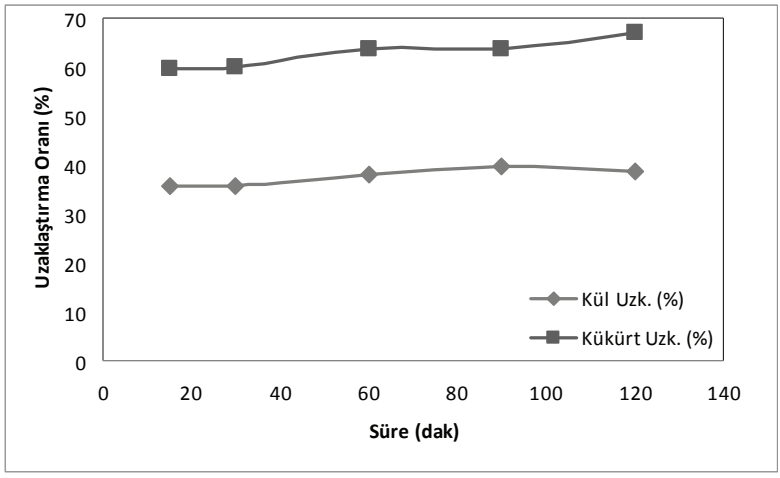
Şekil 4 incelendiğinde düşük nitrik asit konsantrasyonlarında hem kül hem de kükürt uzaklaştırma oranları oldukça düşük seviyelerde iken %25 nitrik asit konsantrasyonunda uzaklaştırılan kül ve kükürt miktarında belirgin artışlar elde edilmiştir. %30 nitrik asit konsantrasyonunda en yüksek kükürt uzaklaştırma oranı (%52) elde edilmiştir. $HNO_3$ kömür bünyesinden kükürt uzaklaştırmada kullanılan oldukça etkili, oksitleyici bir kimyasaldır. Çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmış ve önemli sonuçların alındığı ifade edilmektedir (Van Aelst vd. 2000, Alvarez vd. 2003, Gürü 2007). Kömür bünyesinde bulunan piritik ve sülfat kükürdünün tamamına yakınını, organik kükürdün ise önemli bir kısmının uzaklaştırılmasında etkili olduğu belirtilmektedir. Devam eden deneylerde %30 HCl ile %30 $HNO_3$ beraber kullanılmışlardır.

Gediz yöresi kömürlerinden kül ve kükürt uzaklaştırmada etkileri araştırılan bir diğer işlem parametresi ortam sıcaklığıdır. Farklı ortam sıcaklıklarında gerçekleştirilen kül ve kükürt uzaklaştırma deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak hem kül hem de kükürt uzaklaştırma oranlarında sürekli olarak bir artış gerçekleşmektedir. 70 $^oC$ sıcaklığa kadar devam eden uzaklaştırma oranlarındaki artış, bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında artmaya devam etmekte fakat uzaklaştırma oranları arasındaki fark oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. 70 ve 90 $^oC$ sıcaklıklarında elde edilen sonuçların birbirine yakın olması, ayrıca nitrik asidin yüksek sıcaklıklarda kolayca bozunabilmesi nedeniyle devam eden deneylerde 70 $^oC$'lık ortam sıcaklığı tercih nedeni olmuştur. Kimyasal işlemlerde rekasiyonun gerçekleştirildiği ortam sıcaklığındaki artışlar katalizör görevi görerek reaksiyon hızının artmasına neden olabilmektedir.




Şekil 5. Sıcaklığın kül ve kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi.

Gediz yöresi kömürlerinden kül ve kükürt uzaklaştırmada reaksiyon süresinin etkilerini belirlemek amacıyla farklı reaksiyon sürelerinde (15-120 dakika) deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



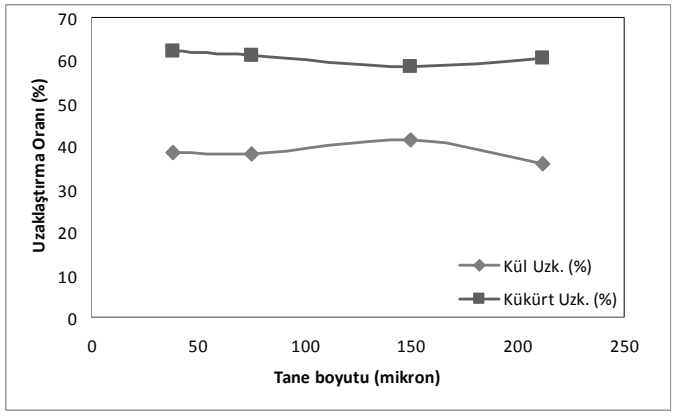

Şekil 6. Reaksiyon süresinin kül ve kükürt uzaklaştırmaya etkisi.

Şekil 6 incelendiğinde Gediz yöresi kömürlerinden kül ve kükürt uzaklaştırma çalışmasından reaksiyon süresi artışına bağlı olarak uzaklaştırılan kül miktarında hemen hemen yatay bir durum gözlenirken, kükürt uzaklaştırma oranlarına bakıldığında azda olsa sürekli bir artışın olduğu görülmektedir. Artan reaksiyon süresi kömür tanecikleri ile kimyasal maddenin daha iyi etkileşim kurmasını sağlamakta bu durumda uzaklaştırılan kül ve kükürt miktarını olumlu yönde etkilemektedir. 60 dakikalık reaksiyon süresine kadar devam eden uzaklaştırma oranlarındaki artış bu reaksiyon süresinden sonra düşük seviyelerde kalmaktadır. 60, 90 ve 120 dakikalık reaksiyon sürelerinde elde edilen sonuçların birbirlerine çok yakın olmaları, en kısa reaksiyon süresi olan 60 dakikalık süresinin devam eden deneylerde kullanılmak üzere belirlenmesine neden olmuştur

HCl ve $HNO_3$ ile kül ve kükürt uzaklaştırma çalışmalarındaki son işlem parametresi olarak tane boyutunun etkileri incelenmiş, bu amaçla farklı tane boyutlarında (38-212 mikron) deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7 incelendiğinde tane boyutu küçüldükçe uzaklaştırılan kül ve kükürt miktarında azda olsa artışların olduğu görülmektedir. Farklı tane boyutlarında elde edilen sonuçlar incelendiğinde sonuçlar arasında çok bariz farkların olmadığı görülmekte, bu durumda tane boyutunun çok fazla küçültülmesinin gerekli olmadığını göstermektedir. Birçok kimyasal yöntemlerin uygulandığı kükürt uzaklaştırma çalışmalarında 212 mikronluk tane boyutunun kimyasal reaksiyon için

yeterli olduğu belirtilmiş ve bu çalışma içinde uygun tane boyutu olarak belirlenmiştir.




Şekil 7. Tane boyutunun kül ve kükürt uzaklaştırmaya olan etkisi.

## 4. SONUÇLAR

Kömür bünyesinde çok ince boyutlarda dağılan mineral maddeler ile organik kükürdün fiziksel yöntemler ile uzaklaştırılabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle kimyasal yöntemlerin uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Günümüz koşullarında kimyasal yöntemlerin uygulanması pek fizibil görülmemekte, fakat önümüzdeki yıllarda nasıl bir değişim olabileceği ön görülememektedir.

Bu çalışmada kullanılan Kütahya-Gediz yöresi kömürleri oldukça yüksek oranda kükürt içermektedir. Genel olarak yerli kömürler arasında bir kıyaslama yapıldığında Gediz yöresi kömürleri Zonguldak taş kömürlerinden sonraki en kaliteli kömürlerden birisidir. Tüvenan hali ile %25,99 oranında kül içermesine rağmen 5600 Kcal/kg ısıl değere sahip olması oldukça önemlidir. Yöre kömürleri kullanılarak yapılan bu çalışmada, HCl-$HNO_3$ ile yapılan deneylerde %38.73 kül, %66.95 kükürt uzaklaştırma oranı %30 HCl ve %30 $HNO_3$ konsantrasyonu, 70 ºC ortam sıcaklığı, 60 dakika işlem süresi, -212 mikron tane boyutu ve %10 katı oranında gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir. Böylece %25.99 kül ve %7.06 kükürt içeren Gediz yöresi kömürlerinden %15.92 kül ve %2.33 kükürt içeren temiz kömür elde edilmiştir. Elde edilen temiz kömürün ısıl değeri yaklaşık 6600 Kcal/kg olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Alam, H.G., Moghaddam, A.Z., Omidkhah, M.R. 2008. The Influence of Process Parameters on Desulfuruzation of Mezino Coal by HNO3/HCl Leaching, Fuel Processing Technology, 90, pp. 1-7.

Alvarez, R., Clemente, C., Limon, D.G. 2003. The Influence of Nitric Acid Oxidation of Low Rank Coal and its Impact on Coal Structure, Fuel, 82, pp. 2007-2015.

Aydın, A., Demir, U. 2011. Kütahya-Gediz Yöresi Kömürlerinin Elektron Transfer Yöntemi ile Kükürdünün Uzaklaştırılması, Proje No: 2011-17 DPÜ Bilimsel Araştırma Projesi.

Das, A., Sharma, D.K. 2001. Organik Desulfurization of Assam Coal and its Sulfur-Rich Lithotypes by Sequential Solvent Extraction to Obtain Cleaner Fuel, Energy Sources, 23, pp. 687-697.

Demir, U., 2011. Kütahya Gediz Yöresi Kömürlerindeki Kükürdün Uzaklaştırılması, Doktora tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Demir U., 2016. Characterization and Desulfurization Possibilities of High Sulfur Gediz-Turkey Coal, 2. International Conference on Engineering and Natural Science, Sarajova, Bosna Herzegovia.

Demir U., Aydın A. 2016. Desulfurization of High Sulfur Coal by Electron Transfer Method, XV. Mineral Processing Symposium, Istanbul, Turkey.

Elsamak, G.G., Öztaş, N.A., Yürüm, Y. 2003. Chemical Desulfurization of Turkish Çayırhan Lignite with HI Using Microwave and Thermal Energy, Fuel, 82, pp. 531-537.

Gürü, M. 2007. Oxidative Desulfurization of Aşkale Coal by Nitric Acid Solution, Energy Sources, Part A, pp. 463-469.

Gürü, M., Sarıöz, B.V., Çakanyıldırım, Ç. 2008. Oxidative Desulfurization of Tufanbeyli Coal by Hydrogen Peroxide Solution, Energy Sources, Part A, 30, pp. 981-987.

Jorjani, E., Yperman J., Carleer, R., Rezai, B. 2006. Reductive Pyrolysis Study of Sulfur Compounds in Different Tabas Coal Samples (Iran), Fuel 85, pp 114–120.

Jorjani, E,. Rezai, B., Vossoughi, M., Osanloo, M., Abdollahi, M. 2004a. Oxidation Pretreatment for Enhancing Desulfurization of Coal with Sodium Butoxide, Minerals Engineering, 17, pp. 545-552.

Jorjani, E., Rezai, B., Vossouhgi, M., Osanloo, M. 2004b. Desulfurization of Tabas Coal with Microwave Irridation/Peroxyacetic Acid Washing at 25, 55 and 85 °C, Fuel, 83, pp. 943-949.

Karaca, H., Ceylan, K. 1997. Chemical Cleaning of Turkish Lignite by Leaching with Aqueous Hydrogen Peroxide, Fuel Processing Technology, 50, pp. 19-33.

Karaca, S., Akyürek, M., Bayrakçeken, S. 2003. The Removal of Pyritic Sulfur from Aşkale Lignite in Aqueous Suspention by Nitric Acid, Fuel Processing Technology, 80, pp. 1-8.

Kawatra, S.K., Eisele, T.C. 2001. Coal Desulfurization, High-Efficiency Preparation Methods, Printed by Edwards Brothers, Ann Arbor, Taylor & Francis Inc., 349 p.

Levent, M., Kaya, Ö., Kocakerim, M., Yiğit, V., Küçük, Ö. 2007. Optimization of Desulphurization of Artvin-Yusufeli Lignite with Acidic Hydrogen Peroxide Solutions, Fuel, 86, pp. 983-992.

Mukherjee, S., Borthakur, P.C. 2003. Demineralization of Subbitumious High Sulphur Coal Using Mineral Acids, Fuel Processing Technology, 85, pp. 157-164.

Pietrzak, R., Wachowska, H. 2006. The Influence of Oxidation with HNO3 on the Surface Composition of High-Sulphur Coals: XPS Study, Fuel Processing Technology, 87, pp. 1021-1029.

Van Aelst, J., Rodriguez, R.A., Yperman, J., Jul, C.C., Franco, D.V., Mullens, J., Van Poucke, L.C. 2000. A.p.-t.p.r. Investigation of the Effect of Nitric acid Leaching on the Sulphur Distribution in Coal, Fuel, 79, pp. 537-544.

# SES ÖTESİ DALGALARIN FARKLI TANE BOYUTLARINDAKİ KÖMÜRÜN FLOTASYONUNDA KULLANILMASI

## *UTILISATION OF ULTRASONIC WAVES IN COAL FLOTATION AT DIFFERENT PARTICLE SIZES*

**Ercan Şahinoğlu***
*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon*

**ÖZET** Ses ötesi dalgalar insan kulağının işitme limitinin üzerindeki frekanslarda yayılan dalgalardır. Ses ötesi dalgalar birçok hizmet sektöründe kullanılmakta olup, cevher hazırlama/ zenginleştirme işlemlerinde de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ses ötesi dalgaların farklı tane boyutlarında yüksek kül-kükürt içerikli kömürün flotasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneylerinde yanabilir verim, kül giderimi ve verim indeksi değerlerinin konvansiyonel flotasyon deney sonuçlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Maksimum yanabilir verim değeri -0,5 mm kömür tane boyutunda ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneyinde %85,96 olarak bulunmuştur. En fazla kül giderimi değeri (%71,81) ve verim indeksi değeri (%49,54) ise -0,125 mm kömür tane boyutunda ses ötesi dalgaların kullanıldığı deneyde elde edilmiştir.

**ABSTRACT** Ultrasonic waves are sound waves which are beyond the capability of hearing range of human ears. Ultrasonic waves are utilized in many applications including mineral processing. In this study, usability of ultrasonic waves in flotation of high ash-sulphur bearing coal at different particle sizes was investigated. In the flotation tests in which ultrasonic waves used, higher combustible recovery, ash rejection and efficiency index was obtained when compared to that of conventional flotation tests. Maximum combustible recovery was obtained as 85.96% in the flotation test performed using ultrasonic waves with -0.5 mm coal. The highest ash rejection (71.81%) and efficiency index (49.54%) was achieved at a particle size of -0.125 mm using ultrasonic waves.

* *ercansahinoglu@ktu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Flotasyon, mineralleri uygun reaktiflerle muamele ettikten sonra, bazı mineral yüzeylerinin havaya karşı, bazılarının suya karşı selektif yakınlaşmalarından istifade edilerek değerli mineral ile değersiz mineralin birbirinden ayrıldığı katı, sıvı ve gaz fazının bir arada bulunduğu fiziko-kimyasal bir cevher zenginleştirme yöntemidir (Güngören vd. 2017). Flotasyon yöntemi ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesi için de yaygın kullanılan bir yöntemdir (Peng vd. 2015). Flotasyon tane boyutu 0,5 mm'nin altında olan kömürlere uygulanabilir (Jaiswal vd. 2015). Kömürler beraber bulunduğu mineral maddelere göre daha fazla hidrofobik özelliğe sahiptir. Bu özellik sayesinde pülpteki ince kömür taneleri, birlikte olduğu mineral maddelerden seçimli olarak ayrılarak su yüzeyine çıkar ve taşarak konsantre şeklinde kazanılır. Mineral maddeler ise pülp içinde kalmaktadır (Şimşek 2007). Flotasyon yönteminin geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Ses ötesi dalgaların flotasyonda kullanımı da bu çalışmalardan bir tanesidir. Ses ötesi dalgalar insan işitme limitinin üzerindeki frekanslarda yayılan dalgalardır (Güngören vd. 2017).

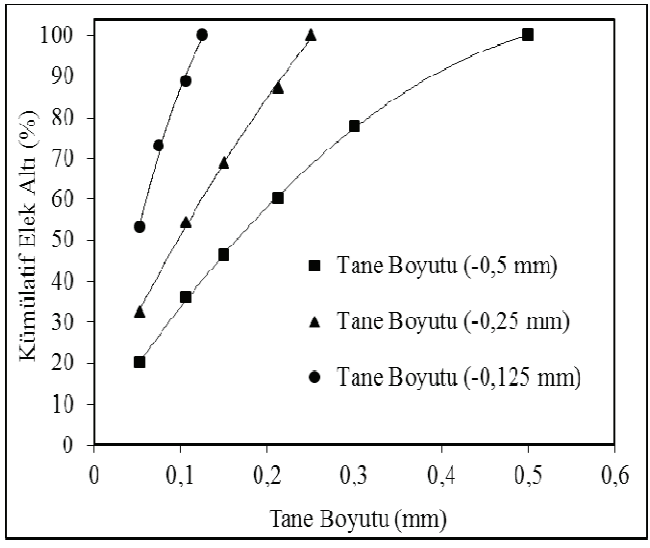
Duyma sınırının üzerinde kalan frekanslardaki ses; ultrason, ultrases veya ses ötesi şeklinde adlandırılmaktadır (Alp 1998). Kullanım alanına bağlı olarak güç yoğunluğu 1 watt/cm$^2$'nin altından, binlerce watt/cm$^2$'ye değişebilmektedir (Gül 2001). Ses ötesi dalgaları sıvı ortamı içinde kavitasyon olarak bilinen bir olay meydana getirmektedir. Bu olay ses ötesi dalgaların su içinde ilerlerken oluşturduğu basınç ve gevşeme olayları sonucunda su moleküllerin ayrılarak oyuklanması ve hızla büzülerek dağılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Oluşan oyuğun çökmesiyle şok dalgaları ve sıvının yüksek hızlı mikrojetleri oluşmaktadır. Şok dalgaları ve sıvı jetleri herhangi bir yüzey üzerinde darbe etkisi yaparak aşınmaya sebep olmaktadır (Taşdemir 2007). Bu etki sayesinde ses ötesi dalgalar cevher hazırlamada kırma, öğütme, eleme, sınıflandırma ve cevher zenginleştirme ise flotasyon, hidrometalurji vb. işlemlerinde kullanılabilmektedir (Yazıcı 2005). Ses ötesi dalgalarının kavitasyon etkisi ile ürettiği mikrojetler ve yine bu etki ile oluşan yüksek sıcaklık-basınç farkları yüzey temizleme işlemlerinde sıklıkla kullanılmasına imkân tanımaktadır. Ses ötesi dalgaların kullanılması ile yüzeyler temizlenerek taze yüzeyler oluşabilmekte, yüzeylerden kil ve şlam gibi küçük boyutlu taneler uzaklaştırılabilmekte ve böylelikle açılan taze yüzeylere kollektör adsorbsiyonu daha iyi olmaktadır (Güngören vd. 2017).

Kömürün yüzeyindeki kilsi yapıdaki malzemelerin yüzeyden uzaklaştırılması, kömür-mineral madde birleşik yapılarının ayrılması kömürün flotasyon yönteminin başarısı için gereken önemli faktörlerdendir. Ses ötesi dalgaların çeşitli alanlarda yüzey temizleme amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla ses ötesi dalgalar, kömürün flotasyonunda, proses öncesi kömür yüzeylerinin temizlemesi amacıyla kullanılabilir. Bu amaçla, üç farklı boyuttaki (-0,5; -0,25; -0,125 mm) yüksek kül (%35,65) ve kükürt (%7,91) içerikli Müzret kömürü 72,8 watt/cm$^2$ gücünde ses ötesi dalga işlemine tabi tutulup flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar konvansiyonel flotasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada Müzret (Artvin-Yusufeli) bölgesi kömür numunesi kullanılmıştır. Bölgeden alınan kömür numunesi laboratuvara getirilerek miktarı konileme-dörtleme yöntemi ve mekanik numune bölücü kullanılarak azaltılmıştır. Elde edilen temsili örnekler laboratuvar tipi çeneli ve merdaneli kırıcı yardımıyla -1,00 mm boyutuna indirilmiştir. Daha sonra çubuklu ve bilyalı değirmenler kullanılarak kuru olarak -0,5 mm, -0,25 mm ve -0,125 mm boyutunun altına öğütülmüştür. Deneylerde kullanılan kömür örneklerinin kümülatif elek altı eğrileri Şekil 1'de gösterilmiştir. Elde edilen temsili örneklerden kömürün kimyasal analizleri ve mineralojik incelemeleri yapılmıştır. Çizelge 1'de Müzret kömürünün analiz sonuçları görülmektedir. Minerolojik analizler, X-ışını difraktometresi (XRD), taramalı elektron mikroskop (SEM) - enerji saçınım spektroskopisi (EDS) kullanılarak belirlenmiştir. XRD analizleri DMAX IIIC Rigaku model cihazla, SEM ve EDS analizleri ZEISS-EVO MA model cihazla yapılmıştır.




Şekil 1. Deneylerde kullanılan kömürlerin kümülatif elek altı eğrileri.

Deneylerde, toplayıcı olarak bitkisel atık ayçiçek yağı kullanılmıştır. Köpürtücü olarak ise çamyağı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan atık ayçiçek yağı Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü kantininden temin edilmiştir. Atık yağ, içindeki fiziksel safsızlıkların giderilmesi amacıyla vakum filtre ile süzülmüştür. Atık yağın, yoğunluğu Alla France tipi hidrometre ile 0,91 gr/cm$^3$ olarak bulunmuştur.

Kömürün XRD analizinde sülfür minerallerinden pirit, kil minerallerinden kaolinit, montmorillonit ve illit, karbonat minerallerinden kalsit, sülfat minerallerinden jips, silikat minerallerinden kuvars tespit edilmiştir. Kömür örneğinin, SEM ve EDS analizleri Şekil 2'de, besleme numunesi üzerinde farklı noktalardan yapılan SEM-EDS analiz sonuçları Çizelge 2'de görülmektedir. Bu analiz sonuçlarından, Şekil 2'(1)'in çoğunluğu kömür olan kömür+kil, (2)'nin kil+kömür+pirit, (3)'ün çoğunluğu kömür olan kömür+kil+pirit, (4)'ün pirit+kömür+kil, (5)'in çoğunluğu kömür olan kömür+kil+pirit olduğu görülmüştür.

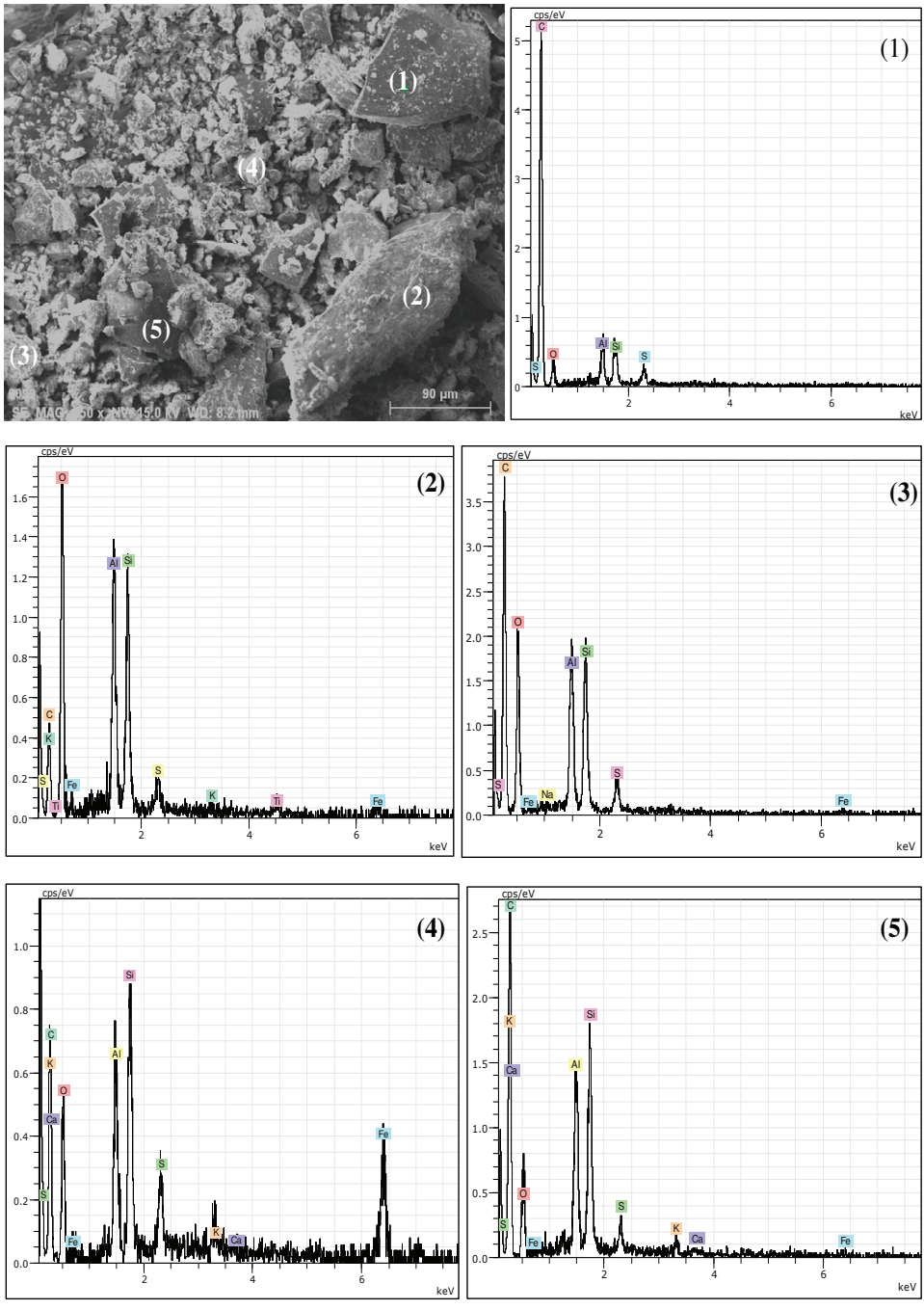
Çizelge 1. Müzret kömürünün analiz sonuçları.

| Bileşenler | Havada Kuru | Kuru |
|---|---|---|
| Nem (%) | 2,25 | - |
| Kül (%) | 34,85 | 35,65 |
| Uçucu Madde (%) | 10,73 | 10,98 |
| Sabit Karbon (%) | 52,17 | 53,37 |
| Sülfat Kükürt (%) | 0,99 | 1,01 |
| Piritik Kükürt (%) | 5,44 | 5,57 |
| Organik Kükürt (%) | 1,3 | 1,33 |
| Toplam Kükürt (%) | 7,73 | 7,91 |
| Kalorifik Değer (kcal/kg) (Üst Isı Değeri) | 4970 | 5084 |

Çizelge 1'den görüldüğü gibi Müzret kömürü yüksek kül ve kükürt içeriğine sahiptir. Piritik kükürt ve sülfat kükürt içeriği oldukça yüksektir.

Çizelge 2. Besleme numunesi üzerinde farklı noktalardan yapılan SEM-EDS analiz sonuçları (Kömür tane boyutu: -0,5 mm).

| | Besleme | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Element (%) | Nokta1 | Nokta2 | Nokta3 | Nokta4 | Nokta5 |
| C | 64,13 | 10,95 | 32,84 | 19,47 | 43,06 |
| O | 29,21 | 57,18 | 47,37 | 26,05 | 36,71 |
| Al | 2,78 | 10,47 | 6,73 | 9,19 | 6,79 |
| Si | 2,18 | 10,61 | 6,85 | 9,96 | 7,87 |
| S | 1,70 | 1,79 | 2,67 | 10,76 | 1,42 |
| K | - | 0,99 | - | 1,76 | 0,87 |
| Ca | - | - | - | 0,84 | 0,44 |
| Fe | - | 5,29 | 3,15 | 21,97 | 2,83 |
| Ti | - | 2,72 | - | - | - |
| Na | - | - | 0,39 | - | - |




Şekil 2. Beslemenin SEM görüntüleri ve EDS analizleri (tane boyutu: -0,5 mm).

## 2.2. Yöntem

Flotasyon deneyleri üç farklı (-0,5; -0,25; -0,125 mm) kömür tane boyutunda gerçekleştirilmiştir. Deneyler 1 L'lik flotasyon hücresinde, 1400 devir/dakika karıştırma hızında, %10 katı oranında, 100 g örnek kullanılarak Denver tipi flotasyon makinasında yapılmıştır.

Konvansiyonel flotasyon deneyinde kömür+su karışımı (900 ml su, 100 gr kömür) 2 dakika karıştırılmış, daha sonra karışıma atık ayçiçek yağı ilave edilip (750 g/t) 5 dakika şartlandırılmıştır ve ortama çamyağı ilavesi yapılıp (100 g/t) 2 dakika daha şartlandırılmıştır. Daha sonra 2 dakika köpük alınmıştır. Deneylerde hava debisi 4 L/dk olarak seçilmiştir. Deneyler doğal pH'da saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Flotasyon konsantresi ilk olarak vakum filtre ile susuzlandırılıp, daha sonra etüvde 105 ºC'de kurutulup tartılmış ve kül analizine tabi tutulmuştur.

Ses ötesi dalgaların flotasyona olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde 750 watt gücünde ve 20 kHz frekansında ses ötesi cihaz (Cole-Parmer) kullanılmıştır (Şekil 3a). Ses ötesi dalgaların kömürün yüzey özelliklerini değiştirmesi sonucu flotasyonda yapacağı etkiyi belirlemek amacıyla, kömür-su karışımı (900 ml su, 100 gr kömür), 1400 dev/dak. hızda 2 dakika karıştırıldıktan sonra 72,8 watt/cm$^2$ gücünde 3 dakika ses ötesi dalga işlemine tabi tutulup (Şekil 3b,c) konvansiyonel flotasyonda olduğu gibi flotasyon işlem süreci devam ettirilip flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 72,8 watt/cm$^2$ güç seçimi ve 3 dakika ses ötesi dalga işlemine tabi tutma süresi yazarın daha önce yapmış olduğu çalışmadan yararlanılarak belirlenmiştir (Sahinoglu ve Uslu 2015).

Şekil 3. Deneylerde kullanılan ses ötesi dalga cihazı (a), Kömür-su karışımının ses ötesi dalga işlemine tabi tutulması (b, c).

Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak, yanabilir verim (YV, %), kül giderimi (KG, %) ve verim indeksi (Vİ, %) hesaplanmıştır (Şimşek 2007).

$$YV\ (\%) = \left[ \frac{C\,(100 - c)}{F\,(100 - f)} \right] x\ 100 \quad (1)$$

$$KG\ (\%) = \left[ 1 - \frac{C}{F}\ \frac{c}{f} \right] x\ 100 \quad (2)$$

$$\text{Vİ}\ (\%) = [\ \text{YV}\ (\%) + \ \text{KG}\ (\%) - 100] \quad (3)$$

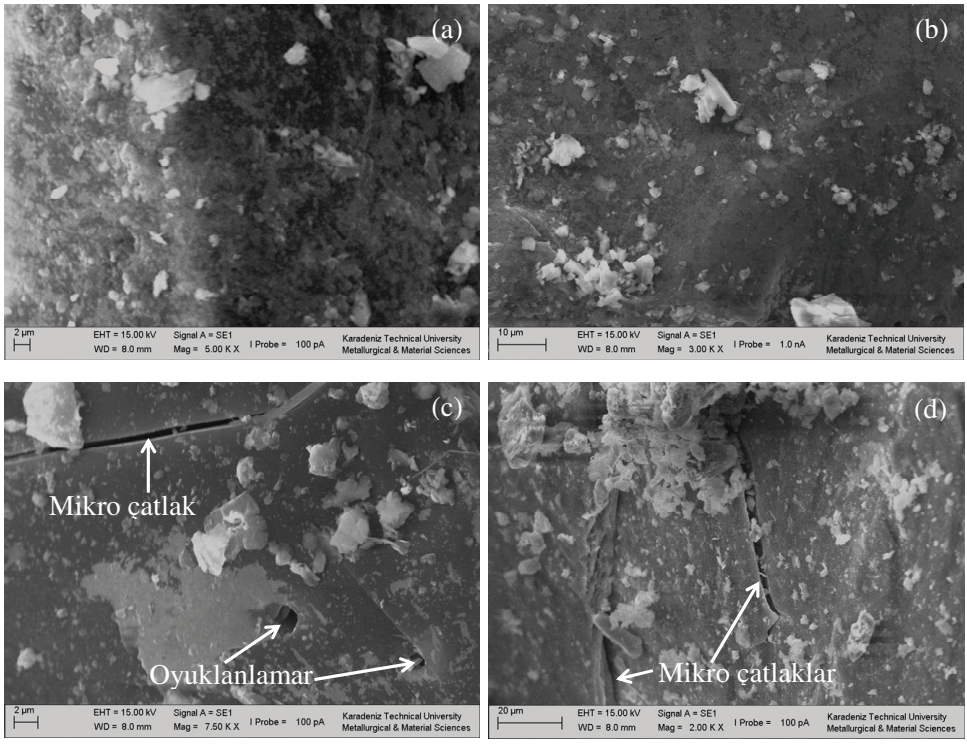
Burada;

C, Konsantrenin ağırlığı (g); c, Konsantrenin külü (%); F, Beslemenin ağırlığı (g); f, Beslemenin külü (%).

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Ses Ötesi Dalgaların Kömürün Yüzey Özelliklerine Etkisi

Ses ötesi dalgaların kömürün yüzey özelliklerine etkisini anlamak için ses ötesi dalgalarla işlem görmemiş ve işlem görmüş kömür tanelerinin SEM görüntüleri çekilerek ses ötesi dalgaların etkisiyle oluşan kavitasyon kabarcıklarının etkisi araştırılmıştır (Şekil 4).

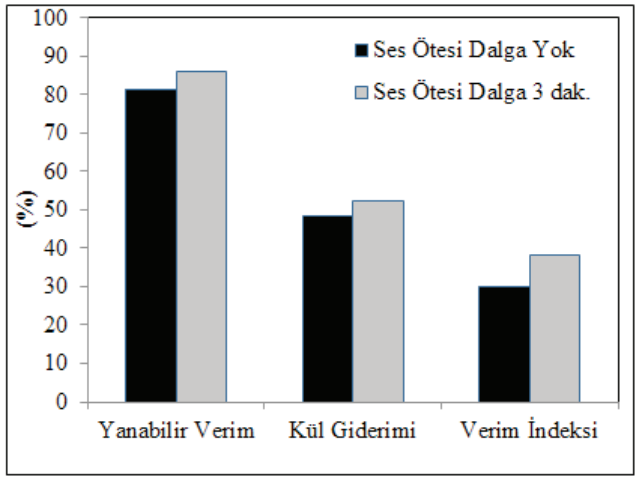



Şekil 4. Kömür tanelerinin SEM görüntüleri: (a, b) ses ötesi dalgalarla işlem görmemiş kömür taneleri, (c, d) ses ötesi dalgalarla işlem görmüş kömür taneleri (72,8 watt/cm$^2$ gücünde 3 dak., kömür tane boyutu: -0,5 mm).

Ses ötesi dalgalarla işlem görmüş kömür taneleri yüzeyinde kavitasyon kabarcıkları etkisiyle mikro çatlaklar ve oyuklanmalar oluşmaktadır. Bu işlem kömür tanelerinin kırılmasına da yol açmaktadır. Şekil 4c,d'de kömür taneleri yüzeyinde oluşan mikro çatlaklar ve oyuklanmalar görünmektedir. Bu oyuklanmalar kömür yüzeyinde taze yeni yüzeylerin oluşması anlamına geldiği gibi sebep oldukları çatlamalar kömürün ortamda kolayca kırılarak tane boyutunun düşmesine ve aynı şekilde yeni yüzey oluşumuna sebep olmaktadır.

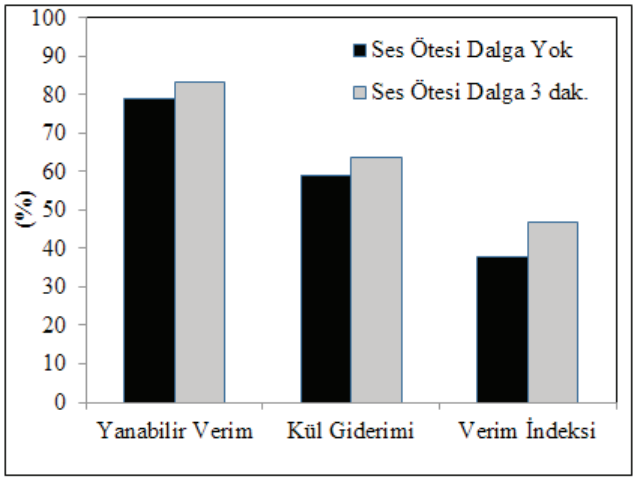
### 3.2. Ses Ötesi Dalgaların Kömürün Flotasyonunda Kullanımı

Kömür tane boyutu -0,5 mm boyutunun altında olduğunda konvansiyonel flotasyon deneyinde yanabilir verim, kül giderimi ve verim indeksi sırasıyla %81,35; %48,59 ve %29,94 olarak elde edilmiştir (Şekil 5). Bu tane boyutunda kömür 72,8 watt/cm$^2$ gücünde 3 dakika ses ötesi dalga işlemine tabi tutulduğunda yanabilir verim %85,96 olurken, kül giderimi ve verim indeksi sırasıyla %52,25 ve %38,21 olarak bulunmuştur (Şekil 5).



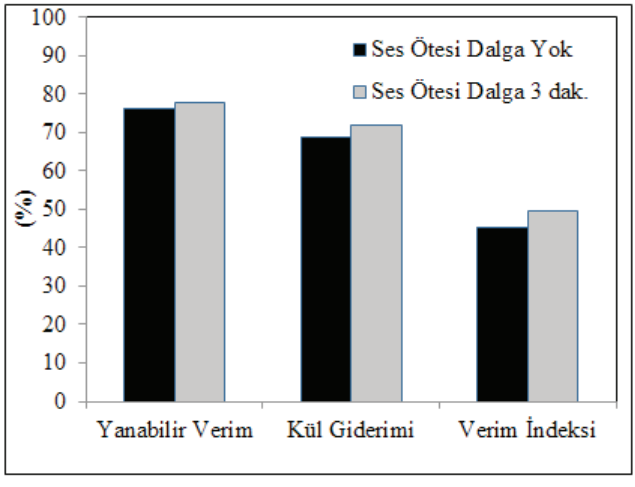

Şekil 5. Kömür tane boyutu -0,5 mm olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

Kömür tane boyutu -0,25 mm boyutunun altında olduğunda konvansiyonel flotasyon deneyinde yanabilir verim %78,92 bulunurken, kül giderimi %58,83 ve verim indeksi %37,75 olarak elde edilmiştir (Şekil 6). Bu tane boyutunda kömür 72,8 watt/cm$^2$ gücünde 3 dakika ses ötesi dalga işlemine tabi tutulduğunda yanabilir verim %83,28 iken, kül giderimi ve verim indeksi sırasıyla %63,73 ve %47,01 olarak bulunmuştur (Şekil 6).




Şekil 6. Kömür tane boyutu -0,25 mm olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

En düşük kömür tane boyutunda (-0,125 mm) konvansiyonel flotasyon deneyinde yanabilir verim, kül giderimi ve verim indeksi değerleri sırasıyla %76,42; %68,77 ve %45,19 olarak elde edilmiştir (Şekil 7). Bu tane boyutunda kömür 72,8 watt/cm$^2$ gücünde 3 dakika ses ötesi dalga işlemine tabi tutulduğunda yanabilir verim %77,73 iken, kül giderimi ve verim indeksi sırasıyla %71,81 ve %49,54 olarak bulunmuştur (Şekil 7).

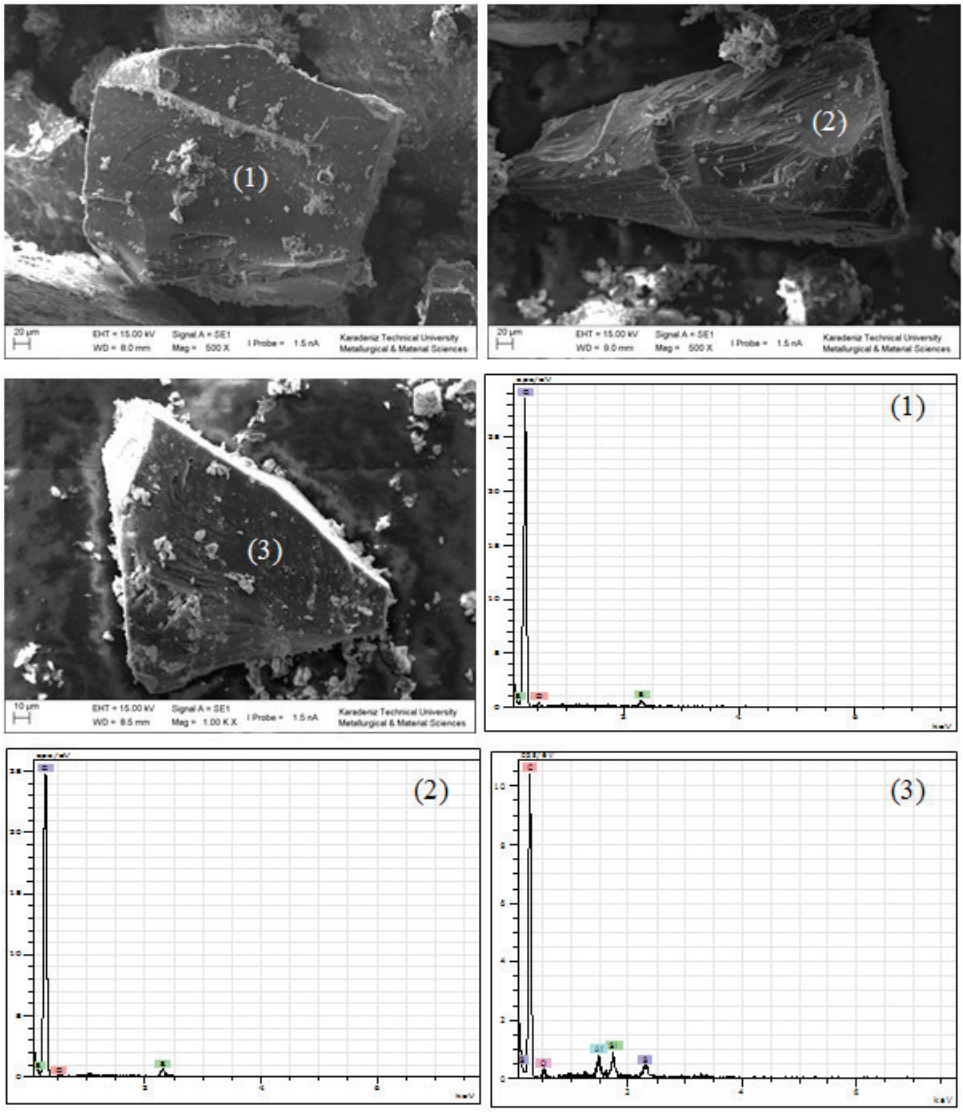



Şekil 7. Kömür tane boyutu -0,125 mm olduğunda elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

Ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneylerinde elde edilen sonuçlar konvansiyonel flotasyon deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, yanabilir verimde ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneylerinde konvansiyonel flotasyon deneylerine göre nispi bir artış olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ses ötesi dalga kullanımı ile kömür tanelerinin yüzeylerinin temizlendiği, daha hidrofobik yüzeylerin oluştuğu bu nedenden dolayı da toplayıcı ve kömür taneleri arasındaki temasın daha iyi sağlanmasından dolayı yanabilir verimin arttığı söylenebilir. Müzret kömürünün yapılan SEM ve EDS analizlerinden kömür taneleriyle birlikte kil tanelerinin de beraber bulunabildiği belirlenmiş olup bu kil tanelerinin ses ötesi dalgalar ile kömür tanelerinden uzaklaştırılması (Şekil 8), flotasyonun daha başarıyla gerçekleşmesine neden olmuştur. Kömür tane boyutu -0,5 mm altında ve ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneyinde yanabilir verim %85,96 olarak maksimum değer olarak bulunmuştur. Ses ötesi dalgalar kullanıldığı flotasyon deneylerinde kül giderimlerinde konvansiyonel flotasyon deneylerine göre nispi bir artış olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ses ötesi dalga işlemi ile kömürle birlikte bulunan kil, pirit ve diğer gang minerallerinin kömürden uzaklaştırılmasıyla açıklanabilir. Ses ötesi dalgaların kullanımı ile oluşan kavitasyon kabarcıklarının etkisiyle kömür tanelerinin kırılması pirit ve diğer mineral maddelerin kömürden serbestleşmesini sağlamaktadır. Maksimum kül giderimi -0,125 mm kömür tane boyutunda ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneyinde %71,81 olarak bulunmuştur. Verim indeksi değerlerinin ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneylerinde konvansiyonel flotasyon deneylerine göre daha fazla olduğu bulunmuştur. Verim indeksi, hem yanabilir verimi hem de kül giderimini birlikte değerlendiren bir kıstas olduğundan bu değer ne kadar yüksek ise zenginleştirme işlemi o kadar başarılıdır. Yanabilir verim değerlerinin ve kül giderimi değerlerinin ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneylerinde daha fazla olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır. Elde edilen maksimum verim indeksi değeri en düşük tane boyutunda (-0,125 mm) ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneyinde %49,54 olarak bulunmuştur.

Bütün tane boyutları için elde edilen sonuçlar üzerinde ses ötesi dalgaların etkisi karşılaştırıldığında, her tane boyutunda yanabilir verimde konvansiyonel flotasyona göre nispi bir artış görülmekle beraber bu artış oranı -0,5 mm ve -0,25 mm kömür tane boyutları için daha fazla olduğu görülmüştür. -0,125 mm kömür tane boyutunda yanabilir verimdeki artış oranının daha az olmasının nedeni ses ötesi dalgalara maruz kalan kömür tanelerinin her ne kadar yüzeyleri temizlenip daha fazla hidrofobik hale gelseler de kavitasyon kabarcıkları etkisiyle kömür tanelerinin boyutlarının daha da azalması bu sonucu ortaya çıkarmıştır. En küçük tane boyutunda (-0,125 mm) diğer tane boyutlarına göre -0,075 mm altındaki kömür miktarının daha da artması yanabilir verimin artışını olumsuz etkilediği düşünülebilir. Bilindiği gibi flotasyon da verim 0,075 mm'in altındaki kömürlerde düşmektedir (Canpolat, 2003). Kül giderimlerinde bütün tane boyutlarında konvansiyonel flotasyona göre nispi bir artış görülmekle beraber bu artış oranı bütün tane boyutlarında nispeten birbirine yakın olduğu ancak -0,125 mm kömür tane boyutunda daha az olduğu belirlenmiştir. Verim indeksinde ise her bir tane boyutunda konvansiyonel flotasyona göre daha fazla bir artış görülmekle beraber bu artış oranı -0,5 mm ve -0,25 mm kömür tane boyutunda

daha fazla olduğu bulunmuştur. Bu durum yanabilir verim ve kül giderimi değişimlerinin iri boyutlarda daha fazla olmasıyla açıklanabilir.




Şekil 8. Ses ötesi dalgalarla işlem görmüş kömür tanelerinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri (kömür tane boyutu: -0,5 mm).

## 4. SONUÇLAR

Ses ötesi dalgalar kavitasyon etkisiyle kömür taneleri yüzeyinde mikro çatlaklar ve oyuklanmalara neden olmaktadır. Bu işlem kömür tanelerinin kırılmasına neden olurken, böylelikle de kömür tanelerinde taze yeni yüzeylerin oluşması sağlanmaktadır.

Ses ötesi dalgaların kömürün flotasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabildiği, elde edilen sonuçların konvansiyonel flotasyon deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bütün tane boyutları için yanabilir verim, kül giderimi ve verim indeksi değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Elde edilen en yüksek yanabilir verim %85,96 olarak -0,5 mm kömür tane boyutunda ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyon deneyinde bulunmuştur. Maksimum kül giderimi ve verim indeksi ise ses ötesi dalgaların kullanıldığı flotasyonda sırasıyla %71,81 ve %49,54 olarak -0,125 mm kömür tane boyutunda elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Alp, İ. 1998. Yüksek Frekanslı Ses Dalgalarının Cevher Zenginleştirmede Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 264 s.

Canpolat, L. 2003. Taşkömürünün Yağ Aglomerasyonu, Flotasyon ve Yağ Aglomerasyonu-Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 88 s.

Gül, E. 2001. Ses Dalgaları ile Türk Linyitlerinin Zenginleştirilmesinin Kömür Dönüşümü ve Ürün Dağılımı Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 93 s.

Güngören, C., Özkan, Ş.G., Özdemir, O. 2017. Ultrasonik İşlemlerin Flotasyonda Kullanımında Farklı Yaklaşımlar, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, s. 727-735.

Jaiswal, S., Tripathy, S.K., Banerjee, P.K. 2015. An Overview of Reverse Flotation Process for Coal, International Journal of Mineral Processing, 134, pp. 97-110.

Peng, Y., Liang, L., Tan, J., Sha, J., Xie, G. 2015. Effect of Flotation Reagent Adsorption by Different Ultra-fine Coal Particles on Coal Flotation, International Journal of Mineral Processing, 142, pp. 17-21.

Sahinoglu E., Uslu, T. 2015. Effects of Various Parameters on Ultrasonic Comminution of Coal in Water Media, Fuel Processing Technology, 137, pp. 48-54.

Şimşek, S. 2007. Farklı Kömürlerin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Klasik Flotasyon Yağları ile Bitkisel Kökenli Yağların Performanslarının Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 382 s.

Taşdemir, A. 2007. Kömür Flotasyonunda Yeni Tekniklerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 176 s.

Yazıcı, E.Y. 2005. Atık Sulardaki Siyanürün Hidrojen Peroksit, Aktif Karbon Adsorpsiyonu ve Ses Ötesi Dalgalarla Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 141 s.

# ŞLAM GÖLETİ MALZEMESİNDEN KÖMÜRÜN KNELSON KONSANTRATÖRÜ İLE KAZANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## *INVESTIGATION OF THE COAL RECOVERY FROM SLIME POND BY KNELSON CONCENTRATOR*

**Ali Uçar, Nezahat Ediz, Oktay Şahbaz, Sevgi Karaca, İ. Göktay Ediz, Cem Şensöğüt***

*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek Lavvarı'nda uygulanan gravite prosesleri sırasında ince boyutlu artıklar oluşmaktadır. Bu durumda yüksek miktarlarda ısıl değere sahip ince kömürler, kazanılmadan üretimi tamamlanmış açık ocak çukurlarına atıldığından ekonomik kayıplara ve önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu artıkların depolandığı açık ocak çukurlarından biri olan 4 No'lu Şlam göleti dolmuş ve halen başka bir eski açık ocak imalat sahasına (6/C) artık şarjı devam etmektedir. Bu çalışmada, GLİ'ye ait 4 No'lu gölette bulunan şlamdan ince boyutlu kömürlerin Knelson Konsantratörü (KC) ile kazanılabilirliğine devir sayısının ve akışkanlaştırıcı su hızının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, yapılan tane boyut analizlerine göre, numunenin en büyük tane boyutu 4 mm iken 0.038 mm altı malzeme oranı ise %69.66 olarak tespit edilmiştir. Yapılan kimyasal (kül, kalori) analizlere göre 4 No'lu şlam göleti malzemesinin kül içeriğinin %68, Üst Isıl değerinin 1603 Kcal/kg olduğu belirlenmiştir. Artık göleti -1+0.038 mm boyut grubunda, KC ile yapılan deneylerde %68.16 100-Kül içerikli temiz kömür %95.09 yanabilir verimle elde edilmiştir.

**ABSTRACT** Fine wastes are formed during the gravity processes applied at the coal preparation plant of Tunçbilek, Western Lignite Corporation (WLC). In this case, coal with a high calorific value is discharged to the open pits' spaces of which their production had already been completed, resulting in economic loss and significant environmental problems. The No. 4 Slime Pond in which these residues are stored, has already been filled and therefore the waste is now being charged to another worked out open pit site (6 / C). In this study, the feasibility of recovering the fine wastes from the pond No. 4 of WLC with the Knelson Concentrator (KC) together with the effect of revolution per minute and water speed used for fluidizing was investigated. For this purpose, according to the particle size analysis of the sample, it was determined that the ratio of material below 0.038 mm is 69.66% when the maximum particle size is 4 mm. It was also defined that ash content of the No. 4 slime pond material was 68% and the upper calorific value was 1603 Kcal / kg, according to the chemical analysis (ash, calorie). For the wastes samples of -1 + 0.038 mm size, 68.16% 100-ash content of clean coal was obtained with 95.09% combustible yield in the experiments with KC.

* *cem.sensogut@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Organik tortul kayaç olan kömür, çoğunlukla minerallerden oluşan inorganik maddeleri ve maserel yapıdaki yanıcı organik maddeleri içerir. Kömür belirli düzeylerde heterojendir. En basit düzeyde, organik ve inorganik fazların bir karışımıdır, ancak kömürün mineral maddesi, oluştuğu bitkinin inorganik bileşenlerinden, diğer organik maddelerden ve kömür yatağına taşınan farklı yapı ve serbestleşme karakteri olan inorganik bileşenlerden meydana gelmiştir (Meyers vd. 2001).

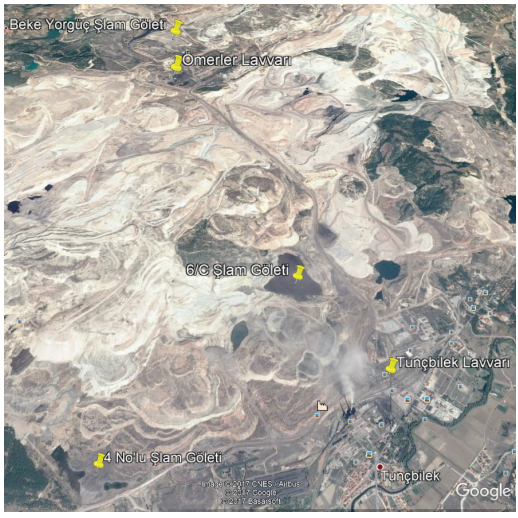
Kömür hazırlama ve zenginleştirme, ham kömürden safsızlıkların (inorganik madde) içeriğinin azaltılarak değerininin yükseltildiği bir prosestir. Proses kalitesinin en yaygın kriteri, yıkama işlemleri sırasında kül yapıcı inorganik maddeler kömürden tamamen uzaklaştırılamaz, ancak daha düşük inorganik madde içeriğine sahip partiküller, daha yüksek inorganik madde içeriğine sahip olanlardan ayrılır (Meyers vd. 2001).

Kömür yıkama (lavvar) şlamlarının su içeriği daha yüksek olup, genellikle kömür madeninin yakınındaki bir atık barajında depolanırlar. Atık barajları, katı kısmın çökmesine imkân veren bir çökeltme havuzu vazifesi görmekte olup, bu barajlarda üstte biriken su drenaj sistemleriyle tahliye edilmektedir (Anon 2017). Tesislerden çıkan atıklar için ayrıca yer kullanılma ihtiyacı ortaya çıkmakta ve zamanla çevreye zarar vermektedirler (Kafadar 1992).

Tunçbilek üretim sahasında GLİ'ye ait Tunçbilek Lavvarı 1952 yılında, Ömerler Lavvarı ise 1993 yılında hizmete alınmıştır. Her iki tesiste de gravite yöntemleri ile yıkama sistemleri bulunmakta olup önemli oranlarda sulu ince artıklar ortaya çıkmaktadır. Bu artıklar uzun zamandır imalatı tamamlanmış 4 No'lu ve Beke Yörgüç açık ocak boşluklarında şlam olarak depolanmıştır. Ancak söz konusu bu boşlukların dolması sebebiyle halen her iki tesisin şlamları 6/C imalat boşluğuna deşarj edilmektedir (Şekil 1).

Şlam atıklarının Maden Atıkları Yönetmeliği'ne göre göletlerde güvenli depolanmasının maliyetlerin oldukça fazla miktarlarda artışa neden olacağı GLİ tarafından belirtilmiştir. Lavvarlarda ortaya çıkan büyük miktarlardaki şlamın depolanacağı alanları yönetmeliğe göre oluşturmak oldukça maliyetli olmakta ayrıca içerisinde taşıdığı kömür nedeniyle de ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Bu nedenlerle artıkların susuzlaştırıldıktan sonra termik santralde değerlendirilmesi düşünülmüş, ancak yüksek susuzlaştırma maliyetleri, yetersiz ısıl değer (1300-1800 Kcal/kg) ve nem (%30-35) gibi sorunlardan dolayı bu mümkün olmamaktadır.

İşletme tarafından Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst için protokol değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre sadece susuzlaştırma ile bu baz değerlerin sağlanamayacağı yani zenginleştirme yapmanın zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.




Şekil 1. Beke-Yörgüç ocağı, 4 No'lu ocak ve 6/C panosu içindeki imalat boşluğu şlam göletleri ve Tunçbilek Lavvarı konumları.

Çizelge 1. Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst protokol değerleri.

| Baz AID (Kcal/Kg) | En Yüksek AID (Kcal/Kg) | En Düşük AID (Kcal/Kg) | Nem (%) | Kül (%) | Tane Boyu (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 350 | 3 000 | 1 900 | 24 (± %10) | 42 (± %10) | 0-1000 |

İri kömürün (+0.1 mm) zenginleştirilmesinde ağır ortam, jig, sallantılı masa, spiraller, siklon gibi organik ve inorganik bileşenlerin yoğunluk farkına göre ayırımını yapan aygıtlar endüstriyel olarak yüksek verimlilik ve düşük maliyet nedenleri ile etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu aygıtlarda, ince boyutlarda kazanım verimi düşmekte, 0.1 mm boyutunun altında ise kazanım oldukça güçleşmekte ve maliyet artmaktadır (Kemal ve Arslan 1999, Uslu vd. 2012). Bu tür ince boyutlu kömürlerin kazanımında ise santrifüj kuvvetlere dayalı gelişmiş gravimetrik zenginleştirme ve flotasyon daha etkin yöntemler olmaktadır (Osborne 1988, Özbayoğlu ve Mamurekli 1988, Aktaş 2002, Honaker vd. 1996). Ancak, flotasyon yönteminde ayrıca reaktif maliyetleri ile birlikte çevresel sorunlar ortaya çıkmakta ve oksitlenmiş kömürlerde performans düşmektedir (Peer vd. 2002, Uslu vd. 2012, Kökkılıç vd. 2015, Ghaffari ve Farzanegan 2017). Yoğunluğa dayalı ayırım mekanizmasını kullanan santrifüj ayırıcıları, dikey eksenli makineler (Knelson, Falcon vb.), santrifüj jigler (Altar jigi, Kelsey jigi) ve yatay eksenli makineler (MGS, SLS vb.) olmak üzere üç temel türe ayrılabilirler. Bu cihazların yüksek yerçekimi kuvveti kullanması ile çok-ince serbest parçacıkların verimli ve etkili ayrılmasını sağlamaktadır (Honaker vd. 1996, Xiao 1998, Peer vd. 2002, Kökkılıç vd. 2015).

Kömürlerin kırılgan yapıda olabilmeleri ve dolayısıyla yıkama işlemleri sırasında ince boyutlara geçmesi, ayrıca artan mekanize üretim yöntemleri nedeniyle artan ince boyutlu kömürler, tesislerde mevcut yöntemler kullanılarak kazanılamamaktadır. Bu ince kömürler sadece ekonomik kayıplara neden olmamakta aynı zamanda da çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu gibi nedenler ince fraksiyonlardaki kömürün değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde gelişmiş gravite ayırıcıları kullanılarak yapılmış çalışmaya rastlanırken, ülkemizde bu cihazların endüstriyel kullanımı sınırlı kalmıştır.

Sözü edilen eğilimlere dayanarak, günümüz kömür hazırlama tesislerinde bulunan ince kömürü geri kazanmak için oldukça etkili bir fiziksel kömür temizleme teknolojisine ihtiyaç olduğu açıktır. Bu ayırıcılardan birisi olan Knelson Konsantratörü (KC), akışkan yatak mekanizması kullanarak konsantrasyon görevini yerine getiren dikey eksenli konik kase tipi santrifüj separatördür. KC'lerin farklı serileri, dünyanın dört bir yanındaki baz metal, kömür ve geri kazanım endüstrileri gibi farklı uygulama amaçları için kullanılmaktadır. KC, basit yapı, az yer kaplamaları, yüksek kapasite, geniş parçacık boyutları için geri kazanımın avantajlarını ve en önemlisi tek bir aşamada 1000:1'e kadar çok geniş zenginleştirme oranlarına sahip olma avantajlarına sahiptir. KC'nin ayırma prensibi, ağır ve hafif parçacıklara uygulanan santrifüj kuvvetleri ve ayırma yatağı akışkanlaştırması arasındaki farka dayanmaktadır (Honaker vd. 1996, Xiao 1998, Uslu vd. 2012, Kökkılıç vd. 2015, Öney ve Tanrıverdi 2016, Fatahi ve Farzanegan 2017, Ghaffari ve Farzanegan 2017)

Bir santrifüjlü akışkan yatakta parçacık hareketi, konik haznenin geometrisi, parçacıkların fiziksel özellikleri ve konsantratörün çalışma koşulları gibi bir dizi parametreye bağlıdır. KC'nin verimliliği ayrıca, besleme parçacıklarının boyutu, besleme türü, besleme tane sınıfı, besleme hızı, santrifüj kuvveti yoğunluğu, konsantrasyon devri, süresi ve yatak akışkanlaştırıcı su akış hızı ve basıncı gibi bazı temel parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerdeki küçük değişiklikler, ayırma işleminin etkinliğinde önemli değişikliğe neden olabilir (Öney ve Tanrıverdi 2016, Fatahi ve Farzanegan 2017).

Daha önceden değişik boyutlarda ve özelliklerdeki kömürlerin KC'ünde zenginleştirilmesi ile ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir; Bu çalışmalarda daha çok akışkanlaştırıcı su hızının, santrifüj kuvvetin ve besleme hızının ayırmaya etkisi araştırılmıştır.

Sabah ve Koltka'nın (2014) ELİ Soma işletmeleri artık havuzundan alınan numunelerden elde ettikleri -0.5+0.038 boyut grubu %42.6 kül içerikli malzemenin KC'de zenginleştrilmesi ile %30.51 kül içeren temiz kömürü %81.18 ağırlık ile elde etmişlerdir.

Honaker vd. (1996), yaptıkları çalışmada -0.6+0.210 mm boyu grubundaki %21 küllü malzemenin KC'ünde zenginleştirilmesi ile %8 küllü temiz kömürü %85 yanabilir

verimle elde edilmiştir. Yine Honaker ve Das (2004) yaptıkları çalışmada -0.150+0.044 mm boyut aralığındaki %22 küllü malzemenin pilot çaplı KC'ünde zenginleştirilmesi ile %8 küllü temiz kömürü %70 verimle elde etmişlerdir.

Öney ve Tanrıverdi (2016) tarafından, -1+0.15 mm boyutundaki %34.30 kül içeren Amasra kömürlerinin KC'de zenginleştirilebilirliği ile ilgili yapılan bu araştırmaya göre %16.28 küllü temiz kömür % 67.82 verimle elde edilmiştir.

Uslu vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, yüksek kükürtlü oksitlenmiş bir kömürü, -0.106, -0.300+0.106 ve -0.500+0.300 mm boyut aralıklarında sınıflandıktan sonra KC ile temizleme işlemine tabi tutulmuştur. -0.500+0.300 mm boyut aralığında %99.13 yanabilir verim ile %60.94 kül uzaklaştırması sağlanmıştır.

Bu çalışmada, KC'yi kullanarak GLİ 4 No'lu şlam göleti artıklarında bulunan ince boyutlu kömürlerin temizleme imkânı ve bazı parametrelerin ayırma üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde kullanılan malzemeler, GLİ İşletmesine ait 4 No'lu olarak adlandırılan artık göletlerinden alınmıştır. Artık sahasından alınan malzeme Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'na getirilmiş ve karıştırılarak homojenize edilmiştir. Daha sonra numune, konileme-dörtleme ve numune bölücü ile azaltılarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere depolanmıştır. Zenginleştirme deneylerinde kullanılacak malzemelerin tane boyutlarına göre ayırma işlemlerinde Russel elek kullanılmıştır.

Göletten alınan orijinal boyutlardaki numunelerin boyut fraksiyonlarına göre madde miktarı dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi yapılmıştır. Bu analiz için RETSCH marka elekler kullanılmıştır. Besleme numunelerinin tane boyut analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde (orijinal boyutlar) en büyük tane boyutu 4 mm, -0.038 malzeme oranı da %69.55 olarak tespit edilmiştir. Gölet numunesinin tane boyut gruplarına göre kül, üst ısıl değer (ÜID) analizleri yapılmıştır. Kül analizleri Nüve marka kül fırınında ve kalori ölçümleri IKA WERKE cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Tane boyutunun düşmesine bağlı olarak kül değerlerinin artıp kalorinin düşmesi beklenen bir durumdur. Ayrıca besleme malzemesinin kül değerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. 4 No'lu gölet numunesinin kül ve ısıl değerleri.

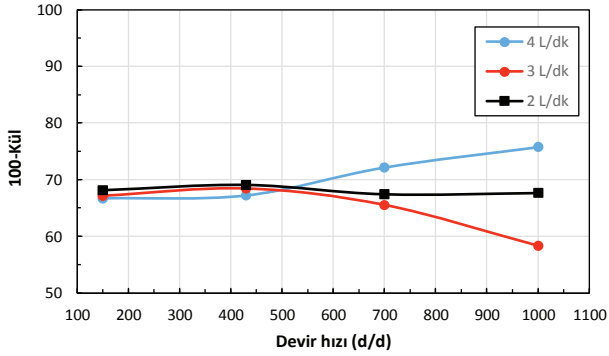
| Tane Boyutu (mm) | Fraksiyonel | | | Kümülatif | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ağırlık (%) | Kül (%) | ÜID (Kcal/kg) | Ağırlık (%) | Kül (%) | ÜID (Kcal/kg) |
| +4 | 0.24 | 27.25 | 5191 | 0.24 | 27.25 | 5191 |
| -4+2 | 1.50 | 24.83 | 5441 | 1.74 | 25.16 | 5407 |
| -2+1 | 2.87 | 20.41 | 5731 | 4.61 | 22.20 | 5609 |
| -1+0.85 | 0.24 | 25.45 | 5170 | 4.85 | 22.36 | 5587 |
| -0.85+0.5 | 5.16 | 23.46 | 5403 | 10.01 | 22.93 | 5492 |
| -0.5+0.3 | 2.75 | 30.52 | 4936 | 12.76 | 24.57 | 5372 |
| -0.3+0.15 | 6.64 | 39.41 | 4561 | 19.40 | 29.65 | 5095 |
| -0.15+0.075 | 4.41 | 47.38 | 3757 | 23.81 | 32.93 | 4847 |
| -0.075+0.038 | 6.63 | 48.26 | 2255 | 30.44 | 36.27 | 4282 |
| -0.038 | 69.56 | 81.91 | 431 | 100.00 | 68.02 | 1603 |
| Toplam | 100 | 68.02 | 1603 | | | |

4 No'lu şlam göleti numunesinden elde edilen -1+0.038 mm boyut grubu laboratuvar tipi Knelson Konsantratörü (KC-MD3) ile zenginleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerde devir sayısı (150, 430, 700, 1000 d/d) ve akışkanlaştırıcı su hızının (2, 3 ve 4 L/dk) ayırmaya etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Numuneler %10 katı oranında ve 0.75 L/dk hızla KC'ne beslenmesiyle oluşan taşan ürün (temiz kömür) bir kovada toplanmış, alt akış (artık) ise haznede kalmıştır. Kasenin içeriği kova içine yıkanarak alınmıştır. Bir vakum filtresiyle susuzlaştırıldıktan sonra ürünler kurutulmuş, tartılmış ve kül açısından analiz edilmiştir.

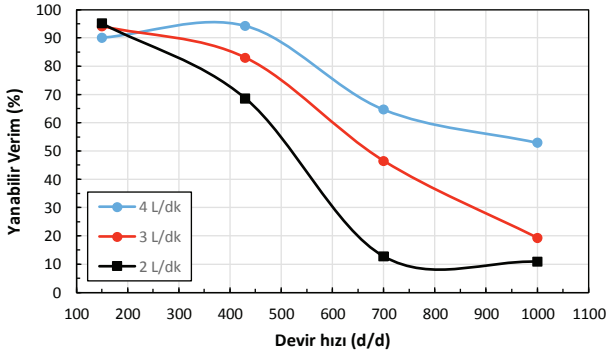
### 2.2. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

İnce kömürleri etkin bir şekilde temizlemek için, gelişmiş yerçekimi ayırıcılardan KC kullanılmıştır. KC, henüz kömür temizliği için endüstriyel ölçekte uygulanmamasına rağmen, bu konuda son yıllarda farklı araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, oksitlenmiş bir kömür olan GLİ 4 No'lu şlam göleti numunesi kullanılmıştır. Numune -1+0.038 mm boyut aralığında sınıflandıktan sonra KC ile temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Deneysel değişkenler konik kase devir hızı ve akışkan su hızıdır.

Bu deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.




Şekil 2. Devir hızı değişiminin 100-Kül miktarına etkisi.




Şekil 3. Devir hızı değişiminin yanabilir verime etkisi.

Geniş bir tane boyut aralığı olan -1+0.038 mm boyut aralığında yapılan zenginleştirme deneylerinde 150 d/d devir hızında ve tüm yıkama suyu debilerinde yanabilir verimde önemli bir fark olmamıştır. Fakat devir hızı artışına bağlı olarak tüm su debilerinde yanabilir verim düşmüştür (Şekil 2). 100-Kül değerleri ise 430 d/d devir hızına kadar tüm su debilerinde aynı kalmışken bu hızdan sonra da 2 L/dk debide değişim olmaz iken 4 L/dk debide %75'e kadar artmış, 3 L/dk debide ise azalmıştır (Şekil 3). 150 d/d devir hızında ve 2 L/dk su hızında %68 100-Kül değerli lave %95 yanabilir verimle elde edilmiştir.

Yüksek kase hızlarında santrifüj kuvvetinin arttırılmasıyla, mineral maddelerin yanı sıra daha düşük özgül ağırlığına rağmen kömürün de eşikler arasında kalmıştır. Yani hafif parçacıklar ayrıca santrifüj kuvveti tarafından tutulmuştur. Akışkanlaştırıcı su hızının azalması ile yanabilir verim ve 100-Kül değerlerinin azalmasının nedeni

tutma bölgesi içinde sıkışmış veya yanlış yerleştirilmiş hafif kömür parçacıklarının, yetersiz su basıncı nedeniyle çıkarılamamasıdır.

Artık göleti numunesinin sınıflandırma ve zenginleştirme sonucu elde edilen ürünlerin birleşik denge durumu Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgeye 3'e göre -1+0.038 mm boyut grubu konsantresi ile +1 mm boyut fraksiyonu birleştirilirse %69.78 100-Kül içerikli lave 59.05 yanabilir verim ile elde edilmektedir.

Çizelge 3. Artık barajı numunesinden elde edilen ürünlerin birleştirilmiş sonuçları.

| Tane Boyutu (mm) | Ürün | Ağırlık (%) | 100-Kül (%) | Yanabilir Verim (%) |
|---|---|---|---|---|
| +1 | Konsantre | 4.62 | 77.84 | 11.00 |
| -1+0.038 | | 23.05 | 68.16 | 48.05 |
| | Artık | 2.78 | 29.11 | 2.47 |
| -0.038 | | 69.55 | 18.09 | 38.48 |
| Besleme | | 100.00 | 32.70 | 100.00 |

## 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, GLİ'ye ait 4 No'lu şlam göletinden alınan kömür numunesi Knelson Konsantratörü ile kazanılmaya çalışılmıştır.

Gölet şlam numunesinin elek analizi sonuçlarına göre; en büyük tane boyutu 4 mm, 0.038 mm altı malzeme oranının ise %69.66 olduğu belirlenmiştir.

Numunenin kül ve üst ısıl değeri değerleri sırasıyla %68.01 ve 1603 Kcal/kg olarak belirlenmiştir.

KC kullanılarak yaklaşık %60 100-Kül içerikli -1+0.038 mm boyut grubundaki malzeme ile aşağıdaki şartlarda yapılan zenginleştirme çalışmalarına göre;

Katı oranı (%): 10
Besleme hızı (L/dk): 0.75
Devir hızı (d/d): 150
Su hızı (L/dk): 2

%68.16 100-Kül içerikli lave %95 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Elde edilen temiz kömürün üst kalori değeri ise 4914 Kcal/kg olarak belirlenmiştir.

Artık göleti numunesi ürünlerinin bütün olarak değerlendirilmesi durumuna göre, %69.78 100-Kül içerikli lavenin %59.05 yanabilir verim ile elde edilebileceği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

Aktaş, Z. 2002. Some Factors Affecting Spherical Oil Agglomeration Performance of Coal Fines, International Journal of Mineral Processing, 65, pp. 177-190.

Anon, 2017. http://www.sourcewatch.org/index.php/Environmental_impacts_of_coal, Erişim Tarihi: 25.05.2017.

Arnold, B.J. 1999. Rate and Residence Time Studies Applied to the Operation of Conventional Coal Froth Flotation Cells, ed. Parekh and Miller, Mar. 1-3, pp. 321-331 in Denver, USA.

Arslan, V., Kemal, M. 2004. Kömür Hazırlama ve Türkiye'deki Uygulamalar, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s. 217-227.

European Commission, 2009. Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-rock in Mining Activities.

Fatahi, M.R., Farzanegan, A. 2017. DEM Simulation of Laboratory Knelson Concentrator to Study the Effects of Feed Properties and Operating Parameters, Advanced Powder Technology 28, pp. 1443–1458.

Ghaffari, A., Farzanegan, A. 2017. An Investigation on Laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling, Minerals Engineering, 112, pp. 57–67.

GLİ (Garp Linyitleri İşletmesi), Şlam Değerlendirme Komisyon Raporu, 15/09/2017.

Güney, A., Ateşok, G., Önal, G., Altaş, A. 1996. Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri III, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları, Ed. Önal ve Ateşok, İstanbul. s. 270-282.

Honaker, R.Q., Wang, D., Ho, K. 1996. Application of the Falcon Concentrator for Fine Coal Cleaning, Minerals Engineering, 9, II, pp. 1143-1156.

Honaker, R.Q., Das, A. 2004. Ultrafine Coal Cleaning Using a Centrifugal Fluidized-Bed Separator, Coal Preparation, 24, pp. 1–18.

Honaker, R.Q., Das, A., Nombe M. 2005. Improvıng The Separatıon Efficiency of the Knelson Concentrator Using Air Injection, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 99, pp. 99-116.

Kafadar, İ. 1992. Açık İşletmelerde, Toprak ve Çevre Tahribi ile Arazinin Yeniden Düzenlenmesi, Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 552.

Kemal, M., Arslan, V. 1999. Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 33, s. 373.

Kökkılıc, O., Langlois, R., Waters, K.E. 2015. A Design of Experiments İnvestigation into Dry Separation Using a Knelson Concentrator, Minerals Engineering 72, pp. 73–86.

Meenan, G.F. 1999. Modern Coal Flotation Practices, ed. Parekh and Miller, Mar. 1-3, pp. 309-321 in Denver, USA.

Meyers Robert A., Janusz S. Laskowski, Anthony D. Walters, 2001. Coal Preparation, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Energy, Editor-in-Chief: Robert A. Meyers, s. 277.

Osborne, D.G. 1988. Coal Preparation Technology (1st ed.), London: BP Coal Ltd.

Öney, Ö., Tanrıverdi, M., 2016. Zonguldak İnce Kömürlerinin Knelson Ayırıcıda Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Türkiye 20. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s. 375-383.

Öteyaka, B. A. Uçar, O. Şahbaz and H. Sönmez, 2008. Effect of Hold-up on Reactive Consumption for Coarse Particle, Proceedings of 11th International Mineral Processing Symposium, Antalya, pp. 345-351.

Özbayoğlu, G., Mamurekli, M. 1988. Zonguldak Kömürlerinden Süper Temiz Kömür Üretimi, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, s. 159-170.

Peer, F., Mongwe, A. and Van Heerden, J.H.P. 2002. A Preliminary Investigation into the Metallurgical Efficiency of an Enhanced Gravity Separator, The South African Institute of Mining and Metallurgy.

Sabah, E. 2007. Kil İçerikli Kömür Hazırlama Tesisi Atıklarından Temiz Kömür Üretimi ve Atık Kilin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, TÜBİTAK Projesi, MAG-104I080.

Sabah, E., Koltka, S. 2014. Separation Development Studies on the Beneficiation of Fine Lignite Coal Tailings by the Knelson Concentrator, Energy Fuels, 28, 7, pp. 4819–4827.

Uçar, A., B. Öteyaka, A. Yamık, O. Şahbaz, U. Demir, B. Yılmaz 2006. The Application of Jameson Flotation Column for the Beneficiation of Tunçbilek Washery Tailings, Proceedings of XXIII. International Mineral Processing Congress, Promedadvertısingagency, İstanbul, 2, pp. 1256-1261,

Uslu, T., Sahinoglu, E., Yavuz, M. 2012. Desulphurization and Deashing of Oxidized Fine Coal by Knelson Concentrator, Fuel Processing Technology, 101, pp. 94–100.

Xiao, J. 1998. Testıng A New Gold Centrıfugal Concentrator, Department of Mining and MetallurgicaJ Engineering, McGill University, Montréal, Canada, Master's thesis.

# GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ ARTIKLARINDAN HUMPREY SPİRALİ İLE KÖMÜRÜN KAZANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## *INVESTIGATION OF COAL RECOVERY FROM WESTERN LIGNITE CORPORATION'S WASTES BY HUMPREY SPIRAL*

**Sevgi Karaca, Oktay Şahbaz, İ. Göktay Ediz, Ali Uçar, Nezahat Ediz, Cem Şensöğüt***

*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Kömür üretiminin her aşamasında oluşan ince boyutlu malzeme lavvarlarda yıkama sırasında da şlam olarak atılmaktadır. Garp Linyitleri İşletmesine (GLİ) ait lavvarlardan eski açık ocak imalat boşluklarına depolanmış büyük miktarlarda yüksek ısıl değere sahip (1603 Kcal/kg) ince boyutlu artık bulunmaktadır. Bu artıkların %69.56'sı 0.038 mm altı kil grubu minerallerden oluşmaktadır. Ancak, bu boyutun üstünde büyük oranda kazanılması gereken kömür bulunmaktadır. Bu çalışmada işletmeye ait olan 4 No'lu şlam göleti numunesinden elde edilen -1+0.038 mm boyutlu malzemenin içindeki kömürlerin Humprey spirali kullanılarak kazanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı besleme debisi ve katı oranlarında yapılan çalışmalar sonucunda %73.69 100-kül değerine sahip temiz kömür %81.75 yanabilir verim ile elde edilmiştir.

**ABSTRACT** Fine-sized material formed at each stage of coal production is increasingly discharged as slimes as a result of washing processes. There are large quantities of fine waste materisl with high calorific values (1603 Kcal/kg) discharged from coal processing plants of Western Lignite Corporation (GLİ) into worked-out open pits. 69.56% of these residues, which are under 0.038 mm, are composed of clay minerals. However, there are large quantities of coal over this size which can be enriched. In this study, the recoverability of the coal was investigated using the Humphrey spiral for -1 + 0.038 mm sized material obtained from the Slime Pond 4. As a result of different feed flow and solid ratios, a clean coal concentrate with an 100-ash content of 73.69% and a yield of 81.75% was obtained.

* *cem.sensogut@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, Dünya kömür üretiminin yaklaşık %69'u elektrik ve ticari ısı üretiminde, %13'ü demir-çelik endüstrisinde, %3'ü ısınmada ve %15'i diğer sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır (IEA 2015).

Dünyada birincil enerji arzının büyük bir kısmını oluşturan kömürün, işletilebilir rezervi 892 milyar ton iken bunun 201 milyar tonu linyit rezervidir. Türkiye'de bulunan kömür rezervlerinin çoğunluğunu ise linyit oluşturmaktadır. Linyit rezervlerimizin önemli bir kısmı Afşin-Elbistan bölgesinde bulunurken, bunu geniş bir alana yayılmış olan Ege bölgesi linyitleri izlemektedir. Ülkemizde üretilen linyit kömürlerinin %88.8'i elektrik üretim amacıyla termik santrallerde kullanılmaktadır (TKİ 2015).

Kömür içinde inorganik bileşikler ve kükürt gibi maddeler bulunmakta ve üretimi sırasında bu maddeler açığa çıkarak çevreyi kirletmektedir. Bu nedenle özellikle gelişmiş ülkelerin uyguladığı çevre kanunlarında, doğanın kirlenmesini önleyecek bir takım kısıtlamalar getirilmiştir. Temiz yakıt tüketiminin zorunlu kılındığı bu yöntemler kömür yıkamanın önemini artırmıştır.

Kömür yıkama yöntemleri iri ve ince kömür olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Kömür hazırlamada ince kömür deyimi 0.5 mm'nin altındaki boyutlardaki kömürler için kullanılır. Diğer bir sınıflama ise, - 0.5 mm ince, 6-0.5; 10-0.5 ya da 18-0.5 mm orta boy, 6, 10 veya 18 mm'nin üstü ise iri kömür olarak adlandırılmıştır. İri ve orta boyutlar için gravite yöntemleri, ince boyutlar için ise genelde flotasyon yöntemi uygulanmaktadır (Meenan 1999, Güney vd. 1996). Yıkama işlemleri sonunda ise büyük oranda sulu ince artık ortaya çıkmakta ve çevresel olarak bir takım sorunları da beraberinde getirmektedir.

Bu kapsamda, yıkama işlemi sonunda yaklaşık üçte ikisi 0.038 mm altına inen, Garp Linyitleri İşletme (GLİ) Müdürlüğü Ömerler Lavvarı'na ait olan ve 2001 yılına kadar artıkların depolandığı 4 No'lu artık göleti malzemesinin zenginleştirme çalışmaları araştırılmıştır. Bu amaçla, lavvar atığının karakterizasyonu belirlenerek spiral deneyleri yapılmış ve geri kazanılan kömürün termik santralde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Termik santrallerde kullanılan kömürün belirli alt ve üst sınır değerlere sahip olması beklenmektedir. Garp Linyitleri İşletmesi tarafından Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst için protokol değerleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst değerleri.

| Baz AID (Kcal/Kg) | En Yüksek AID (Kcal/Kg) | En Düşük AID (Kcal/Kg) | Nem (%) | Kül (%) | Tane Boyu (mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 350 | 3 000 | 1 900 | 24 (± %10) | 42 (± %10) | 0-1000 |

Gravite konsantrasyon teknikleri yüksek verimlilik ve düşük maliyet nedeniyle kömür temizliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ürünün kül içeriğini düşürdükçe pazar değerini artıracak olan, günümüz kömür hazırlama tesislerinde ince kömür temizliği (-0.5 mm) mümkün olduğunca titizlikle yapılmalıdır. Kullanılan güncel teknikler genelde flotasyon ve spiralleri içermektedir. Flotasyon işlemi kullanılan kimyasallardan dolayı yüksek maliyet oluşturmaktadır. Dolayısıyla zaman içinde külü azaltmak amacıyla yeni teknolojiler araştırılmış ve araştırılmaya devam etmektedir (Peer vd. 2002, Uslu vd. 2012). Son yıllarda mineraller arasındaki yoğunluk farkına dayanan gravite esaslı ayırıcılara ek olarak MGS, Kelsey jigi, Falkon ve Knelson konsantratörü gibi santrifüj kuvveti de kullanan ayırıcılar geliştirilmiştir. Fakat bu cihazların da daha fazla su gerektirmesi, yüksek sermaye ve işletme maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktadır (Kökkılıç vd. 2015).

Belirli tane boyutlarında yüksek verimliliği, genel olarak düşük sermaye ve işletme maliyetleri, haraketli parçasının bulunmayışı, basit yapısı ve bakım kolaylığı gibi avantajları nedeniyle spiral; metalik cevherler, endüstriyel mineraller ve sahil kumları gibi malzemelerden konsantre elde etmek amacıyla ve kömür endüstrisinde dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır (Burt 1984, Ramsaywok 2010).

Spiral zenginleştiriciler, birden fazla sarmaldan oluşan yarım daire kesitine sahip ve pülp akışına uygun bir oluğun, merkezi destek oluşturan bir kolon etrafına sarılmasıyla oluşan ekipmanlardır. Spiral zenginleştiricilere besleme malzemesi, besleme kutusu tarafından verilmektedir. Besleme kutusu, akışın hızını yavaşlatarak sarmal yüzeyde düzgün bir pülp akışı oluşmasına yardımcı olmaktadır. Spiralin alt kısmında, belirli aralıklarla dizilmiş ve ürünlerin alınabileceği farklı sayıda çıkış ağızları yer almaktadır. Ürün çıkışında yer alan bölmelerin sayısı 15'e kadar çıkabilmektedir. Bunun yanı sıra, spiralin merkezi destek kolonu, konsantreyi toplama amacıyla çıkış borusu olarak görev yapabilmektedir (Burt 1984, Falconer 2003).

Spiral zenginleştiriciler; yoğunluğu ya da tanecik şekilleri birbirinden farklı olmak koşuluyla, belli bir serbestleşme derecesindeki ve 0.030-2 mm arasında bulunan farklı mineralleri birbirinden ayırmak için kullanılmaktadır (Holland-Batt 1995, Richards ve Palmer 1997).

Spiral zenginleştiricilerde besleme olarak kullanılan malzemelerin tane boyu dağılımı, şlam miktarı, serbestleşme dereceleri, beslemenin içerdiği katı miktarı, besleme içerisindeki malzemelerin yoğunluğu, tane şekilleri gibi birçok özellik

spiraldeki akış davranımını değiştirerek ayrımı etkileyen işlem değişkenlerindendir (Burt 1984, Falconer 2003).

Spirallerin tasarım parametreleri; spiralin kesit alanının yapısı, oluğun çapı, sarmalın eğimi, sarmal sayısı, spiralin uzunluğu, spiralin yüzey özellikleri, bölücü bıçak pozisyonları ve yıkama suyu olarak sınıflandırılabilmektedir. Spiral kullanılarak kömürdeki külün uzaklaştırılması yaygın olarak kullanılmakta olup, özellikle katı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir (Glass vd. 1999).

Öney vd. (2014), -1+0.150 mm boyut aralığında yaptığı taşkömürü deneylerinde, spirali %25, %30 ve %35 katı oranlarında çalıştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, %25 katı oranında %28.72 küllü kömürü %13.28 kül oranı ve %92.07 yanabilir verim ile kazanmıştır.

Honaker vd. (2007) -0.210+0.044 mm boyutlu ve %33.5 küllü kömürü kullanarak spiral deneyleri yapmıştır. Yaptıkları çalışmada 3 seviyeli Box-Behnken deney tasarımını kullanmışlardır. Deney tasarımında besleme akış hızı, katı oranı ve bıçak açısı parametrelerini kullanarak elde ettikleri sonuçlara göre, %11.71 küllü temiz kömürü %84 yanabilir verim ile kazanmıştır.

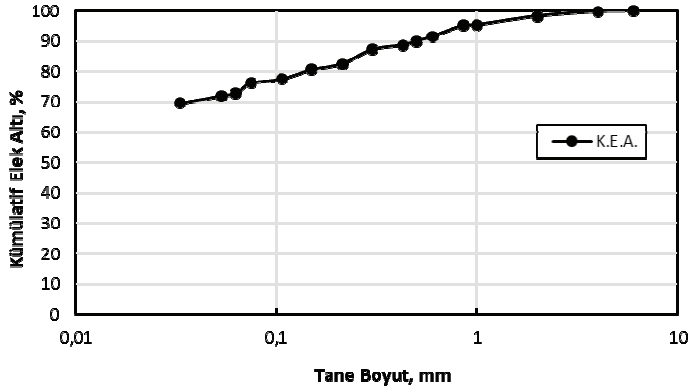
Sivrikaya (2014), -1.5 mm boyutlu %40 küllü Tunçbilek kömürünü %20, %25 ve %30 katı oranlarında Reichert spiraline beslemiş ve %18.28 küllü, 5582 Kcal/kg ısıl değere sahip temiz kömür elde etmiştir.

Bu çalışmanın amacı; GLİ'ye ait olan 4 No'lu artık barajı numunesinden kömürün spiralle zenginleştirilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bu araştırmada spiral ile zenginleştirmede etkili olan katı oranı ve besleme debisi gibi parametrelerin kömürün kazanılabilirliğine etkisinin belirlenmesi de amaçlanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde kullanılan numuneler, GLİ'ye ait 4 No'lu olarak adlandırılan atık göletinden temin edilmiştir. Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına getirilen yaklaşık 400 kg'lık atık göleti numunesi laboratuvarda karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Daha sonra numune konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılıp depolanmış ve zenginleştirme, kimyasal ve boyut analizlerinde kullanılmıştır. Boyut aralıklarına göre madde miktarı dağılımını belirlemek için yapılan elek analizi sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.




Şekil 1. 4 No'lu gölet artığına ait kümülatif elek altı eğrisi.

Elek analizi sonuçlarına göre, malzemenin yaklaşık tamamı 4 mm'nin altında iken 0.038 mm altındaki malzeme oranı %69.56 olarak tespit edilmiştir.

4 No'lu artık gölet numunelerinin tane boyut gruplarına göre nem, kül, kükürt, kalori analizleri yapılmıştır (Çizelge 2). Nem değerleri Moisture Analyzer AND ML-50 cihazında ölçülmüştür. Kül analizleri Nüve marka kül fırınında, kükürt analizi Leco SC 144 DR cihazında ve kalori ölçümleri IKA WERKE cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 4 No'lu gölet numunesinin nem, kül, kükürt ve ısıl değerleri.

| Tane Boyutu (mm) | Ağırlık (%) | Kül (%) | ÜID (Kcal/kg) | AID (Kcal/kg) | Kükürt (%) | Nem (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| +4 | 0.24 | 27.25 | 5191 | 4763 | 1.07 | 3.8 |
| -4+2 | 1.5 | 24.83 | 5441 | 4944 | 1.16 | 4.7 |
| -2+1 | 2.87 | 20.41 | 5731 | 5233 | 1.19 | 4.3 |
| -1+0.85 | 0.24 | 25.45 | 5170 | 4710 | 1.23 | 4.3 |
| -0.85+0.5 | 5.16 | 23.46 | 5403 | 4925 | 1.25 | 4.3 |
| -0.5+0.3 | 2.75 | 30.52 | 4936 | 4501 | 1.23 | 4.3 |
| -0.3+0.15 | 6.64 | 39.41 | 4561 | 4166 | 1.33 | 4.4 |
| -0.15+0.075 | 4.41 | 47.38 | 3757 | 3498 | 1.42 | 2.6 |
| -0.075+0.038 | 6.63 | 48.26 | 2255 | 2878 | 1.21 | 3.2 |
| -0.038 | 69.56 | 81.91 | 431 | 295 | 0.64 | 1.6 |
| Toplam | 100 | 68.02 | 1603 | 1452 | 0.83 | 2.3 |

Tane boyutunun düşmesine bağlı olarak kül değerlerinin artıp kalorinin düşmesi beklenen bir durumdur. Ayrıca, numunenin toplam kükürt değerleri özellikle ince boyutlarda azalmaktadır. Bu da kükürdün büyük oranda kömüre bağlı olduğunu göstermektedir.

Zenginleştirme deneylerinden önce artık gölet numunesi içinde bulunan ve büyük oranı killi minerallerden oluşan ve kazanılması çok zor olan ince boyutlu kömürün uzaklaştırılması amacıyla numune 0.038 mm açıklıklı elekten elenmiş ve elek altı atılmıştır. %77.84 100-Kül değerine sahip +1 mm boyutundaki malzemenin termik santral için yeterli olduğu düşünüldüğü için söz konusu boyuttaki numune zenginleştirme işlemine sokulmamıştır. Dolayısıyla numune 1 mm açıklıklı elekten elenerek, zenginleştirme yapılacak boyut aralığı olan -1+0.038 mm'lik malzeme elde edilmiştir.

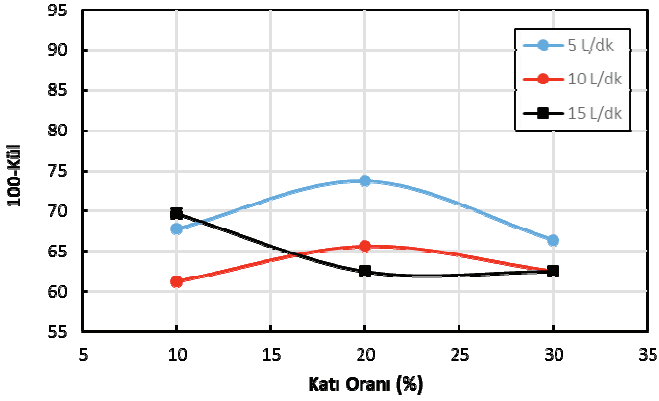
Deneylerde laboratuvar tip 5 hatveli ve 12.5 cm çaplı Humprey spirali kullanılmıştır. Besleme tankına 15 L su konularak değişik katı oranlarında hazırlanan pülp, vana ile ayarlanarak değişik debilerde by-pass'lı olarak dalgıç pompa ile spirale beslenmiştir. Böylece tankdaki çökelme önlenmiştir. Deneylerde katı oranı (%10, %20 ve %30) ve besleme debisinin (5, 10 ve 15 L/dk) 100-Kül ile yanabilir verim üzerine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bıçak açısının değiştirilmeden yapıldığı deneylerde belirli bir süreyle artık ve konsantre alınmıştır. Ürünler filtre edilip kurutularak tartılmış ve kül analizleri yapılmıştır.

## 2.2. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

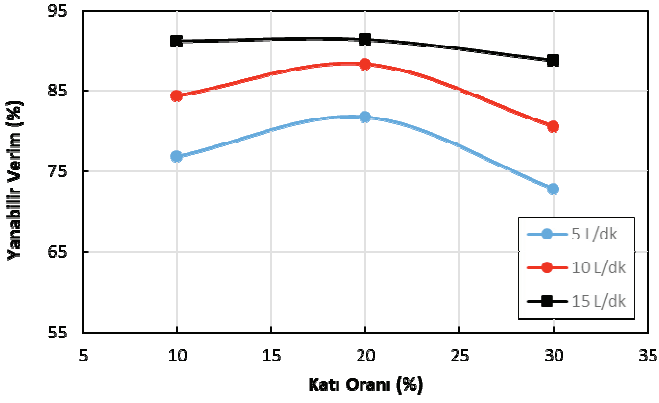
Zenginleştirme deneyleri tabaka halinde akan su ve merkezkaç kuvvetinin birlikte etkin olduğu ve endüstriyel ölçekte yüksek verimle yaygın olarak kullanılan spiral ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, spiral performansını etkileyen en önemli parametreler olan beslemen debisi ve katı oranı çalışma parametreleri olarak belirlenmiştir. Zhang (2008) bir kömür spirali ile yaptığı çalışmada, katı oranı ve hacimsel besleme oranının ayırma performansını etkilediğini ve en iyi sonuçların %25-35 katı oranında elde edildiğini bildirmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen 100-Kül ve yanabilir verim değerleri sırasıyla Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

Geniş bir tane boyut aralığı olan -1+0.038 mm boyut aralığında yapılan zenginleştirme deneylerinde genel olarak debi artışıyla 100-kül değerleri azalmakta iken yanabilir verim değerleri artmaktadır. Debinin artması ile daha hızlı akan pülp taneye daha yüksek merkezkaç kuvveti uygulamakta ve hafif kömür taneleri ile birlikte ince ağır gang tanelerinin de dış çepere doğru sürüklenmesine neden olmaktadır. Bunun bir sonucu olarak şiste gitmesi gereken tane laveye gitmekte ve lave miktarı artarken 100-kül değeri azalmaktadır. %20 katı oranında yapılan deneylerde 100-Kül değeri %73.69'dan %62.50'ye düşmüştür.




Şekil 2. Katı oranı (%) değişiminin 100-Kül miktarına etkisi.




Şekil 3. Katı oranı (%) değişiminin yanabilir verime etkisi.

Katı oranı artışıyla yanabilir verim önce artmakta ancak %30 katı oranında tekrar düşmektedir. 5 L/dk debide yapılan deneylerde katı oranı %10 iken %76.82 olan yanabilir verim değeri %20 katı oranında %4.93 artmış ancak %30 katı oranında düşerek %72.84 yanabilir verim ile en düşük değer elde edilmiştir.

-1+0.038 mm boyut aralığında en iyi değerler %20 katı oranında elde edilmiştir. Bu katı oranında ve 5 L/dk besleme debisinde %73.69 oranında 100-Kül değeri olan lave %81.75 yanabilir verimle elde edilmiştir.

Optimum deney şartlarında elde edilen ürünler, düşük kül içerikli +1 mm boyut grubu ve kil içeriği yüksek çok ince boyutlu kömür içeren -0.038 mm boyut aralığındaki malzeme ile bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Çizelge 3'te verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3. Artık barajı numunesinden elde edilen ürünlerin birleştirilmiş sonuçları.

| Tane Boyutu (mm) | Ürün | Ağırlık (%) | 100-Kül (%) | Yanabilir Verim (%) |
|---|---|---|---|---|
| +1 | | 4.62 | 77.84 | 10.85 |
| -1+0.038 | Konsantre | 18.82 | 73.69 | 41.85 |
| | Artık | 7.01 | 44.19 | 9.35 |
| -0.038 | | 69.55 | 18.09 | 37.96 |
| Besleme | | 100.00 | 33.14 | 100.00 |

Ara ürünün alınmadığı deneyler kullanılarak oluşturulan Çizelge 3'e göre -1+0.038 mm boyut aralığındaki konsantre ile nispeten düşük küllü +1 mm malzeme birleştirildiği zaman %52.70 yanabilir verim ile %74.51 oranında 100-Küllü lave elde edilmektedir.

## 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, GLİ'ye ait 4 No'lu şlam göletinden alınan kömür numunesi Humprey spirali ile kazanılmaya çalışılmıştır. Şlam göleti numunesinden %18.09 100-Kül içeren -0.038 mm boyutundaki malzeme ve %77.84 oranında 100-Kül içeren +1 mm malzeme elenerek ayrılmıştır. Daha sonra -1+0.038 mm boyut aralığındaki, %59.30 oranında 100-Kül içeren kömür artığı spiral ile zenginleştirilmiştir.

%31.99 oranında 100-Kül içeren, 4 No'lu gölet numunesinin elek analizi sonuçlarına göre; malzemenin yaklaşık -5 mm boyutunda olduğu ve -0.038 mm malzeme oranının ise %69.56 olduğu belirlenmiştir.

Numunenin kül, kükürt, üst ısıl ve alt ısıl değerleri sırasıyla %68.01, %0.83, 1603 Kcal/kg ve 1452 Kcal/kg olarak belirlenmiştir.

Geniş bir aralıkta olan -1+0.038 mm boyut aralığındaki numunenin çalışıldığı spiral deneylerinde 5, 10 ve 15 L/dk'lık üç farklı besleme debisi ve %10, %20 ve %30'luk üç farklı katı oranı parametreleri kullanılmıştır.

%20 katı oranı ve 5 L/dk besleme debisinde yapılan deney sonuçlarına göre, %73.69 oranında 100-Kül içerikli lave %81.75 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Elde edilen temiz kömürün ÜID'i 4949 Kcal/kg, kükürt içeriği ise %1.15 olarak belirlenmiştir.

Deneylerden elde edilen ürünler ile +1 mm'lik ürünün birleştirilmesi sonucunda %74.51 oranında 100-Kül içerikli lave %52.70 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre temiz kömürün termik santrallerde değerlendirilebileceği görülmüştür. Ayrıca, bu kömürün ikinci ve üçüncü derece kirli illerde kullanılması uygundur.

## KAYNAKLAR

Burt, R.O., 1984. Gravity Concentration Technology, New York: Elsevier Science Publishing Company Inc.

Falconer, A., 2003. Gravity Separation: Old Technique/New Methods, Physical Separation in Science and Engineering, 12 (1): 31–48.

Glass, H.J., Minekus, N.J., Dalmun, W.L., 1999. Mechanics of Coal Spirals, Minerals Engineering. 12(3): 271-280.

Güney, A., Ateşok, G., Önal, G. ve Altaş, A., 1996. Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri III, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı Yayınları, Ed. Önal ve Ateşok, İstanbul, s. 270-282.

Holland-Batt, A.B., 1995. Some Design Considerations for Spiral Separators, Minerals Engineering, 8(11): 1381-1395.

Honaker, R.Q., Jain, M., Parekh, B.K., Saracoglu, M., 2007. Ultrafine Coal Cleaning Using Spiral Concentrators, Minerals Engineering, 20: 1315–1319.

Kökkılıc, O., Langlois, R., Waters, K.E., 2015. A Design of Experiments Învestigation into Dry Separation Using a Knelson Concentrator, Minerals Engineering 72:73–86.

Meenan, G.F., 1999. Modern Coal Flotation Practices, ed. Parekh and Miller, Mar. 1-3, pp. 309-321 in Denver, USA.

Öney, Ö., Tanrıverdi, M., Çiçek, T., 2014. Zonguldak İnce Kömürlerinin Spiral Ayırıcı ile Zenginleştirilmesi, Türkiye 19. Kömür Kongresi, 21-23 Mayıs 2014, 217-225.

Peer, F., Mongwe, A. and Van Heerden, J.H.P., 2002. A Preliminary Investigation into the Metallurgical Efficiency of an Enhanced Gravity Separator, The South African Institute of Mining and Metallurgy.

Richards, R.G., Palmer, M.K., 1997. High Capacity gravcity Seperators a Review of Current Status, Minerals Engineering, 10(9): 973-982.

Sivrikaya, O., 2014. Cleaning Study of a Low-Rank Lignite with DMS, Reichert spiral and flotation, Fuel, 119: 252–258.

Uslu, T., Sahinoglu, E., Yavuz, M., 2012. Desulphurization and Deashing of Oxidized Fine Coal by Knelson Concentrator, Fuel Processing Technology, 101: 94–100.

Zhang, B., 2008. Performance Optimization of a Compound Spiral for Fine and Ultrafine Coal Cleaning, Master Thesis, Southern Illinois University, America.

# INVESTIGATION ON THE COKING POTENTIAL OF ZONGULDAK BAĞLIK–İNAĞZI COALS

## *ZONGULDAK BAĞLIK–İNAĞZI KÖMÜRLERİNİN KOKLAŞMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI*

**Serdar Yılmaz[*], Ekin Köken, Mehmet Bilen, Sait Kızgut, İhsan Toroğlu, A. Dilek Çuhadaroğlu**
*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**ABSTRACT** Free Swelling Index, (FSI) is an important index parameter which is used to investigate the coking property of coals where iron - steel industry demands for coals with high coking potential. In this study, FSI values of the clean coal samples out of run-of-mine coals obtained from Zonguldak Bağlık–İnağzı region were determined and the factors affecting FSI were investigated. Firstly, in order to represent the clean coals addressing from coal preparation plant to market, run-of-mine coals were cleaned by $ZnCl_2$ solution with the density of 1.60 g/cm$^3$, clean coal samples were prepared and then proximate analysis of these coals samples were carried out. Later FSI values of these clean coals were determined. As a result of laboratory studies, it is determined that 81% (34 samples), 12% (5 samples) and 7% (3 sample) of 42 samples have a high, moderate and low coking potential, respectively. As a result of regression analysis, it can be claimed that the most remarkable parameter for estimating FSI ($R^2$ = 0.65) is ash together with volatile matter, while only ash vs FSI gives a correlation coefficient of $R^2$=0.44. And volatile matter vs FSI gives the correlation coefficient ($R^2$) of 0.57. However, with petrographical observations, including more parameters would enable one to have better correlated relations.

**ÖZET** Serbest şişme indeksi (Free Swelling Index, FSI) kömürlerin koklaşabilme potansiyelinin araştırılmasında kullanılan önemli bir indeks değeri olup, demir – çelik sektörü, koklaşabilme potansiyeli yüksek olan kömürler talep etmektedir. Bu çalışmada, Zonguldak Bağlık–İnağzı bölgesinden alınan tüvenan kömürlerin yıkanmış örneklerinde FSI değerleri belirlenmiş ve bu değerlere etki eden faktörler araştırılmıştır. Öncelikle kömür yıkama tesislerinden pazara sunulacak kömürleri temsil etmek amacıyla tüvenan olarak gelen kömürler 1.60 g/cm$^3$ $ZnCl_2$ çözeltisinde yıkanarak deney numuneleri hazırlanmış ve bu kömür numunelerine ait kısa analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yıkanmış bu kömürlerin FSI değerleri belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda incelenen 42 adet örneğin %81'i (34 örnek) yüksek derecede, %12'si (5 örnek) orta derecede ve %7'ü ise (3 örnek) düşük derecede koklaşabilme özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Regresyon analizleri sonucunda FSI değerinin kestirimindeki en anlamlı değiştirgenin uçucu madde olduğu ($R^2$ = 0.57), bunun yanında külle olan ilişkininde azımsanmayacak ölçüde olduğu ($R^2$ = 0.44) tespit edilmiştir. Kül ve uçucu madde ile birlikte yapılan FSI ilişkilendirmesinde ise en anlamlı ($R^2$ = 0.65) ilişki gözlemlenmiştir. Ancak petrografik incelemelerin de dahil edilmesiyle daha fazla parametreyi esas alan daha anlamlı ilişkiler kurulabileceği öngörülmektedir.

[*] *serdar_yilmaz67@hotmail.com*

## 1. INTRODUCTION

Coal has been mainly used for two purposes such as power generation and iron-steel production. In terms of power generation, steam coals (a wide scope of alternatives) have been utilized for many decades. However, the coke is needed in iron-steel production. Although several researchers (Cross 1994, Janz and Weiss 1996, Imai 1999, Asanuma et al. 2000, Ohji 2000) tried to use some other fuels such as oil granulated, pulverized coal and plastic wastes instead of coke in iron-steel production, they could not satisfy the metallurgical performance of the coke. Coke is a special component for iron-steel production since it provides heat for the melting of slag and metal, reduce iron ore to elemental iron and maintain permeability in the blast furnace (Chelgani et al.2016).

In order to produce coke, parent coal needs to have the desired characteristics and the evaluation of coking quality can be measured by fluidity, dilatation or Free Swelling Index (FSI) methods (Chelgani et al. 2016) The evaluation of coking potential of coals are mainly executed by many researchers in accordance with ASTM D720 (2015). However, Chelgani et. al. (2011) pointed out some problems associated with the testing method of FSI, which are basically variable heating rates and degree of oxidation or weathering of coal sample. It was also pointed out the fact that excess amount of fine coal in the analysis can lead to difference in the resulted FSI value (Speight 2005). The FSI value of any parent coal is determined by the final size and shape of the solid residue (i.e. coke button profile) after heating of the sample (Fig 1). Lu et al., (2012) presented a classification of coals in terms of their coking with respect to their FSI values (Table 1).

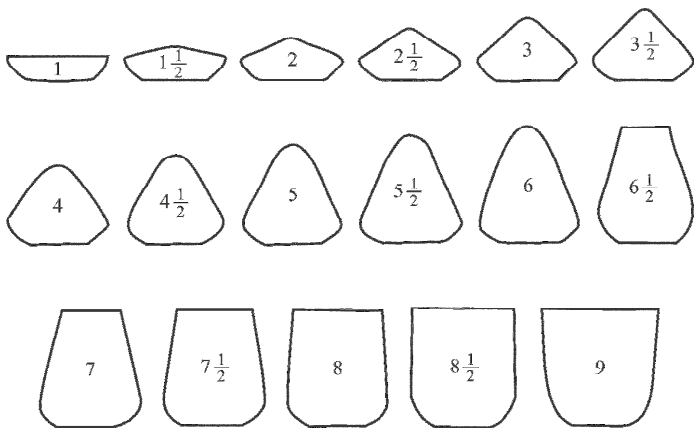



Figure 1. Coke button profiles and corresponding FSI values (BS 1016-6 1977).

Table 1. Classification of the coals in terms of coking (Lu et al. 2012).

| Classification | FSI |
|---|---|
| Weak coking | 1 - 2 |
| Moderate coking | 2 - 4 |
| High coking | 4 - 9 |

Parent coal rank parameters (i.e. moisture, volatile matter fixed carbon etc.), petrographical properties (macerals and vitrinite maximum reflectance) and impurities within the body of the parent coal (ash, sulphur, phosphorus and alkali contents) are the fundamental parameters affecting coking coal quality (Chelgani et al. 2016). Chelgani et al. (2011) investigated the effects of proximate, ultimate analysis results of American coal samples on their FSI values by artificial neural network methods. They found out a remarkable correlation between FSI and proximate analysis results ($R^2$=0.89) and ultimate analysis ($R^2$=0.94) results, respectively. Khorami et al. (2011) studied with three different input sets: (a) moisture, ash and volatile matter; (b) carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen sulfur and mineral matter; (c) group maceral analysis, mineral matter, moisture, sulfur and Rmax and they found out $R^2$ of 0.38, 0.49 and 0.70 for input sets (a), (b) (c), respectively with nonlinear regression analysis. Referring to the same study of Khorami et al. (2011), input (c) (group maceral analysis, mineral matter, moisture, sulfur and Rmax) has the highest correlation coefficient not only with non-linear regression but also Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, and they predicted FSI with higher $R^2$ of 0.46, 0.82 and 0.95 for (a), (b) and (c), respectively. Other than proximate (moisture, ash, volatile matter, fixed carbon) and ultimate analysis (carbon, hydrogen, nitrogen, sulphur, oxygen) parameters, Goscinski and Patalsky (1989) claimed that, $Fe_2O_3$ and CaO contents are also important for coking potential of parent coal, and also Ryan et al. (1999) explained that when above-mentioned oxides are present, coke reactivity is observed to be enhancing (Chelgani et al. 2011). In addition, Neavel et al. (1986) briefly claimed that FSI is a function of oxygen content and total non-plastic components (sum of mineral matter and total inertinite and partly semi-inertinites) in the body of parent coal (Mathews et al. 2014). This also demonstrates the important role of macerals for FSI prediction. Although Pusz et al. (2009) have studied the relationship between the optical properties of various coal blends and their resulting cokes, specifically petrographic composition and reflectance parameters should be discussed more in detail to understand the effect on swelling behavior.

In this study, 42 coal samples from Zonguldak Bağlık İnağzı region were collected and they were washed at 1.60 g/cm$^3$ $ZnCl_2$ solution in order to represent clean coal samples from coal preparation plants. After this cleaning process, each coal samples were analyzed in terms of FSI and proximate analysis. Ash, volatile matter value of each coal samples were plotted with respect to FSI and regarding correlation coefficients were calculated. Finally, prediction method of FSI was proposed.

## 2. MATERIAL AND METHODS

Samples were collected from Zonguldak Bağlık İnağzı region and actually they were drilling samples of 6 different burial depth. Collected 42 samples have the size fractions of no more than 10 mm, and they have roughly about 5% to 20 % clay content. Proximate analysis was carried out on the collected samples and their clay content was removed with 0.5 mm sieve. Afterwards in order to represent coal preparation plant, (clean coal samples are to utilize as coke), samples were washed at 1.60 g/cm$^3$ $ZnCl_2$ solutions. Samples were rinsed after density experiment and then they were dried at 105 °C. Floated parts of each sample were denoted as cleaned coal from coal preparation plant and possibly ready for coking industry. In order to see the coking potential of each cleaned coal, FSI analysis was carried out on each floated coal samples of 1.60 g/cm$^3$ Not only FSI analyses was carried out on the cleaned samples but also proximate analysis (ash, volatile matter) was evaluated. Moisture content of cleaned coal samples was not meaningful since they were already washed. The experimental flowsheet is provided in Fig. 2.

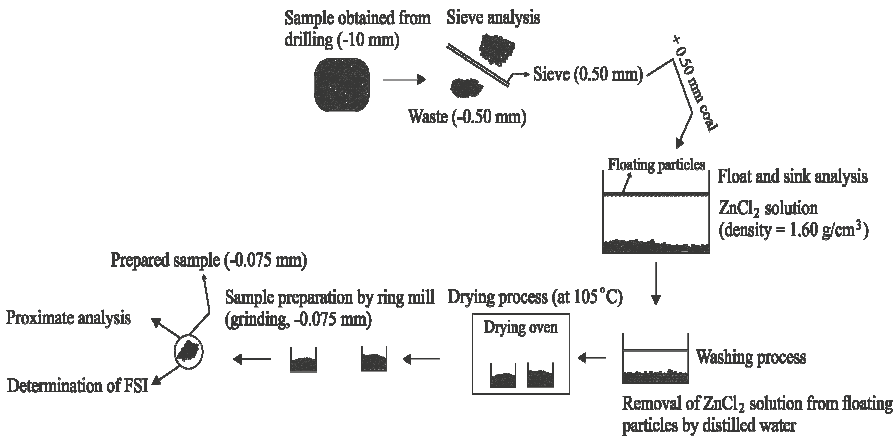



Figure 2. Experimental flow sheet adopted in this study.

FSI experiments were carried out as in the terms of ASTM D 720. As regards to this standard, the resulted solid after 2.5 mins of heating have the profiles of corresponding index numbers (Fig. 2).

## 3. LABORATORY STUDIES

Proximate analysis for 42 collected and cleaned (fractions floated at 1.60 g/cm$^3$) coal samples were carried out and results are provided in Table 2.

Table 2. Proximate analysis results of the coals investigated.

| Parameter | Mean ±Std Deviation | |
|---|---|---|
| Ash, A (%) | 10.08 ± 3.75* | (42)* |
| Volatile matter, VM (%) | 30.68 ± 3.23 | (42) |
| Fixed carbon, FC (%) | 59.23 ± 3.19 | (42) |

Explanation : * Mean ± Std. dev. (number of samples)

Considering the analysis results given in Table 2, a tertiary plot of ash volatile matter and fixed carbon was presented in Fig. 3.

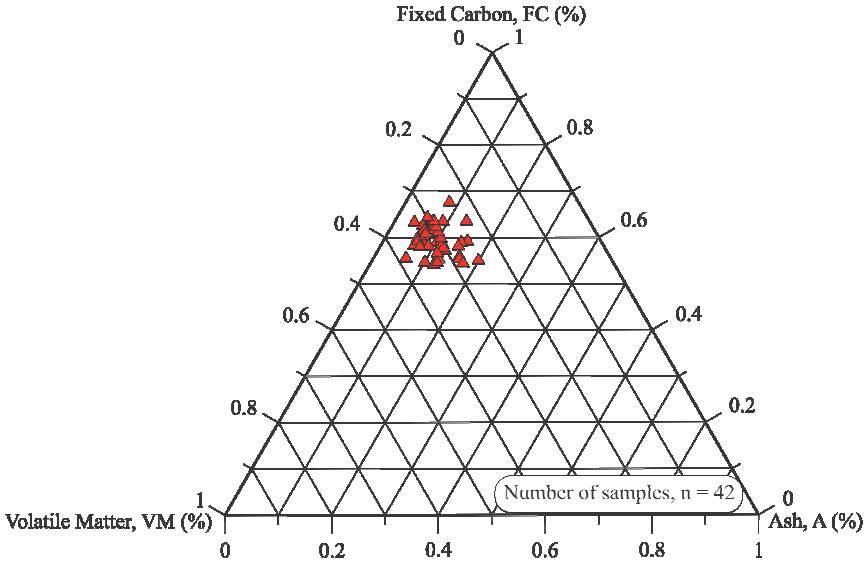



Figure 3. A-VM-FC ternary diagram for clean coal samples.

Corresponding FSI experiments were carried out for these 42 samples and 36 samples (75 % of total number of samples) shows high coking potential, while 8 samples shows moderate and 4 samples shows weak coking potential (Fig. 4).

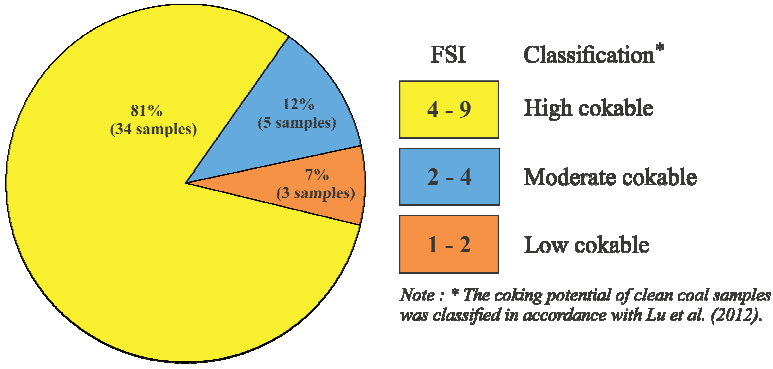



Figure 4. Coking potential of clean coal samples.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

Having obtained the proximate analysis results and FSI values, single regression analysis was carried out and results of this statistical analysis are tabulated in Table 3.

$$FSI = -7.43 + 0.42VM, \quad R^2 = 0.57 \tag{1}$$

$$FSI = 8.92 - 0.32A, \quad R^2 = 0.44 \tag{2}$$

$$FSI = -25.44 + 9.57\ln(VM) - 0.16A, \quad R^2 = 0.65 \tag{3}$$

Table 3. Regression analysis results.

| Coefficient | Estimate | Std. Error | t value | F value | $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Equation 1 | | | | | |
| Intercept | -7.43 | 1.75 | -4.24 | 56.35 | 0.57 |
| VM | 0.42 | 0.057 | 7.37 | | |
| Equation 2 | | | | | |
| Intercept | 8.92 | 0.60 | 14.87 | 33.26 | 0.44 |
| A | 0.32 | 0.056 | 5.71 | | |
| Equation 3 | | | | | |
| Intercept | -25.44 | 6.86 | -3.71 | | |
| Ln(VM) | 9.57 | 1.90 | 5.03 | 39.34 | 0.65 |
| A | -0.16 | 0.055 | -2.91 | | |

According to Table 3, the following analytical models were drawn as follows:

In the scope of this study, multiple regressions analysis of the dataset is not provided, since it has given approximately similar results with single regression. Regarding the

formulations (1), (2) and (3), volatile matter content has a dominating role on FSI and the corresponding relationship (3) was found to be having the highest correlation coefficient (Fig. 6). It can also be claimed from the regression analyses that, FSI increase with decreasing ash content, however ash itself fails to have a good correlation with FSI (Fig. 5a). On the other hand, increase in VM leads to an important increase in FSI, and ash-VM vs. FSI shows a little higher correlation coefficient ($R^2$=0.65) compared to the one between VM vs. FSI (Fig. 5b).

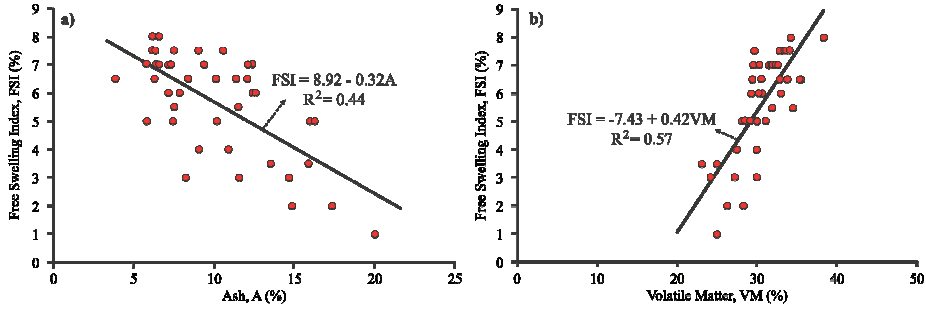



Figure 5. a) The relationship between FSI and A. b) The relationship between FSI and VM.

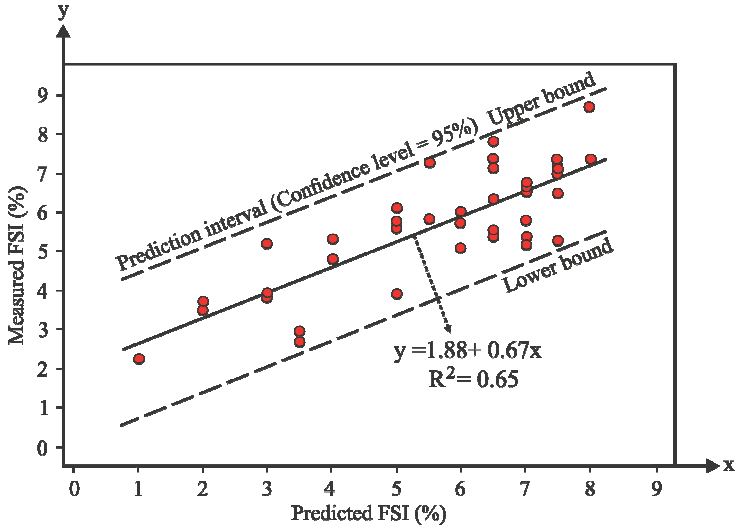



Figure 6. Predicted and measured FSI values.

Similar results were obtained by Khoshjavan et al. (2010). The authors tried to estimate FSI from chemical properties of coals by artificial neural networks and concluded that FSI was effected by the contents of nitrogen, oxygen and sulfur. Chelgani et al. (2016) also mentioned the important variables on FSI prediction by Random Forest method and they claimed that moisture has the highest importance

while volatile matter and ash are also denoted as important variables. Although the authors in the same study of Chelgani et al. (2016) declare the same importance of volatile matter and ash on FSI, they also mentioned that there is high correlation between VM and ash. That is why they decided to have moisture and VM as the best FSI predictors. This basically support the finding of this study, since moisture content of the collected and cleaned samples were not available, and VM content of samples showed the highest regression with FSI values. Khorami et al. (2011) have studied with three different input sets, and the set including moisture, ash and volatile matter (set "a") has the lowest regression coefficients, $R^2$=0.38 and $R^2$=0.46, with non-linear regression and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) respectively. However highest regression coefficients achieved by Khorami et al. (2011) employed the input set of group maceral analysis, mineral matter, moisture, sulfur and Rmax. This can be explained by pointing out the fact that some problems associated with testing method of FSI, as claimed by Chelgani et al. (2011). Still, volatile matter dominating role on FSI is obvious while some petrographic composition and organic sulfur content should be taken into consideration.

## 5. CONCLUSIONS

In this study, 42 coal samples which were collected from Zonguldak Bağlık İnağzı region were studied in terms of FSI and relations between any proximate analysis elements (ash, VM and ash-VM) and FSI were investigated. Moisture and volatile matter was denoted as the highest important variables in regards to FSI, while importance of petrographic composition and organic sulphur was not neglected by many researchers in this field.

Coke industry and market demand for coals with high coking potential at lower costs. After the coal is excavated, most of the time it is not ready for utilization either for steam generation or coke industry. That is why, run of mine coal is processed in coal preparation plants and finally cleaned. Mineral matter within the body of run of mine coal was removed in some ratios and quality of coal is increased by these coal preparation plants. Collected 42 drilling samples from Zonguldak Bağlık İnağzı region were firstly washed at 1.60 g/cm$^3$ $ZnCl_2$ solution in order to represent these coal preparation plants. Proximate analyses and FSI tests were realized for each clean coal samples.

Having obtained the proximate analysis and FSI data of 42 cleaned coal samples, relationships between each element of proximate analysis and FSI were observed. Single regression with ash and VM and multiple regression of ash-VM resulted as correlation coefficients of $R^2$=0.44, $R^2$=0.57 and $R^2$=0.65, respectively. Dominating role of VM on FSI was observed.

Although this study is a clue for the importance of VM content on FSI, it still needs to be better clarified what other coal characteristic has an effect on FSI as well. FSI prediction could be achieved more successfully with employing not only petrographic

composition and Rmax data but also some organic sulfur and oxides information of parent coal. Still this study will be very helpful for field researchers to understand the role of volatile matter and in the scope of further research petrographic composition data would be evaluated together with organic sulfur and Rmax.

## REFERENCES

Asanuma, M., Ariyama, T., Sato, M., Murai, R., Nonaka, T and Okochi, I. 2000. Development of Waste Plastics Injection Process in Blast Furnace. ISIJ Int 2000;40:244–251.

ASTM D720/D720M - 15E1 2015. Standard Test Method for Free-Swelling Index of Coal (ASTM D720). DOI: 10.1520/D0720_D0720M-15E01

BS 1016-107.3:1990 Methods for Analysis and Testing of coal and Coke. Caking and Swelling Properties of Coal. Determination of Swelling Properties Using a Dilatometer

Chelgani, S. C., Matin, S. S. and Hower, J. C. 2016. Explaining Relationships Between Coke Quality Index and Coal Properties by Random Forest Method, Fuel 182 (2016) 754–760

Cross, WB. 1994. The future and the European steel industry and its demand for coal. Mexborough: The Coke Oven Managers' Association (COMA) Year-Book; pp. 97–108.

Goscinski, J.S. and Patalsky, R.M. 1989. CSR control: a Coal Producers Point of View, Iron Making Proceedings, Iron and Steel Society, 42, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1989, pp. 50–65.

Imai, T. 1999. Production and Technology of Iron and Steel in Japan During 1998. ISIJ Int 1999, 39:509–23.

Janz, J. and Weiss W. 1996. Injection of Waste Plastics into the Blast Furnace of Stahlwerke Bremen. In: Proc. 3rd European cokemaking cong., CRM-VDEh, Gent, Belgium. pp. 114–9.

Khorami, M. T., Chelgani, S. C., Hower, J. C. and Jorjani E. 2011. Studies of Relationships Between Free Swelling Index (FSI) and Coal Quality by Regression and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, International Journal of Coal Geology 85:65–71

Khoshjavan, S., Heidary, M. and Rezai, B. 2010. Estimation of Coal Swelling Index Based on Chemical Properties of Coal Using Artificial Neural Networks, Iranian Journal of Materials Science & Engineering Vol. 7, Number 3.

Lu, T., Eng, P. and Laman G. 2012. A Preliminary Comparison of Coal Classification and Processing between Canada and China, 44th Ann. Meet. Canadian Min. Proc.

Mathews, J.P., Krishnamoorthy V., Louw, E., Tchapda, A.H.N., Marcano, F.D., Karri, V., Alexis, D.A. and Mitchell G.D. 2014. A Review of the Correlations of Coal Properties with Elemental Composition, Fuel Processing Technology 121 :104–113

Neavel, R.C., Smith, S.E., Hippo, E.J. and Miller, R.N. 1986. Interrelationships Between Coal Compositional Parameters, Fuel 65 (3) : 312–320.

Ohji, M. 2000. Production and Technology of Ion and Steel in Japan During 1999. ISIJ Int 40:529–43.

Pusz, S., Kwiecińska, B., Koszorek, A., Krzesińska, M. Pilawa B. 2009. Relationships Between the Optical Reflectance of Coal Blends and the Microscopic Characteristics of Their Cokes, International Journal of Coal Geology 77 : 356–362

Ryan B., Leeder R., Price J.T., Gransden J.F. 1999. The Effect of Coal Preparation on the Quality of Clean Coal and Coke, Geological Fieldwork, 247–275.

Speight, G.J. 2005. Handbook of Coal Analysis. Chichester, West Sussex, England: Wiley-Interscience, pp. 141–9.

# MİKRODALGA UYGULAMASI YAPILAN KÖMÜRLERDE MANYETİK AYIRMA İLE KÜKÜRDÜN UZAKLAŞTIRILMASI

## *REMOVAL OF SULPHUR FROM MICROWAVE HEATED COALS WITH MAGNETIC SEPERATION*

**İhsan Toroğlu, A. Dilek Çuhadaroğlu, Sait Kızgut, Serdar Yılmaz, Mehmet Bilen**
*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Zonguldak*

**Cemil Emre Yılmaz**
*Gümüştaş Mad. ve Tic. A.Ş. Ulukışla, Niğde*

**ÖZET** Bu çalışmada Mikrodalga uygulamasının, kömürün kükürt içeriğindeki etkisini incelemek üzere, Türkiye'de bulunan 7 farklı linyit kömür sahasından Tekirdağ-Saray, Balıkesir-Dursunbey, Muğla-Milas, Muğla-Yatağan, Ankara-Çayırhan, Konya-Ilgın ve Karaman-Ermenek bölgelerinden alınan numunelerle çalışılmıştır. Öncelikle, alınan kömür numunelerine 1,60 gr/cm$^3$ yoğunlukta yüzdürme-batırma işlemi uygulanarak, 1,60 gr/cm$^3$ yoğunlukta elde edilen yüzen ürünlerde mikrodalga uygulaması yapılmış ve daha sonra düşük alan şiddetli manyetik ayrıcı ile kömürden kükürt uzaklaştırma deneyleri yapılmıştır. Numunelerin mikrodalga uygulaması öncesi toplam kükürt içerikleri %3,49 ile %6,5 arasında değişmekte iken, mikrodalga uygulaması+manyetik ayırma deneyleri sonrası kükürt içeriklerinin %2,51 ve %4,23 arasında değiştiği, kükürt giderimlerinin ise %13,47 ile %52,64 arasında gerçekleştiği belirlenmiştir.

**ABSTRACT** In this study, 7 different lignite sample from various locations (Tekirdağ-Saray, Balıkesir-Dursunbey, Muğla-Milas, Muğla-Yatağan, Ankara-Çayırhan, Konya-Ilgın ve Karaman-Ermenek) in Turkey were collected in order to investigate the effect of microwave application on sulphur removal. Firstly, float and sink analysis (at 1.60 g/cm$^3$ density $ZnCl_2$ solution) was carried out for the collected samples, and floated samples were heated in microwave. After, these microwave heated samples were tested with low intensity of magnetic seperator and sulphur removal rates were investigated. Samples has total sulphur percentages between 3.49% and 6.5% before the experiments respectively. Finally samples has the sulphur percentages of 2.51% and 4.23% after microwave application and magnetic seperation experiments. It was observed that removal of total sulphur content changes between 13.47 % and 52.64%.

* itoroglu@hotmail.com

## 1. GİRİŞ

Elektromanyetik dalgalar frekans aralıklarına göre çeşitli şekillerde isimlendirilmektedir. Mikrodalga enerjisi; frekansı 300 Mhz ile 300 Ghz arasında değişen iyonlaştırıcı özelliği olmayan elektromagnetik dalgalardır. Mikrodalgalar, diğer elektromanyetik dalga türleri gibi ışık hızında yayılırlar, yayılmak için maddesel bir ortama ihtiyaç duymazlar ve birbirine dik elektrik ve manyetik bileşenlerden oluşurlar (Uslu vd. 2003, Kutbay ve Kuşkonmaz 2004, Eskibalcı 2007, Güngören 2009, Özkan vd. 2009, Guo vd. 2011, Eskibalci ve Özkan 2012).

Mikrodalga ısıtma, mikrodalgaları absorbe edici malzemelerin içlerindeki asimetrik bir yük dağılımına sahip dipol moleküller sayesinde gerçekleşir. Bu moleküllerin başında su gelir. Malzeme içinde bulunan dipol moleküller bir elektrik alana maruz bırakıldıklarında elektrik alanın doğrultusu boyunca dizilirler. Elektriksel alan ortadan kalktığında ise bu dizilim bozulur. Bu sebeple art arda oluşturulup ortadan kalkan elektriksel alan dipol moleküllerin hareket etmesine yol açar. Bu hareket ile meydana gelen iç sürtünme sonucunda bir ısı açığa çıkar. Sonuç olarak absorbe olan enerji sürtünmeye harcanmakta ve malzeme hızla hacimsel olarak ısınmaktadır (Vorster 2001, Al-Harahsheh ve Kingman 2004). Bu ısınma mekanizmasından dolayı konvansiyonel sistemlerde ısınma dıştan içe doğru gerçekleşirken, mikrodalga ısıtma sistemlerinde içten dışa doğru gerçekleşir ve malzeme içerisinde bir termal gerilim ve iç basınç oluşur. Bu durum sonucunda malzeme içerisinde çatlaklar oluşmaktadır. Mikrodalga ısıtmanın bu özelliğinden faydalanmak üzere madencilik alanındaki mikrodalga uygulamaları son yıllarda yapılan çalışmalar ile hızla artmaktadır (Lester ve Kingman 2004). Mikrodalga uygulamasının madencilik sektöründe ki en önemli kullanım alanları; Kurutma, ısıtma, ergitme, kavurma, kömür desülfürizasyonu, kömür sıvılaştırma, liç, oksitli minerallerin karbotermik redüksiyonu, ve seramik endüstrisi olarak sıralanmaktadır. Sektörde önemli bir diğer kullanım alanı öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmak amaçlı kullanımdır ki buna bağlı olarak değirmen kapasitesinin arttırılabildiği, ton cevher başına aşınmanın azaldığı, değirmen ürün boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, şlam üretiminin azaltılabildiği belirtilmektedir (Kingman ve Rowson 1998, Eskibalcı 2014, Kingman vd. 2000, Toraman ve Depçi 2007, Marland vd. 2000, Uslu ve Atalay 2003, Can ve Bayraktar 2007, Eskibalcı 2007, Özbayoğlu vd. 2009, Sayın 2010, Hacıfazlıoğlu 2014, Tosun 2015). Bu çalışmada, mikrodalga uygulamasının kömür numunelerinin kükürt içeriği üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda; ülkemizde halen üretim yapılan ve Şekil 1'de ülkemiz haritası üzerinde yerleri belirtilen "Tekirdağ-*Saray, Balıkesir-Dursunbey, Muğla-Milas, Muğla-Yatağan, Ankara-Çayırhan, Konya-Ilgın ve Karaman-Ermenek kömürleri*" olmak üzere 7 ayrı ocaktan alınan linyit kömür numuneleri kullanılmıştır.

Şekil 1. Çalışılan numunelerin alındığı yerler.

Alınan numuneler konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılarak, yarısı stok olarak ayrılmış, diğer yarısı çeneli kırıcı ve konili kırıcıdan geçirilerek boyut küçültme uygulanmıştır. Tekirdağ-Saray, Balıkesir-Dursunbey, Muğla-Milas, Muğla-Yatağan, Ankara-Çayırhan, Konya-Ilgın ve Karaman-Ermenek kömür numunesinin kimyasal analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 1-7'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tekirdağ-Saray numunesi kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | Orjinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 43,52 | - |
| Kül (%) | 8,21 | 14,53 |
| Uçucu Madde (%) | 27, 9 | 47,96 |
| Sabit Karbon (%) | 21,19 | 37,51 |
| Toplam Kükürt (%) | 2,26 | 4,01 |
| Piritik Kükürt (%) | 0,88 | 1,56 |
| Organik Kükürt (%) | 1,30 | 2,30 |
| Sülfat Kükürdü (%) | 0,08 | 0,15 |
| Külde Kükürt (%) | 4,04 | 4,40 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 1,90 | 3,37 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 2936 | 5198 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 2801 | 4960 |

Çizelge 2. Balıkesir-Dursunbey numunesi kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | Orijinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 8,76 | - |
| Kül (%) | 22,68 | 24,86 |
| Uçucu Madde (%) | 33,02 | 36,19 |
| Sabit Karbon (%) | 35,54 | 38,95 |
| Toplam Kükürt (%) | 5,47 | 6,00 |
| Piritik Kükürt (%) | 2,38 | 2,61 |
| Organik Kükürt (%) | 1,95 | 2,65 |
| Sülfat Kükürdü (%) | 0,09 | 0,12 |
| Külde Kükürt (%) | 0,90 | 1,17 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 4,67 | 5,12 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 4731 | 5185 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 4551 | 4988 |

Çizelge 3. Muğla-Milas numunesi kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | Orijinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 30,92 | - |
| Kül (%) | 9,03 | 13,07 |
| Uçucu Madde (%) | 34,89 | 50,51 |
| Sabit Karbon (%) | 25,16 | 36,42 |
| Toplam Kükürt (%) | 3,18 | 4,60 |
| Piritik Kükürt (%) | 0,95 | 1,38 |
| Organik Kükürt (%) | 2,13 | 3,08 |
| Sülfat Kükürdü (% | 0,10 | 0,14 |
| Külde Kükürt (%) | 5,03 | 5,53 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 2,52 | 3,88 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 3614 | 5231 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 3438 | 4978 |

Çizelge 4. Muğla-Yatağan numunesi kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | Orijinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 26,32 | - |
| Kül (%) | 11,77 | 15,97 |
| Uçucu Madde (%) | 38,78 | 52,63 |
| Sabit Karbon (%) | 23,14 | 31,40 |
| Toplam Kükürt (%) | 2,58 | 3,50 |
| Piritik Kükürt (%) | 0,54 | 0,73 |
| Organik Kükürt (%) | 1,95 | 2,65 |
| Sülfat Kükürdü (%) | 0,09 | 0,12 |
| Külde Kükürt (%) | 3,13 | 3,55 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 2,16 | 2,93 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 3657 | 4963 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 3466 | 4705 |

Çizelge 5. Ankara-Çayırhan numunesi kimyasal analiz sonuçları.

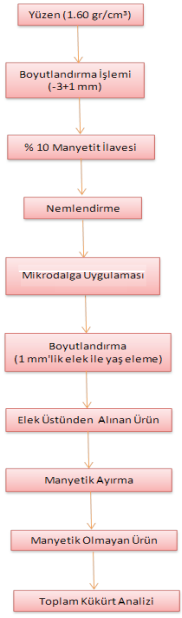
| Analiz | Orijinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 26,74 | - |
| Kül (%) | 19,52 | 26,64 |
| Uçucu Madde (%) | 28,29 | 38,62 |
| Sabit Karbon (%) | 28,38 | 38,74 |
| Toplam Kükürt (%) | 3,41 | 4,66 |
| Piritik Kükürt (%) | 1,34 | 1,83 |
| Organik Kükürt (%) | 1,98 | 2,70 |
| Sülfat Kükürdü (%) | 0,10 | 0,13 |
| Külde Kükürt (%) | 3,44 | 4,27 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 2,58 | 3,52 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 3601 | 4915 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 3449 | 4708 |

Çizelge 6. Konya-Ilgın numunesi kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | Orijinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 38,32 | - |
| Kül (%) | 23,91 | 38,77 |
| Uçucu Madde (%) | 30,06 | 48,73 |
| Sabit Karbon (%) | 7,71 | 12,50 |
| Toplam Kükürt (%) | 3,48 | 5,65 |
| Piritik Kükürt (%) | 1,57 | 2,54 |
| Organik Kükürt (%) | 1,80 | 2,92 |
| Sülfat Kükürdü (%) | 0,12 | 0,19 |
| Külde Kükürt (%) | 5,93 | 7,80 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 1,62 | 2,63 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 2024 | 3282 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 1894 | 3071 |

Çizelge 7. Karaman-Ermenek numunesi kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | Orijinal | Kuru |
|---|---|---|
| Toplam Nem (%) | 16,32 | - |
| Kül (%) | 22,07 | 26,37 |
| Uçucu Madde (%) | 33,04 | 39,48 |
| Sabit Karbon (%) | 28,58 | 34,15 |
| Toplam Kükürt (%) | 3,86 | 4,61 |
| Piritik Kükürt (%) | 1,92 | 2,30 |
| Organik Kükürt (%) | 1,80 | 2,15 |
| Sülfat Kükürdü (%) | 0,13 | 0,16 |
| Külde Kükürt (%) | 3,79 | 4,86 |
| Yanabilir Kükürt (%) | 2,79 | 3,33 |
| Üst Isıl Değer (kcal/kg) | 3867 | 4621 |
| Alt Isıl Değer (kcal/kg) | 3703 | 3703 |




Şekil 2. Mikrodalga uygulaması akım şeması.

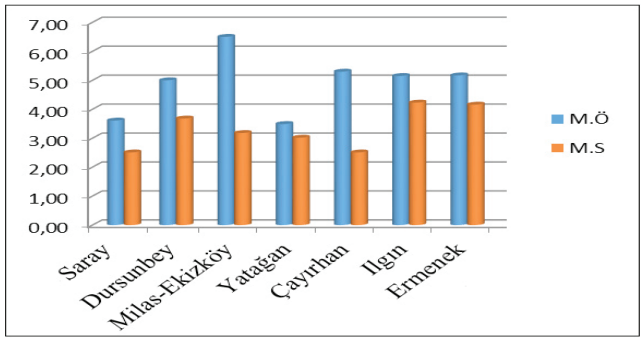
Deneysel çalışmalar Şekil 2'de verilen akım şemasına göre yapılmıştır. Akım şemasında görüldüğü üzere 1,60 gr/cm$^3$ yoğunlukta yüzen ürünler -3+1 mm boyut grubunda sınıflandırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelere kömür içindeki piritin mikrodalgada ısınma özelliğini artırmak için, mükemmel bir mikrodalga emici mineral olan manyetit (-600 mikron) ilave edilerek mikrodalga uygulanmış, sonrasında numuneler 1 mm'lik elekle yaş eleme yapılarak elek altı ayrılmış, elek üstü su ile iyice yıkanmış ve kurutulmuştur. Kurutulan bu ürünler düşük şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile ayrılarak, ürün içindeki manyetik kısım uzaklaştırılmıştır. Geriye kalan ve "manyetik olmayan ürün" olarak adlandırılan kısmın toplam kükürt analizleri yapılmıştır.

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLAR

Mikrodalga uygulaması öncesi ve sonrası numunelerin toplam kükürt içerikleri ve kükürt giderimi sonuçları Çizelge 8'de, numunelerin toplam kükürt içeriklerinde mikrodalga etkisi grafik halinde Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 8. Mikrodalga öncesi ve sonrası toplam kükürt içerikleri ve kükürt giderimi sonuçları.

| Numune | Toplam Kükürt (%) | | Kükürt Giderimi (%) |
|---|---|---|---|
| | Mikrodalga Uygulaması Öncesi | Mikrodalga Uygulaması Sonrası | |
| **Tekirdağ-Saray** | 3,61 | 2,51 | 30,47 |
| **Balıkesir-Dursunbey** | 5,00 | 3,68 | 26,40 |
| **Muğla-Milas-Ekizköy** | 6,50 | 3,18 | 51,08 |
| **Muğla-Yatağan** | 3,49 | 3,02 | 13,47 |
| **Ankara-Çayırhan** | 5,30 | 2,51 | 52,64 |
| **Konya-Ilgın** | 5,15 | 4,23 | 17,86 |
| **Karaman-Ermenek** | 5,17 | 4,16 | 19,54 |




Şekil 3. Numunelerin toplam kükürt içeriklerinde mikrodalga etkisi.

Çizelge 8'de görüldüğü üzere; Numunelerin mikrodalga uygulaması öncesi toplam kükürt içerikleri %3,49 ile %6,5 arasında değişmektedir. Mikrodalga uygulama sonrası düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırma deneyleri sonucunda elde edilen kömürlerin kükürt içerikleri ise %2,57 ve %4,23 arasında olmuştur. Kükürt giderimlerinin ise %13,47 ile %52,64 arasında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Çalışılan linyit numuneleri içerisinde en yüksek toplam kükürt içerikli numuneler sırasıyla; Muğla-Milas, Ankara-Çayırhan, Konya-Ilgın, Karaman-Ermenek ve Balıkesir-Dursunbey numuneleridir. %6,50 kükürt içeriği ile en yüksek kükürt içerikli numune olan Muğla-Milas numunesinin mikrodalga uygulama sonrası %51,08 kükürt giderimi ile kükürt içeriği %3,18 olarak belirlenmiştir. %5,30 kükürt içerikli Ankara-Çayırhan numunesinde, mikrodalga uygulama sonrası %52,64 kükürt giderimi sağlanmış ve kükürt içeriğinin %2,51'e indiği belirlenmiştir. Konya-Ilgın ve Karaman-Ermenek numunelerinde toplam kükürt giderimleri yaklaşık %17-26 arasında gerçekleşmiştir. Muğla-Yatağan tüvenan numunelerinin piritik kükürtleri sırasıyla %0,73 olup, mikrodalga sonrası kükürt gideriminin sınırlı olması beklenen bir durumdur.

## 4. SONUÇLAR

Toplamda 7 farklı linyit örneği üzerinde yapılan bu çalışmayla mikrodalga uygulamasıyla pirite manyetik özellik kazandırılması amaçlanmış bunun da kükürt uzaklaştırmada etkili olabileceği belirlenmiştir. Mikrodalga uygulanması piriti pirotine çevirerek manyetik özellik kazanmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalarda da cevher hazırlama özellikle de kömür hazırlamada ön işlem olarak mikrodalga uygulamasının gerek çatlak oluşturmada, kükürt gidermede ve şlam kurutma süreçlerinde etkili olabileceği araştırılmıştır. Bu çalışmayla ülkemiz linyitlerindeki yüksek kükürt içeriğinin azaltılmasıyla bu linyitlerin kullanılabilme potansiyelinin arttırılması hedeflenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (BAP Proje No: 2013-98150330-02) teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

Al-Harahsheh, M., Kingman, S.W., 2004. Microwaveassisted leaching-a review. Hydrometallurgy, 73 (3-4), pp.189-203.

Can, N.M., Bayraktar, I., 2007. Effect of microwave treatment on the flotation and magnetic separation properties of pyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite. Minerals and Metallurgical Processing, 24 (3), pp.185-192.

Eskibalcı, M.F., 2007. Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, s. 174.

Eskibalcı, M.F., 2014. Konvansiyonel ve mikrodalga ısıtma işleminin kuvarsitin öğütülebilirliğine etkisinin incelenmesi. EÜFBED, 7 (2), pp.169-190.

Eskibalci, M.F., Özkan, Ş.G., 2012. An investigation of effect of microwave energyon electrostatic separation of colemanite and ulexite. Minerals Engineering, 31, pp. 90-97.

Guo, S.-H., Chen, G., Peng, J.-H., Chen, J., Li, D.-B., Liu, L.-J., 2011. Microwave assisted grinding of ilmenite ore. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21 (9), pp.2122-2126.

Güngören, C., 2009. Ultrasonik ve mikrodalga enerjilerinin kolemanit flotasyonunda ön İşlem olarak kullanılma olanaklarının araştırılması. Y.L. Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, s. 112.

Hacıfazlıoğlu, H., 2014. Zonguldak şlam kömürünün kurutulmasında mikrodalga ve konvansiyonel fırının verimliliklerinin karşılaştırılması Türkiye 19. Kömür Kongresi, Zonguldak, s.291-301.

Kingman, S.W., Rowson, N.A., 1998. Microwave treatment of minerals - a review. Minerals Engineering, 11 (11), pp.1081-1087.

Kingman, S.W., Vorster, W., Rowson, N.A., 2000. The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. Minerals Engineering, 13 (3), pp.313-327.

Kutbay, I., Kuşkonmaz, N., 2004. Mikrodalga ısıtmanın seramik üretiminde kullanımı. Metalurji Dergisi, 137, pp.52-56.

Lester, E., Kingman, S., 2004. The effect of microwave pre-heating on five different coals. Fuel, 83 (14-15), pp.1941-1947.

Marland, S., Han, B., Merchant, A., Rowson, N., 2000. The effect of microwave radiation on coal grindability. Fuel, 79, pp.1283–1288.

Özbayoğlu, G., Depci, T., Ataman, N., 2009. Effect of microwave radiation on coal flotation. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects,31 (6), pp.492-499.

Özkan, Ş.G., Eskibalcı, M.F., Güngören, C., 2009. Mikrodalga enerjisinin kolemanit ve uleksitin sudaki çözünürlüğüne etkisinin araştırılması. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 22, (1), pp.85-93.

Toraman, O.Y., Depçi, T., 2007. Kömürde mikrodalga ile önişlem uygulamaları. Madencilik, 46(3), pp.43-53.

Tosun, Y.İ., 2015. Microwave activated crushing and grinding of Turkish coals and shale for cleaning and desulfurization. XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrad, pp.622-629.

Uslu, T., Atalay, Ü., 2003. Microwave heating of coal for enhanced magnetic removal of pyrite. Fuel Processing Technology, 85 (1), pp.21-29.

Uslu, T., Atalay, Ü., Arol, A.I., 2003. Effect of microwave heating on magnetic separation of pyrite. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering 22 Aspects, 225 (1-3), pp.161-167.

Uslu, T., Atalay, Ü., Arol, A.I., 2003. Effect of microwave heating on magnetic separation of pyrite. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering

Vorster, W., 2001. The effect of microwave radiation on mineral processing. The University of Birmingham, Birmingham, p. 256.

Yılmaz C. E., 2017. Linyitlerin Karekterizasyonu ve Mikrodalga ile Kükürt Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü/ Zonguldak

# NORMAL DAĞILIMA UYMAYAN TEMİZ KÖMÜR KISA ANALİZ İÇERİKLERİNİN NORMAL DAĞILIMA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

## *TRANSFORMATION OF NONNORMAL PROXIMATE ANALYSIS CONTENTS OF CLEAN COALS TO NORMAL DISTRIBUTION*

**Adem Taşdemir**[*], **Dilek Atalay**

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

**ÖZET** Herhangi bir cevher hazırlama tesisinden elde edilen ham verilerin uygun şekilde değerlendirilebilmesi için bu verilerin istatistiksel özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Verilerin özelliklerinin doğru belirlenmesi; örneğin uygulanacak olan parametrik ve parametrik olmayan testlerin seçimi, verilerin ve ortalamaların karşılaştırılması, zaman serileriyle veri tahmininde, istatistiksel proses kontrol gibi yöntemlerin uygulanması durumunda yanlış yorumlamalara engel olacaktır. Bu araştırmada bir kömür lavvarı ağır ortamında üretilen +18 mm boyutlu temiz kömürün; kömür kalite değerlendirmesinde kullanılan kısa analiz (proximate analysis) değerleri (kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam nem) istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Dört parametrenin de normal dağılıma uymadığı tespit edilmiş olup, veriler için en uygun dönüşüm metodu tespit edilmeye çalışılmıştır. En yaygın olarak kullanılan logaritmik, Box-Cox dönüşümleri ile birlikte pek bilinmeyen Johnson dönüşümü verilere uygulanmıştır. Johnson dönüşümünün tüm veri setleri için verileri normal dağılıma dönüştürmede en etkin sistem olduğu bulunmuştur.

**ABSTRACT** It is very important to determine the statsitical properties of any raw mineral processing data in order to evaluate them properly. The correct specification of data properties will prevent misinterpretation of them, for example when selecting parametric and nonparametric tests to be applied, comparing the data and sample means, estimation of data by time series analysis, applying statistical process control etc. In this research, proximate analysis which has been used for coal quality evaluation (ash, volatile matter, fixed carbon and total moisture contents) of a clean coal of +18 mm size produced in the medium drum of a coal preparation plant were evaluated statsitically. It has been determined that the four parameters do not correspond to the normal distribution and it has been tried to found the most suitable conversion method for the four data sets. Two common used transformation method namely logarithmic and Box-Cox and Johnson system which is not well known compared to other ones were applied on the data sets. For all data sets, the Johnson system was established as the most efficient method to transform the data sets normal distribution.

[*] *atasdem@ogu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Evsel ya da endüstriyel yakıt olarak kullanılma amacıyla üretilen kömürlerin kalitesi çevre koruma ve hava kirliliği açısından büyük öneme sahiptir. Kömürün oluşumu ve üretimine bağlı olarak kaçınılmaz olarak üretilen kömürün kalitesini etkileyen bir çok safsızlıklar vardır. Bu safsızlıklar, inorganik, organik maddeler, kül, nem vs.'dir. Kömür içerisindeki bu safsızlıklar, kömürün açık işletme veya yeraltı üretim yöntemlerinden sonra direkt olarak kullanımını imkansız kılmaktadır. Bu nedenle, üretilen kömürlere kömür yıkama tesislerinde öncelikle içerisindeki safsızlıkların serbest hale gelebilmesi için boyut küçültme işlemine tabii tutulduktan sonra, ağır ortam gravite ayırma metodlarıyla yıkama işlemleri uygulanmaktadır (Arslan 2004). Genel olarak bir kömür hazırlama tesisinde, iri yıkama devresi, ince yıkama devresi, şlam atma, suyun yeniden kazanım birimleri ve ağır ortam kullanılmaktadır.

Türkiye'nin kömür rezervi yaklaşık olarak 13 milyar tondur. Bu rezervin yaklaşık 11.5 milyar tonu linyit kalanı ise bitümlü kömürdür (Özbayoğlu 2013, Mills 2014). Türkiye'de kapasiteleri 50 ile 1000 ton/saat arasında değişen yaklaşık olarak 45 tane kömür hazırlama tesisi faaliyet göstermektedir. Bunlardan 12 tanesi bitümlü kömür yıkarken, kalanı ise ülkenin linyit üretiminin yaklaşık %40'ını kapsamaktadır (Özbayoğlu 2013).

Çoğu kömür hazırlama tesisi ağır ortamla ayırma işlemine dayalıdır. +18 mm kömürü yıkamak için statik tamburlar, banyolar ve tekneler kullanılırken, ağır ortam siklonları -18+0.5 mm boyutlu ince kömürleri, spiraller ise -0.5+0.1 mm kömürleri kazanmak için kullanılmaktadır (Özbayoğlu 2013).

Diğer endüstriyel üretim tesislerinde ve cevher hazırlama tesislerinde olduğu gibi kömür hazırlama işlemlerinde de çok fazla miktarda rastgele ve olası veriler elde edilmekte ve bu veriler istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmektedir. Bu verilerin analiz edilmesiyle bir kömür hazırlama tesisinin performansı değerlendirilebilmektedir.

Elde edilen verilerin genellikle normal dağıldığı varsayılmakta ve ham veriler, bu varsayım doğrulanmadan ya da kontrol edilmeden direkt olarak kullanılmaktadır. Normal dağılıma uymayan orijinal ham veriler, veri değerlendirmede ciddi bir etkiye sahip olmakta ve proses hakkında yanlış karara varılabilmektedir. Bu nedenle normal dağılım göstermeyen veriler hakkında yorum yapmadan önce verilerin bir dönüşüm işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Bu işlem etkin bir normalleştirme metoduyla dağılımı normal yapma ihtiyacı için gerekli olmaktadır.

Logaritmik ve Box-Cox dönüşümleri dağılımları normal yapmak için en yaygın bilinen ve yaygın olarak uygulanan yöntemlerdir. Ancak, cevher hazırlama ve madencilik alanında Johnson dönüşümü hala göreceli olarak bilinmemekte ve çok sınırlı çalışmada bu üç dönüşümün karşılaştırılması yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Manisa Soma'daki Dereköy kömür yıkama tesisinde ağır ortam tamburunda üretilen +18 mm boyutlu temiz kömürün kısa analiz (proximate analysis) değerlerinin (kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam nem) istatistiksel değerlendirmelerini yapmak ve normal dağılım göstermeyen dört veri seti için normal dağılımı sağlayan en uygun dönüşüm yönteminin bulunması ve yöntemlerin performanslarının karşılaştırılmasıdır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Çalışmada Kullanılan Veriler ve Değerlendirilmesi

Manisa Soma Dereköy kömür yıkama tesisinde 2010 yılında ağır ortam tamburunda üretilen +18 mm boyutlu temiz kömüre ait bir yıllık orijinal (as received) kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam nem içerikleri bu çalışmada veri setleri olarak kullanılmıştır. Bu içerikler, kömürün kalite değerlendirilmesi amacıyla yapılmakta ve kısa analiz (proximate analysis) olarak isimlendirilmektedir. Toplam olarak her içerik için 2010 yılında üretilen +18 mm konsantre kömüre ait 354'er veri kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi ve normal dağılıma dönüştürülmesi çalışmaları ise Minitab 16.0 ve Statgraphics Centurion XV istatistik programlarının deneme sürümlerinin kullanılmıyla gerçekleştirilmiştir.

### 2.2. Yöntem

#### *2.2.1. Logaritmik Dönüşüm*

$$Z = \log(X) \tag{1}$$

Logaritmik dönüşüm 10 tabanına göre ($\log_{10}$) veya $e$ tabanına göre (ln) yapılabilmektedir. Genel olarak sağa eğik dağılımlar logaritmik dönüşümle normal dağılıma dönüştürülebilmektedir.

#### *2.2.2. Box-Cox Dönüşümü*

$$Y^{\lambda} = \begin{cases} \frac{Y^{\lambda}-1}{\lambda}, \lambda \neq 0 \\ LnY, \lambda = 0 \end{cases} \tag{2}$$

Burada, $Y$ ham veri değeri, $Y^{\lambda}$ ise dönüştürülmüş veridir (Box ve Cox 1964). Box-Cox dönüşümü ile -5 ile +5 aralığında en uygun $\lambda$ değeri tespit edilmektedir.

#### *2.2.3. Johnson Dönüşümü*

Johnson 1949 yılında kendi adıyla anılan dört parametreli bu dönüşümü verilerin normalleştirilmesi için geliştirmiştir (Johnson 1949). Genel dönüşüm formülü:

$$Z = \gamma + \delta f\left(\frac{X-\xi}{\lambda}\right) = \gamma + \delta f(Y) \quad (3)$$

Burada; $\gamma$ ve $\delta$, $X$'in dağılım şeklini belirleyen parametrelerdir ve şekil parametreleri olarak isimlendirilirler (Johnson 1949), $\xi$ ve $\lambda$ sırasıyla $X$ rassal değişkeninin konum ve ölçek parametresidir. Böylece;

$Y = \frac{(X-\xi)}{\lambda}$ rassal değişkeninin bir işlevi olan *f(Y)* normal rassal değişkeni, Eşitlik 3 ile konum ve ölçek parametreli standart normal bir değişkene dönüştürülebilir (Erkek 2007).

Johnson ailesinin genel rassal değişkeni *X*, *f(Y)* işlevi için;

$$f(Y) = logY, Y > 0 \quad (4)$$

$$f(Y) = log[Y/(1-Y)], 0 < Y < 1 \quad (5)$$

$$f(Y) = sinh^{-1}Y, -\infty < Y < +\infty \quad (6)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Johnson değişkenleri ise aşağıdaki eşitliklerle standart normal değişkenlere dönüştürülebilmektedir:

$$Z = \gamma + \delta log[(X-\xi)/\lambda], \xi < X \quad (7)$$

$$Z = \gamma + \delta log[(X-\xi)/(\xi+\lambda-X)], \xi < X < \xi + \lambda \quad (8)$$

$$Z = \gamma + \delta sinh^{-1}[(X-\xi)/\lambda] = \gamma + \delta log\left[\frac{X-\xi}{\lambda} + \sqrt{\left(\frac{X-\xi}{\lambda}\right)^2 + 1}\right], -\infty < X < +\infty \quad (9)$$

Eşitlik 4 ve Eşitlik 7 *Lognormal Johnson* ailesi, Eşitlik 5 ve Eşitlik 8 $0<Y<1$ olduğundan, *Sınırlı Johnson* ailesi ve Eşitlik 6 ve Eşitlik 9 $-\infty < Y < +\infty$ olduğundan *Sınırsız Johnson* ailesi tanımlanmaktadır (Erkek 2007).

## 3. BULGULAR

### 3.1. Orijinal Kömür Verilerinin İstatistiksel Özellikleri

Çizelge 1, kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam nem içeriklerinin özet istatistiklerini göstermektedir. Çizelge 1'deki değerler, merkezi eğilim ölçülerini, değişkenlik ölçülerini ve dağılım şekil ölçümlerini kapsamaktadır. Dağılımların normal dağılımdan gelip gelmediğini belirlemek için tablodaki standardize edilmiş çarpıklık ve basıklık değerlerinin -2 ile +2 aralığında olup olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 1 incelendiğinde, tüm kömür kalite içeriklerinin standardize edilmiş basıklık ve çarpıklık değerlerinin belirtilen aralık dışındaki değerlere sahip oldukları yani normallikten belirgin bir şekilde sapma gösterdikleri anlaşılmaktadır. Uçucu madde içeriğinin standardize çarpıklık değeri -2 ile +2 aralığında olmasına rağmen basıklık değeri bu aralığın dışındadır. Bu sonuçlar, normallikten belirgin sapmaların belirgin göstergesi olup, bu da standart sapma ile ilgili herhangi bir istatistiksel testi geçersiz kılma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

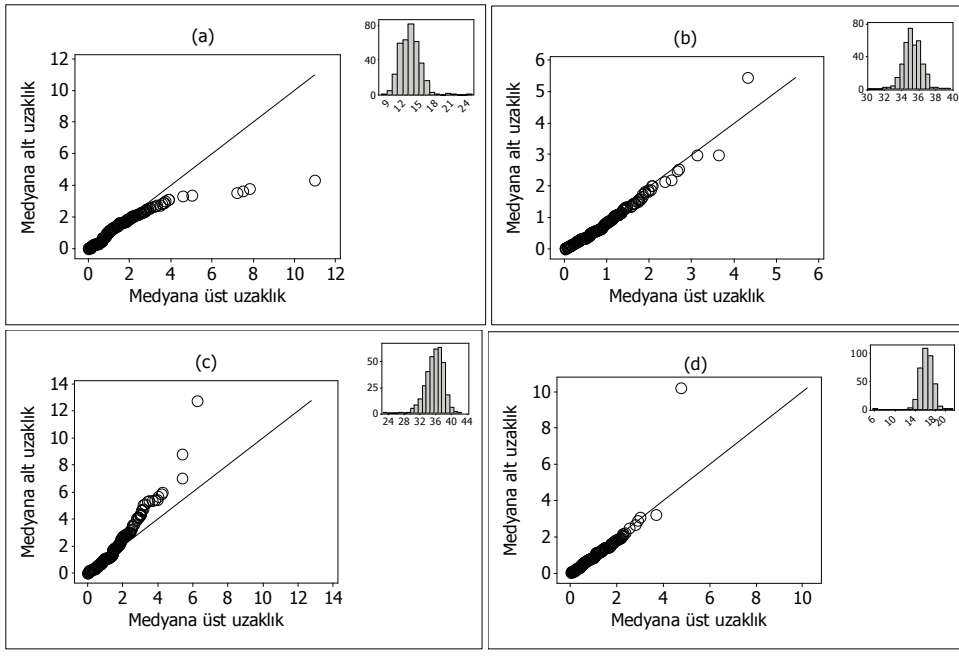
Çizelge 1. Ağır ortam taburunda üretilen kömürlerin kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam nem içeriklerinin özet istatistikleri.

| İstatistikler | Kül | Uçucu Madde | Sabit Karbon | Toplam Nem |
|---|---|---|---|---|
| Sayı | 354 | 354 | 354 | 354 |
| Ortalama | 12,86 | 35,25 | 35,64 | 16,25 |
| Standart sapma | 1,89 | 1,07 | 2,32 | 1,30 |
| Varyans katsayısı (%) | 14,77 | 3,05 | 6,52 | 8,03 |
| Minimum | 8,41 | 29,75 | 23,13 | 6,03 |
| Maksimum | 23,72 | 39,51 | 42,06 | 20,97 |
| Aralık | 15,31 | 9,76 | 18,93 | 14,94 |
| Std. çarpıklık | *7,86* | -0,92 | *-6,28* | *-8,89* |
| Std. basıklık | *13,99* | *8,92* | *9,00* | *38,66* |

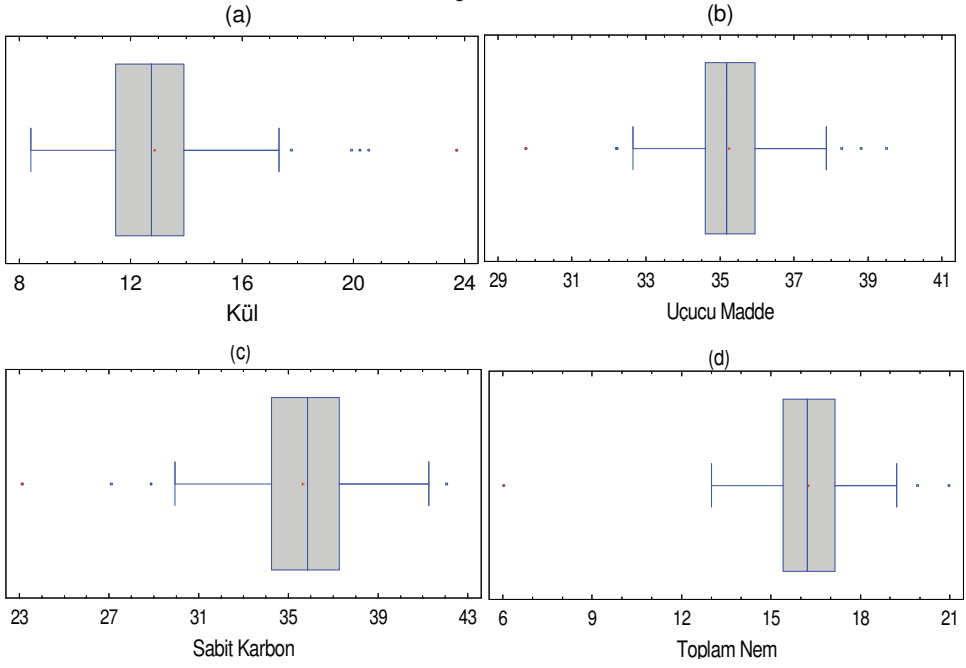
Şekil 1 ve Şekil 2 sırasıyla, kısa analiz içeriklerinin simetri ve Box ve Whisker grafiklerini göstermektedir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi, tüm içeriklerin medyana olan alt ve üst uzaklıkları dağılımları 1:1 çizgisinden uzaklaşma göstermektedir. Toplam nem içeriği simetri grafiği 1:1 Doğrusu etrafında simetrik gibi gözükse de Çizelge 1'de verilen standardize basıklık ve çarpıklık değerleri normal dağılım gösteren verilerin olması gereken aralığından çok uzaktadır.

Şekil 2 (a-d)'deki Box ve Whisker grafiklerine göre, tüm kalite değerlendirme parametrelerinin dağılımında %95 güven aralığının dışına çıkan noktalar olduğu görülmekte, bu bulgular tüm içerik dağılımlarının normal dağılıma uygun olmadığını göstermektedir.




Şekil 1. Kömür kalite gösterge içeriklerinin simetri grafikleri (a) Kül, (b) Uçucu madde, (c) Sabit karbon, (d) Toplam nem.



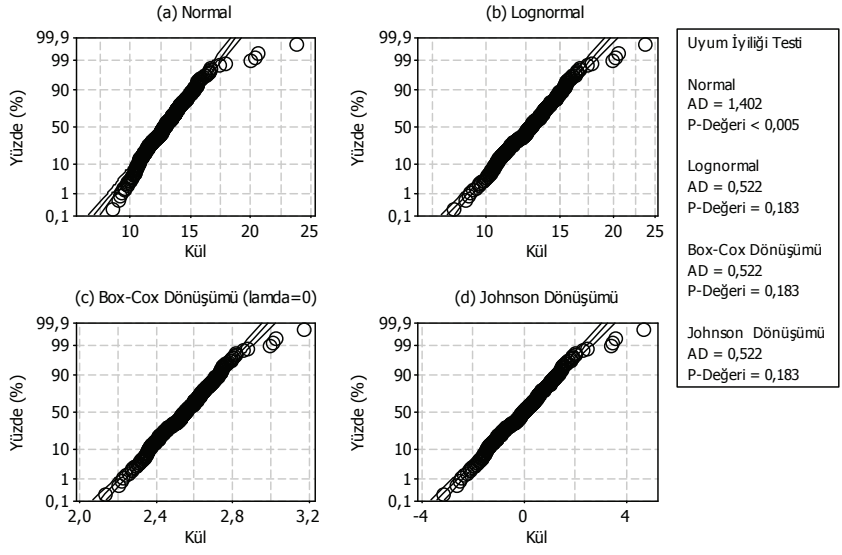

Şekil 2. Kömür kalite gösterge içeriklerinin Box ve Whisker grafikleri.

### 3.2. Dönüşüm Yapılan Kömür Verilerinin İstatistiksel Özellikleri

Proksimate analizlere ait içeriklerin orijinal normal dağılım olasılık grafiği ile birlikte lognormal, Box-Cox ve Johnson dönüşümleri sonrası elde edilen olasılık dağılım grafikleri yapılan uyum iyiliği testi sonuçları sonuçlarıyla kül için Şekil 3, uçucu madde için Şekil 4, sabit karbon için Şekil 5 ve toplam nem için Şekil 6'da verilmiştir. Normal dağılıma grafiklerinde veri noktaları o dağılım için uydurulan doğruya ne kadar yakın ise normal dağılıma uygun oldukları söylenebilir. Şekil 2, 3 ve 4'te orijinal ve dönüştürülmüş veri noktalarının dağılımları, uydurulan lineer doğru ve bu doğrunun alt ve üst limitleri için %95 güven aralıkları üzerinde gösterilmektedir. Şekillerdeki uyum iyiliği sonuçlarında yer alan Anderson Darling (AD) normallik testi değerleri ve *p* olasılık değerleri de yer almaktadır. Buna göre AD değerinin yüksek ve *p* olasılık değeri %5 önem seviyesi için 0.05'ten büyük olduğunda ilgili dağılımın normal dağılıma uyduğu yorumu yapılmaktadır.

#### *3.2.1. Kül İçeriği Verilerine Uygulanan Dönüşümler*

Şekil 3a incelendiğinde, orijinal kül içeriği dağılımının normal dağılıma uymadığı ($p$=0.013<0.05) görülmektedir. Yapılan logaritmik dönüşümün, $\lambda$=0 için Box-Cox dönüşümünün ve Johnson dönüşümünün aynı AD ve *p* olasılık değerlerini verdiği bulunmuştur (Şekil 3b, 3c ve 3d). Kül içeriği verilerine Eşitlik 4 ya da Eşitlik 7'teki Johnson dönüşümü yapıldığında, kül içeriği verileri normal dağılıma uymaktadır. Eşitlik 7'den elde edilen ve Şekil 3d'de verilen lognormal Johnson ailesi dönüşüm formülü $Z$=-20,2+7,82*Ln($X$+0,433) şeklinde bulunmuştur.

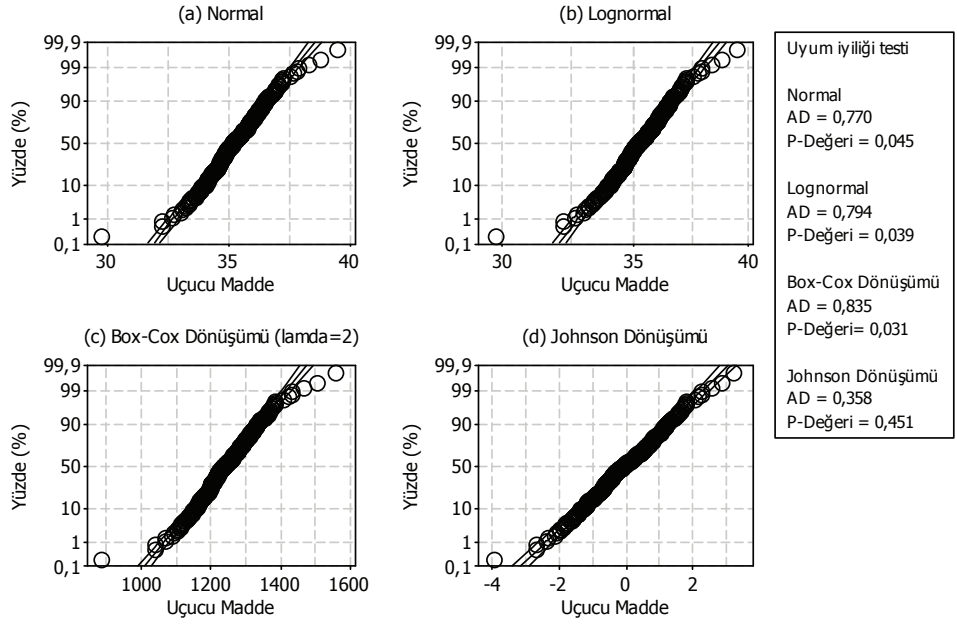



Şekil 3. Kül içeriğinin orijinal ve dönüşüm sonrası olasılık dağılımları ve uyum iyiliği testi sonuçları.

### *3.2.2. Uçucu Madde İçeriği Verilerine Uygulanan Dönüşümler*

Diğer bir kömür kalite göstergesi olan uçucu madde verilerinin ham içerik normal olasılık dağılımı Şekil 4a'da, logaritmik, Box-Cox ve Johnson dönüşümü sonrası olasılık dağılımları ise sırasıyla Şekil 4b, 4c ve 4d'de sunulmuştur. Gerek orijinal ham verilerin (Şekil 4a), gerek logaritmik dönüşümün (Şekil 4b) ve gerekse tespit edeilen optimal $\lambda$=2 için Box-Cox dönüşümlerinin (Şekil 4c) verilerin normal dağılımını sağlamada başarısız oldukları hem olasılık dağılımlarından hem de Şekil 4'te verilen uyum iyiliği sonuçlarından anlaşılmaktadır ($p$<0.05).

Buna karşılık Eşitlik 6 veya 9'da genel formülü verilen sınırsız Johnson ailesi dönüşümüyle uçucu madde içeriklerinin normal dağılıma uyduğu, hem Şekil 4d'dedi olasılık dağılımından hem de Şekil 4'teki uyum iyiliği sonuçlarında görülmektedir (AD=0.358 ve $p$=0.358). Uygun dönüşümü sağlayan eşitlik ise $Z$=-0,15+2,45* Asinh(($X$ - 35,12 ) / 2,35) olarak bulunmuştur.

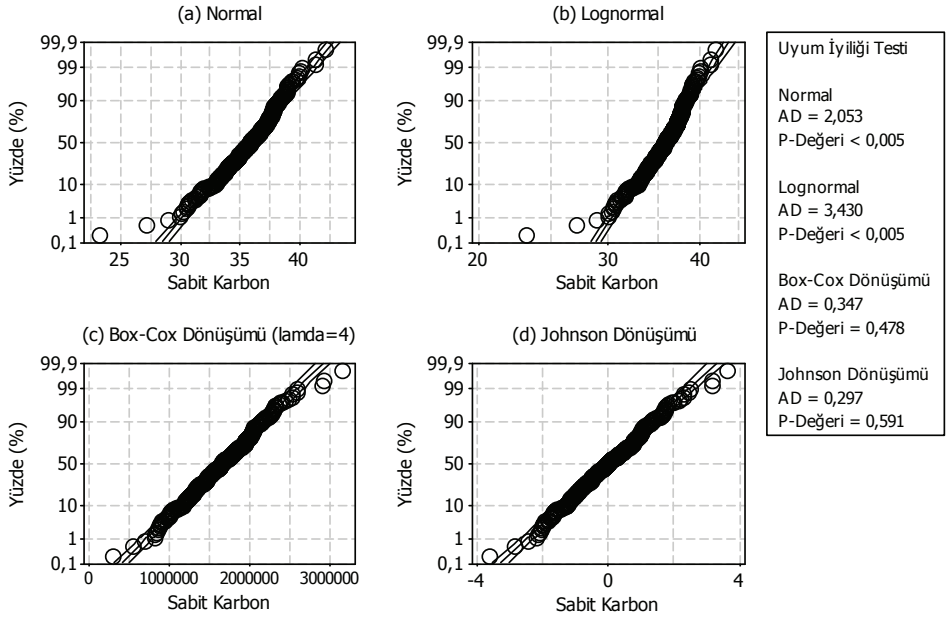



Şekil 4. Uçucu madde içeriğinin orijinal ve dönüşüm sonrası olasılık dağılımları ve uyum iyiliği testi sonuçları.

### *3.2.3. Sabit Karbon İçeriği Verilerine Uygulanan Dönüşümler*

Şekil 5, dönüşüm öncesi orijinal sabit karbonun normal olasılık dağılımı ile uygulanan dönüşümler sonrasında elde edilen olasılık dağılım grafiklerini ve normal dağılım test sonuçlarını göstermektedir. Şekil 5a'da ham sabit karbon içeriği verilerinin normal dağılıma uymadığı anlaşılmakta bu sonuç uyum iyiğili testi

sonuçlarıyla doğrulanmaktadır (AD=2.053, $p$<0.005). Logaritmik dönüşümün normal dağılıma uyum sağlamadığı bulunurken, optimal $\lambda$=4 değerinde yapılan Box-Cox dönüşümü (Şekil 5c) ile sınırsız Johnson ailesi dönüşümünün (Şekil 5d) normal dağılımı sağladığı görülmektedir. Ancak sınırsız Johnson ailesi dönüşümüyle yapılan dönüşümün Box-Cox dönüşümünden daha iyi sonuç verdiği uyum iyiliği sonuçlarından anlaşılmaktadır. $Z$= 2,004 + 2,83*Asinh(($X$ - 39,33) / 4,51) formülü ile yapılan dönüşüm, optimal $\lambda$ değerinde yapılan Box-Cox dönüşümüne göre, uyum iyiliği testi sonuçlarına göre $p$ olasılık değeri açısından daha iyi sonuç vermektedir. Olasılık değeri Box-Cox dönüşümü için 0.478 iken, Johnson dönüşümü için 0.591 olarak bulunmuştur (Şekil 5).

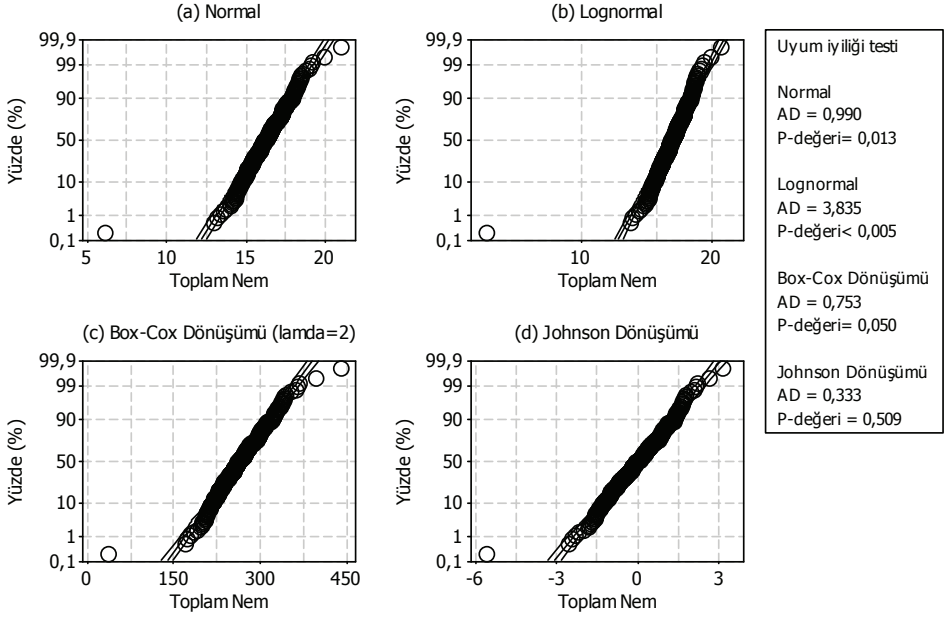



Şekil 5. Sabit karbon içeriğinin orijinal ve dönüşüm sonrası olasılık dağılımları ve uyum iyiliği testi sonuçları.

### *3.2.4. Toplam Nem İçeriği Verilerine Uygulanan Dönüşümler*

Toplam nem içeriğinin orijinal ve yapılan dönüşümler sonrasında elde edilen olasılık dağılımları Şekil 6'da sunulmaktadır. Orijinal toplam nem değeri dağılımının normal dağılıma uymadığı hem Şekil 6a'daki normal olasılık dağılım grafiğinden hem de yapılan uyum iyiliği test sonuçlarından görülmektedir (AD=2.053, $p$<0.005). Lognormal dönüşüm normalliği sağlamada yetersiz kalırken (Şekil 6b), optimal $\lambda$=2 değerinde yapılan Box-Cox dönüşümü (Şekil 6c) ve sınırsız Johnson dönüşümü sonrasında (Şekil 6c) toplam nem içeriği dağılımı normal dağılıma uymaktadır. Ancak Box-Cox dönüşümünün uyum iyiliği testi sonuçlarına göre $p$ olasılık değerinin sınırda olduğu tespit edilmiştir. ($p$=0.05). Eşitlik 6 veya 9 ile yapılan sınırsız Johnson

dönüşümünden elde edilen *Z*= -0,375+ 2,979*Asinh((*X* - 15,797) / 3,484) formülü ile yapılan dönüşümle elde edilen uyum iyiliği testi sonuçlarından olasılık değeri 0.333 AD değeriyle birlikte *p*=0.509 olarak bulunmuştur.




Şekil 6. Toplam nem içeriğinin orijinal ve dönüşüm sonrası olasılık dağılımları ve uyum iyiliği testi sonuçları.

## 4. SONUÇLAR

İstatistiksel metotlar veriler, hakkında çeşitli varsayımlara dayanmaktadır. Ancak veriler bu varsayımları karşılamıyorsa, elde edilen sonuçların geçerliliği tartışmalı olacaktır. Eğer bir veri, istatistiksel tahminler yapmak için kullanılan istatistiksel bir modelin varsayımlarını karşılamıyorsa, güvenilirliği daha azdır. Normal dağılım ispatı yapılmadan uygulanan parametrik testlerin sonuçları, zaman serisiyle yapılan modellerle yapılan tahminler, istatistiksel proses kontrolü vs gibi sürecin işleyişini ve kontrol limitlerinin belirlendiği yöntemlerin uygulanmasında, normallik varsayımının doğrulanmadan uygulanması halinde elde edilen sonuçlar yanlış yorumlanabilecektir.

Kömür hazırlama tesislerinde elde edilen verilerin doğru değerlendirilmesi için, bu normal dağılım göstermemesi halinde uygulanabilecek dönüşüm metotlarının belirlenmesi için bu çalışma yapılmıştır. Bilinen en yaygın metot logaritmik dönüşümdür. Ancak bu dönüşüm, tüm veriler için etkin olamamaktadır.

Bu çalışmada, ağır ortam tamburunda üretilen +18 mm boyutlu temiz kömürlerin kısa analizi (proximate analysis) için kullanılan kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam nem içeriklerinin istatistiksel dağılım özellikleri belirlenmiştir. Tüm kömür kalite

parametrelerinin normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan logaritmik dönüşüm ve Box-Cox dönüşümü ile cevher hazırlamada ya da maden işletme alanında kullanım alanı fazla olmayan Johnson dönüşüm metotları kullanılarak, dönüşüm sonrası normallik testiyle uyum iyiliği sonuçları elde edilmiştir. Lognormal dönüşüm sadece kül içeriği verilerinin normal dağılıma uygunluğunu sağlarken diğer parametrelerin dönüşümünde başarısız olmuştur. Optimal λ değerlerinde elde edilen Box-Cox dönüşümleri, uçucu madde içeriği için dönüşüm sağlamada uyum iyiliği testini geçememiş diğer kalite parametreleri için normal dağılımı sağlayabilmiştir. Uçucu madde içeriği verileri için normallik sadece sınırsız Johnson dönüşümü ile sağlanabilmiştir. Logaritmik Johnson dönüşümü kül içeriği için ve sınırsız Johnson dönüşümü ise diğer üç parametre için normal dağılıma uygunluğu sağlamada diğer yöntemlerden daha etkin olduğu yapılan bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Johnson dönüşümünün madencilik ve cevher hazırlama alanında daha yaygın olarak kullanımıyla verilerin normal dağılıma uygunluğunun sağlanmasında karşılaşılan sorunlara alternatif bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılabilmesi için verileri temin ederek kullanmamıza izin veren Türkiye Kömür İşletmelerine (TKİ) ve Ege Linyitleri İşletmesine (ELİ) teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

Arslan, V. ve Kemal, M. 2004. Kömür hazırlama ve Türkiye'deki Uygulamalar, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 217-227.

Box, G. E. P. And Cox, D. R. 1964. An Analysis of Transformation, Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Vlolume: 26, 211-252.

Erkek, B. 2007. Johnson Dağılımlarından Sanal Örnekleme, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 39 s.

Johnson, N. L. 1949. Systems of Frequency Curves Generated by Methods of Translation, Biometrika, Volume: 36, Issue: ½, 149-176.

Mills, S. 2014. Prospects for Coal and Clean Coal Technologies in Turkey, IEA Clean Coal Centre, 108 s.

Özbayoğlu, G. 2013. Removal of Hazardous Air Pollutants Based on Commercial Coal Preparation Plant Data, Physicochemical Problems of Mineral Processing, Volume: 49, Issue: 2, 621-629.

Özbayoğlu, G. 2016. Commercial Coal Preparation Plants Capability for the Removal of Trace Elements, In: Litvinenko V. (eds) XVIII International Coal Preparation Congress. Springer, Cham. 855-860.

# MUĞLA - YATAĞAN (TÜRKİYE) KÖMÜRLERİ VE KÜLLERİNİN TEHLİKELİ HAVA KİRLETİCİ ELEMENT İÇERİKLERİNİN KÖMÜR HAZIRLAMA İŞLEMLERİ SONUCUNDA DEĞİŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

## *INVESTIGATION OF CHANGES IN THE CONTENT OF HAZARDOUS AIR POLLUTANT ELEMENTS IN MUGLA-YATAĞAN (TURKEY) COAL AND ASHES AS A RESULT OF COAL PREPARATION PROCESSES*

**İsmail Demir, İlgin Kurşun***
*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Kömürler, yer kabuğunda bulunan neredeyse tüm elementleri mineral veya bileşik şeklinde bünyelerinde barındırırlar. Kömürün yanmasıyla birlikte bu elementler karakteristik özelliklerine göre atıklara (cüruf, kül ve gaza) transfer olurlar. Bu elementlerin bazıları (As, Be, Cd, Cl, Cr, Co, F, Hg, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Se, Th, U) tehlikeli hava kirleticiler olarak tanımlanmıştır. Kömürlerin kalitelerinin arttırılarak kullanımı yaygın bir işlemdir. Fakat kömürlerin kalitelerinin arttırılması amacı ile yapılan işlemler sonucunda kömürlerin kalitesi atarken bazı hava kirletici elementlerin konsantrasyonları da artmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin Muğla ili Yatağan bölgesi kömürleri ile yapılan ağır ortam ayırması ve flotasyon işlemleri sonucunda elde edilen ürünlerin ve bunların küllerinin hava kirletici element içeriklerinin değişimi araştırılmıştır.

**ABSTRACT** Coals contain almost all of the elements found in the Earth's crust as minerals or compounds. After firing of coal, these elements are transferreds to wastes (slag, ash and gases) according to their characteristics properties. Addiotionally, some of these elements (As, Be, Cd, Cl, Cr, Co, F, Hg, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Se, Th, U) are defined as hazardous air pollutants. It is a common practice to increase the quality of coal. Although increasing the quality of coal has many advantages, it has side effects, such as increasing the concentration of the some air pollutants within coal, as well. In this study, air pollutant content changes in the products obtained from heavy media and flotation separation carried out on the samples taken from Yatagan, Mugla, Turkey coal basin and their ash was investigated.

* *ilginkur@istanbul.edu.tr*

## 1. GENEL BİLGİLER

Sosyal ve teknolojik açıdan gelişmişlik, tüketilen enerji miktarıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Dünya nüfusunun hızlı artışı sonucu tüketilecek enerji miktarı da doğal olarak artmaktadır. Özellikle Türkiye'de dünya ortalamasının üzerinde bir nüfus artışı olması her geçen gün enerjiye olan ihtiyacının daha da artacağını göstermektedir. Türkiye'de 2016 yılı elektrik enerji üretiminde % 33.7 ile kömür en büyük payı almış olup; bunu % 32.5 ile doğal gaz, % 24.5 ile hidrolik ve geri kalan % 9.3'lük bölümü ise yenilenebilir ve diğer kaynaklar izlemiştir. Türkiye'nin 2035 hedefleri arasında yerli kömür kaynaklarının etkin kullanımı ve enerji üretim payındaki oranının artırılması yer almaktadır. Bu da kömüre verilmesi gereken önemin giderek artacağı anlamına gelmektedir (TUİK 2018).

Kömür yakan termik santrallerde yanma, kazan içerisinde kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak 900-1400 °C arasında gerçekleşir. Kömür parçaları kazan içerisinde ısınır, buharlaşabilen maddeler gaz haline gelir ve yanma gerçekleşir. Kömür içerisinde bulunan mineraller veya bileşikler yüksek ısı altında bozunup erimeye, parçalanmaya başlar ve aglomere olurlar (Kural 1998, Özyurt 2006).

Kömürler, yer kabuğunda bulunan neredeyse tüm elementleri mineral veya bileşik şeklinde bünyelerinde barındırırlar. Kömürün yapısında bulunan ve içerikleri genellikle 1000 ppm'den daha fazla olan elementler major element, 1000 ppm'den daha az olan elementler ise iz elementler olarak isimlendirilir (Ateşok 2004, Özyurt 2006).

Termik santrallerde kömürün yanması sırasında kömür bünyesinde bulunan karbon, nitrojen ve kükürt oksitlenerek $CO_x$, $NO_x$ ve $SO_x$'e dönüşür. Bu dönüşüm sırasında bir miktar da su buharı ortaya çıkmaktadır. Cüruflar yakma kazanlarının altında toplanırken, uçucu küller elektrofiltrelerde tutulmakta bir kısmı ise baca gazı ile taşınmaktadır. Yapılan çalışmalar iz elementlerin daha çok uçucu küller üzerinde toplanmakta olduğunu göstermiştir (Karayiğit vd. 2000, Özyurt 2006).

Kömürün yanmasıyla birlikte bünyesinde bulunan elementler karakteristik özelliklerine göre atıklara (cüruf, kül ve gaza) transfer olurlar. Bu elementlerin bazıları (As, Be, Cd, Cl, Cr, Co, F, Hg, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Se, Th, U) tehlikeli hava kirleticiler olarak tanımlanmıştır (CAAA 1990, Demir ve diğ. 1998, Demir ve diğ 2001). Kömürler içerisinde, inorganik kökenli, inorganik veya organometalik bileşikler oluşturan ve ekonomik düzeylerde olduğu takdirde üretilebilen Ge, Ga, U ve Cu gibi bazı elementler de mevcuttur (Kural 1998, Özyurt 2006).

Kömürün yanmasından sonra; Pb, Cu, Zn, V, As ve Th iz elementleri uçucu ve kazan külünde konsantre olmaktadır (Özyurt 2006, Riley 2008). Kömürler yüksek sıcaklıklarda yakıldığında moleküler yapısı tahrip olarak, Cl ve F'un önemli bir kısmı duman tozundan havaya beraber gaz olarak boşaltılmaktadır (Özyurt 2006).

As, Ce, Hg, Ni, Pb, Se ve Zn ağırlıklı olarak sülfit mineralleri ve organik maddelerle ilişkilidir. Kömür mineralleri veya organik maddelerle iz elementlerin birleşimi, buharlaşma sınırını ve buna bağlı olarak tesisten çıkan baca gazındaki oranını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Baca gazlarında saptanan iz elementler ağırlıklı olarak sülfit mineralleriyle ilişkilidir (Riley 2008, Shah vd. 2008).

Birçok toksik elementi içeren uçucu küller ve kazan altı külleri toplama havuzlarında ya da yığınlar halinde depolanmaktadır. Kül havuzları veya yığınlardan hareket eden çözülebilir metal iyonları ve bileşiklerinden dolayı; toprak, yüzey ve yer altı suyunun potansiyel kirlenmesi büyük çevresel sorunlar yaratmaktadır (Karayiğit vd. 2000, Perçinel 2000, Esenlik 2005, Tuna vd. 2005). Atıkların çevreye boşaltılması ile, içerdikleri toksik iz elementler, atmosfer, yeryüzü ve okyanuslara kadar taşınabilir. Bu elementler, atıkların yağmur suları ile yıkanması ve olası yer altı taşımını sonucu, toprak örtüsü, yüzey suları ve yer altı sularına karışmakta, çeşitli çevre, alan kullanım ve sağlık problemleri yaratarak, canlı varlıklar açısından tehdit edici boyutlara ulaşabilmektedir (Baba 2001, Ateşok 2004).

ABD'de kömürle çalışan termik santrallerin çevresinde yaşayan insanlar üzerinde tespit edilen, toksik değeri olan bazı elementlerin, zamana bağlı olarak ortaya çıkardığı hastalıklardan bazıları şunlardır: As, anemiye, mide bulantılarına, renal belirtilere, ülser, deri ve akciğer kanserine ve kusurlu doğumlara neden olur. Be, solunum ve lenf, akciğer, dalak ve böbrek rahatsızlıklarına ve kanserojen etkilere neden olur. Cd, akciğer anfizeması ve fibrosisi, böbrek rahatsızlıklarına, kardiovasiküler etkilere ve kanserojen etkilere neden olur. Hg, sinirsel ve böbrek tahribatlarına, kardiovasiküler etkilere ve doğum problemlerine neden olur. Mn, solunum yolları etkilerine; Ni, deri ve bağırsak bozukluklarına ve kanserojen etkilere; Pb, anemiye, sinirsel ve kardiovasiküler problemlere, büyüme gecikmesine, mide ve bağırsak problemlerine, kanserojenik etkilere ve doğum problemlerine; Se, mide ve bağırsak bulantılarına, akciğer ve dalak tahribatına, anemiye, kansere ve teratojenik etkilere neden olur (Toprak 1999, Perçinel 2000).

Termik santral küllerinin toplandığı alanda (kül depolarında) oluşan radon gazı havaya ulaşmaktadır. Bu küllerin üzeri toprakla örtülse dahi toprağın gözeneklerinden geçen radon gazı havaya karışır. Radon gazı 3.8 günlük bir süre içinde polonyuma ve aktif kurşuna dönüşebilmektedir. Bu nedenle kül yığınları çevreye radyoaktivite yayar. Bacadan deşarj edilen maddelerin içinde belki de en önemlisi, linyitte bulunan ve yanma ile açığa çıkarak etrafa yayılan uranyumdur (Özyurt 2006).

Kömürlerin kalitelerinin arttırılarak kullanımı yaygın bir işlemdir. Fakat kömürlerin kalitelerinin arttırılması amacı ile yapılan işlemler sonucunda kömürlerin kalitesi atarken bazı hava kirletici elementlerin konsantrasyonları artarken bazılarının konsantrasyonları da azalmaktadır (Demir 2009, Özbayoğlu 2010).

Sağlıklı yaşam için temiz bir çevreye, rahat bir yaşam için ise enerjiye olan ihtiyaç çevresel etkilerin en düşük seviyeye indirilerek kaynakları değerlendirmeyi gerektirmektedir. Kullanılan kömürlerin küllerinin bile değerlendirilebilir oluşu hem ekonomik fayda, hem de çevresel etki açısından önemli bir konudur ve bu değerlendirme ancak mevcut kömürlerin özelliklerinin tam bir şekilde ortaya konması ile mümkün olabilecektir.

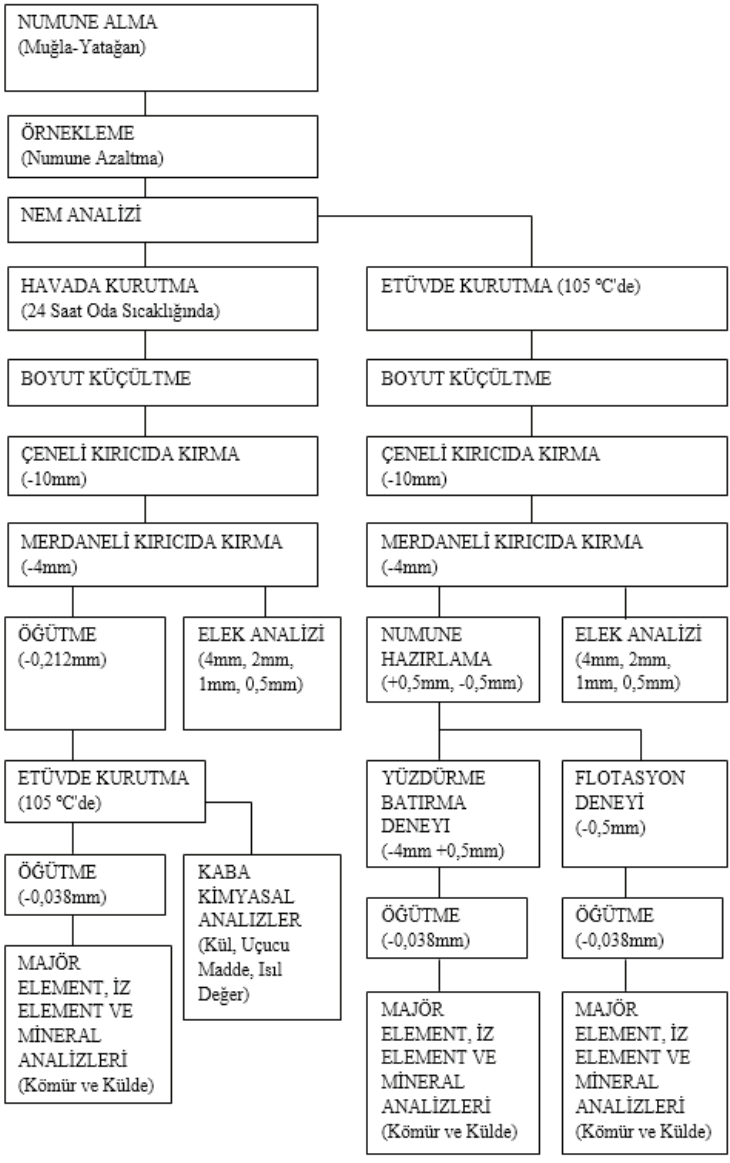
Bu çalışmada, Türkiye'nin Muğla ili Yatağan bölgesi kömürleri ile yapılan ağır ortam ayırması ve flotasyon işlemleri sonucunda elde edilen ürünlerin ve bunların küllerinin hava kirletici element içeriklerinin değişimi araştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalara esas olan kömür numuneleri, Muğla-Yatağan bölgesindeki TKİ Güney Ege Linyitleri İşletmesinden, termik santral kül numuneleri ise Yatağan Termik Santrali'nden temsili olarak alınmıştır. Muğla-Yatağan bölgesi yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir (URL-1 2018).

Şekil 1. Muğla-Yatağan yer bulduru haritası (URL-1 2018).

Numuneler alınırken orijinal nemlerini kaybetmemeleri için çift kat kalın naylon poşetlere konulmuş ve deneysel çalışmalar için İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvar çalışmaları sırasında alınan numunelere yoğunluk, tane boyut dağılımı, nem, kül, uçucu madde, ısıl değer ve elementer analizleri, esas (majör) element ve iz element analizleri yapılmıştır. Şekil 2'de çalışma kapsamında izlenen deney akım şeması verilmiştir.




Şekil 2. Çalışma kapsamında izlenen deney akım şeması.

### 2.1. Çalışma Kapsamında Yapılan Analizler

*Nem Analizi:* Nem Analizi için TS 690 ISO 589 (Metod-C) nolu standardından faydalanılmıştır (TSE 2002a).

*Tane Boyut Analizi:* Tane boyut analizi için kömür numunesi ilk etapta laboratuvar tipi çeneli kırıcı (Denver) yardımı ile kapalı devre kırılarak -10 mm boyutuna getirilmiştir. Çeneli kırıcı çıkışından alınan ürünler laboratuvar tipi merdaneli kırıcıdan (Ünal) geçirilerek -4 mm boyutuna getirilmiştir. Merdaneli kırıcı çıkışından elde edilen ürünler ise 4, 2, 1 ve 0.5 mm'lik laboratuvar tipi kare paslanmaz çelik elekler (Retsch) vasıtası ile boyut analizine tabi tutulmuşlardır.

*Uçucu Madde Analizi:* Uçucu madde analizinde Carbolite AAF 1100 fırını kullanılmıştır. Uçucu madde analiz yönteminde TS 711 ISO 562 standardından yararlanılmıştır (TSE 2002b).

*Kül Analizi:* Kül analizlerinde TS ISO 1171 standardından yararlanılmıştır. Kül ve nem deneylerinde fırından veya etüvden çıkarılan numuneler desikatöre konarak, içinde bulunan slika jel yardımıyla soğuma sırasında havadan nem almaması sağlanmıştır (TSE 2006).

*Isıl Değer Analizi:* Isıl değer analizlerinde IKA C7000 cihazı kullanılmıştır.

*Yoğunluk Analizi:* Çalışma kapsamında alınan kömür numunesinin yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla piknometre ile yoğunluk analizi yapılmıştır. Yoğunluk analizi yönteminde TS ISO 5072 standardından yararlanılmıştır (TSE 1999).

*Elementer Analizler:* C, H, N ve S analizlerinde Leco CHN ve Leco S cihazları kullanılmıştır. Diğer element analizleri, Acme Analytical Laboratories Ltd. (Kanada) firması tarafından 1DX, 4A ve 4B olarak kodlanmış analiz yöntemleri ile yapılmıştır.

*1DX Analizi:* 1DX analizinde 0.5 g'lık numune 95 ºC'de ısıtılmış kral suyu ile liç edilerek oluşan çözelti ICP-MS cihazına yerleştirilerek değerlerin okunması ile yapılmaktadır. Bu çalışmada 1DX analizi ile saptanan elementler, As, Cd, Hg, Sb, Pb, Ni ve Se'dir.

*4A Analizi:* 4A analizinde 0.2 g'lık kömür ve kül numuneleri lityum metaborat/tetraborat ergitmesi ve seyreltilmiş nitrik asit ile parçalamaya tabi tutulduktan sonra ICP-ES cihazıyla içerdikleri major oksitler saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar element dönüşüm katsayıları ile oranlanarak element miktarlarına dönüştürülmüştür. 4A ile analizi yapılan mineraller: MnO, $Cr_2O_3$ (buradan dönüşümle Mn ve Cr hesaplanmıştır).

*4B Analizi:* 4B analizinde 0.2 g'lık kömür ve kül numuneleri lityum metaborat/tetraborat ergitmesi ve seyreltilmiş nitrik asit ile parçalamaya tabi tutulduktan sonra ICP-MS cihazıyla içerdikleri nadir toprak elementleri ile refraktör elementler saptanmıştır. Ek olarak 0.5 g'lık numuneler kral suyunda parçalanarak ICP-MS ile kıymetli metallerle adi metaller saptanmıştır. 4B ile analizi yapılan elementler (Nitrik asit ile ICP-MS): Be, Co, Th, U'dur. 4B ile analizi yapılan elementler (Kral suyu ile ICP-MS): As, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Se'dir.

Yanabilir Verim Analizi: Yanabilir verim lavvarların yıkama performanslarının yorumunda kullanılmaktadır. Yanabilir verim hesaplamaları Eşitlik 1 kullanılarak yapılmıştır.

$$Yanabilir\ Verim = \frac{(100 - c) * (t - f)}{(100 - f) * (t - c)} * 100 \quad (1)$$

Burada;
t: Artık şist külü, %
f: Tüvenan kömür külü, %
c: Temiz kömür külü, % olarak ifade edilmektedir.

### *2.1.1. Yüzdürme-Batırma Deneyleri*

Çalışma kapsamında alınan kömür numuneleri, numune bölme ve tane boyutu küçültme işlemleri sonucunda -4+0.5 mm ve -0.5 mm boyutlarında sınıflandırılmışlardır. Kuru baza getirildikten sonra -4+0.5 mm boyutundaki kömürler yüzdürme-batırma deneylerinde, -0.5 mm boyutundaki kömürler ise flotasyon deneylerinde kullanılmıştır. Yüzdürme-batırma deneyinde ağır ortam olarak çinko klorür ($ZnCl_2$) tuzu çözeltisi kullanılmıştır. Yoğunluk ölçer yardımıyla su ile $ZnCl_2$ tuzu karıştırılıp 1.3-1.4-1.5-1.6-1.7-1.8-1.9 g/cm$^3$'lük yoğunluklarda $ZnCl_2$ çözeltileri hazırlanmıştır.

Çözeltilerin yoğunluklarında değişme olup olmadığı sık sık kontrol edilerek deney sırasında olası aksaklıklar önlenmeye çalışılmıştır. Kuru baza getirilmiş numune, ağır ortam içerisinde engelli çöküş koşullarını oluşturmaması için -4 + 2 mm, -2 + 1 mm ve -1 + 0.5 mm tane boyutlarında sınıflandırılarak deneyler yapılmıştır. Boyutlarına göre sınıflandırılan tüm numuneler tartılmış, sonra da en düşük yoğunluktan başlayacak şekilde deney yapılmıştır (TSE 2003).

Deney sonucunda yüzen ve batan kömür numuneleri kurutulduktan sonra tartılmış ve kül analizleri yapılmıştır. Bu kül analizlerinin sonucunda ve yapılan yoğunluk analizlerinden yararlanarak optimum ayırma yoğunluğu belirlenmiştir. Belirlenen bu yoğunluğa göre tekrar ayrım yapılmış ve yüzen kömürlerle batan kömürler ayrılmıştır. Bu yoğunluktaki yüzen ve batan kömürlere tekrar kül analizi yapılmıştır. Ayrıca hem yüzen ve batan kömürlerden hem de bu kömürlerin küllerinden numune alınarak esas ve iz element analizleri yapılmıştır.

### *2.1.2. Flotasyon Deneyi*

Flotasyon deneyinde, etüvde 105 ºC'de kurutularak nemi giderilmiş –0.5 mm olarak sınıflandırılmış numune kullanılmıştır. Deneyde analitik saflıkta reaktifler kullanılmıştır. Flotasyon makinesi olarak Denver marka flotasyon cihazı kullanılmıştır.

Flotasyonda, Boylu ve Laskowski (2007)'nin düşük ranklı kömürlerin flotasyonunda uygulamış oldukları yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde toplayıcı olarak emülsifiye edilmiş dizel oil (EDO) ve köpürtücü olarak Metil İsobütil Karbinol (MIBC) kullanılmıştır. Flotasyonda kullanılacak reaktifler hazırlanırken her biri %1, %1.5 ve %2 MIBC içeren dizel oil dolu beherler ısı ayarlı hot-platelerde 60-70 ºC'de ısıtılıp manyetik balıklar kullanılarak 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. 30 dakika sonunda oda sıcaklığına kadar soğutulan solüsyonlar %5, %10 ve %15'lik oranlarda saf su ile birlikte 21000 devir/dakika hızında karıştırma kapasiteli blenderde 5 dakika süre ile karıştırılmıştır. Blenderde karıştırılan reaktifler beherlere doldurularak ağızları streç filmle kapatılıp laboratuvar sıcaklığında (20 ºC) bekletilmeye bırakılmıştır. Bu işlemler sonucu 48 saatlik bir bekleme sonucunda solüsyon duraylılığı en fazla olan %1.5 MIBC içeren %10'luk sulu emülsifiye edilmiş dizel oil reaktif olarak seçilmiştir.

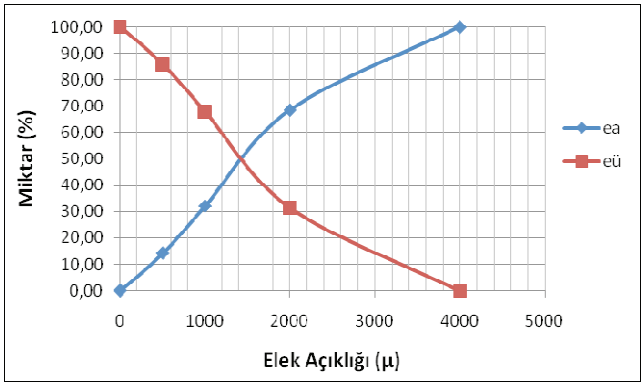
Muğla-Yatağan kömürlerinin flotasyonunda, Boylu ve Laskowski (2007)'nin yaptıkları çalışmada verimi en yüksek olan parametreler seçilerek, doğal pH'da, %10 pülpte katı oranı (PKO) için 8000 g/t emülsifiye edilmiş dizel oil (EDO) kullanılarak 1000 mL hacimli flotasyon hücresinde deneyler yapılmıştır. Flotasyon makinesinin pervanesi 1000 dev./dak. hızla dönerken ve hava girişi kapalı iken, numune su dolu hücreye kademeli olarak boşaltılmıştır. 2 dakika karıştırıldıktan ve hız 1500 dev./dak. seviyesine arttırıldıktan 2 dakika daha karıştırılarak tüm numunenin ıslanması sağlanmıştır. Daha sonda otomatik pipetler yardımı ile pülp yüzeyinin altına EDO ilave edilmiştir. 10 saniyelik bir kondisyonlama süresi sonrasında hava giriş vanası açılıp yüzen kömürler alınmaya başlanmıştır. 15 saniyede 1 olmak üzere 3 dakika boyunca yüzen kömürler alınmıştır. Flotasyon makinesi kapatıldıktan sonra batan kömürler de ayrı olarak alınmıştır. Yüzen ve batan olarak alınan kömürler yıkanarak kurutulmak üzere etüve konmuştur. Etüvde kurutulan kömür numuneleri tartılarak flotasyon verimi hesaplanmıştır. Yüzen ve batan kömürlerin bir kısmı yakılarak hem kül analizi hem de küllerinde majör element, iz element ve mineral içeriği analizleri yapılmıştır. Ayrıca yüzen ve batan kömürlere de esas ve iz element analizleri yapılmıştır.

## 3. BULGULAR

Şekil 3'te Muğla - Yatağan bölgesinden alınan kömür numunesinin merdaneli kırıcı çıkışı elek analiz sonuçlarına göre çizilen elek eğrileri verilmektedir. Eğrilerden de görüleceği üzere numunenin $d_{80}$ tane boyutu 2600 µm'dir.

### 3.1. Kaba Kimyasal Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında alınan kül numuneleri ve kömür numuneleri üzerinde nem, kül, uçucu madde ve ısıl değer analizleri yapılmış ve sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Tüvenan kömürün yoğunluğu 1.37 g/cm$^3$ olarak bulunmuştur.




Şekil 3. Deney numunesi merdaneli kırıcı çıkışı tane boyut analizi.

Çizelge 1. Muğla-Yatağan kömür numunesinin ve Muğla-Yatağan Termik Santral külünün kimyasal analiz sonucu.

| **Numune** | **Nem (%) (Orjinal)** | **Kül (%) (Kuru)** | **Uçucu Madde (%) (Kuru)** | **Alt Isıl Değer (Kcal/kg)** |
|---|---|---|---|---|
| Yatağan Tüvenan | 39.23 | 18.04 | 27.13 | 2758 |
| Yatağan Santral Külü | 0.00 | 98.10 | 0.90 | |

Çalışma kapsamında alınan kömür numunesinin kuru bazda C, H, N ve S sonuçları Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Deney numunesinin kuru bazda elementer analizi sonuçları.

| **Numune** | **C (%)** | **H (%)** | **N (%)** | **S (%)** |
|---|---|---|---|---|
| **Yatağan Tüvenan** | 42.82 | 4.26 | 1.82 | 2.57 |

### *3.1.1. Yüzdürme Batırma Deneyleri*

1.37 g/cm$^3$ bağıl yoğunluğa sahip Muğla-Yatağan kömürleri üzerinde yapılan yüzdürme batırma deneylerinde 1.3 g/cm$^3$ yoğunlukta hazırlanan $ZnCl_2$ çözeltisi kullanılmış ve %17.81 kül içerikli olarak beslenen kömürün %85.21'inin yüzdüğü, yüzen kömürün %13.00, batan kömürün ise %45.50 kül içerdiği saptanmıştır. Yüzen kömürün yanabilir verimi %90.19 olmuştur. Çizelge 3'te yüzdürme-batırma deney sonuçlarına göre yanabilir verimleri verilmiştir.

Çizelge 3. Yüzdürme-batırma deney sonuçlarına göre yanabilir verimler.

| Yüzdürme-Batırma (-4+0.5mm) | Miktar (%) | Kül (%) | Yanabilir Verim (%) |
|---|---|---|---|
| **+1.3 Yüzen** | **85.21** | 13.00 | 90.19 |
| **-1.3 Batan** | **14.79** | 45.50 | 9.81 |
| **Beslenen** | **100.00** | 17.81 | 100.00 |

### *3.1.2. Flotasyon Deneyleri*

Muğla-Yatağan kömürlerine uygulanan flotasyon deneyleri sonucunda %19.54 kül içerikli olarak beslenen kömürün %54.67'lik miktarının yüzdüğü, yüzen kömürün %19.00 batan kömürün ise %20.20 kül içerdiği hesap edilmiştir. Flotasyon sonucunda yüzen kömürlerin %55.04 yanabilir verime sahip oldukları hesaplanmıştır. Yapılan flotasyon deney sonuçlarının yanabilir verimleri Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4. Flotasyon deney sonuçlarına göre yanabilir verimler.

| Flotasyon (-0.5mm) | Miktar (%) | Kül (%) | Yanabilir Verim (%) |
|---|---|---|---|
| **Yüzen** | **54.67** | 19.00 | 55.04 |
| **Batan** | **45.33** | 20.20 | 44.96 |
| **Beslenen** | **100.00** | 19.54 | 100.00 |

Yapılan yüzdürme batırma ve flotasyon deney sonuçlarındaki yüzen ve batan ürünler birleştirilerek toplam bir kömür hazırlama sonucu elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlara göre toplam kül içeriği %18.04 olan besleme kömürü, toplam yüzen miktar %81.12 olup kül içeriği %13.54 olarak hesap edilmiştir. Toplam yanabilir verim ise %85.57 olarak bulunmuştur. Çizelge 5'te kömür hazırlama işlemleri sonrası toplamda yüzen ve batan kömürlerin yanabilir verimleri verilmiştir.

Çizelge 5. Kömür hazırlama işlemleri sonrası toplam yanabilir verimler.

| Toplam Kömür Hazırlama (-4mm) | ΣMiktar (%) | ΣKül (%) | ΣYanabilir Verim (%) |
|---|---|---|---|
| **ΣYüzen** | **81.12** | 13.54 | 85.57 |
| **ΣBatan** | **18.88** | 37.37 | 14.43 |
| **ΣBeslenen** | **100.00** | 18.04 | 100.00 |

### *3.1.3. Hava Kirletici Element Analizleri*

Muğla-Yatağan bölgesinden alınan, yüzdürme-batırma ve flotasyon deneylerinde kullanılan besleme kömürlerinin ve elde edilen ürünlerin ve bunların küllerinin hava kirletici element içerikleri ile termik santral külünün hava kirletici element içerikleri

Çizelge 6'da verilmiştir. Ayrıca dünya ve Türkiye kömürlerinde majör ve iz elementlerin bulunma miktarları ve ortalamaları da Çizelge 6'da yer almaktadır.

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye kömürlerinin hava kirletici iz element konsantrasyonlarına ait ortalama değerlerinin çoğu (As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Se, Th, U), Swaine (1990) tarafından verilen dünyadaki kömürlere ait ortalama değerlerinden fazladır. Çalışma kapsamında alınan kömür numunelerine bakıldığında ise As, Be, Cr, Mn, Sb, Se, Th ve U'nun, dünyadaki çoğu kömüre ait ortalama değerlerinden fazla olduğu görülmüştür.

Kömür hazırlama işlemleri sırasında iz elementlerin davranışları incelendiğinde batan kömürlerde zenginleşmesi düşünülen iz elementlerin bir kısmının yüzen kömürde daha çok bulunduğu bunun da organik yapıdaki bileşenlere bağlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hava kirletici elementler açısından bakıldığında As, Ni, ve Se yüzen kömürlerde ve bu kömürlerin küllerinde yoğunlaşırken Be, Cd, Co, Sb ve Pb batan kömür ve küllerinde yoğunlaşmaktadır. Muğla-Yatağan kömürlerinde yüzdürme-batırma deney sonucunda yapılan majör ve iz element sonuçlarına göre radyoaktif element içeriklerinden Th, besleme kömürlerinde 11.46 ppm iken yüzen kömürlerde 7.70 ppm, batan kömürlerde 33.10 ppm olarak bulunmuştur. Ayrıca bu kömürlerin yanma sonrası külleri incelendiğinde yüzen kömür külünde 59.50 ppm, batan kömür külünde 70.00 ppm tüvenan kömür külünde ise 50.60 ppm olarak bulunmuştur. Bu da kömür hazırlama sonrasında Th elementinin batan kısımda yer aldığını ve yakma sonrası külde zenginleştiğini göstermektedir. Aynı şekilde U elementi açısından incelendiğinde tüvenan kömürde 5.88 ppm iken yüzdürme-batırma sonrasında yüzen kısımda 4.00 ppm, batan kısımda ise 16.70 ppm olduğu bulunmuştur. Külleri açısından bakıldığında ise besleme kömür külünde 20.9 ppm iken yüzen kömür külünde 29.9 ppm batan kömür külünde ise 36.20 ppm olarak külde zenginleştiği görülmektedir. Kömür hazırlama tesislerinde kömür hazırlama işlemleri sırasında kömürlerin iz element içeriklerinin sürekli kontrol edilmesi çevre ve sağlık açısından önemlidir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın bir bölümü, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından T-2324 sayılı proje ile desteklenmiştir.

Çizelge 6. Yüzdürme-batırma ve flotasyon deneylerinde kullanılan besleme kömürlerinin, elde edilen ürünlerin ve küllerin hava kirletici element içerikleri ve Türkiye ile Dünya ortalamaları (v.y: Veri yok).

| | (ΣM) Miktar veya (ΣK) Kül % | | (M) Miktar veya (K) Kül % | Method Analyte Unit MDL | 1DX 4A-4B As ppm 0.5 | 4A-4B Be ppm 1 | 1DX Cd ppm 0.1 | 4A-4B Co ppm 0.2 | 4A-4B Cr % 0.002 | 1DX Hg ppm 0.01 | 4A-4B Mn % 0.01 | 1DX Ni ppm 0.1 | 1DX Pb ppm 0.1 | 1DX Sb ppm 0.1 | 1DX Se ppm 0.5 | 4A-4B Th ppm 0.2 | 4A-4B U ppm 0.1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yüzdürme Batırma | (ΣM) 86.61 | -4+0.5mm +1.30 Yüzen | (M) 85.21 | Kömür | 30.00 | 1.00 | 0.20 | 4.00 | 0.000 | 0.08 | <0.010 | 15.90 | 4.10 | 1.20 | 1.80 | 7.70 | 4.00 |
| | | -4+0.5mm -1.30 Batan | (M) 14.79 | Kömür | 21.80 | 3.00 | 0.70 | 4.30 | 0.010 | 0.30 | <0.010 | 19.50 | 17.20 | 2.10 | 5.60 | 33.10 | 16.70 |
| | | -4+0.5mm +1.30 Yüzenin Külü | (K) 13.00 | Kül | 215.30 | 12.00 | 16.40 | 32.00 | 0.018 | <0.01 | 0.093 | 103.40 | 326.70 | 6.00 | 1.90 | 59.50 | 29.90 |
| | | -4+0.5mm -1.30 Batanın Külü | (K) 45.50 | Kül | 19.30 | 8.00 | 0.30 | 9.20 | 0.014 | <0.01 | 0.015 | 21.30 | 6.40 | 2.50 | 0.80 | 70.00 | 36.20 |
| | 17.81 (ΣK) | -4+0.5mm Beslenen | (M) 100.00 | Kömür | 28.79 | 1.30 | 0.27 | 4.04 | 0.003 | 0.11 | 0.010 | 16.43 | 6.04 | 1.33 | 2.36 | 11.46 | 5.88 |
| Flotasyon | (ΣM) 13.39 | -0.5mm Yüzen | (M) 54.67 | Kömür | 26.30 | 2.00 | 0.50 | 4.20 | 0.003 | 0.15 | 0.015 | 17.00 | 8.90 | 1.60 | 1.50 | 13.30 | 6.40 |
| | | -0.5mm Batan | (M) 45.33 | Kömür | 26.80 | 2.00 | 0.50 | 4.30 | 0.004 | 0.16 | 0.015 | 18.60 | 9.70 | 1.70 | 1.70 | 14.10 | 6.90 |
| | | -0.5mm Yüzenin Külü | (K) 19.00 | Kül | 124.30 | 10.00 | 0.50 | 19.80 | 0.016 | <0.01 | 0.062 | 75.80 | 29.40 | 3.50 | 0.90 | 65.30 | 31.90 |
| | | -0.5mm Batanın Külü | (K) 20.20 | Kül | 114.40 | 9.00 | 0.40 | 19.60 | 0.015 | <0.01 | 0.048 | 69.30 | 23.10 | 3.70 | 1.20 | 64.90 | 32.10 |
| | 19.54 (ΣK) | -0.5mm Beslenen | (M) 100.00 | Kömür | 26.53 | 2.00 | 0.50 | 4.25 | 0.004 | 0.15 | 0.015 | 20.00 | 9.26 | 1.65 | 1.59 | 13.66 | 6.63 |
| Tüvenan | (ΣM) 100.00 | Tüvenan Kömür | | Kömür | 27.00 | 2.00 | 0.40 | 3.90 | 0.003 | 0.15 | 0.015 | 15.60 | 7.80 | 1.70 | 1.10 | 11.20 | 6.20 |
| | | Tüvenan Kömür Külleri | | Kül | 132.70 | 9.00 | 0.50 | 24.60 | 0.020 | <0.01 | 0.054 | 79.80 | 16.10 | 3.50 | 1.30 | 50.60 | 20.90 |
| Termik Santral | | Yatağan Termik Santral Külü | | Kül | 38.90 | 5.00 | 0.50 | 20.40 | 0.015 | 0.05 | 0.039 | 73.50 | 9.80 | 2.10 | 2.50 | 28.90 | 33.70 |
| Dünya (Swaine 1990) ve Türkiye (Tuncalı ve diğ. 1993) | | Dünya Ortalaması | | Kömür | 10.00 | 2.00 | 0.50 | 5.00 | 0.002 | v.y | 0.007 | 20.00 | 20.00 | 1.50 | 1.00 | 4.00 | 2.00 |
| | | Dünya En Az | | Kömür | 0.50 | 0.10 | 0.10 | 0.50 | 0.001 | 0.02 | 0.010 | 0.50 | 2.00 | 0.10 | 0.20 | 0.50 | 0.50 |
| | | Dünya En Çok | | Kömür | 80.00 | 15.00 | 3.00 | 30.00 | 0.090 | 1.00 | 0.100 | 50.00 | 80.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| | | Türkiye Ortalaması | | Kömür | 53.00 | 1.00 | 1.00 | 9.40 | 0.008 | 0.10 | 0.010 | 126.00 | 12.00 | 1.15 | 2.00 | 6.00 | 13.00 |
| | | Türkiye En Az | | Kömür | 2.00 | 0.20 | 0.01 | 1.00 | 0.001 | 0.03 | 0.010 | 3.00 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 1.00 | 0.40 |
| | | Türkiye En Çok | | Kömür | 686.00 | 7.00 | 45.00 | 55.00 | 0.050 | 0.70 | 0.070 | 1700.00 | 286.00 | 22.00 | 26.00 | 29.00 | 132.00 |

## KAYNAKLAR

Ateşok, G. 2004. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, 376 s., ISBN-975-7946-22-2, İstanbul.

Baba, A. 2001. Yatağan (Muğla) Termik Santralı Atık Depolama Sahasının Yer altı Sularına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Cilt:25, Sayı:2, İzmir.

Boylu, F., Laskowski, J. S. 2007. Rate of Transfer to Flotation Froth in The Flotation of Low-Rank Coal That Requires The Use of Oily Collector, International Journal of Mineral Processing, Elseiver Science Direct, Vol.83, p.125-131.

CAAA. 1990. U.S. Public Law 101-549. Clean Air Act Amendments, Title 3. 104 Stat 2531-2535, 1990.

Demir, I., Ruch, R. R., Damberger, H. H., Harvey, R. D., Steele,J. D., Ho, K. K. 1998. Environmentally Critical Elements in Channel and Cleaned Samples of Illinois Coals, Fuel Vol. 77. No. I/2, pp. 95-107, 1998, https://doi.org/10.1016/S0016-2361(97)00164-6

Demir, I., Hughes, R.E., DeMaris, P.J. 2001. Formation and Use of Coal Combustion Residues from Three Types of Power Plants Burning Illinois Coals, Fuel, 80 (2001), pp. 1659-1673

Demir, İ. 2009. Kömür Hazırlama Teknikleri Kullanılarak Türkiye'deki Kömürlerin İz Element İçerikleri Açısından Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 269 s, İstanbul.

Esenlik, S. 2005. Orhaneli Termik Santralinde Kanan Kömürlerin ve Katı Atıkların Mineralojisi, Petrografisi ve Element İçeriği Bursa-Türkiye, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 116 s, Ankara.

Karayiğit, A. I., Gayer, R. A., Querol, X., Onacak, T. 2000. Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants. International. Journal of Coal Geology, Vol.44, p.169-184.

Kural, O. 1998. (Editör) Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İTÜ Maden Fakültesi, 785 s, İstanbul.

Özbayoğlu, G. 2010. Potential of Removing Trace Elements from a Turkish Lignite, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 30:6, 322-330, ISSN: 1939-2699 print=1939-2702 online, 2010, DOI:10.1080/19392699.2010.517229.

Özyurt, Z. 2006. Termik Santral Atıklarındaki İz Elementlerin Çevresel Etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 75 s, Eskişehir.

Perçinel, S. 2000. Termik Santrallerde Kömür Kullanımının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı, 23-26 Mayıs 2000, Karadeniz Ereğli-Zonguldak.

Riley, K. 2008. Analysing for Trace Elements, http://www.ccsd.biz/products/traceelementdb.cfm.

Shah, P., Strezov, V., Prince, K., Nelson, P. F. 2008. Speciation of As, Cr, Se and Hg Under Coal Fired Power Station Conditions, Elsevier Fuel, Vol.87, p.1859-1869.

Swaine, D. J. 1990. Trace Elements In Coal, Butterwarh, 278 p, London.

Toprak, S. 1999. Kömürün Göremediğimiz Zehirleri, Mavi Gezegen Yerbilimleri Dergisi, Sayı 1, s 42.

TSE, 1999. TS ISO 5072/Nisan 1999, Kahverengi Kömürler ve Linyitler-Gerçek ve Görünür Bağıl Yoğunluğun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE, 2002a. TS 690 ISO 589/Mart 2002, Taş Kömürü Toplam Rutubet Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE, 2002b. TS 711 ISO 562/Mart 2002, Taş Kömürü ve Kok–Uçucu Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE, 2003. TS 3037 ISO 7936/Mart 2003, Taş Kömürü Yüzme-Batma Özelliklerinin Tayini ve Gösterilmesi-Cihaz ve İşlemler İçin Genel Tanımlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE, 2006. TS ISO 1171+Tech Cor 1/Kasım 2006, Katı Mineral Yakıtlar–Kül Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TUİK. 2018. http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1578 (Ziyaret Tarihi: 02.01.2018)

Tuna, A. L., Yağmur, B., Hakerlerler, H., Kılınç, R., Yokaş, İ., Bürün, B. 2005. Muğla Bölgesindeki Termik Santrallerden Kaynaklanan Kirlilik Üzerine Araştırmalar, Muğla Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kesin Raporu, 79 s, Muğla.

Tuncalı, E., Çiftci, B., Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., Şahin, N. 2002. Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal Ve Teknolojik Özellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, ISBN: 6595-46-9, Ankara

URL. 2018. https://www.helponto.com/ilceler/mugla-seydikemer-641 (Ziyaret Tarihi: 02.01.2018)

# ZONGULDAK'TA BİR ÜNİVERSİTE HASTANESİNE BAŞVURAN MADENCİLERDE İŞE GİRİŞ YILI VE ÇALIŞTIĞI BİRİME GÖRE PNÖMOKONYOZ ANALİZİ

## *ANALYSIS OF PNEUMOCONIOSIS FOR MINERS REFERRED TO A UNIVERSITY CLINIC IN ZONGULDAK ACCORDING TO THEIR EMPLOYMENT YEAR AND WORKING DEPARTMENT*

**Fatma Erboy*, Bülent Altınsoy**
*Bülent Ecevit Üniversitesi, Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Zonguldak*

**ÖZET** Pnömokonyoz akciğerlerde biriken toza karşı dokuda reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Madende farklı alanlarda toz seviyeleri farklılık göstermektedir. Pnömokonyozu önleyebilmek için tozla mücadele önemlidir. Biz bu çalışmada kömür havzası Zonguldak'ta Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Kliniğine pnömokonyoz tesbiti için gönderilen madencilerde pnömokonyoz özelliklerini, bunun işe giriş yılı ile çalıştıkları birime göre değişimini incelemeyi amaçladık. 1980 yılı öncesi işe giren işçiler daha ileri yaşta, daha uzun süre yer altında çalışmış ve pnömokonyoz şiddeti daha yüksekti. 1980 yılı öncesi ve sonrasında işe giren madencilerin yer altında çalıştığı birimler de farklılık göstermekteydi. Kliniğimize başvuran olgular il meslek hastalıkları hastanesinde karar verilemeyerek tarafımıza danışılan olgular olması nedeniyle madenlerde çalışan genel popülasyonu temsil etmemektedir. Tüm madencileri içeren daha kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç vardır.

**ABSTRACT** Pneumoconiosis is a reaction of tissue against inhaled dust. Dust concentration differs between different departments of mines. Caution against dust is important to prevent pneumoconiosis. In this study we aimed to investigate properties of pneumoconiosis, it's variation through employment year and working department in miners referred to Pulmonary Diseases Department of Bulent Ecevit University Medical Faculty in coal basin Zonguldak. Miners employed before 1980 were older, worked longer years underground and had more severe pneumoconiosis. Working departments were also different between miners employed before and after year 1980. Miners referred to our clinic were only the ones who were difficult to determine for pneumoconiosis by public occupational disease hospital and this group doesn't represent the whole miners working underground. Extended evaluation is needed for all miners.

* *erboyfatma@gmail.com*

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Pnömokonyoz akciğerlerde toz birikimi ve buna bağlı gelişen doku reaksiyonu sonucu gelişmektedir. Silikozis ve kömür işçisi pnömokonyozu toz kontrol önlemleri ile önlenebilir olmasına ve her geçen gün daha yoğun toz kontrol önlemleri alınmasına rağmen önemli mesleksel akciğer hastalıkları arasında olmaya devam etmektedir. Madende çalışılan iş alanına ve görev yerine göre toz konsantrasyonları değişiklik göstermekte, toza maruziyete göre de pnömokonyoz riski değişiklik göstermektedir (Erbay 2017). Çalışmamızda yıllar içinde alınan önlemlerin etkisi olarak eski ve yeni çalışanlar arasında pnömokonyoz arasında farklılık olup olmadığı ve görev alanlarına göre pnömokonyozda değişiklik olup olmadığını incelemeyi amaçladık.

## 2. YÖNTEM

Çalışmamızda maden havzası Zonguldak'ta Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları kliniğimize meslek hastalığı tayini için başvuruda bulunan çalışanların kayıtları analiz edilerek madende yer altında çalıştıkları birime göre pnömokonyoz tanılarının dağılımı incelendi. Çalışmaya Mart 2016 ile Haziran 2017 arasında kliniğimize meslek hastalıkları heyeti için başvuru yapan olgular dahil edildi. Retrospektif incelenerek veri kayıtlarında eksiği olan olgular çalışma dışında bırakıldı. Veri kayıtları tam olan 176 olgu çalışmaya dahil edildi. Olguların yaş, yer altında çalışma süresi (yıl), işe giriş tarihi, yeraltında çalıştığı alan, görevi, sigara öyküsü, solunum fonksiyon testleri ve meslek heyeti karar sonucu kaydedildi. Olguların toz maruziyeti için yer altında çalıştıkları süre kaydedildi. Ek olarak 1975-1978 yıllarında Türkiye Taş Kömürü bünyesinde toz laboratuvarı kurulması ve toz ölçümlerinin başlamasıyla tedbirlerin arttırılması nedeni ile 1980 yılı öncesi işe giren çalışanlar ve 1980 yılı ve sonrası işe giren çalışanlar arası pnömokonyoz tanılarının dağılımı da incelendi.

## 3. SONUÇLAR

Olguların tamamı erkek cinsiyette idi, yaş ortalaması 54,5 ± 14,9 (min 29, max 86) idi. 132 olguda sigara kullanımı öyküsü vardı (n=132/176, %75). Olgularda yer altında çalışma süresi 17,35 ± 6,77 (min 4, max 34) yıl idi. 7 olguda pnömokonyoz saptanmadı (%4,0). 142 olguda basit pnömokonyoz (%80,7) , 27 olguda ise majör opasite ile birlikte komplike kömür işçisi pnömokonyozu (%15,3) tesbit edildi. Komplike pnömokonyoz olgularında majör opasite tanımında Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (International Labour Organisation, ILO) 2011 yılında güncellenen sınıflamasına uygun olarak 1cm üzeri opasite kategori A opasite olarak, 1-5 cm arası opasite kategori B opasite olarak, toplam boyutu sağ üst lob boyutunu geçen opasite de kategori C opasite olarak tanımlandı (ILO 2011). Komplike pnömokonyoz olarak tanımlanan vakalar içinde 12 olgu kategori A (n=12/176, % 6,8), 13 olgu kategori B (n=13/176, %7,4) , 2 olgu ise kategori C (n=2/176, %1,1) olarak kaydedildi.

Madende yer altında çalışılan birime göre olgulardaki pnömokonyoz tanı dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yeraltında çalışılan birime göre pnömokonyoz tanılarının dağılımı.

| Görev Yeri | Pnömokonyoz yok (n, %) | Basit Pnömokonyoz (n, %) | Komplike Pnömokonyoz (n, %) |
|---|---|---|---|
| 1. Pano Ayak Üretim (n=119) | 5 (% 4,2) | 107 (% 89,9) | 7 (% 5,9) |
| 2. Tabancı-Lağımcı -Barutçu-Taramacı (n=32) | 1 (% 3,1) | 16 (% 50,0) | 15 (% 46,9) |
| 3. Diğer: Nakliye, destek ve bakım işçisi (n=25) | 1 (% 4,0) | 19 (% 76,0) | 5 (% 20,0) |
| **TOPLAM (n=176)** | **7 (% 4,0)** | **142 (% 80,7)** | **27 (% 15,3)** |

Solunum fonksiyon testinde 58 olguda solunum fonksiyon kaybı tesbit edildi (58/176, %32,9). Difüzyon testi yapılan 89 olgu içinde 24 olguda da difüzyon testinde düşüklük (DLCO_single breath < %60) tesbit edildi (24/89, %26,9). 10 olguda geçirilmiş tüberküloz öyküsü (%5,7), 26 olguda eşlik eden amfizem (%14,8), 66 olguda eşlik eden kronik obstrüktif akciğer hastalığı (%37,5), 3 olguda ise akciğer kanseri (%1,7) varlığı kaydedildi. Olguların işe giriş yıllarına göre 1980 yılından önce işe girenler ile 1980 yılı ve sonrasında işe girenler olmak üzere iki ayrı grup oluşturularak karşılaştırıldı. 1980 yılı öncesi işe giren olgular ile 1980 yılı ve sonrası işe giren olguların özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1980 yılı öncesi ve 1980 yılı ile sonrası işe giren olguların karşılaştırılması.

| | 1980 öncesi işe giriş (n=73) | 1980 ve sonrası işe giriş (n=103) |
|---|---|---|
| 1. Yaş ortalaması (yıl, ort ± SS) | 69,27 ± 6,27 | 44,13 ± 9,59 |
| 2. Yer altı çalışma süresi (yıl, ort ± SS) | 21,97 ± 4,90 | 14,08 ± 5,97 |
| 3. Sigara kullanım oranı (n, %) | 54 (% 74,0) | 78 (%75,7 |
| 4. Yer altında çalışılan birime göre dağılım : | | |
| a. Pano ayak üretim işçisi olan (n, %) | 39 (% 53,4) | 80 (% 77,7) |
| b. Tabancı-Lağımcı-Barutçu-Taramacı (n, %) | 23 (% 31,5) | 9 (% 8,7) |
| c. Nakliye ve destek-bakım işçisi (n, %) | 11 (% 15,1) | 14 (% 13,6) |
| 5. Pnömokonyoz tanılarına göre dağılım : | | |
| a. Pnömokonyoz saptanmayan olgu (n, %) | 1 (% 1,4) | 6 (% 100) |
| b. Basit Pnömokonyoz (n, %) | 48 (% 65,7) | 94 (% 91,2) |
| c. Komplike Pnömokonyoz: A opasite (n,%) | 10 (% 13,7) | 2 (% 1,9) |
| d. Komplike Pnömokonyoz: B opasite (n,%) | 12 (% 16,4) | 1 (% 1,0) |
| e. Komplike Pnömokonyoz: C opasite (n,%) | 2 (% 2,7) | 0 (% 0) |

SS: standart sapma

## 4. TARTIŞMA

Madencilerde toza maruziyet sonrasında akciğerlere solunum yolu ile alınan toz partikülleri akciğerde yerleşerek birikmekte ve dokuda sürekli devam eden yangısal reaksiyonu tetiklemektedir. Bu reaksiyonun etkileri yıllar geçtikçe daha fazla görülmekte, sadece iltihabi reaksiyon ile kalmamakta ve fibrotik süreçleri aktive ederek dokunun ana yapısını da bozacak şekilde yıkıcı seyredebilmektedir. Maruziyet artık sona erse bile akciğerlere daha önceden yerleşmiş olan toz partikülleri nedeniyle doku içinde iltihabi ve fibrotik reaksiyon, yani pnömokonyoz oluşum süreci sürekli olarak devam etmektedir. Maruziyet süresi ve yoğunluğu ne kadar fazla ise, maruziyetten sonra geçen süre ne kadar uzun ise toza maruziyetin doku üzerine etkisi de o kadar belirgin olabilmekte, pnömokonyoz şiddeti de bu oranda artış gösterebilmektedir.

Çalışmamıza dahil olan olguları incelediğimizde de 1980 yılından sonra işe giriş kaydı olan olguların yer altında geçirdikleri çalışma süresinin daha kısa olması, daha genç olmaları ve toza maruziyet başlangıcı sonrası daha kısa süre geçmiş olması nedeniyle akciğer doku reaksiyonunun 1980 yılı öncesi işe girişi olan olgulara göre daha hafif düzeyde olduğu, ilerleyen yıllarda işçiler üzerinde pnömokonyoz etkisinin daha fazla görülebileceği düşünülmüştür. Yer altında çalışılan birimler içinde komplike pnömokonyozun en çok izlendiği birim olan tabancı-lağımcı-barutçu-taramacı grubunun önemli çoğunluğunun da 1980 yılı öncesi işe giren işçilerden oluştuğu dikkati çekmektedir.

1980 yılı öncesi olgular emekli olan ve maluliyet ve tazminat beklentisi ile başvuru yapan olgulardan oluşmakta iken 1980 yılı sonrası işe girişi olan olgular arasında halen çalışmakta olan, hatta iş yer hekimleri tarafından pnömokonyoz şüphesi ile kesin kanaat için gönderilen daha genç yaşta olgulardan oluşmaktadır. Pnömokonyoz tesbiti ve erken önlem alınması konusunda gerek iş yeri hekimleri, gerek iş yeri sahipleri, gerekse çalışanlar her geçen gün daha bilinçli hale gelmektedir. 1980 yılı sonrası olgulardaki bu değişim bir bakıma bunun da bir yansımasıdır. Toza karşı korunma ve pnömokonyoz olgularının erken tanınması hususunda sağlık çalışanları haricinde iş yeri sahipleri, iş güvenlik uzmanları ve iş yeri hekimleri tarafından da gerekli hassasiyet gösterilmelidir.

Türkiye Taş Kömürü tesisleri bünyesinde kömür çıkarma ve işletme süresince tozla mücadele için gerekli tedbirler alınmakta, çalışma alanlarının çoğunda suyla müdahale edilerek ve koruma tedbirleri alınarak toza maruziyet azaltılmaya çalışılmaktadır. Ek olarak 1975-1978 arasında kurum bünyesinde toz laboratuvarı kurularak ortam toz ölçüm ve takiplerine de başlanmıştır (Erbay 2017). Mevcut tedbirlerin toza maruziyeti ve dolayısıyla pnömokonyoz gelişme riskini de azaltacağı öngörülmektedir. Çalışmaya alınan olguların ilerleyen yıllarda yapılacak takipleri ile daha net değerlendirme yapılması olasıdır.

Madenlerde çalışan işçilerin çoğunun düzenli pnömokonyoz taraması iş yeri hekimlerince yapılmakta, gereğinde il içinde bulunan Göğüs ve Meslek Hastalıkları Hastanesine yönlendirilmekte, özellikli olan veya karar verilemeyen ihtilaflı olgular pnömokonyoz tanısı için referans merkez olarak Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Kliniğimize yönlendirilmektedir. Dolayısıyla kliniğimize yapılan başvurulara dayanarak yaptığımız değerlendirme madendeki genel çalışan popülasyonunu yansıtmamaktadır. Daha doğru bir değerlendirme için tüm çalışanları temsil edecek şekilde uygun örneklem hazırlanarak seçilen çalışanların değerlendirilmesi ve devam eden yıllarda da bu kişilerin düzenli olarak takibi ile elde edilecek sonuçların değerlendirmesi daha doğru olacaktır.

## KAYNAKLAR

Erbay, E. 2017. Türkiye Taş Kömürleri Kurumu Gözüyle Maden Ocaklarında İş Güvenliği. Türk Toraks Derneği - Her Yönüyle Pnömokonyoz Sempozyumu, 11-13 Mayıs 2017, Zonguldak, http://www.toraks.org.tr/SunuMerkezi/?e=Her+Y%C3%B6n%C3%BCyle+Pn%C3%B6mokonyoz+Sempozyumu

ILO, 2011. International Labour Organisation, ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconioses Revised Edition 2011. http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_168260.pdf

# ŞIRNAK KÖMÜR MADENİ KAZASI IŞIĞINDA KÖMÜR MADENCİLİĞİNDEKİ UYGUNSUZLUKLAR HAKKINDA ÖNERİLER

## *RECOMMENDATIONS IN COMPLIANCE ABOUT COAL MINING AFTER COAL MINE ACCIDENT IN ŞIRNAK*

**Kaan Koçali***
*İstanbul Aydın Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, İstanbul*
*Kampüs Madencilik Müş. Mak. San. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti., İstanbul*

**ÖZET** Kömür madenciliği, ülkemizde kazanın ve meslek hastalıklarının en çok görüldüğü, birçok risk içeren ve üzerinde önemle durulması gereken bir sektördür. Çalışma koşulları oldukça güç olan bu sektörün en büyük eksikliklerinden birisi ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının bu sektörde tam olarak uygulanamamasıdır. Gerçek anlamda iş güvenliğinin sağlanabilmesi için her şeyden önce iş sağlığı ve güvenliği bilincinin oluşması gerekmektedir. Anayasada, yasalarda ve tüm iş güvenliği mevzuatında getirilen hukuki mevzuatlar ne kadar iyi düzenlenmiş olursa olsunlar, 2017 yılında yaşanan Şırnak Kömür Madeni Kazası, bu sektörde bir taraftan işverenlerin diğer taraftan sosyal paydaşların ve devletin el ele vererek kalıcı çözümler üretmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Ülkemizde; yüksek risk taşıyan, kuralsız ve denetimsiz çalışan, mühendislik bilim ve tekniğinden çok uzak, teknik eleman gözetim ve denetimi olmaksızın tamamen ilkel koşullarda çalışan pek çok maden işletmesi bulunmaktadır. Bu maden işletmelerinde her an kaza olma riski mevcuttur. Bu çalışmada, kazaların kader olmadığını göstermek ve uygun önlemlerin alınması hakkında öneriler sunulmuştur.

**ABSTRACT** Coal mining is a sector that has a lot of risks and needs to be emphasized in the most widespread and occupational diseases in our country. One of the biggest deficiencies of this sector, which has a very difficult working conditions is that the occupational health and safety studies in our country can not be fully implemented in this sector. First of all, occupational health and safety awareness needs to be established in order to provide job security in real sense. No matter how well the legal legislation introduced in the constitution, in the legislation and in all work safety legislation, the coal mine disaster that took place in 2017 revealed that the employers from one side and the social stakeholders from the other side and the state should cooperate to produce permanent solutions in this sector. In our country; there are many mining fields operating at high risk, irregular and unsupervised working, far from engineering science and technology, completely technological conditions without technical staff supervision and supervision. There is always a risk of accidents in these mining operations. In this study, suggestions were made to show that mining accidents are not fate and to take appropriate measures.

* *kaankocali@gmail.com*

## 1. GİRİŞ

Madencilik literatürde, "yeraltındaki madenlerin araştırılması, çıkarılması ve işletilmesiyle ilgili teknik ve yöntemlerin bütünü"' olarak tanımlanır. Madencilik, tarih boyunca toplumları ve uygarlıkları şekillendiren en temel sektörlerden biri olmuştur. Özellikle, sanayi devriminden sonraki son iki yüz yılda kömürün ve demirin önemi çok fazla artmıştır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda da, madencilik faaliyetleri olmaksızın insan yaşamının sürdürülebilmesi ve gelişmesi mümkün değildir. Kullandığımız arabalardan, yaşadığımız evlere, bilgisayarlardan telefonlara kadar yaşamımız için vazgeçilmez olan hemen hemen her şey, madencilik sonucu elde edilen ürünler sayesinde yapılmıştır. Madenciliğin gelişim sürecini dört ana başlıkta toplamak mümkündür (Koçali 2016):

- İşletilen ve kullanılan maden sayısında giderek çeşitlenme ve artış,
- Madenlere olan talebin hızla artması ile üretimin artması,
- Arama, işletme ve cevher hazırlama yöntemlerin gelişmesi ve çeşitlenmesi,
- Başlangıçta insan emeği ile üretilen madenlerde mekanizasyonun artması ve işgücü kullanımının azalması.

Madencilik yüksek oranda istihdam sağlama özelliğine sahip olması ve enerji sektörümüz başta olmak üzere ekonomimize büyük oradan katma değer sağlaması açısından vazgeçilmez sektörlerimizden biridir. Ancak maden işletmeleri yapıları itibariyle birçok tehlikeli riski içerlerinde barındırmaktadır. Özellikle ülkemizde son 30 yılda madenlerde meydana gelen kazalarda binin üstünde madenci hayatını kaybetmiş, meslek hastalıklarından ölenlerin sayısı ise her geçen gün artmaktadır. Kayıpların önüne geçmek için iş kazalarını önlemek, kaza öncesi ve sonrası gerekli önlemleri almak madencilik endüstrisi için olmazsa olmaz bir gerekliliktir (Hacıfazlıoğlu 2017). Bu nedenle madencilik sektöründe öncelikli olarak iş sağlığı ve güvenliğine dayalı projelerin yapılması gereklidir. Proje çalışmaları, yatırım olanaklarının araştırılıp proje fikirlerinin derlendiği, değerlendirildiği ve ön elemeye tabii tutulduğu "proje oluşturma" aşaması ile başlar. Bu aşamada ileride tekrar değerlendirmeye tabii tutulacak projeler seçilerek listelenir. Maliyetler, donanım satıcısı kuruluşlardan değil, karşılattırılabilir ve halen uygulanmakta olan ya da geçmişten gerçekleştirilmiş projelerden alınarak ve çeşitli indeksler kullanılarak tahmin edilir. Bunun nedeni, bir yatırım olanağının göze çarpan gerçeklerinin çabuk ve maliyeti yüksek olmayacak biçimde saptanmasıdır (Koçali 2011). Uzun vadede çözüm, yatırımcıyı bir maden projesini işin ehli proje şirketlerine yönlendirecek bilinçlendirme faaliyetleri olsa da esas köklü tedbir kanunlarla madencilik projelerinin yapılması işini bağımsız, denetleyici yetkiye sahip proje şirketlerine devretmek ve bunun için yaptırımlar getirmektir (Koçali 2013). Tüm bu maliyet çalışmaları ve projenin teknik yönünün ortaya koyulmasında yapılacak olan tüm adımlarda günümüz şartlarında öncelikli alanın iş sağlığı ve güvenliği olması gerekmektedir.

## 2. YERALTI KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE İŞ GÜVENLİĞİ RİSKLERİ VE ALINACAK TEDBİRLER

### 2.1. Kazı İşleri, Göçükler ve Malzeme Düşmeleri

Kazı işleri üretim sürecinin en önemli faaliyetlerinden birini oluşturur. Kazı işlemi cevher içinde veya cevhere ulaşmak için kayaç içinde bir boşluk açılması, açılan boşluğun bir tehlike yaratmayacak şekilde tahkim edilmesi, çıkan malzemenin alınması aşamalarını içerir. Yukarıda sayılan faaliyetler sırasında tavandan, yandan veya arından kavlak düşmeleri veya göçükler olabilir. Patlayıcı maddeler, uygun olmayan havalandırma, gaz, toz birikmeleri çalışanlar için tehlikeler oluşturabilir. (Akkaya 2001). Yeraltında gerçekleşen ölümlü kazaların önemli bir bölümü, doğrudan veya başka etmenler sonucunda oluşan göçükler, taş-kömür düşmeleri neticesinde olmaktadır. Yeraltı işletmelerinde; kazı işleri, açılan boşluğun geçici ve kalıcı tahkimi veya üretim sonrası ayak arkasının göçertilmesi sırasında birçok kaza meydana gelmektedir (ÇSGB 2007). Madenlerdeki iş kazası risklerinin en önemli sebeplerinden olan göçüklerin oluşma nedenleri incelendiğinde; tahkimatın uygun ve yeterli yapılmayıp noksan veya yanlış yapılması, tahkimat malzemelerinin sahanın jeolojik yapısına ve kayaç özelliklerine uygun olmaması, tahkimatta malzemelerinin birbiriyle uyumlu olmaması, yani tahkimat elamanlarının birbiri ile güçlü bir bağ yapacak şekilde kurulmaması, iş organizasyonunun iyi yapılmamasının doğurduğu çalışanların işe konsantre olamaması, çalışanların bilgi ve beceri eksikliği sonucu tahkimat yapımındaki hatalar gibi faktörler olduğu ortaya çıkmaktadır (DDK 2010).

### 2.2. Tehlikeli Gazlar ve Tozlar

Maden işletmelerinde göçüklerden sonra en önemli risk unsuru zehirli, patlayıcı ve boğucu gazlar ile toz patlamalarıdır. Yeraltı kömür madenciliği faaliyetlerinden kaynaklanan zehirli ve boğucu gazlar; ocak ve damar yangınlarından, gaz ve toz patlamaları ile patlayıcı maddelerin kullanımları neticesine bağlı kimyasal tepkimelerden meydana gelmektedir. Yeraltı çalışmaları esnasında ortamda ve solunan havada bulunabilecek zararlı gazların ve oluşabilecek gaz patlamasının özelliklerinin ve etkilerinin çalışanlarca bilinmesi gerekmektedir. Gaz patlamasının nedenlerinin bilinmesi alınacak tedbirleri belirlemek açısından önemlidir (Ergun 2007). Grizu patlaması; patlayıcı maddeler, yangınlar ve açık alevler, elektrik arkı, dizel lokomotifler, taşların birbirine çarpması, metalin taşa sürtünmesi, metalin metale sürtünmesi, statik elektrik nedenlerinden bir veya daha fazlasının metan gazı ile temas etmesinden dolayı meydana gelmektedir (DDK 2010). Ani gaz ve kömür püskürmesi (degaj) olarak nitelendirilen olaylar, yeraltı kömür ocaklarında hazırlık ve üretim çalışmaları esnasında; jeolojik ve tektonik nedenlerle basınç altında sıkışmış gazların ani olarak ocak açıklıklarına kömürle veya kayaçla beraber püskürerek açığa çıkması halidir. Bu durum bazen gaz, bazen kömür bazen de gaz ve kömür püskürmeleri şeklinde görülür (TTK 2009). Üretime hazırlanırken kömür damarlarının gaz içerikleri tespit edilerek, gaz gelirinin ne olacağı, metan drenajına ihtiyaç olup olmadığının ve ne gibi önlemler alınacağına karar vermek üzere damar

gaz içeriklerinin tespitinin yapılması sahadaki gaz kontrolünde kullanılabilen bir yöntemdir (DDK 2010). Kömür veya taşın kazılması, yüklenmesi, nakliyatı ve boşaltılması sırasında oluşan toz, ocak havasına karışmakta ve hava hızını düşük olduğu yerlerde çökerek birikmektedir. Havada asılı kalan kömür ve taş tozları da çalışanların solunum sistemini etkileyerek zamanla insan bünyesinin direncini zafiyete uğratarak madenci hastalığı olan pnömokonyoza sebep olurlar (Karakaya 2010).

### 2.3. Ocak Yangınları

Günümüz kömür madenciliğinin en önemli iş sağlığı ve güvenliği risklerinden biri de ocak yangınlarıdır. Ocakta kömürün, tahkimatın, bant tesislerinin ve diğer yanıcı malzemelerin yanması neticesi meydana gelen ocak yangınları, büyük tehlikeler oluşturur. Ocak yangınları, üretimin aksamasına, yangın neticesi açığa çıkan zehirli gazlar ise ölüm ve yaralanmalarla sonuçlanan kazalara sebep olmaktadır. Özelikle grizulu ocaklarda yangın kontrol edilemezse, grizu patlamasına sebep olmaktadır. (Dereli 2015).

### 2.4. Su Baskınları ve Su Atımı

Madencilik faaliyetleri su içeren çeşitli tabakalar içinde veya altında yürütüldüğünde zaman zaman ocaklar yerüstü ve yeraltı su kaynaklarından olumsuz bir şekilde etkilenir. Deniz, göl, akarsular veya su içeren tabakalar altındaki çalışmalar sırasında sızan sular ocak içinde kurulu havuzlarda biriktirilir. Sular, tulumbalar ve havuzlardan yerüstüne kadar döşeli boru şebekesiyle ocak dışına atılır (DDK 2010).

## 3. TÜRKİYE'DE YAŞANAN KÖMÜR MADENİ KAZALARI

Türkiye, her gün 176 iş kazasının yaşandığı ve bu gerçeklerin medyaya yeterince yansıtılmadığı bir ülkedir. TMMOB'un araştırmalarına göre, Türkiye'de her gün ortalama 3 isçi hayatını kaybediyor ve 5 işçi de yaralanıyor. Bu veriler, Türkiye'yi işçi ölümlerinde Avrupa'da birinci ve Dünya'da dördüncü yapıyor (TBMM 2017). Bu denli güvenlik açıklarının olduğu bir ülkede madencilik gibi riskler taşıyan sektörlerde de ölümcül kazaların olması kaçınılmazdır. Uygulamalara baktığımızda, Türkiye'deki kömür madenlerindeki iş kazaların nedenlerini 10 başlık altında toplayabiliriz (DDK 2010):

- Uygun ve yeterli tahkimat yapılmaması,
- Uygun ve yeterli havalandırma sisteminin bulunmaması,
- Uygun ve yeterli tahliye alanlarının eksikliği,
- Tehlikeli gazlar için "sürekli gaz izleme sistemi" ile "erken uyarı sistemi" eksikliği,
- Grizulu ocaklarda kullanılması zorunlu olan kendinden emniyetli elektrik donanım ve devre kesici donanım yetersizliği,

- İlkyardım ve tahliye istasyonlarının kurulmaması, mevcutların ise uygun nitelik taşımaması,
- Kişiye özel gaz maskelerin bulunmaması ve/veya kullanılamaması,
- Patlayıcı maddelerin; ocaklarda kullanıma uygun özellikte olmaması, yetkisiz ve ehliyetsiz kişilerce kurallara uymadan ateşlenmesi ve ateşlemelerde gerekli güvenlik tedbirlerinin alınmaması,
- İşçilere kaza anında nasıl davranacaklarına dair yeterli eğitim verilmemesi,
- Eğimli yollarda vagon ile yapılan nakliyat faaliyetleri sırasında yaşanan vagon kaçmaları.

Aşağıda Türkiye'de 1983 yılından 2017 Şırnak Maden Faciası'na kadar olan süreç içerisinde meydana gelen kömür madeni kazaları verilmiştir (URL 2017):

Çizelge 1. Türkiye'de meydana gelen kömür madeni kazaları listesi (URL 2017).

| Tarih | İl | İlçe | Kaza Nedeni | Ölen İşçi Sayısı |
|---|---|---|---|---|
| 1983 | Zonguldak | Armutçuk | Grizu Patlaması | 103 |
| 1990 | Amasya | Yeni Çeltek | Grizu Patlaması | 68 |
| 1992 | Zonguldak | Kozlu | Grizu Patlaması | 263 |
| 1995 | Yozgat | Sorgun | Grizu Patlaması | 38 |
| 2003 | Karaman | Ermenek | Grizu Patlaması | 10 |
| 2009 | Bursa | Mustafakemalpaşa | Grizu Patlaması | 19 |
| 2010 | Balıkesir | Dursunbey | Grizu Patlaması | 17 |
| 2010 | Zonguldak | Karadon | Grizu Patlaması | 30 |
| 2010 | Edirne | Keşan | Grizu Patlaması | 3 |
| 2013 | Zonguldak | Kozlu | Grizu Patlaması | 8 |
| 2014 | Manisa | Soma | Grizu Patlaması | 301 |
| 2014 | Karaman | Ermenek | Su Baskını | 18 |
| 2017 | Şırnak | Cizre | Göçük | 8 |

## 4. KÖMÜR MADENCİLİĞİ'NDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ HUSUSLARINI DÜZENLEYEN HUKUKİ YAPILAR

### 4.1. ILO Sözleşmeleri ve Türkiye'deki Uygulaması

Sağlıklı ve güvenli çalışma ile ilgili düzenlemelerin uluslararası düzeyde temelini 24.10.1945 tarihinde kurulan Birleşmiş Milletler Örgütü'nün 1948 yılında yayımladığı İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi oluşturmuştur. Birleşmiş Milletler, 1976 yılında Uluslararası Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Sözleşmesi sağlıklı ve güvenli çalışma hakkını onaylayan bir sözleşme yayımlamıştır. Ülkemizin taraf olduğu ve TBMM tarafından onaylanan uluslararası anlaşmalar Anayasanın 90. maddesine göre kanun gücündedir. Dolayısıyla bu şekilde iç mevzuatımıza aktarılan ILO sözleşmeleri, AB Konseyi direktifleri gibi bir kısım uluslararası kaynaklı mevzuat ülkemiz uygulamalarını yönlendirmek açısından etkili olmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü Genel Kurulu, 06.06.1995 tarihinde Cenevre'de

gerçekleştirdiği 82. oturumunda işçilerin madencilik sektöründe karşılaştıkları tehlike ve risklere yönelik sağlık ve güvenlik tedbirlerinin alınması ve uygulanması sürecinde işçilere de danışılmasının ve işçilerin bu sürece müdahil olabilmesinin, bilgi almalarının ve eğitim görmelerinin bir gereklilik ve hak olduğunu vurgulamıştır. Bu doğrultuda Madenlerde Sağlık ve Güvenlik Sözleşmesi 22.06.1995 tarihinde kabul edilmiş ve 05.06.1998 tarihinde yürürlüğe girmiştir (DDK, 2010). Sözleşme temel olarak madenlere yönelik sürdürülebilir bir iş sağlığı ve güvenliği politikasının ulusal düzeyde benimsenmesi, uygulamada yetkili merci belirlenerek mevzuatın ve teknik standartların belirlenmesi, kazaların ülke çapında kayda alınarak istatistiki bilgilerin tutulması, işçiler ve işverenlerle istişare ortamının sağlanması ve çalışmalarda öngörülen tüm risklerin değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması esaslarına dayanmaktadır. Sözleşme uyarınca işverenler riski kaynağında bertaraf etmek, güvenli çalışma sistemleri tasarlamak, kaza riskleriyle ilgili işçileri bilgilendirmek ve kaza olduğunda gerekli tıbbi yardıma ulaşmalarını sağlamak zorunda olup ayrıca Sözleşme, hükümetlere de teknik kılavuzların hazırlanması, denetimlerin düzenlenmesi ve kazaların etkili soruşturulması gibi yükümlülükler getirmektedir. İşçilerin ve temsilcilerinin ise kazaları ve riskli durumları bildirmek, güvenlik ve sağlık şartlarına dair bilgi edinmek, güvenlik ve sağlık önlemlerinin karar süreçlerine katılmak gibi hakları ve yükümlülükleri düzenlenmektedir (ILO 1995). Ülkemizdeki mevzuata bakıldığında gerek 4857 sayılı İş Kanunu gerekse bu Kanuna dayanılarak çıkarılan Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği ile Sondajla Maden Çıkarılan İşletmelerde Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği ve benzeri düzenlemelerde 176 sayılı Sözleşmede de esas alınan katılımcı yaklaşımı destekleyen maddeler olduğu görülmektedir.

4857 sayılı İş Kanununun 77. maddesinde yer alan "İşverenler işyerinde alınan iş sağlığı ve güvenliği önlemlerine uyulup uyulmadığını denetlemek, işçileri karşı karşıya bulundukları mesleki riskler, alınması gerekli tedbirler, yasal hak ve sorumlulukları konusunda bilgilendirmek ve gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimini vermek zorundadırlar". Aynı Kanunun 83. maddesinde yer alan "İşyerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından işçinin sağlığını bozacak veya vücut bütünlüğünü tehlikeye sokacak yakın, acil ve hayati bir tehlike ile karşı karşıya kalan işçi, iş sağlığı ve güvenliği kuruluna başvurarak durumun tespit edilmesini ve gerekli tedbirlerin alınmasına karar verilmesini talep edebilir". Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin 9. maddesindeki "İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinin 10 uncu maddesi hükümleri saklı kalmak kaydı ile işçiler veya temsilcileri, işyerinde sağlık ve güvenlikle ilgili alınması gereken tüm önlemler ve bu Yönetmeliğin özellikle 5, 6, 7 ve 8 inci maddelerinin uygulanması hakkında bilgilendirilecektir. Bu bilgiler işçiler tarafından anlaşılabilir şekilde olacaktır" hükümleri bu doğrultuda değerlendirilebilir.

Gerek İş Kanunu gerekse bu Kanuna istinaden çıkarılan yönetmeliklere göre işverenler, çalışanların karşı karşıya oldukları risklerden korunmaları için teknolojinin gerektirdiği tüm önlemleri almak, onlara uygun davranışlar kazandırmak üzere bilgilendirmek ve denetlemekle yükümlü tutulmuşlardır. Çalışma koşullarının

ağır ve tehlikeli, risklerin yaygın olduğu özellikle madencilik gibi sektörlerde riskleri yönetmek ve kontrol tedbirleriyle kabul edilebilir seviyeye indirmek amacıyla yapılan risk değerlendirme çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Genel olarak, risk değerlendirme çalışmalarının işyerlerinin tehlikeli bölgeler ve etkilenme alanı dâhil olmak üzere, yer seçiminden başlayarak iş ekipmanlarının, ham, yarı mamul, mamul maddeler ile işin yapım ve yürütüm tekniklerinin bütün safhalarının tamamını kapsayacak şekilde düzenlenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, işyerinde önemli değişiklikler veya ilaveler yapıldığında risk değerlendirme çalışmalarının tekrar gözden geçirilmesi ve belli sürelerle yenilenerek güncel tutulması da icap eder (DDK 2010).

### 4.2. Maden Kanunu ve İlgili Yönetmeliklerin Uygulanması

Türkiye'deki maden mevzuatı; madencilikle ilgili ruhsatların alınması, maden işletmelerinin projelendirilmesi, işletilmesi, denetimi, kural ihlallerinin belirlenmesi, ocakların faaliyetinin durdurulması ve ruhsat iptali gibi hususları düzenlemek suretiyle doğrudan veya dolaylı olarak maden işletmelerine ilişkin iş sağlığı ve güvenliği şartlarını da etkilemektedir. 3213 sayılı Maden Kanunu'nun 29. maddesinde doğrudan iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin olarak "İşletme faaliyeti, projesine ve Kanunun ilgili hükümlerine göre yürütülür. İşletme projesine aykırı faaliyette bulunulması ve faaliyetlerin can ve mal güvenliği açısından tehlikeli bir durum oluşturduğunun tespit edilmesi halinde maden üretimine yönelik faaliyetler durdurulur. İşletme projeleri ve değişiklikleri uygulamaya konulmadan önce Genel Müdürlük onayının alınması zorunludur. Aksi takdirde faaliyet durdurulur. İşletme açısından tehlikeli durumların tespiti halinde, bu halleri gidermek için ruhsat sahibine altı aya kadar süre verilir, mücbir sebepler dışında bu süre uzatılmaz. Bu süre sonunda projeye uygun faaliyette bulunulmaması veya tehlikeli durumun ortadan kaldırılmaması halinde teminat irad kaydedilerek işletme faaliyeti durdurulur." hükmü bulunmaktadır. Buna göre, üretim veya hazırlık çalışmaları sürdürülürken şev açısı, basamak yüksekliği, basamak genişliği, heyelan, göçük, yetersiz havalandırma, alt yapı ve maden projesine aykırılık teşkil eden benzeri durumlar can ve mal güvenliği açısından risk oluşturması halinde müeyyideye bağlanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği mevzuatı; mesleki risklerin önlenmesini, sağlık ve güvenliğin korunmasını, risklerin ve kaza faktörlerinin ortadan kaldırılmasını, iş sağlığı ve güvenliği konusunda işçilerin eğitilmesini, iş sağlığı ve güvenliğinin organizasyonunu, teknik önlemler ile cinsiyet ve özel durumları sebebiyle korunması gereken kişilerin çalışma şartlarını düzenlemektedir (DDK 2010).

21.09.2017 tarih ve 30187 sayılı Resmi Gazete'de "Maden Yönetmeliği" yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Maden Yönetmeliği'nde yapılan hukuki düzenlemeler, maden rezervlerinin bilim ve tekniğin bugünkü kazanımlarıyla, insan odaklı olarak; aranması, işletilmesi ve üretilmesinin hukuki alt yapısının düzenlenmesi tam olarak karşılamamaktadır. 6592 sayılı kanuna göre çıkarılmış diğer yönetmeliklerde olduğu gibi Maden Yönetmeliği'nde de belirtilen hukuka aykırılıklar devam ettirilmiş olup İş Kanunu, Ticaret Kanunu gibi pek çok temel kanuna aykırı

düzenlemeler yapılmıştır. Soma kömür madeni faciasının ardından Maden Kanunu'nda 6552, 6592, 6661, 6719, 6745, 6770, 7020 sayılı Kanunlar ile değişiklikler yapılmıştır. Son olarak ise 5 Aralık 2017 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan 7061 sayılı "Bazı Vergi Kanunları ile Diğer Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile Maden Kanunu yeniden değiştirilmiştir. "Milli ve Yerli Madencilik Politikası" çerçevesinde yapılan kanun değişikliklerinde havza madenciliği gerekçe gösterilerek, 7061 sayılı kanun değişikliği ile Türkiye Taşkömürü Kurumu'na (TTK) ait sahalar işletme izin sınırları dışında ruhsatlandırılarak özel sektörün işletmesine açılmıştır (MMO 2017). Son dört yılda Maden Kanunu'nda toplam 9 defa yapılan değişikliklerin ülkemizde meydana gelen kazalara çözüm olmadığı ve özellikle iş sağlığı ve güvenliği yönünden çok yoksun olduğu açıktır.

## 5. ŞIRNAK KÖMÜR MADENİ KAZASI

Doğanın; insanlığa bir kez bahşettiği ve tekrarı olmayan doğal kaynaklarımızın, işçi sağlığı ve güvenliği çerçevesinde, bilimin ve tekniğin ön gördüğü biçimde, olumsuz çevresel etki yaratmadan ve en yüksek verimle doğru bir biçimde kullanıma sunulması gerekmektedir (İMO 2017). Oysaki günümüzde Şırnak Bölgesi'ndeki asfaltitler (kömür), bir plan proje dahilinde işletilmemektedir. Buradaki maden ocaklarında, işçi sağlığı ve iş güvenliği kurallarına uyulmamakta ve üretilen kömür uygun alanlarda değerlendirilmemektedir. Bununla birlikte ocakların kaçak olarak addedilmesi, sorunları daha da ağırlaştırmaktadır. Bölgede ki maden işletmeleri çok büyük riskler barındırmaktadır. Bölgedeki bu ocaklarla birlikte derinlikleri 100 ile 200 metre arasında değişen, onlarca yeraltı ocağı ve buralarda çalışan 500 civarında insan her an ölüm riski ile karşı karşıyadır. Bu ocaklarda rödevans/taşeron sisteminden vazgeçilerek devletin kendi sahalarında üretimi kendisinin gerçekleştirmesi bu durumu ortadan kaldırması açısından önemlidir (EMO 2017).
Şırnak'ta yaşanan maden kazası sonrası olayın olduğu maden sahasında DİSK, KESK, TMMOB ve TTB temsilcilerinden oluşan bir heyet incelemede bulunmuştur. Bu inceleme sonrasında aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Maden ocağının girişi bariyerlerle kapatılmış ve girişine MİGEM'in kapatma kararı asılarak ocağa girişin ve kömür üretiminin yasak olduğuna dair Şırnak İl Özel İdaresi imzalı bir tabela asılmış olmasına rağmen heyetimizin girişi sırasında maden sahasında üretilen kömürlerin yüklü olduğu kamyonlar çıkış yapmakta oldukları görülmüştür. Ocağa girişi engellemek için alınan tedbirlerin işlevsiz ve iş olsun diye alındığı; hala bir gerçek olarak ortada durmaktadır. Maden sahasında üretimin TKİ tarafından sonlandırılmasının akabinde uzun yıllardır rödevansçılar tarafından yapılmakta olan üretimin madencilik bilim ve tekniğini ile işçi sağlığı ve güvenliğine uygun olmadığı çok net olarak gözlemlenmiştir.
- Bu sahada yapılacak hazırlık, dekapaj ve üretim çalışmaları maden mühendisliği bilim ve tekniğine uygun biçimde projelendirilerek, projenin uygulanmasının her adımının takip/denetlemesi yapılarak ve bu denetlemelerde

ortaya çıkan yeni sorunların çözüme kavuşturulması için imalatın durdurulması gerekirken; Maden sahasında işçilerin dinlenebilecekleri, insani ihtiyaçlarını giderebilecekleri iş güvenliği mevzuatına uygun bir bina veya sosyal tesis dahi bulunmamaktadır.

- Olayın meydana geldiği maden sahası ruhsatlı bir saha olup ruhsatı Enerji Bakanlığına bağlı Türkiye Kömür İşletmeleri'ne (TKİ) aittir.
- Maden sahasında ki üretim uzun yıllardır TKİ tarafından rödevans yöntemi ile özel sektöre yaptırılmaktadır.
- Maden sahasında ki faaliyetler açık işletme yöntemlerine göre hidrolik ekskavatörler ve kamyonlar aracılığı ile yapılmakta olup kademe yükseklikleri hayati tehlikeye neden olabilecek kadar tehlikeli ve yüksektir.
- Olayın meydana geldiği kısımda kömür damarına iki yerde rastlandığı ve küçük çapta da olsa kazı yapıldığı, aynı zamanda su çekme faaliyetlerinin sürdürüldüğü tespit edilmiştir.
- Maden sahasında ki hazırlık, dekapaj ve üretim 2013 yılında MİGEM tarafından durdurulmuştur.
- Maden sahasında durdurma kararı devam ederken; saha TKİ tarafından rödevans ihalesine çıkarılmış ve 14 Nisan 2017 tarihinde ihaleyi kazanan firma ile sözleşme imzalanmıştır.
- Sözleşmenin imzalanmasını müteakip ihaleyi kazanan firma tarafından hazırlandığı belirtilen proje ruhsat sahibi olan TKİ tarafından MİGEM'in onayına sunulmuştur.
- Şırnak Valiliği tarafından yapılan açıklamada projenin onaya sunulmasını müteakip, sahada MİGEM tarafından yapılan inceleme sonucu "tehlikeli durumların devam ettiği, üretime yönelik faaliyetlerin durdurulmasına devam edilmesi, tehlikeli durumun giderilmesine yönelik faaliyetlerin sürdürülmesi ve kömür sevkiyatı yapılmaması" kararı verilmiştir. Bu karar MİGEM tarafından TKİ Genel Müdürlüğü`ne ve Şırnak Valiliği'ne yazılı olarak iletilmiştir.

Ülkemizdeki iş sağlığı ve güvenliği mevzuatında yaşanan sorunlar da Maden Kanunu'ndan hiç farklı değildir. 30 Haziran 2012 yılında yayınlanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu geçen süre içerisinde 5 kere değiştirilmiştir. Bazı maddelerinin yürürlüğe girmesi ise 1 Temmuz 2020 yılına kadar ertelenmiştir. Bu kanundaki ertelemeler sadece kamu ve 50 den az çalışanı olan az tehlikeli işyerlerinde; iş güvenliği uzmanı bulundurma, iş yeri hekimi bulundurma ve destekten yararlanma konuları ile ilgilidir. Alınması gereken önlemler, işverenin ve çalışanların yükümlülükleri ya da risk değerlendirme çalışmaları ile ilgili bir erteleme söz konusu değildir.

4857 sayılı İş Kanunu'nun 2. maddesi; "Bir işverenden, işyerinde yürüttüğü mal veya hizmet üretimine ilişkin yardımcı işlerinde veya asıl işin bir bölümünde işletmenin ve işin gereği ile teknolojik nedenlerle uzmanlık gerektiren işlerde…" biçiminde üst işveren alt işveren ilişkisini tanımlamaktadır. Maden işletmelerinde yapılan dekapaj ve üretim işleri yardımcı bir iş olmayıp, madencilik faaliyetinin kendisidir. Bununla

birlikte maden işletmelerinde yapılan işler tabi ki uzmanlık gerektirmektedir. Ancak bu maddede tanımlanan üst işveren alt işveren ilişkisinin hiç dikkate almayan, çalışma yaşamını alabildiğince esnekleştiren, kuralsızlaştıran ve denetimsizleştirenlerdir (MMO 2017). Elbistan, Soma, Ermenek ve Şırnak'ta yaşanan maden facialarının üretimi yakalamak hatta daha fazla üretim yapılması için işçilerin zorlaması ve daha fazla kar amacıyla taşeron/alt işveren aracılığıyla projeye uygun olmayan üretim faaliyetleri nedeniyle meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenlerle; Elbistan, Soma, Ermenek ve Şırnak'ta yaşanan maden facialarıiş cinayetleri olarak değerlendirilmesi yerinde olacaktır. Ancak, bu cinayetlerin sorumluları sertifikalarla diplomaları dahi yok sayılan, ekmek ve yaşam mücadelesi veren maden mühendisleri değil bu kararları alıp uygulayanlardır. Ülkemizde maaşını işverenden alan, iş güvencesi ve mesleki bağımsızlığı olmayan "daimi nezaretçilerin" ve "iş güvenliği uzmanlarının" çalışmayı durdurma yetkilerini tam anlamıyla kullanmaları beklenemez. Çünkü bu durum ülkemizdeki iş hayatının olağan akışına terstir (Ersoy 2015). Cumhurbaşkanlığı Devlet Denetleme Kurulu tarafından 2011 yılında "Madencilik Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Sebeplerinin Araştırılması" amacıyla hazırlanan araştırma ve inceleme raporunda, yaşanan maden kazalarında belirlenen eksiklikler tespit edilmiş olup günümüzde de bu durumlarda herhangi bir iyileşme olmadığı açıkça görülmektedir (DDK 2011). Bunlar:

- Taşeronluk/alt işverenlik uygulamaları
- Üretim zorlaması
- Daimi nezaretçilik vb. işletme içi denetim uygulamaları ile ilgili sorunlar,
- Kamu birimleri denetimlerinin etkinsizliği
- Risk değerlendirmesi yapılmaması
- Geçmiş kazalardan ders alınmaması
- Kontrol ve degaj sondajlarının yeterince yapılmaması
- Delme-patlatma işleminde düzensizlikler
- Maden işletmelerinde gözetim hizmetlerinin yetersizliği
- Mesleki eğitim ve iş güvenliği kültürü noksanlıkları

Yukarıda belirtilen başlıca eksiklikler ile ilgili aşağıdaki çözüm önerilerini sıralayabiliriz.

- Özelleştirmeler durdurulmalıdır ve taşeronluk uygulamaları iptal edilmelidir.
- Ucuz işgücüne dayalı ve örgütlenmeyi engelleyen çalışma anlayışı terk edilmelidir.
- Yüksek risk taşıyan, kuralsız ve denetimsiz çalışan, mühendislik bilim ve tekniğinden uzak, teknik elemanın gözetim ve denetimi olmaksızın, tamamen ilkel koşullarda çalışan pek çok işletme bulunmaktadır. Bu nedenle sektörün risk haritasının çıkartılarak devlet eliyle denetlemelerin sıklaştırılması gerekmektedir.
- Daimi nezaretçi ve iş güvenliğinden sorumlu olan mühendis ücretini, denetlemek zorunda olduğu işyeri sahibinden almakta olup bu durum

mühendisin işletme ile ilgili kararlarda özgür davranmasını engellemektedir. Bu konuda acilen yasal düzenleme yapılmalıdır.

- Sektörün ihtiyaçlarını karşılayabilecek "Maden İş Kanunu" çıkarılmalıdır.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından çıkarılan yönetmelikler, madencilik sektöründe etkin denetlemenin yapılabilmesi açısından yetersiz durumdadır. Söz konusu mevzuatların iyileştirilmesi gerekmektedir.
- Meydana gelen kazaların, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde kurulacak olan ayrı bir birim tarafından koordinasyon ve organizasyonunun yapılması önem arz etmektedir.
- İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yatırım teşvikleri uygulanmalıdır.
- Her işletmede risk değerlendirmesi yapılmalı ve bu çalışma olmadan maden ruhsatı ya da izinleri verilmemelidir.
- Uygun iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini almayan maden ocaklarının acilen kapatılmalıdır.

## 6. SONUÇLAR

Türkiye'nin iş sağlığı ve güvenliği sorunları, ülkenin genel sosyo-ekonomik gelişmişlik ve eğitim düzeyi, işsizlik ve kayıt dışı ekonomi gibi sorunları ile doğrudan ilgilidir. Mevcut İSG mevzuatının uygulanmasındaki eksiklikler, yapılan İSG araştırmalarının yetersizliği, ilgili kurum ve kuruluşlar arasında işbirliği/koordinasyon ve taraflar arasında sosyal diyalog eksikliği de üzerinde durulması gereken sorunlu alanlardır. Bir başka deyişle, sektörü yönetmek ve denetlemekle görevli kurumlar ile sektörün paydaşları arasında görüş alışverişini, böylece ortak aklın kullanılmasını, idarecilerin empati yapmasını sağlayacak bir mekanizmanın oluşturulamamış olması da vurgulanması gereken bir diğer husustur.

Kaza riski oranı en yüksek iş kolu olan madencilikte, iş sağlığı ve güvenliğine yönelik yatırım ve önlemlerin alınması çok önemlidir. Bilim ve teknolojiden çok uzak yapılan amatör maden işletmeciliği; gerekli yatırımların yapılmaması, hızlı ve yüksek kazanç sağlanabilmesi için üretim zorlamaları, çalışanların örgütsüzlüğü, yoksulluğu ve bunlara bağlı olarak oluşan psikolojik ve sosyal sorunlar ile kazalara davetiye çıkartmaktadır. Madencilik sektöründeki İSG sorunlarının çözümü için konuya farklı bir yönetim anlayışı ile yaklaşmak gerekmektedir. Kazaların meydana gelmesini önlemek üzere madenlerin tasarımında, üretime geçmesinde ve yönetiminde risk değerlendirmesinin öncelikli hale getirilmesi; doğrudan üst yönetime bağlı iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının yetiştirilmesi ve istihdamı; alınacak önlemlerle ilgili değerlendirme sürecine işçilerin katılımının sağlanması; eğitim-öğretim ve denetim konularında merkezi ve mahalli kamu idarelerinin daha aktif hale getirilmesi; acil durumlarda can kayıplarını önlemek üzere yeraltı haberleşme sistemlerinin iyileştirilmesi ve patlamalara dayanıklı olacak şekilde tasarlanması; kişisel koruyucu donanımın kullanılması ve bu konuda işçilerin eğitilmesi; her madende merkezi güvenlik izleme sistemlerinin kurulması; devlet ve şirketlerden müteşekkil iki taraflı maden kurtarma sisteminin geliştirilmesi; tahlisiye

ekipmanının teknolojik gelişmeler doğrultusunda yenilenmesi gibi yaklaşımların benimsenmesi önemlidir.

Birçok maden ocağında doğabilecek iş sağlığı ve güvenliği risklerini bertaraf etmek için uygun bir risk yönetim sistemi ve kontrol mekanizması oluşturulmadığı, risk değerlendirme yaklaşımının uygulamaya geçirilemediği ve bu durumun kazaların vuku bulmasında etkili olduğu anlaşılmıştır. Hangi eksiklik ve ihlal durumlarında maden işletmesinin faaliyetinin durdurulacağı, hangi durumlarda süre verileceğine ilişkin açık bir yasal düzenleme olmayıp, bu husus tamamen denetim elemanının takdirine bırakılmıştır. Böylesine önemli sonuçları olan bir hususta herhangi bir düzenleme olmaması ve bu işlemlerin tamamen kişilerin takdirine bırakılması uygun görülmemektedir.

Özellikle Şırnak faciası, maden sektörünün rolü ve işlevi, ilgili iş güvenliği ve sağlığı yasaları, düzenlemeleri ve uygulamaları ile alt işverenlik dahil olmak üzere sektördeki sözleşmesel düzenlemeler üzerine bir çok soruyu ve incelemeyi beraberinde getirmiştir. Alt işverenlik sözleşmelerinin kullanımının etkileri küresel anlamda önem taşırken, Türkiye'de maden sektörü özelinde geçerli olan ilgili sözleşme rödövans sözleşmelerini kapsamaktadır. Bu durum özellikle Soma faciasından sonra Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) İSG'ye ilişkin sözleşmeleri kapsamında Türkiye'nin üzerine düşen taahhütleri çerçevesinde Türkiye ve ILO arasında gerçekleştirilen üçlü görüşmelerde gündeme getirilmiştir. Bu alanda Türkiye, son on beş yıldır gerek İSG, gerekse risk değerlendirme ve kazaların önlenmesine ilişkin mevzuatı, uluslararası ve AB standartları ile uyumlu hale getirmek için büyük çaba sarf etmektedir. Madenciliğin Türkiye ekonomisindeki stratejik önemi dikkate alındığında ve verilen uluslararası taahhütler doğrultusunda, Türkiye'nin doğal kaynaklarının etkili bir şekilde sürekli geliştirilmesi ve kullanımına yönelik ihtiyaca eşgüdümlü bir yanıt vermek ve aynı zamanda, madencilik sektöründe faaliyet gösteren tüm çalışanların sağlığı ve güvenliğine ilişkin ideal seviyeleri sağlamak için, sosyal taraflarla yakın iş birliği içerisinde ulusal bir madencilik politikası geliştirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde; yüksek risk taşıyan, kuralsız ve denetimsiz çalışan, mühendislik bilim ve tekniğinden çok uzak, teknik eleman gözetim ve denetimi olmaksızın tamamen ilkel koşullarda çalışan pek çok maden işletmesi bulunmaktadır. Bu maden işletmelerinde her an kaza olma riski mevcuttur. Kazaların kader olmadığı uygun önlemlerin alınması ile engellenebileceği bilinen bir gerçektir.

## KAYNAKLAR

Akkaya, C. 2001. Maden Sektöründe Risk Faktörleri, Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, Türk Tabipler Birliği, Ocak, s. 38-41.

ÇSGB, 2007. Madencilik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Kampanyası, Tanıtım Broşürü, Ankara.

DDK, 2010. Madencilik Araştırma ve İnceleme Raporu, Devlet Denetleme Kurulu, Ankara.

DDK, 2011. Madencilik Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Sebeplerinin Araştırılması, Devlet Denetleme Kurulu, Ankara.

Dereli, V. 2015. Yeraltı Kömür Madenlerinde İş Güvenliğinde Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Gediz Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı, İzmir, 143 s.

EMO, 2017. Neo-Liberal Politikaların Getirdiği Taşeronlaşma, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara.

Ergun, A. 2007. Yeraltı Maden İşletmelerinde Gaz ve Toz Patlamaları ve Önlemler, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

Ersoy, N. 2015. Geliyorum Diyen Facia, Boğaziçi Üniversitesi Soma Araştırma Grubu Raporu, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası.

Hacıfazlıoğlu, H. 2017. Maden İşletmelerinde İş Kazalarının Değerlendirilmesi, ST Ağır Sanayi Çözümleri Dergisi, s. 90.

ILO, 1995. 176 sayılı Madenlerde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi, (http://www.ilo.org/ankara/conventions-ratified-by-turkey/WCMS_450478/lang--tr/index.htm).

İMO, 2017, Resmi Prosedürler Kaçağa Uyduruldu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Diyarbakır.

Karakaya, H. 2010. Maden İşyerlerinde Güvenlik, İşçi İSG Eğitim Sunumları, Ankara.

Koçali, K. 2011. Bir Maden Yatağı İçin Uygun Yeraltı Üretim Yöntemi Seçimi ve Projelendirilmesi, Lisans Projesi, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 220 s.

Koçali, K. 2013. Madencilikte Proje Şirketlerinin Önemi, Maden ve Ocak Teknolojileri Dergisi, Mart-Nisan, s. 82-86.

Koçali, K. 2016. Madencilik Sektörüne Yönelik İşçi Anketleri İle İSG Kültürü ve Uygulamasının Araştırılması, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul, 84 s.

MMO, 2017. Dünya Madenciler Günü Kutlu Olmadı, Madencilik Bülteni, Ekim-Kasım-Aralık, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

MMO, 2017. Şirvan Faciasında Da Asıl Sorumlular Dışarıda, Basın Duyurusu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

TBMM, 2010. TBMM Araştırma Komisyonu, Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu, Ankara.

TBMM, 2017. 2018 Yılı Merkezi Yönetim Bütçe Kanunu Tasarısı Görüşme Tutanakları, TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu, Ankara.

TTK, 2009. Türkiye Taşkömürü Kurumu Ani Gaz Ve Kömür Püskürmesi (Degaj) Olaylarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Yönergesi, Zonguldak.

URL, 2017. Türkiyede Madencilik Kazaları, http://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye'deki_madencilik_kazalar%C4%B1 (20.12.2017).

# TÜRKİYE'DE YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE GAZ PATLAMALARININ NEDEN OLDUĞU ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARININ ANALİZİ VE KARŞI ÖNLEMLER

## *ANALYSIS AND COUNTERMEASURES OF FATAL ACCIDENT CAUSED BY GAS EXPLOSION IN UNDERGROUND COAL MINES IN TURKEY*

**Arif Emre Dursun**[*]
*Selçuk Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Konya*

**ÖZET** Türkiye'de yeraltı kömür madenlerinde ölümlü iş kazaları yaygındır ve çok sıklıkla yaşanmaktadır. Yeraltı kömür madenlerinde yaşanan ölümlü iş kazalarının en sık nedenleri grizu ve gaz patlamaları, göçükler ve yangınlardır. Yeraltı kömür madenciliğinde gaz patlamaları, ani ortaya çıkan ve büyük zarar verebilen büyük çaptaki ciddi maden kazalarıdır. Bir patlama meydana geldiğinde, sonuçta çok sayıda kayıp, büyük ekonomik zararlar ve toplum üzerinde ciddi ve yıkıcı bir olumsuz etkisi olmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde gazların neden olduğu iş kazaları analiz edilmiştir. Analizler sonucunda bu 7 yıl içerisinde yeraltı kömür madenlerinde meydana gelen ölüm sayısı 550 ve ölüm oranı %96,86 olarak bulunmuştur. Bu ölümlerin nedenleri arasında gazların oranı %70,18'dir. Bu çalışmada gaz patlamalarını önleyebilecek ve kontrol altına alabilecek önlemler önerilmektedir.

**ABSTRACT** Fatal mine accidents are common and happen very often in the underground mining sector in Turkey. The most common causes of fatal accidents in underground coal mining are firedamp and gas explosions, landslips and mine fires. Gas explosions are major coal mine accidents which occur suddenly and can cause great damage. Once an explosion happens, the consequences can include large numbers of casualties, huge economic losses, as well as a disastrous negative impact on society. In this paper, underground mine accident caused by gas explosions that happened during 2010-2016 are analyzed in Turkey. As a result of these analyzes, the number of deaths was 550 in underground coal mining during these 7 years and deaths ratio was 96.86%. Among of causes of these fatal accidents, gas explosions accounted for 70.18%. In this paper, the countermeasures that could prevent and control gas explosion are proposed.

[*] *aedursun@selcuk.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Madencilik, özellikle yeraltı madenciliği pek çok çalışma disiplininin karmaşık bir organizasyonudur. Üretim için yeraltında kazı yapılması, güvenli çalışmayı temin edecek biçimde tahkimatın yapılması, havalandırma, ocaklardaki suyun tahliyesi, nakliyat vb. ihtiyaç ve tesisler iş güvenliği açısından önemlidir. İş güvenliği sorunu temelde üretim sürecinde ortaya çıkmaktadır. Üretim süreci; kazı, tahkimat, nakliyat gibi ana faaliyetler ile bunlar için gerekli donanım ve sistemlerin kurulması, işletilmesi, malzeme desteğinin sağlanması gibi yan işlerden oluşmaktadır. Bu sürecin herhangi bir anında, çevre şartları, kullanılan makineler ve çalışanların uyumunda meydana gelen olumsuzluklar sonucu iş kazaları meydana gelmektedir. Bu nedenle dünyada en riskli çalışma alanı olarak yeraltı kömür madenciliği kabul edilmektedir (Sarı vd. 2004, Sarı vd. 2009, İphar 2010, Khanzode vd. 2011, Maiti ve Khanzode 2009, Mahdevari vd. 2014, Durşen ve Yasun 2012, Dursun vd. 2017a, b). Yeraltı maden ocaklarında göçükler, topuk patlaması, gaz ve toz patlamaları, nakliyat işleri, su baskını, makine ve donanım kullanımı, elektrik kullanımı, ocak yangınları, patlamalar ve şok dalgaları, malzeme düşmesi veya kayması, havasızlık, zehirli ve boğucu gazların etkisi vb. nedenlerle iş kazaları meydana gelmektedir (Güyagüler ve Bozkurt 1993, Küçük ve Ilgaz 2015, Chen vd. 2015).

Dünya madencilik tarihine bakıldığında yeraltı kömür ocaklarında çoğunluğu ölüm ve büyük maddi kayıplarla sonuçlanan çok sayıda kaza olduğu görülmektedir. Bu kazaların çok çeşitli sebepleri olmakla beraber, sebeplerin önemli bir çoğunluğunun metan ($CH_4$) ya da grizu ve karbonmonoksit (CO) gibi patlayıcı ve zehirli gazların konsantrasyonlarındaki ani artışlardan ya da çalışanlar için gerekli oksijenin ($O_2$) yetersiz konsantrasyonlara düşmesinden kaynaklandığı bilinmektedir (Aydın ve Barış 2015). Madencilik sektöründe önde gelen sorunlara bakıldığında grizu patlamaları, kömür tozu patlamaları gibi toplu ölümlere yol açan riskler ve bunlar neticesinde ortaya çıkan olumsuz sonuçlarla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Gerek ülkemizde gerekse de dünyada madencilik sektöründe meydana gelmiş büyük iş kazaları incelendiğinde, bu iki unsurun, yani gaz ve toz patlamaları nedeniyle meydana gelmiş kazaların çokluğu, yeraltı madenciliğinin temel sorunları olarak bu iki riske işaret etmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinde hedef önleme ve korunma olduğundan, toplu ölümlere neden olan bu risklerin önlenmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemlidir (Ergun 2007).

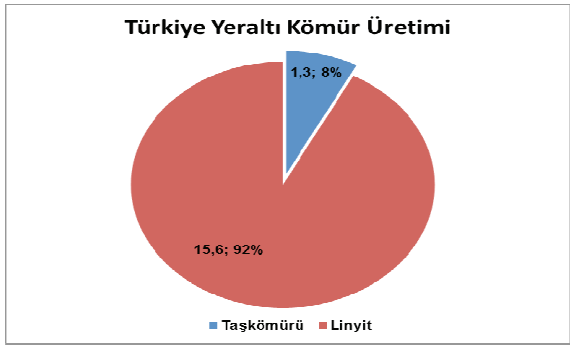
Bilindiği gibi ülkemiz, iş kazalarında dünyada üst sıralarda yer almakta, maden kazaları son yıllarda belirgin olarak artmaktadır. SGK verilerine göre; ülkemizde son 7 yılda (2010-2016) madencilik faaliyetlerinde (Kömür ve linyit çıkartılması + metal cevheri madenciliği + diğer madencilik ve taşocakcılığı) meydana gelen iş kazalarında toplamda 911 maden çalışanı hayatını kaybetmiştir. Bu ölümlü iş kazaları incelendiğinde çoğu yeraltı kömür madenlerinde meydana gelen kazalar olmakla birlikte yaşanan kazalarda en çok görülen kaza sebepleri grizu patlaması, göçük ve yangınlardır. Günümüzde yukarıda sayılan riskli durumların önüne geçilebilmesi için özellikle yeraltı kömür işletmelerinde ocak yangını, grizu patlaması, zehirlenme veya

boğulma vb. tehditlerin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak, ocaklarda sürekli olarak gazların izlenebildiği, kontrol ve erken uyarı sistemlerinin olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, yeraltı madenciliğinde uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinin kullanımı, elektronikteki gelişmelere bağlı olarak oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin kullanımı çoğu gelişmiş ülkelerde yasal bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışma ile yeraltı madenciliği yapılan işletmelerde temel sağlık ve güvenlik önlemlerinin yanı sıra madencilik sektörünün önde gelen sorunlarından gaz patlamalarına karşı yapılacak önleme çalışmalarının ayrıntılı olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

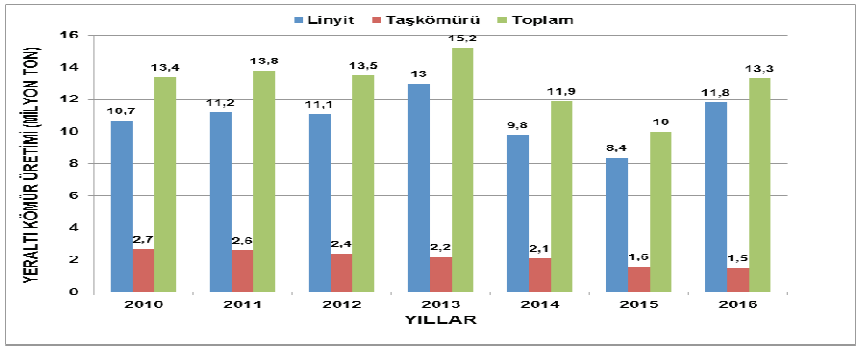
### 1.1. Türkiye'de Kömür Rezervi ve Üretimi

Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe (antrasit) ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit rezervlerinin %7,8'i, linyit ve alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3,2'si ve Antrasit dâhil toplam dünya kömür rezervinin yaklaşık %1,9'u ülkemizde bulunmaktadır. Bununla birlikte linyitlerimizin büyük kısmının ısıl değeri düşük olduğundan termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık % 46'sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri ise Zonguldak ve civarındadır. Linyit/alt bitümlü kömür sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup bu sahalardaki linyit/alt bitümlü kömürün ısıl değerleri 1000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/ kg üzerinde ısıl değerdedir. Ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzasında bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında, -1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş toplam jeolojik rezerv 1,5 milyar ton olup, bunun yaklaşık %50'si görünür rezerv olarak kabul edilmektedir.

2016 yılı itibarıyla ülkemiz rezerv miktarı (linyit ve taşkömürü birlikte) toplamda 16,9 milyar ton civarındadır (TKİ 2016) (Şekil 1). Üretim şekli olarak yeraltı ve açık ocak madenciliğinin yapıldığı ülkemizde, yer altı kömür ocakları ise ağırlıklı olarak Trakya havzası (Edirne, Tekirdağ), Ege havzası (Soma, Gediz, Muğla, Eynez), Karaman Havzası (Karaman, Ermenek) ve Zonguldak'ta (Zonguldak, Bartın) bulunmaktadır. Daha küçük ölçekli Çayırhan, Merzifon, Suluova gibi yer altı maden işletmeleri de vardır. Ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı işletmeciliğiyle yapılan tüvenan kömür üretimi (taş kömürü + linyit birlikte) değerlendirildiğinde bu 7 yıl içerisinde toplamda yaklaşık 76 milyon ton linyit ve 15,1 milyon ton taşkömürü çıkarılmıştır (Şekil 2).




Şekil 1. Ülkemizde 2016 itibarıyla linyit ve taşkömürü rezervi (TKİ 2016).




Şekil 2. Ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde üretilmiş tüvenan kömür miktarı (TKİ 2016, TTK 2016).

## 1.2. Ocak Havasını Oluşturan Gazlar

Maden havası, yer altındaki çalışma alanlarını dolduran, su buharı ve gazların karışımından oluşan neredeyse her zaman tozlu olan bir havadır. Yeraltındaki havanın olumsuz yönde değişimi, genelde oksijen miktarının azalması ve karbondioksit ve diğer gazların artması olarak görülür. Bu değişim, maden havasını kirleterek ortamda yanıcı, boğucu ve zehirli gazların birikmesine yol açar. Yanıcı gazlara, $CH_4$, CO ve hidrojen ($H_2$) örnek verilebilirken; boğucu gazlara karbondioksit ($CO_2$), nitrojen ($N_2$) ve $CH_4$ örnek verilebilir. Zehirli gazlar ise CO, azotun (N) tüm oksitleri, hidrojensülfür ($H_2S$), kükürtdioksit ($SO_2$) vb. gazlardan oluşmaktadır (Durşen ve Yasun 2012).

Madenden dışarı çıkan gaz yorgun, kullanılmış hava olarak adlandırır. Maden havasında bulunan herhangi zehirli veya patlamaya hazır gaz "aktif gaz" olarak adlandırılır. Havanın tehlikeli gazlarla karışması ($CH_4$, CO, $H_2S$ vb.) grizu, kör nefes gibi gazların oluşmasına neden olur. Bunlar çalışan sağlığı ve işletmeler için son derece tehlikeli gazlardır.

*$CH_4$+ Hava:* Çabuk tutuşabilen $CH_4$ bataklık gazı olarak da bilinir. Patlayıcı ve boğucu özelliği olan ve son derece tehlikeli bir gaz olan $CH_4$' ün hava ile karışımı grizu patlaması olarak adlandırılır.

*CO + Hava:* Hafif, özgül ağırlığı havaya yakın ve son derece zehirli bir gaz olan karbonmonoksitin patlayıcı özelliği de vardır. Daha çok kömür madenlerinde görülür.

*$H_2S$ + Hava:* Kükürtlü hidrojen veya hidrojen sülfür son derece zehirli bir gazdır. Çürümüş yumurtaya benzeyen sert bir kokusu vardır. Tehlikeli miktarlarda nadiren görülen hidrojen sülfürün patlayıcı özelliği de vardır.

*CO + $CH_4$+ $CO_2$ + $H_2$ + $N_2$:* Zehirli, boğucu ve patlayıcı ortam oluşturur. Grizu patlamasından sonra ortaya çıkan zehirli gazlar olarak bilinir.

*$CO_2$ + $N_2$:* kör nefes veya kör soluk olarak bilinir. Boğucu bir gazdır ve madende %100 emisyonu mümkündür (Durşen ve Yasun 2012).

Bu kapsamda, yeraltı kömür ocaklarındaki atmosferi güvenli koşullarda tutabilmek için öncelikli gereksinim, ocak havasındaki $O_2$, CO, $CO_2$, $H_2S$ ve $CH_4$ gibi gazların konsantrasyonlarının sürekli ve düzenli olarak izlenmesidir (Dursun vd. 2017a, b; Mallı vd. 2014, Liu vd. 2013). Böylece, elde edilen verilerden ocak havasına ait kısa ve uzun vadeli değişimler izlenebilmekte ve bu da madencilerin bulunduğu tüm ocak kesimlerinde oluşabilecek patlayıcı ve zehirli atmosferlere karşı erken uyarı imkânı sağlamaktadır. Yer altı maden ocaklarında bulunan gazlar ve yarattığı tehlikeler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yeraltı kömür ocaklarında en sık rastlanan gazlar.

| **Gazlar** | **Tehlikeler** |
|---|---|
| Metan ($CH_4$) | Patlama, yanma ve asfiksi (Boğulma) |
| Karbonmonoksit (CO) | Asfiksi (Boğulma), Patlama |
| Karbondioksit ($CO_2$) | Boğucu |
| Hidrojen Sülfür ($H_2S$) | Göz ve solunum yollarında iritasyon |
| Oksijen kıtlığı | Anoksi (Canlı hücrelerin oksijensiz kalma durumu) |
| Dizel motor dumanı, Azot oksitler (NO, $N_2O$, $NO_2$) | Solunum yollarında iritasyon, akciğer kanseri |

### 1.3. Dünyada Gazların Neden Olduğu Büyük Maden Kazaları

Çin, Fransa ve Japonya başta olmak üzere dünyanın birçok ülkesindeki maden ocaklarında meydana gelen kazalarda, binlerce kişi hayatını kaybetmiştir. Tarihte meydana gelen en fazla ölümlü 12 maden kazasında 6 bin 811 maden işçisi yaşamını yitirmiştir. Şimdiye kadarki en çok ölümlü maden kazası, 1942 yılında Çin'de meydana geldi. Çin'deki kazada bin 549 kişi hayatını kaybetmiştir. Maden kazaları

genellikle gaz sıkışması, metan gazı patlaması, karbonmonoksit zehirlenmesi, kömür tozu patlamasından kaynaklandı. Çizelge 2'de Dünya'da meydana gelmiş büyük ölümlü gaz patlamalarının neden olduğu maden kazaları verilmektedir.

Çizelge 2. Dünyada gaz patlamalarının neden olduğu büyük maden kazaları (MSP 2017b).

| Yer | Yıl | Nedeni | Ölü sayısı |
|---|---|---|---|
| Benzihu/ÇİN | 1942 | Gaz ve Kömür Tozu Karışımı Patlaması | 1549 |
| Courrieres/Fransa | 1906 | Yangın/Patlama | 1099 |
| Mitsubişi Hojyo/Japonya | 1914 | Grizu Patlaması | 687 |
| Laobaidong/Çin | 1960 | Grizu patlaması | 684 |
| Mitsui Miike/Japonya | 1963 | Kömür tozu patlaması/CO zehirlenmesi | 458 |
| Senghenydd/Galler | 1913 | Kömür tozu patlaması | 439 |
| Wankie/Zimbabve | 1972 | Gaz patlaması | 426 |
| Dhori/Hindistan | 1965 | Grizu patlaması | 375 |
| Chasnala/Hindistan | 1975 | Grizu patlaması | 372 |
| Oaks/İngiltere | 1866 | Grizu/Kömür tozu patlaması | 361 |
| Monongah/ABD | 1907 | Grizu/Kömür tozu patlaması | 361 |

## 2. TÜRKİYE'DE GAZLARIN NEDEN OLDUĞU ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARININ ANALİZİ

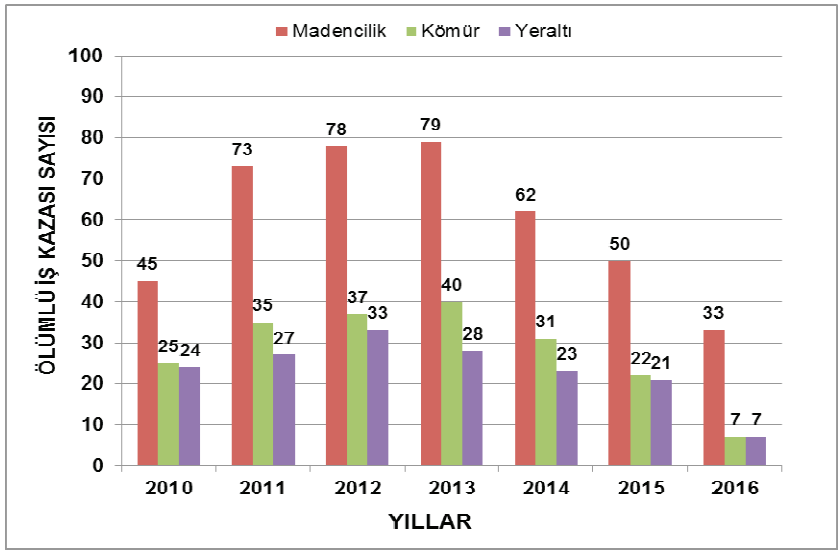
Ülkemizde meydana gelmiş büyük maden kazaları incelendiğinde genelde çok sayıda ölüme neden olan kazaların başında gazların neden olduğu kazalar yer almaktadır. Özellikle metan gazının neden olduğu grizu patlaması başta gelmektedir. Ülkemizde son 30 yıldaki kömür ocaklarında meydana gelen büyük maden kazalarını Çizelge 3'de verilmiştir (TMMOB 2010). Buradan da anlaşılacağı üzere grizu patlaması, yangın ve gaz zehirlenmeleri maden kazalarında ilk sıralarda yer almaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde gazların neden olduğu iş kazaları araştırılmıştır. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK), Maden Mühendisleri Odası, madencilikte meydana gelen iş kazalarını günlük olarak takip eden bazı web sitelerinden (devmadensen.org.tr; madenciyim.com) yararlanarak özellikle gazların neden olduğu iş kazaları incelenmiştir.

2010-2016 yılları arasında madencilik sektöründe (Kömür ve linyit çıkartılması + metal cevheri madenciliği + diğer madencilik ve taşocakcılığı) yaşanan iş kazalarının oranı tüm sektörlerdeki iş kazalarına göre %6,72 oranında olduğu görülmüştür. Madencilik sektöründe ise kömür madenciliğinde yaşanan iş kazalarının oranı %82,96'dır (Çizelge 4). Ölümlü iş kazalarının oranına baktığımızda kömür madenciliğinde %46,90 iken yeraltı kömür madenciliğinde ise bu değer %82,74 oranına yükselmiştir (Şekil 3). (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a)

Çizelge 3. Ülkemizde yaşanan gaz patlamalarının neden olduğu büyük maden kazaları (TMMOB 2010).

| Yer | Yıl | Nedeni | Ölü sayısı |
|---|---|---|---|
| Armutçuk | 7 Mart 1983 | Grizu Patlaması | 103 |
| Kozlu/ | 10 Nisan 1983 | Grizu Patlaması | 10 |
| Yeni Çeltek | 14 Temmuz 1983 | Grizu Patlaması | 5 |
| Amasra | 31 Ocak 1990 | Grizu Patlaması | 5 |
| Yeni Çeltek | 7 Şubat 1990 | Grizu Patlaması | 68 |
| Kozlu | 3 Mart 1992 | Grizu Patlaması | 263 |
| Sorgun | 26 Mart 1995 | Grizu Patlaması | 37 |
| Aşkale | 8 Ağustos 2003 | Grizu Patlaması | 8 |
| Ermenek | 22 Kasım 2003 | Grizu Patlaması | 10 |
| Bayat | 9 Ağustos 2004 | Grizu Patlaması | 3 |
| Gediz | 21 Nisan 2005 | Grizu Patlaması | 18 |
| Dursunbey | 2 Haziran 2006 | Grizu Patlaması | 17 |
| Mustafakemalpaşa | 10 Aralık 2009 | Grizu Patlaması | 19 |
| Dursunbey | 23 Şubat 2010 | Grizu Patlaması | 13 |
| Karadon | 17 Mayıs 2010 | Grizu Patlaması | 30 |
| Kozlu | 8 Ocak 2013 | Grizu Patlaması | 8 |
| Soma | 5 Mayıs 2014 | Grizu Patlaması/Yangın | 301 |
| | | **TOPLAM** | **918** |

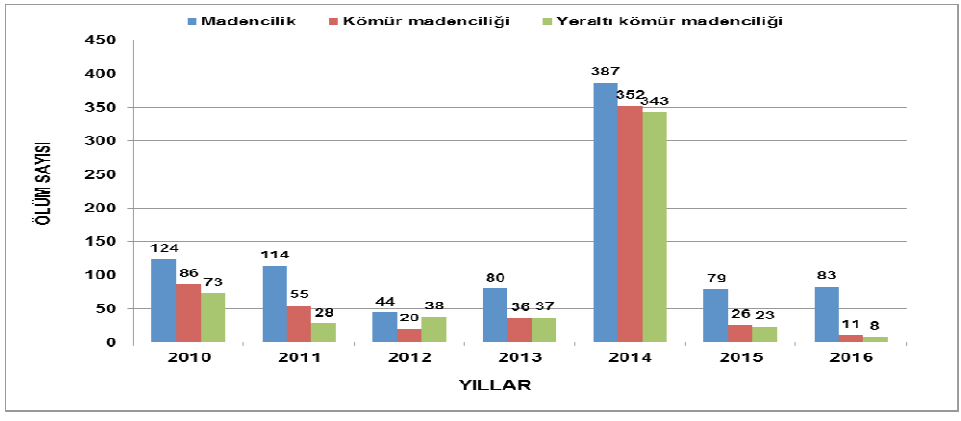



Şekil 3. Ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yaşanan ölümlü iş kazaları sayısı (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a).

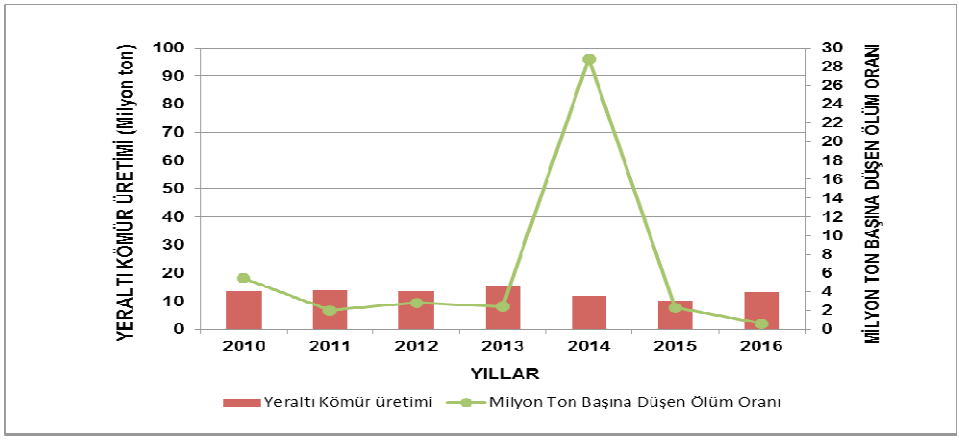
Çizelge 4. 2010-2016 yılları arasında madencilikte yaşanan iş kazaları istatistikleri (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a).

| YILLAR | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Genel İş Kazası Sayısı** | 62903 | 69227 | 74871 | 191389 | 221366 | 241547 | 286068 |
| **Madencilikte Yaşanan İş Kazası** | 9007 | 10368 | 9818 | 13901 | 12613 | 10062 | 11356 |
| **Kömür Madenciliğinde yaşanan iş kazası** | 8150 | 9217 | 8828 | 11285 | 10026 | 7426 | 8274 |
| **Madencilikte Ölümlü İş Kazası Sayısı** | 45 | 73 | 78 | 79 | 62 | 50 | 33 |
| **Kömür Madenciliğinde Ölümlü İş Kazası Sayısı** | 25 | 35 | 37 | 40 | 31 | 22 | 7 |
| **Yeraltı Kömür Madenciliğinde Ölümlü İş Kazası Sayısı** | 24 | 27 | 33 | 28 | 23 | 21 | 7 |
| **Genel Ölüm Sayısı** | 62903 | 69227 | 74871 | 191389 | 221366 | 241547 | 286068 |
| **Madencilikte Ölüm Sayısı** | 124 | 114 | 44 | 80 | 387 | 79 | 83 |
| **Kömür Madenciliğinde Ölüm Sayısı** | 86 | 55 | 20 | 36 | 352 | 26 | 11 |
| **Yeraltı Kömür Madenciliğinde Ölüm Sayısı** | 73 | 28 | 38 | 37 | 343 | 23 | 8 |

İş kazası sonucu yaşanan ölümler değerlendirildiğinde ise tüm kömür madenciliğindeki ölüm oranı %64,32 iken, yeraltı kömür madenciliğinde ölüm oranı ciddi şekilde yükselmiş ve %93,86'lık bir değer ile hemen hemen her iş kazasının ölümle sonuçlandığı gibi bir durum ile karşılaşılmaktadır (Şekil 4). Türkiye'de 2010-2016 yıllarında yeraltı madenciliği ile kömür üretiminde 1 milyon ton başına düşen ölüm oranı en yüksek değere 2014 yılında ulaşmış ve bu değer 28,824 olarak bulunmuştur (Şekil 5).

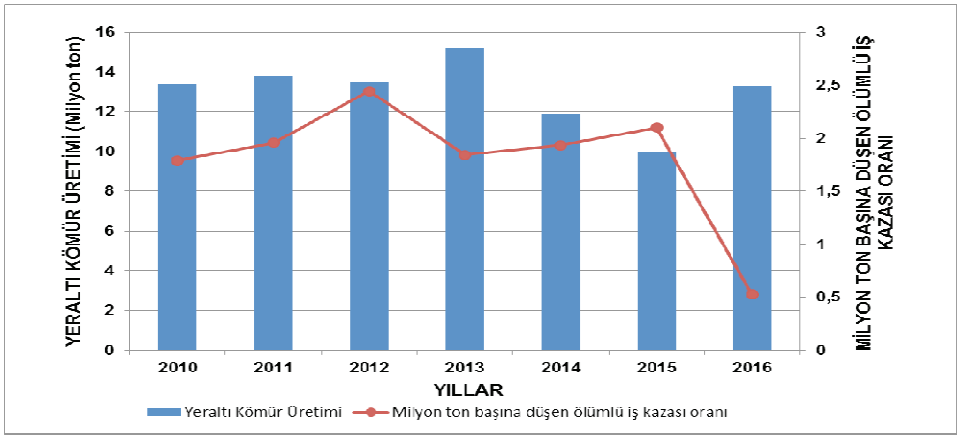



Şekil 4. Ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde yaşanan ölüm sayıları (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a).

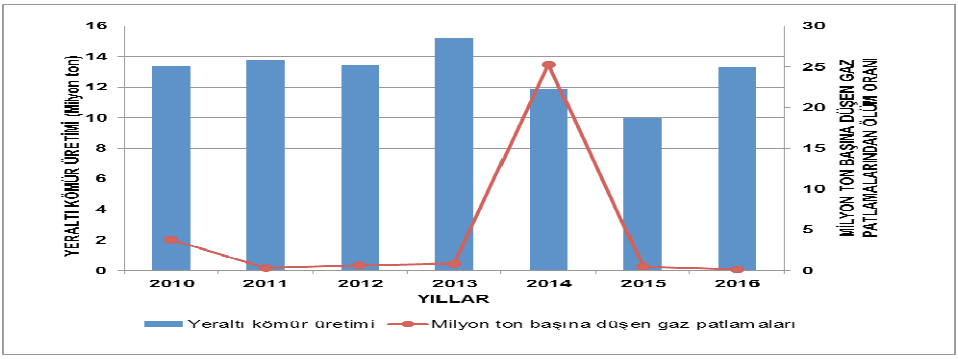



Şekil 5. Türkiye'de 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde (linyit, taşkömürü) kömür üretimi ve 1 milyon ton başına düşen ölüm oranı (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a, TKİ 2016, TTK 2016).

Şekil 6 ve 7'de ise yeraltı kömür madenlerinde ölümlü iş kazası ile gaz patlamaları sonucu yaşanan ölümlerin 1 milyon ton kömür üretimine karşın oranları verilmektedir. Bu değerlere göre 1 milyon ton başına ölümlü iş kazası oranı 2,44 ile 2012 yılında en yüksek değere ulaşırken, 1 milyon ton başına gazlardan kaynaklı ölüm oranı ise 25,294 ile 2014 yılında en yüksek değer olmuştur.




Şekil 6. Türkiye'de 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde (linyit, taşkömürü) kömür üretimi ve 1 milyon ton başına düşen ölümlü iş kazası oranı (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a, TKİ 2016, TTK 2016).



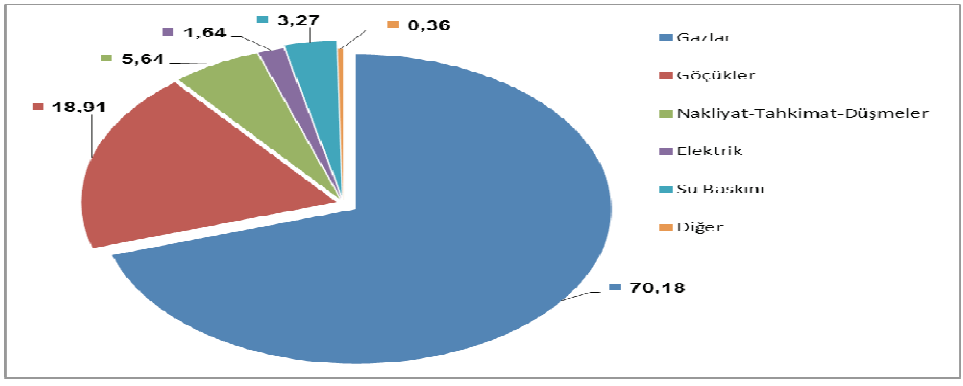

Şekil 7. Türkiye'de 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde (linyit, taşkömürü) kömür üretimi ve 1 milyon ton başına düşen gazların neden olduğu ölüm oranı (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a, TKİ 2016, TTK 2016).

Yeraltı kömür madenciliğinde meydana gelen iş kazaları genellikle; grizu patlamaları, gaz ve toz patlamaları, tahkimat ve maden göçükleri, ocak yangınları, nakliyat sırasında meydana gelen kazalar, enerji ve mekanizasyona ilişkin kazalar, ocak gazlarının yol açtığı zehirlenmeler, su baskınları, elektrik, patlayıcı madde kullanımı ve diğer riskler olarak sınıflandırılabilir. Ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan ölümlü iş kazası sayısını 163 ve ölüm sayısı toplamda 550'dir. Bu ölümlerden 386 tanesi gazlardan kaynaklanan ölümler olarak meydana gelmiştir (Çizelge 5). Ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan ölümlü iş kazalarının sebeplerini araştırdığımızda gazlardan kaynaklanan kazalar (grizu patlaması, zehirlenme-boğulma, yangın ve patlama), göçükler, nakliyat-tahkimat-düşmeler, su baskını, elektrik akımı ve diğer kazalar olarak altı farklı grupta toplandığı görülmektedir. Bu kaza sebeplerinden en çok ölüme neden olan kaza sebebi gaz patlamaları kazalardır ve ölüm oranı %70,18 ile birinci sıradadır. Daha sonra sırasıyla göçükler, nakliyat-tahkimat-düşmeler, su baskını ve diğer kaza sebepleri nedeniyle ölümler yaşanmıştır (Şekil 7).

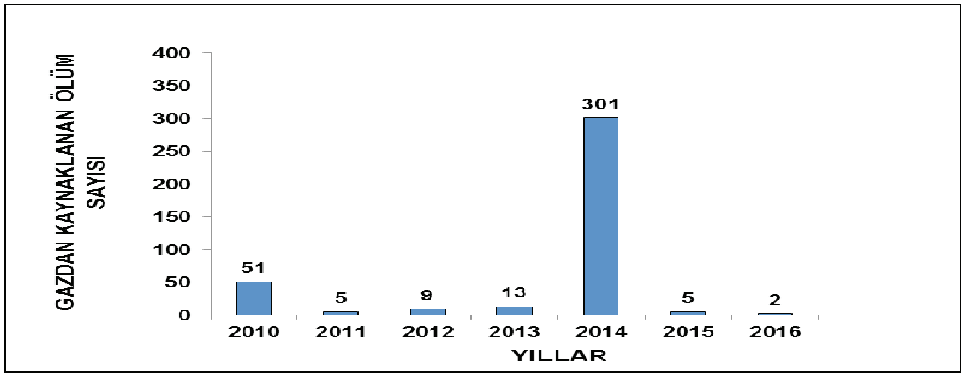
Çizelge 5. 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan kaza tipleri ve ölüm oranları (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a).

| **Kaza Tipi** | **Ölüm Sayısı** | **Oran (%)** |
|---|---|---|
| Gazlar | 386 | 70,18 |
| Göçükler | 104 | 18,91 |
| Nakliyat-Tahkimat-Düşmeler | 31 | 5,64 |
| Elektrik | 9 | 1,64 |
| Su baskını | 18 | 3,27 |
| Diğer | 2 | 0,36 |
| **Toplam** | **550** | **100** |

Gazlardan kaynaklanan ölümlerin yıllara göre dağılımını incelediğimizde 2010 yılında %69,86, 2011 yılında %17,86, 2012 yılında %23,68, 2013 yılında %35,14, 2014 yılında %87,76, 2015 yılında %21,74 ve 2016 yılında %25 oranında olduğu görülmektedir (Şekil 8). 2014 yılında Soma'da yaşanan kaza nedeniyle en yüksek oran bu yılda gerçekleşmiştir. Ayrıca Dursunbey ve Karadon'daki grizu patlamaları nedeniyle yaşanan ölümler nedeniyle ikinci en yüksek oran 2010 yılında meydana gelmiştir.




Şekil 7. 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde yaşanan kazaların sebepleri (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a).




Şekil 8. 2010-2016 yılları arasında gazların neden olduğu ölümler (SGK 2016, Dev Maden Sen 2017, MSP 2017a).

## 3. GAZ PATLAMALARINA KARŞI ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

Madencilik sektöründe önde gelen sorunlara bakıldığında grizu patlamaları toplu ölümlere yol açan riskler ve bunlar neticesinde ortaya çıkan olumsuz sonuçlarla sıklıkla karşılaşılmaktadır (İphar 2010, Güyagüler 2002, Chunli vd. 2014, Wang vd. 2014, Xian-gong vd. 2009, Yin vd. 2017). Gerek ülkemizde gerekse de dünyada

madencilik sektöründe meydana gelmiş büyük iş kazaları incelendiğinde, bu unsurun, yani gaz patlamaları nedeniyle meydana gelmiş kazaların çokluğu, yeraltı madenciliğinin temel sorunları olarak bu riske işaret etmektedir (Yin vd. 2012, Chen vd. 2013, Wang vd. 2014, Chenli vd. 2014, Fu vd. 2017). İş sağlığı ve güvenliğinde hedef önleme ve korunma olduğundan, toplu ölümlere neden olan bu riskin önlenmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemlidir. Metan gazının yeraltında varlığı birçok madende değiştirilemez bir gerçektir. Bu nedenle madende mevcut olan metanla çalışmayı öğrenmek, metan tehlikesinin doğuracağı risklerin farkında olarak gereken önlemleri almak kazasız bir çalışma ortamı sağlar. Bunun için gerekli bilgileri toplamak, bu patlamaların engellenmesi ve de doğuracağı olumsuz sonuçların en aza indirilmesi için yapılması gereken çalışmaların önceden belirlenerek zamanında yapılması gerekmektedir. Gaz patlamalarının neden olacağı kazaları en aza indirerek önceden önlemler alarak önlemek bu çalışmamızda vurgulanmıştır.

Gaz patlamalarının önüne geçebilmek için bazı alınması gereken tedbirleri sıralarsak;

- Yeraltı kömür madenlerinde gaz izleme sistemleri kurulmalı ve anormal gaz birikimi yani ortamdaki gaz konsantrasyonu belirlenen sınır değerleri aşması durumunda ani olarak tespit edilerek zamanında ele alınmalıdır.
- Patlamaya karşı koruma kontrol ekipmanları ve güvenlik denetimlerinin arttırılması ve gaz patlama önleyici donanım ve emniyet tedbirleri arttırılmalı.
- Yeraltı kömür ocaklarında gaz patlamasını önleme ve kontrol teknolojisi araştırılarak sürekli gaz izleme ve hızlı veri alma sistemleri güçlendirilmelidir.
- Gazların belirlenen sınır değerleri aşması halinde acil durum sinyali ilgili birimlere otomatik olarak gönderilmeli ve tehlikeli durumlar patlamalar olmadan önce belirlenmelidir.
- Patlamaya neden olacak ateşleme kaynaklarının kontrolü ve yönetimi güçlendirilmeli, gazı patlayıcı ateşleme ekipmanları ortadan kaldırılmalı, elektrikli ekipmanlarında elektrik ark ve kıvılcımını önlemek için exproof malzemeler kullanılmalıdır.
- Çalışanlar gazların tehlikesi konusunda eğitilmesi gerekmektedir.
- Gaz konsantrasyonunun ocak içerisinde ani yükselmesini engellemek için alınması gereken en öncelikli önlemlerden biri de kontrol sondajlarının yapılmasıdır. Bu sondajların uygulama mekanizması detaylandırılabilir. Merkezi izleme istasyonundaki gaz ölçüm aletlerinin yerleri, gaz yoğunluğuna göre ayarlanmalı, patlamalara karşı yapılan yangın barajları (su ve toz) ayrıntılı olarak mevzuata girmeli, havalandırma sistemleri bilgisayar destekli tasarımlarla oluşturulmalı ve gerçekçi olduğu bilimsel olarak kanıtlanmalı, yönetmelikte adı geçen gazların sınır değerlerinin emniyet yönünde uluslararası standartlara uygun olacak şekilde yeniden düzenlenmeli ve yönetmelikte olmayan gazlarında sınır değerlerin mevzuata eklenmesi gereklidir.

## 4. SONUÇ

Bu çalışma ile ülkemizde 2010-2016 yılları arasında yeraltı kömür madenlerinde gaz patlamalarının neden olduğu ölümlü iş kazaları araştırılmış ve analiz edilerek bazı tavsiyelerde bulunulmuştur. Son 7 yılda ülkemizde ölümlü iş kazalarının birincil nedeni gaz patlamaları olmuştur. Genellikle grizu patlaması sonucu ciddi boyutlarda ölümler gerçekleşmiştir. 2014 yılında Soma'da yaşanan maden kazası (grizu patlaması ve yangın) ülkemizde şimdiye kadar meydana gelmiş en büyük ölümlü maden kazası olarak kayıtlara geçmiştir. Son 7 yılda gazların neden olduğu (grizu patlaması, zehirlenmeler, yangınlar ve patlamalar) kazalar sonucunda toplamda 386 maden çalışanı hayatını kaybetmiştir. Bu kazalar sonucunda ciddi ekonomik kayıplarda yaşanmıştır. Ülkemizde yine son 25 yılda yaşanan büyük maden kazaları incelendiğinde yeraltı kömür madenciliğinde gaz patlamalarının neden olduğu kazalar birinci sırada yer almakta ve çok sayıda ölümlerin yaşandığı kazalar olarak yer almaktadır. Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda yeraltı madenciliğinde en önemli risklerin başında gaz patlamalarının geldiği açıkça ortaya konulmuştur. Bu gerçeği ülkemiz ve dünya istatistikleri de desteklemektedir. Madencilik sektöründe toplu ölümler çoğu kez bu gaz patlama risk faktörünün istenmeyen sonuçlar doğurması sonucunda gerçekleşmiştir. Bu nedenle bu çalışmamızda ülkemizde yaşanan gaz patlamalarının neden olduğu iş kazaları irdelenerek bazı tedbirler ve tavsiyeler ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak dünyada ve ülkemizde, özellikle kömür madenlerinde meydana gelen gaz patlamalarının asıl nedeni, ortamdaki gaz konsantrasyonlarının belirlenen sınır değerlerin üzerinde seyrettiğinin zamanında tespit edilmemesidir. Bu nedenle az ya da çok miktarda gaz geliri olan yeraltı kömür işletmelerinde, gaz izleme ve erken uyarı sistemlerinin kurulup ocak havasının, madenin ömrü boyunca izlenmesi ve kayıt altına alınması gerekmektedir. Tehlikeli gazlar ve yangın için erken uyarı sistemi sayesinde, hem ocak güvenliğini sağlamak hem de ilgili kanun ve yönetmeliklere uygun bir sistem kurmak gerekmektedir. Yeraltında, özellikle kömür madenciliğinde alınabilecek en akılcı tedbir ve çözüm, gazların oranlarını izlemek ve sürekli kontrol altında tutulabilmesini sağlamaktır.

## KAYNAKLAR

Aydın, S., Barış, K. 2015. Yeraltı Kömür Ocaklarında Gaz İzleme Ağları Sensör Ölçümlerinin ve Konumlarının Doğruluğunun Analizi: TTK Kozlu Müessesesi, Madencilik Dergisi, 54, 2, s. 19-32.

Chen, H., Qi, H., Feng, Q. 2013. Characteristics of Direct Causes and Human Factors in Major Gas Explosion Accidents in Chinese Coal Mines: Case Study Spanning the Years 1980-2010, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, pp. 38-44.

Chunlia, Y., Xiangchunb, L., Yanbinc, R., Yiliangb, Z., Feifeib, Z. 2014. Statistical Analysis and Countermeasures of Gas Explosion Accident in Coal Mines. Procedia Engineering, 84, pp. 166-171.

Dev Maden Sen, 2017. Türkiye Devrimci Maden Arama ve İşletme İşçileri Sendikası-Dev Maden Sen, http://www.devmadensen.org.tr/k/aciklamalar/kaza-raporlari/, Erişim Tarih: Aralık 2017.

Dursun, A.E., Terzioğlu, H., Yalçın, G., Ağaçayak, AC. 2017a. Yer altı Kömür Ocaklarında Zararlı Gazların Tespiti İçin Yeni Bir Erken Uyarı Sisteminin Geliştirilmesinin Önemi, 6. Uluslararası Meslek Yüksekokulları Sempozyumu, UMYOS 2017, Bosna Hersek, s. 615-622.

Dursun, A.E., Terzioğlu, H., Yalçın, G., Selek, M., Çalkaya, M. 2017b. Yeraltı Kömür Ocaklarında Metan ($Ch_4$) Gazının Tespiti İçin Yeni Bir Erken Uyarı Sisteminin Geliştirilmesi, Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2017, Adana, s. 534-522.

Durşen, M., Yasun, B. 2012. Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı, http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG15yeraltinda_bulunan_zararli_gazlar_ve_metan_drenaji.pdf, Erişim Tarih: Aralık 2017.

Ergun, A.R. 2007. Yeraltı Maden İşletmelerinde Gaz Ve Toz Patlamaları Ve Önlemler, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 79 s.

Fu, G., Cao, J., Wang, X. 2017. Relationship Analysis of Causal Factors in Coal and Gas Outburst Accidents Based on the 24 Model, Energy Procedia, 107, pp. 314-320.

Güyagüler, T., Bozkurt R., Önder, Ü.Y. 1993. Kömür Madenciliğinde İş Kazalarının İstatistiksel ve Ekonomik Analizi, Türkiye 13. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Madencilik Kongresi, İstanbul, s. 102-113.

Güyagüler, T. 2002. Türkiye'de Meydana Gelen Grizu Patlamalarının İrdelenmesi Ve Önlem Önerileri, Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, Türkiye, s. 45-51.

İphar, M. 2010. İhmale Gelmeyen Gerçek: Grizu, Madencilik Türkiye Dergisi*,* 6, s. 26-32.

Khanzode, V.V., Maiti J, Ray P.K. 2011. A Methodology for Evaluation and Monitoring of Recurring Hazards in Underground Coal Mining. Safety Science, 49, pp.1172–1179.

Küçük, F.Ç., Ilgaz, A. 2015. Causes of Coal Mine Accidents in the World and Turkey, Turk Thorac J, 16(Suppl 1), pp. 9-14.

Liu X., Zhao X., Zhang Q. 2013. Study on Early Warning System of Coal and Gas Outburst, *The* Open Electrical and Electronic Engineering Journal, 7, pp.116-122.

Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A. 2014. Human Health and Safety Risks Management in Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS. Science of the Total Enviroment, 488-489, pp.85-99.

Maiti, J., Khanzode, V.V. 2009. Development of a Relative Risk Model for Roof and Side Fall Fatal Accidents in Underground Coal Mines in India. Safety Science, 47(8), pp.1068-1076.

Mallı T., Kun, M., Kös,e H. 2014. Yeraltı Kömür İşletmelerinde Gaz İzleme Ve Erken Uyarı Sistem Teknolojisinin İş Kazalarının Önlenmesindeki Önemi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 46, 16, s. 59-67.

MSP, 2017a. Madencilik Sektörü Portalı- MSP, http://www.madenciyim.com/forums/forumdisplay.php/166-Türkiye-deki-Maden-Kazaları Erişim Tarih: Aralık 2017.

MSP, 2017b. Madencilik Sektör Portalı- MSP, http://www.madenciyim.com/forums/showthread.php/10257-Dünyadaki-En-Büyük-Maden-Kazaları-ve-Hayatını-Kaybedenler Erişim Tarih: Aralık 2017.

Sari, M., Duzgun, H.S.B., Karpuz, C., Selcuk, A.S. 2004. Accident Analysis of Two Turkish Underground Coal Mines. Safety Science, 42, 8, pp.675-690.

Sari, M., Selçuk, A.S., Karpuz, C., Düzgün, H.S.B. 2009. Stochastic Modeling of Accident Risks Associated with an Underground Coal Mine in Turkey. Safety Science, 47, 1, pp.78-87.

SGK, 2016. Sosyal Güvenlik Kurumu. SGK İstatistik Yıllıkları, http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari, Erişim Tarih: Aralık 2017.

TKİ, 2016. Türkiye Kömür İşletmeleri- TKİ,http://www.tki.gov.tr/depo/2017/2016faaliyetraporu.pdf, Erişim Tarih: Aralık 2017.

TTK, 2016. Türkiye Taşkömürü Kurumu-TTK, http://www.taskomuru.gov.tr/file/MBYU.2017.PDF, Erişim Tarih: Aralık 2017.

TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, 2010. Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu. s. 152. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/9bd3e8809c72d94_ek.pdf, Erişim Tarih: Aralık 2017.

Wang, L., Cheng, YP., Liu, HY. 2014. An Analysis of Fatal Gas Accidents in Chinese Coal Mines, Safety Science, 62, pp. 107-113.

Yin, W., Fu, G., Yang, C., Jiang, Z., Zhu, K., Gao, Y. 2017. Fatal Gas Explosion Accidents on Chinese Coal Mines and the Characteristics of Unsafe Behaviors: 2000–2014, Safety Science, 92, pp.173-179.

Xian-gong, L., Xue-feng, S., Xian-fei, M. 2009. Fatal Gas Accident Prevention in Coal Mine: a Perspective from Management Feedback Complexity, Procedia Earth and Planetary Science, 1, pp. 1673-1677.

# İŞ KAZALARI VE MESLEK HASTALIKLARINDA MADENCİLİK SEKTÖRÜNÜN YERİ - TTK KARADON ÖRNEĞİ

## *THE ROLE OF MINING SECTOR IN OCCUPATIONAL ACCIDENTS AND DISEASES – TTK KARADON EXAMPLE*

**Seyhan Önder*, Fatma Günaydın, Hayrettin Pusat, Mustafa Önder**
*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

**ÖZET** Birçok çalışanın iş kazaları sonucu yaralanarak, yaşamını yitirerek ya da meslek hastalıklarına yakalanarak zarar görmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kavramının oluşmasına ve gelişmesine neden olmuştur. İSG çalışmalarının amacı, çalışanları iş kazası ve meslek hastalıklarından korumak, zarar verici etkileri en alt düzeye indirerek çalışanların daha güvenli ve sağlıklı bir ortamda çalışmalarını sağlamaktır. Bunların yansıması olarak işletmelerde verimlilik artışı da sağlanmaktadır. Bu çalışmada, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistiklerine göre, 2011-2016 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları incelenmiştir. İşletmenin bulunduğu Zonguldak bölgesi ise ayrıca değerlendirilmiştir. Zonguldak TTK Karadon işletmesinde 2013-2016 yılları arasında meydana gelen iş kazaları ise yaş, meslek, yaralanan uzuv, kaza nedeni ve gün kayıpları verileri dikkate alınarak istatistiksel olarak incelenmiştir.

**ABSTRACT** Many employees have been injured or died by occupational accidents or formation of occupational diseases, resulted in the formation and development of Occupational Health and Safety (OSH) concept. The aim of OHS activities is to protect employees from occupational accidents and occupational diseases and to minimize harmful effects so that employees can work in a safer and healthier environment. As a reflection of these, productivity increase is also provided in enterprises. In this study, according to the Social Security Institution (SGK) statistics, occurred in Turkey between the years 2011-2016 of occupational accidents and occupational diseases have been studied. The Zonguldak region where the enterprise is located has also been evaluated. Zonguldak TTK occupational accidents in the period of 2013-2016 in Karadon Enterprises were examined statistically by considering age, occupation, injured part of body, accident reason and lost days data.

* *sonder@ogu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

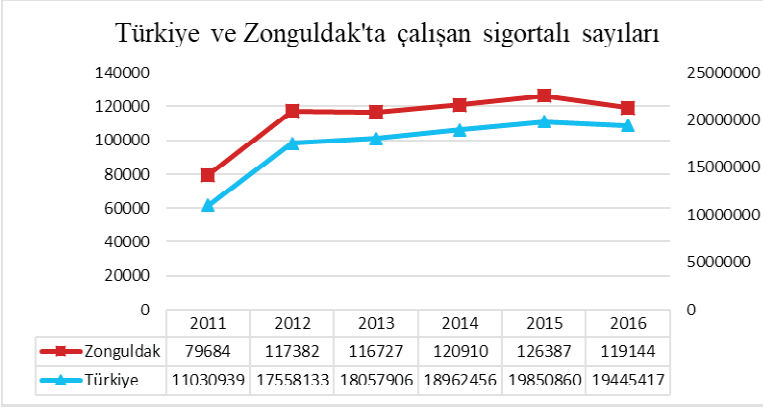
Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesi, makineleşme, yeni üretim yöntemleri, işe yabancılaşma ve işyerine ait olma duygusunun zayıf olması gibi nedenler iş kazaları ve meslek hastalıklarını beraberinde getirmektedir. Meydana gelen kazaların ve hastalıkların sonucunda yaşanan maddi ve manevi kayıplar ürkütücü boyutlara ulaşmaktadır. İSG çalışmalarının amacı çalışanları iş kazası ve meslek hastalıklarından zarar verici etkileri en alt düzeye indirgeyerek çalışanların daha güvenli ve sağlıklı bir ortamda çalışmalarını sağlamaktır. Bunların yansıması olarak işletmelerde verimlilik artışı da sağlanmaktadır.

Yıllara göre meydana gelen iş kazaları faaliyet gruplarına göre incelendiğinde, en çok iş kazalarının, inşaat, metal/makine ve maden sektörlerinde meydana geldiği görülmektedir. 2016 SGK istatistiklerine göre 286 068 iş kazası meydana gelmiş, bu kazaların 55 949'u (% 19.56) metal ürünleri imalatında, 44552'si (% 15.57) inşaat sektöründe ve 11792'si (% 4.1) maden sektöründe yaşanmıştır. Meslek hastalıkları incelendiğinde 2016 yılında bildirilen toplam 597 meslek hastalığının 84'ü (% 14) metal ürünleri imalatında, 79'u (% 13.23) maden sektöründe, 30'u (% 5) inşaat sektöründe meydana gelmiştir. 2016 yılında 1405 ölümlü iş kazası meydana gelmiş olup, bu ölümlerin 496'sı (% 35) inşaat sektöründe, 83'ü (% 6) maden sektöründe, 85'i (% 6) metal ürünleri imalatında meydana gelmiştir (SGK 2018).

Risk değerlendirme yönetmeliğinde daha önce meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıları tehlike belirlemede kaynak olarak kullanılabilmektedir. Hatta aynı üretim, yöntem ve teknikleri ile üretim yapan farklı bir işletmede meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları da tehlike belirlerken değerlendirilebilmektedir (RG 2012). Bu çalışmada amaçlanan, gerçekleşmiş olan kazalardan hareketle, işletmelerin kendilerine özgü durumlarını değerlendirerek daha sonra meydana gelebilecek kazaları proaktif bir yaklaşımla iyileştirme çalışmaları yaparak önleyebilmek, daha güvenli ve sağlıklı işyeri ortamlarının oluşmasını sağlamaktır. Bu çalışmada, SGK istatistiklerine göre, 2011-2016 yılları arasında ülkemizde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları, genel ve madencilik sektörü için ayrı ayrı incelenmiştir. İşletmenin bulunduğu Zonguldak bölgesi ise ayrıca değerlendirilmiştir. Zonguldak TTK Karadon işletmesinde 2013-2016 yılları arasında meydana gelen iş kazaları ise kazalananların yaşı, meslek grupları, yaralanan uzuv, kaza nedeni ve gün kayıpları dikkate alınarak incelenmiştir.

## 2. TÜRKİYE GENELİ VE ZONGULDAK İLİ İSG İSTATİSTİKLERİ

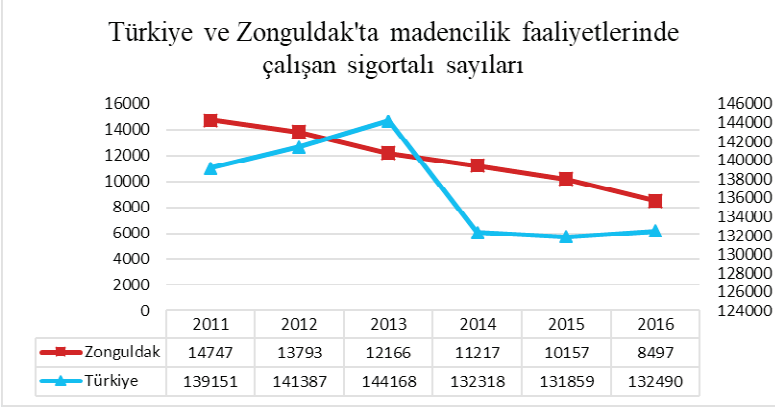
Şekil 1 de 2011-2016 yılları arasında Türkiye genelinde ve Zonguldak'ta çalışan sigortalı işçi sayısı dağılımı verilmiştir (SGK 2018).




Şekil 1. Türkiye'de ve Zonguldak'ta 2011-2016 yılları arasında çalışan sigortalı işçi sayıları (SGK 2018).

Şekil 1 incelendiğinde, 2011-2016 yılları arasında ülkemizde 11 030 939-19 445 417 arasında değişen sigortalı işçinin çalışmakta olduğu görülmektedir. Çalışan sayısının Türkiye genelinde 2011 yılına göre 2016 yılında % 76.28 oranında arttığı, Zonguldak'ta ise % 49.52 oranında arttığı söylenebilir. Türkiye genelinde çalışanların yaklaşık % 0.6-0.7'sinin Zonguldak ilinde istihdam edildiği belirlenmiştir. 2011-2016 yılları arasında Türkiye'de sigortalı çalışan sayısı artmakta iken Zonguldak'ta 2012 yılında bir artış, diğer yıllarda ise yaklaşık olarak aynı seviyelerde kaldığı gözlenmektedir.

Şekil 2'de Türkiye'de ve Zonguldak'ta 2011-2016 yılları arasında madencilik sektöründe çalışan sigortalı işçi sayıları verilmiştir.

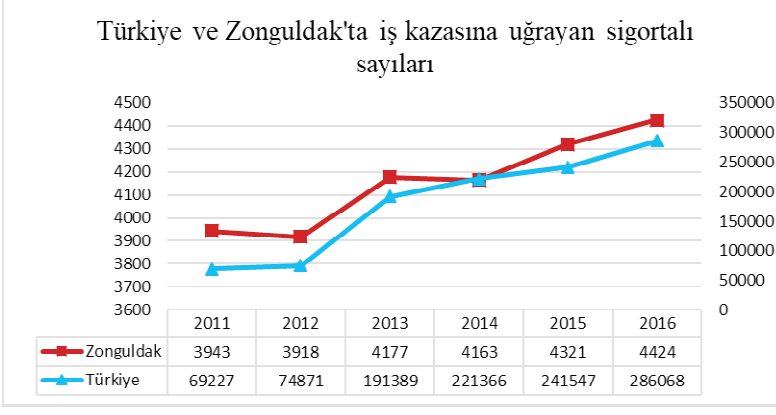



Şekil 2. Türkiye'de ve Zonguldak'ta 2011-2016 yılları arasında madencilik sektöründe çalışan sigortalı işçi sayıları (SGK 2018).

Şekil 2 incelendiğinde, 2011 yılında Türkiye'de madencilik faaliyetlerinde 139 151 kişinin çalıştığı, 2013 yılına kadar sigortalı işçi sayısının arttığı ve 144 168 kişi olduğu gözlenmektedir. 2016 yılına gelindiğinde ise çalışan sayısının 2013 yılına göre % 12.34 oranında azalarak 132 490 kişi olduğu gözlenmektedir. Zonguldak'ta ise 2011 yılında madencilik faaliyetlerinde 14 747 kişi çalışırken, çalışan sayısının her yıl azaldığı ve 2011 yılına göre 2016 yılında % 42.38 oranında azalarak 8 497 kişiye düştüğü gözlenmektedir. 2011-216 yılları arasında Türkiye'de madencilik faaliyetlerinde çalışan sigortalı sayısının %10.60-6.41'inin Zonguldak'ta istihdam edildiği belirlenmiştir.

2011-2016 yılları arasında Türkiye'de ve Zonguldak'ta madencilik sektöründe çalışan sigortalı işçi sayısı ilk üç yıl artmış fakat son üç yıla baktığımızda çalışan sayısının giderek azaldığı gözlenmektedir. Çalışan sayısının azalmasında yaşanılan iş kazalarının yanı sıra kapatılan mikro ölçekli iş yerlerinin neden olduğu söylenebilir.

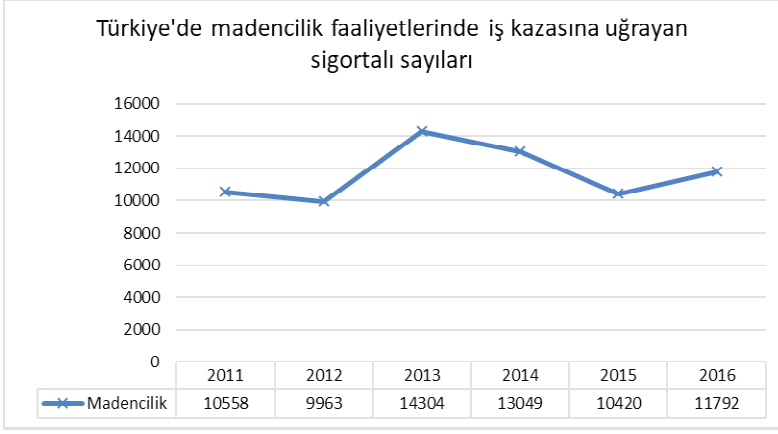
Şekil 3'de Türkiye'de ve Zonguldak'ta 2011-2016 yılları arasında iş kazasına uğrayan sigortalı çalışan işçi sayıları verilmiştir.




Şekil 3. Türkiye'de ve Zonguldak'ta 2011-2016 yılları arasında iş kazasına uğrayan sigortalı çalışan işçi sayıları (SGK 2018).

Şekil 3 incelendiğinde, 2011 yılında Türkiye'de iş kazasına uğrayan sigortalı çalışan sayısının 69 227 olduğu, 2016 yılında ise 2011 yılına göre % 313.23 oranında artarak, 286 068 sigortalı çalışanın iş kazasına uğradığı gözlenmektedir. Zonguldak'ta ise 2011 yılında 3 943 sigortalı çalışanın iş kazasına uğradığı, 2011 yılına göre 2016 yılında % 12.19 oranında artarak 4 424 sigortalı çaşılanın iş kazasına uğradığı gözlenmektedir.

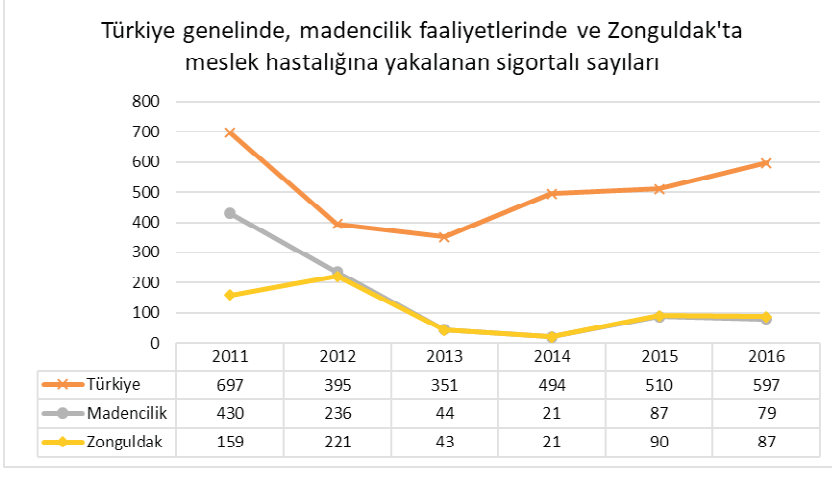
Şekil 4'de Türkiye'de madencilik faaliyetlerinde yıllara göre iş kazasına uğrayan sigortalı işçi sayıları verilmiştir.




Şekil 4. Türkiye'de madencilik faaliyetlerinde yıllara göre iş kazasına uğrayan sigortalı işçi sayıları (SGK 2018).

Şekil 4 incelendiğinde, 2011-2016 yılları arasında madencilik faaliyetlerinde en çok iş kazasının 2013 yılında meydana geldiği görülmektedir. Şekil 3 ve 4 birlikte değerlendirildiğinde, iş kazalarına uğrayan sigortalı sayılarının artış nedeni olarak, özellikle 2012 yılının ikinci yarısında İSG kanunun çıkması ile birlikte kaza bildirimlerinin yasal zorunluluk haline gelmesi ve denetimlerde tespit edilmesi durumunda idari para cezalarının uygulanması söylenebilir.

Şekil 5'de Türkiye geneli, Zonguldak'ta ve madencilik faaliyetlerinde meslek hastalığına yakalanan sigortalı sayıları verilmiştir.

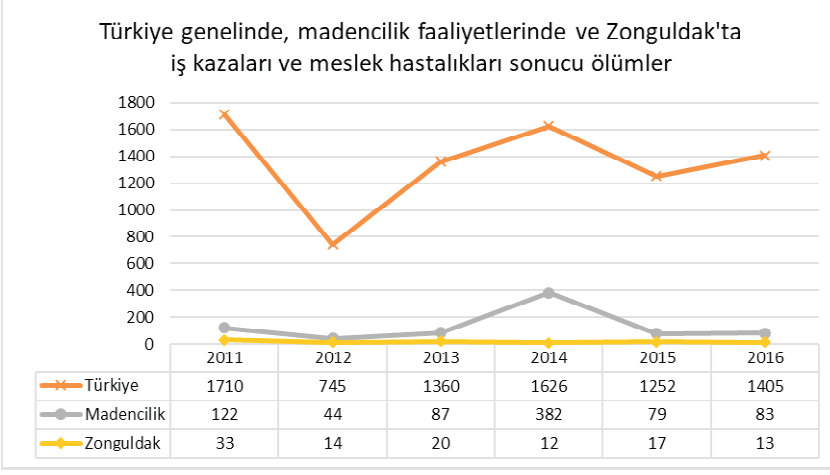



Şekil 5. Türkiye geneli, Zonguldak'ta ve madencilik faaliyetlerinde meslek hastalığına yakalanan sigortalı sayıları (SGK 2018).

Şekil 5 incelendiğinde, Türkiye'de 2011 yılında 697 kişi meslek hastalığına yakalanırken, izleyen yıllarda meslek hastalıklarında öncelikle bir azalma sonrasında artış eğilimine girdiği görülmektedir. Zonguldak'ta meydana gelmiş olan meslek hastalıklarının büyük bir çoğunluğunun madencilik faaliyetlerinden kaynaklandığı da söylenebilir. Madencilik kaynaklı meslek hastalıkları sayısında 2011 yılına göre 2016 yılında % 81.62 oranında azalma gözlemlenmektedir. Türkiye'de 2011-2016 yılları arasında meslek hastalığına uğrayan sigortalı çalışanların % 13.23-61.7'si Zonguldak ilinde istihdam edilen çalışanlar olduğu belirlenmiştir. Zonguldak'ta 2011 yılında 159 kişi meslek hastalığına yakalanırken 2016 yılında bu oran % 45.28 oranında azalarak 87 olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye genelinde meslek hastalıklarına uğrayan sigortalı sayılarında değişkenlik gözlenmekte iken son yıllarda madencilik sektöründe ve Zonguldak ilinde, meslek hastalığına uğrayan sigortalı çalışan sayısında belirgin bir düşüşün olduğu gözlenmektedir. Maden işyerlerinin 6331 sayılı İSG kanuna göre "çok tehlikeli iş yerleri" sınıfında yer alarak denetim ve kontrollerin etkin bir biçimde yapılarak gerekli tedbirlerin alınması, çalışma koşulları uygun olmayan işyerlerinin kapatılması bu düşüşün nedeni olarak gösterilebilir.

Şekil 6'da Türkiye genelinde, madencilik faaliyetlerinde ve Zonguldak'ta iş kazaları sonucu yaşanan ölüm sayıları verilmiştir.



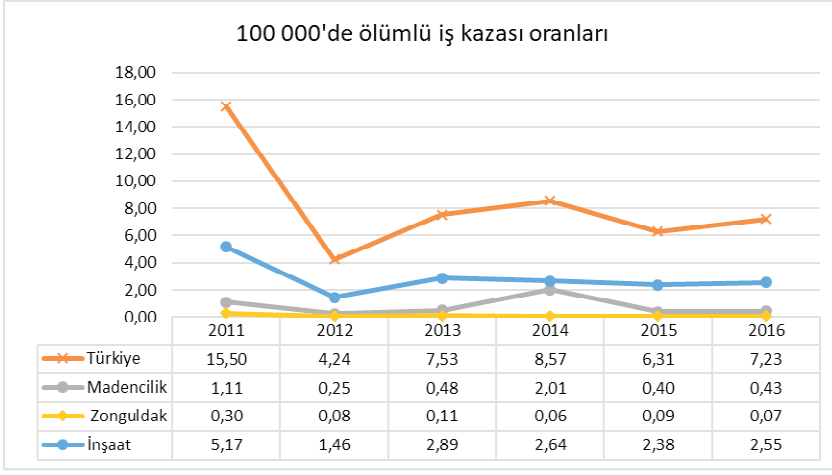

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Türkiye | 1710 | 745 | 1360 | 1626 | 1252 | 1405 |
| Madencilik | 122 | 44 | 87 | 382 | 79 | 83 |
| Zonguldak | 33 | 14 | 20 | 12 | 17 | 13 |

Şekil 6. Türkiye genelinde, madencilik faaliyetlerinde ve Zonguldak'ta iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu yaşanan ölüm sayıları (SGK 2018).

Şekil 6 incelendiğinde, Türkiye genelinde iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu ölümlerde 2011 yılına göre bir azalma olduğu ancak istikrarlı bir düşüşün olmadığı tespit edilmiştir. Türkiye geneline göre madencilik faaliyetlerinde ölüm oranı %5.9 ile % 7.13 arasında değişmektedir. Soma kazasının yaşandığı 2014 yılında bu oran

% 23.49 olarak belirlenmiştir. Türkiye geneline göre Zonguldak'ta ölüm oranları % 0.7 ile % 1.9 arasında, madencilik faaliyetlerine göre Zonguldak'ta ölüm oranları ise 2014 yılı haricinde, % 15.66 ile % 31.8 arasında değişmektedir.

Şekil 7'de ilgili yıllarda tüm sigortalı çalışanlar dikkate alındığında, Türkiye genelinde, madencilik faaliyetlerinde, Zonguldak'ta ve inşaat sektöründe 100 000'de ölümlü iş kazası oranları verilmiştir.




| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Türkiye | 15,50 | 4,24 | 7,53 | 8,57 | 6,31 | 7,23 |
| Madencilik | 1,11 | 0,25 | 0,48 | 2,01 | 0,40 | 0,43 |
| Zonguldak | 0,30 | 0,08 | 0,11 | 0,06 | 0,09 | 0,07 |
| İnşaat | 5,17 | 1,46 | 2,89 | 2,64 | 2,38 | 2,55 |

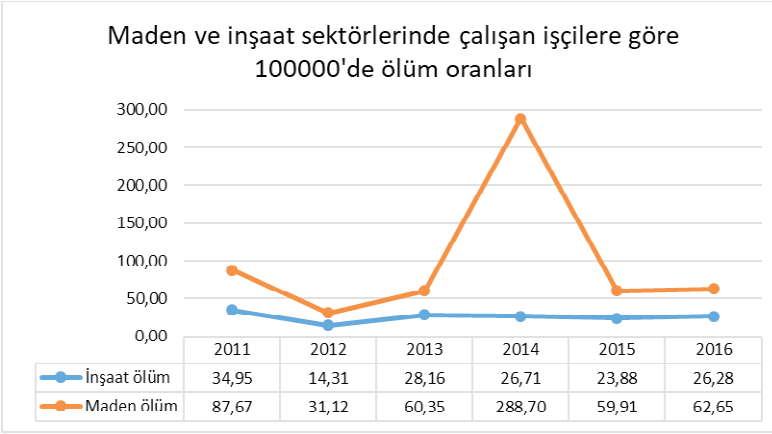
Şekil 7. Türkiye genelinde, madencilik faaliyetlerinde, Zonguldak'ta ve inşaat sektöründe 100 000'de ölümlü iş kazası oranları (SGK 2018).

Şekil 7 incelendiğinde, 100 000'de ölümlü iş kazası oranlarının 2011 yılına göre önemli oranda azaldığı dikkati çekmektedir. 2002-2007 yılları arasında Eurostat verilerine göre 100 000'de ölümlü iş kazası oranlarında Türkiye için en düşük oran 2007 yılında 12.3 olarak açıklanmıştır (ÇSGB 2012). Bu açıdan değerlendirildiğinde ülkemiz için özellikle bu konuya önem verilerek kanun çıkarılan 2012 yılı ve sonrasında bu konuda olumlu bir gelişmenin olduğunu söylemek yanlış bir yaklaşım olmayacaktır.

Şekil 8'de çalıştıkları sektördeki sigortalı sayıları dikkate alındığında, maden ve inşaat sektöründe 100 000'de ölüm oranları verilmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde, inşaat sektöründe çalışanlara göre maden sektöründe çalışanların 100 000'de ölüm oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. 2016 yılında, inşaat sektöründeki 1 887 099 sigortalı çalışandan 496 çalışan iş kazalarında hayatını kaybetmiştir. Bu sektörde 100 000 çalışan olsaydı oran 26.28 olarak gerçekleşecekti. Aynı yaklaşımla maden sektöründe 132 490 sigortalı çalışandan 83 çalışan iş kazalarında hayatını kaybetmiştir ve 100 000'de ölüm oranı 62.65 olarak

belirlenmiştir. 2014 yılı dışında, maden sektöründe yaşanan 100 000'de ölüm oranları inşaat sektörüne göre 2 -2.5 kat daha fazladır.




| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| İnşaat ölüm | 34,95 | 14,31 | 28,16 | 26,71 | 23,88 | 26,28 |
| Maden ölüm | 87,67 | 31,12 | 60,35 | 288,70 | 59,91 | 62,65 |

Şekil 8. Maden ve inşaat sektörlerinde çalışan işçilere göre 100 000'de ölüm oranları (SGK 2018).

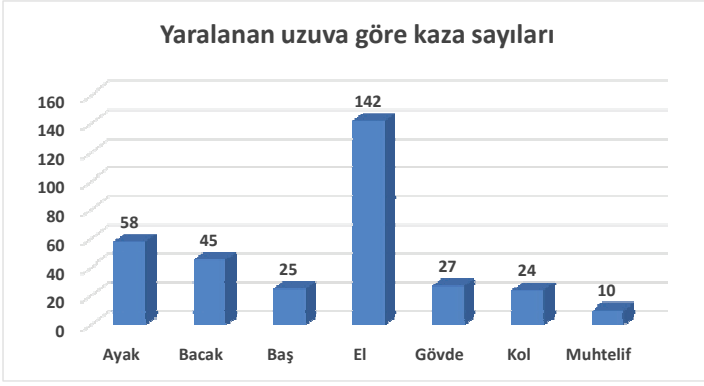
## 3. TTK KARADON İŞLETMESİ 2013-2016 YILLARI ARASINDA İŞ KAZASI İSTATİSTİKLERİ

TTK'ya bağlı Amasra, Armutçuk, Karadon, Üzülmez ve Kozlu olmak üzere 5 işletme bulunmaktadır. Bu işletmelerde benzer üretim teknikleri ile kömür üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle örnek bir işletme olarak Karadon seçilmiş ve burada meydana gelen kazalar çeşitli açılardan değerlendirilerek bir genelleme yapılmaya çalışılmıştır. Göz önüne alınan kaza verilerine ait detaylar yaralanan uzuv, gün kayıpları, meslek grupları, kaza nedenleri, kaza nedenine göre gün kaybı ve yaş grubudur.

Şekil 9'da 2013-2016 yılları arasında yaralanan uzuva göre kaza sayıları dağılımı verilmiştir.

Şekil 9 incelendiğinde, 2011-2016 yılları arasında çalışanların en çok el bölgesinden yaralanma meydana geldiği gözlenmektedir. Bunu ayak ve bacak yaralanmaları takip etmektedir.

Şekil 10'da kaza sayılarının yaralanan uzuva göre gün kaybı sayıları verilmiştir. Gün kaybı değerleri, kazaya uğrayan çalışanların aldıkları gün kayıplarının ortalamasıdır.

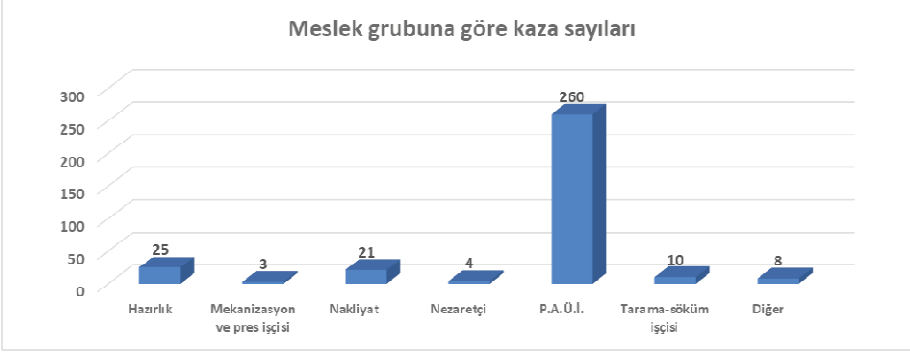



Şekil 9. Yaralanan uzuva göre kaza sayıları (Pusat 2017).

Şekil 10. Kaza sayılarının yaralanan uzuva göre gün kayıpları (Pusat 2017).

Şekil 10 incelendiğinde, 2013-2016 yılları arasında iş kazalarının yaralanan uzuva göre gün kayıplarında bacak bölgesi yaralanmaları en fazla gün kaybı yaşanan bölge olmakla birlikte ortalama 80 gün kaybı olmuştur. Şekil 8'de en çok el bölgesinden yaralanmalar meydana gelirken gün kaybı sayısı en çok bacak bölgesinde olduğu gözlenmektedir. Bu veriler doğrultusunda el bölgesinde ki yaralanmaların ilk yardım gerektiren kazalar olduğu, daha az gün kaybına neden olduğu fakat bacak bölgesi yaralanmalarının kişinin çalışmasını önemli ölçüde kısıtladığından istirahat gerektirdiği ve daha çok gün kaybına neden olduğu söylenebilir.

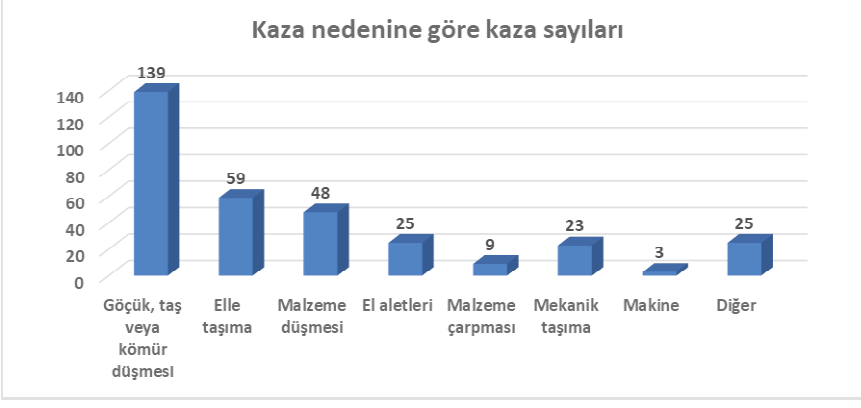
Şekil 11'de meslek grubuna göre kaza sayıları verilmiştir.




Şekil 11. Meslek grubuna göre kaza sayısı dağılımları (Pusat 2017).

Şekil 11 incelendiğinde, en çok iş kazası yaşayan meslek grubu P.A.Ü.İ (pano ayak üretim işçisi) olduğu gözlenmektedir. P.A.Ü.İ'nin ardından en çok iş kazası yaşayan meslek grubu nakliyat grubu gelmektedir.

Şekil 12'de kaza nedenlerine göre kaza sayıları verilmiştir.




Şekil 12. 2013-2016 yılları arasında kaza nedenine göre kaza sayıları (Pusat 2017).

Şekil 12 incelendiğinde, en önemli kaza nedeninin göçük,taş veya kömür düşmesi olduğu gözlenmektedir. Bunu elle taşıma ve malzeme düşmesi izlemektedir. Bu bölgede jeolojik süreksizliklerinin çok fazla olması göçük olaylarını artırmaktadır. Şekil 13'de kaza nedenlerine göre gün kaybı sayıları verilmiştir. Gün kaybı değerleri kazaya uğrayan kişi sayılarının aldıkları gün kayıplarının ortalamasını içermektedir.

Şekil 13. Kaza nedenine göre gün kaybı sayıları (Pusat 2017).

Şekil 13 incelendiğinde, kaza nedenine göre en fazla gün kaybı göçük, taş veya kömür düşmesi nedeniyle olduğu gözlenmektedir. Bunu makine ve el aletleri kaynaklı kazaların izlediği söylenebilir. Şekil 14'de iş kazalarının yaşa göre dağılımı verilmiştir.

Şekil 14. Yaş dağılımına göre kaza sayıları (Pusat 2017).

Şekil 14 incelendiğinde, 2013-2016 yılları arasında TTK Karadon işletmesinde meydana gelen iş kazalarında 30-38 yaş aralığındaki çalışanların daha çok iş kazası geçirdiği gözlenmektedir. Yaş ilerledikçe vücudun fizyolojik yapısındaki değişikliklerden kaynaklanan ağır çalışma ortamına uyum sağlayamama gibi nedenlerden kaynaklandığı söylenebilir.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye geneli sigortalı sayısına bakıldığında, 2011 yılından itibaren her yıl sigortalı çalışan sayısı artmıştır. Zonguldak'ta ise tam tersi olarak sigortalı sayısında azalma olmuştur. Madencilik faaliyetlerinde hem Türkiye hem de Zonguldak'ta sigortalı çalışan sayıları azalmaktadır. İş kazaları değerlendirildiğinde 2011 yılına göre 2016 yılında Türkiye genelinde % 313.23 oranında, Zonguldak'ta ise % 12.19 oranında artış belirlenmiştir. Madencilik sektöründe çalışanların meslek hastalıklarıyla ilgili olarak 2011 yılına göre 2016 yılında % 81.62 oranında azalma belirlenmiştir. Türkiye genelinde iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu ölümlerde 2011 yılına göre bir azalma olduğu ancak istikrarlı bir düşüşün olmadığı tespit edilmiştir. 100 000'de ölümlü iş kazası oranlarının 2011 yılına göre Türkiye geneli, maden ve inşaat sektörlerinde önemli oranda azaldığı belirlenmiştir. Maden sektöründe yaşanan 100 000'de ölüm oranları inşaat sektörüne göre 2-2.5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.

TTK Karadon işletmesinde gerçekleşen iş kazaları incelendiğinde, çalışanların kazalarda en fazla ellerinden daha sonra ayak ve bacaklarından yaralandıkları belirlenmiştir. En fazla kazaya maruz kalan çalışanların üretim işçileri olduğu, kazaların en fazla göçük, taş veya kömür düşmesi nedeniyle olduğu belirlenmiştir.

Gün kayıplarına göre değerlendirme yapıldığında, çalışanlar en fazla ellerinden yaralanmalarına rağmen, en fazla gün kaybının bacak yaralanmalarında olduğu belirlenmiştir. El yaralanmalarının bacak bölgesine göre fazla gün kaybı oluşturmayarak çalışanların kısa sürede işlerine dönebildikleri sonucu çıkarılabilir. Bacak yaralanmalarının sayısı ele göre daha az olmasına rağmen gün kaybının fazla olması da el bölgesine göre fiziksel işlevin daha uzun sürede yerine gelmesi olabilir. Göçük, taş veya kömür düşmesi nedenli kazalar en fazla gün kayıplı kazalar olarak belirlenmiştir. 30-38 yaş aralığındaki çalışanların daha çok iş kazası geçirdiği belirlenmiştir.

İş kazalarının meydana gelmesinde, teknik, sosyal, psikolojik ve fizyolojik pek çok etken bulunmaktadır. Çalışanın kendisi, işyerindeki çalışma arkadaşları, çalıştığı işyeri, çevresi, kullandığı makine ve malzemeler, araç gereçlerin her biri iş kazasının nedeni olabilir. Bu faktörler birbiri ile etkileşim halindedir. Kaza nedenleri, literatürde güvensiz koşul ve güvensiz hareketler olarak ikiye ayrılmaktadır. Güvensiz koşullar, fiziksel ve mekanik çevre faktörleridir. Bunlar çalışanların dışında oluşan koşullardır. Fiziksel çevre, güvensiz koşulların ortaya çıkmasında tek faktör olarak değerlendirilmemekte, çalışanların fiziksel ve psikolojik özelliklerinin de etkili olduğu kabul edilmektedir. Güvensiz hareketler ise çalışanların bilinçli ya da bilinçsiz davranışlarıdır. İş yerinde meydana gelen kazalar bu iki başlık altında incelenerek, risk değerlendirme çalışmaları gerekli disiplin ve titizlikle yapılarak iş yerlerindeki tehlike ve riskler belirlenmeli, gerekli idari ve teknik önlemler alınarak çalışanları konuyla ilgili bilgilendirerek iş kazaları ve meslek hastalıkları önlenebilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmamıza olan katkılarından dolayı TTK çalışanlarına teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

ÇSGB, 2012. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Art Ofset Matbaacılık Ltd. Şti., ISBN:978-975-455-176-1.

Pusat, H. 2017. TTK Karadon İşletmesinde 2013-2016 Yılları Arasında Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi, 45 s.

R.G. 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. Kanun No: 6331, Resmi Gazete, Sayı: 28339 Erişim Tarihi: 30.6.2012.

SGK, 2018. Sosyal Güvenlik Kurumu, SGK İstatistik Yıllıkları, http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari

# GÜRÜLTÜ MARUZİYETİNİN İNCELENMESİ: GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

## *INVESTIGATION OF NOISE EXPOSURE: WESTERN LIGNITE CORPORATION CASE*

**Ali Ekrem Arıtan**
*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*

**Nurten Şensöğüt**
*A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Kütahya*

**Cem Şensöğüt***
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Ülkemizin enerji talebindeki artış, termik santrallere yakıt sağlayan yeraltı/açık kömür ocaklarının önemini de arttırmaktadır. Artan üretim miktarları ile birlikte üretim için kullanılan donanım sayısı da artmaktadır. Artış beraberinde birçok problemi getirmektedir. Bu problemlerden en önemlisi çalışan sağlığına olan etkileridir. Sağlık açısından ele alındığında ise gürültü işyerlerinde büyük sorun oluşturmaktadır. Gürültü günümüz işletmelerinde, iş sağlığı ve güvenliği açısından karşılaşılan en büyük fiziksel risk etmenlerinden birisidir. Bu sorun genellikle göz ardı edilmekte ve çalışanlarda ilerleyen yıllarda kendisini göstermektedir. Geri dönüşü olmayan işitme kayıplarına yol açabilmektedir. Burada öncelikle çalışılan ortamın takibi yani ölçümlerin yapılması ve sonucunda önlemlerin alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada Garp Linyitleri İşletmesi'nde (GLİ); yeraltı, yerüstü ve kömür hazırlama tesisinde gürültü ölçümleri yapılmış ve kişisel maruziyet açısından değerlendirmelerde bulunulmuştur.

**ABSTRACT** The increase in the energy demand of Turkey also increases the importance of underground/open pit coal mines supplying coal to thermal power plants. Along with increased production quantities, the number of equipment used for production is also increasing. This increase brings with it many problems. The most important of these problems are the effects on the occupants' health. When considered from the point of view of employee's health, noise is a big problem in working places. Noise is one of the biggest physical risk factors in occupational health and safety in today's working world. This problem is often overlooked and shows its effects on the employees in the coming years. It can lead to irreversible hearing loss. It is an urgent issue to observe the working environment together with taking the necessary precautions as a result. In the present study, noise measurements were made in underground, over ground premises and coal preparation facilities of Western Lignite Corporation (WLC), and individual exposure assessments were made.

* *sensogut@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

Gün geçtikçe teknoloji ilerlemektedir. Bu ilerlemeyle birlikte enerji ihtiyacı da artmaktadır. Ülkemizin önemli maden kaynaklarından birisi olan kömür, enerji üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Günümüz ülkemiz enerji üretiminde devlet politikası, termik santrallerin artırılması yönündedir. Bunun sonucu olarak da kömür üretiminde önemli artışlar gerçekleşecektir.

Kömür üretimi yapan işletmelerde, iş sağlığı ve güvenliği açısından sorunlara bakıldığında birçok farklı problem görülmektedir (toz, titreşim, termal konfor, gürültü, aydınlatma vb). Gürültü maruziyeti sorunu mekanik aletlerin kullanıldığı yani mekanizasyonun gittikçe arttığı tüm ocaklar için artan problem olmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesinde, bazı yeraltı, yerüstü tesisleri ve kömür hazırlama tesislerinde oluşan gürültünün ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonucu olarak da gürültünün değerlendirilmesi ve bu problemle başa çıkmak için alınabilecek önlemlerden bahsedilmiştir.

## 2. GÜRÜLTÜ

### 2.1. Tanımı

Genel olarak maddenin titreşimi ve bu titreşimin; hava, su gibi bir ortam aracılığı ile kulağa iletilmesi ses; hoşa gitmeyen ve rahatsız edici seslerde gürültü olarak tanımlanır. Gürültü, sesin kontrolsüz bir formudur. Teknik açıdan ses ve gürültü arasında bir fark yoktur. (MEGEP 2011, Soydaş 2007).

20 Hz – 20000 Hz arasındaki frekanslara sahip sesleri, sağlıklı ve genç bir insan kulağı duyabilmektedir. Bu bölgeye "işitilebilir frekans aralığı" denmektedir. Duyma eşiği altı sesler 0 Hz ile 16 Hz frekans aralığındaki sesleri, frekansı 20000 Hz'den yüksek olan sesler ise duyma eşiği üstü ses olarak tanımlanmaktadır (Yüceer 2001, Erdem vd. 2016).

Dr. Robert Koch, günümüzden bir asır önce gürültü ile ilgili çok doğru bir tespit yapmış, "Bir gün gelecek insanlar, kolera ve veba gibi gürültüye karşı da amansız bir mücadele verecekler" demiştir (Utku 2006).

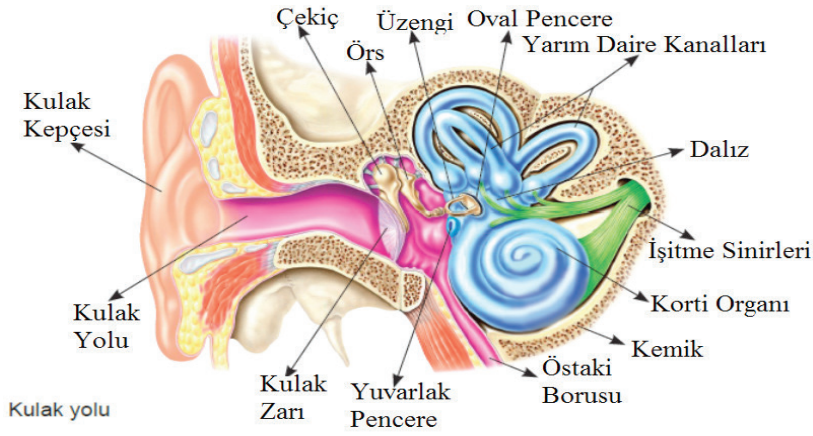
Genel anlamda önemli faktör, toplam gürültüye maruz kalma süresi, yani maruz kalmanın seviyesi ve uzunluğudur. Tabii ki 85 dB (A) değerini aşan uzun süreli ses maruziyeti potansiyel olarak tehlikelidir ve maruziyet süresi ile de ilişkilidir (Robinson 1987, Dobie 1993).

## 2.2. Gürültünün İnsan Üzerindeki Etkileri

Madencilik faaliyetleri her safhasında istenmeyen oranlarda gürültü ile her an karşı kaşıya kalınmakta ve bu sürenin maruziyet değerlerini aşması halinde ise maden çalışanlarında fizyolojik-psikolojik ve işitme duyuları üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Şensöğüt 1998, Sensogut 2007, Çınar ve Şensöğüt 2009, Çınar ve Şensöğüt 2017).

### *2.2.1. İşitmeye Etkileri*

Gürültünün işitme duyusunda oluşturduğu olumsuz etkiler, anlık ya da zaman içerisinde ortaya çıkmaktadır. Ani ve yüksek bir sesin kulak zarını parçalaması ya da hassas korti organının (Şekil 1) fizyolojik yapısını düzelmeyecek şekilde bozması ani oluşan etkilerdir ve çınlama, ağrı, işitmenin azalması gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Sürekli olan ve patlayıcı tarzda olmayan gürültünün oluşturduğu etki ile kronik akustik diye adlandırılan travma ortaya çıkmaktadır (Çetin 2000, Güner 2000, Kadiroğulları 2016).




Şekil 1. Kulağın yapısı.

### *2.2.2. Fizyolojik ve Psikolojik Etkiler*

Fizyolojik tepkiler; İnsan vücudunun sürekli ya da ani oluşan yüksek seslere karşı istem dışı tepki göstermesi olarak tanımlanır (Kadiroğulları 2016).

Gürültülü ortamlarda uzun yıllar çalışan kişiler arasında yapılan araştırmalarda çalışanların, uyku kalitesi, psikososyal tıbbi belirtileri ve duygusal durumları araştırılmış, kişilerde depresyon, yorgunluk, baş ağrısı ve nevroz mide bozuklukları sıklıkla görülmüştür (Boşat 2013).

### 2.3. Ülkemizde Gürültü İle İlgili Yasal Mevzuat

28.07.2013 tarihli ve 28721 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren "Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik" ile Gürültü problemi yasal düzenleme altına alınmıştır. Bu maruziyetle ilgili olarak yönetmelikte belirtilen Maruziyet eylem ve maruziyet sınır değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Maruziyet değerleri.

| | | |
|---|---|---|
| En düşük maruziyet eylem değerleri: (LEX, 8saat) | 80 dB(A) veya (Ptepe) = 112 Pa | 135 dB(C) re. 20 µPa |
| En yüksek maruziyet eylem değerleri: (LEX, 8saat) | 85 dB(A) veya (Ptepe) = 140 Pa | 137 dB(C) re. 20 µPa |
| Maruziyet sınır değerleri: (LEX, 8saat) | 87 dB(A) veya (Ptepe) = 200 Pa | 140 dB(C) re. 20 µPa. |

Ayrıca işveren maruziyetin önlenmesi ve azaltılması ile ilgili olarak, risklerin kaynağında kontrol edilmesini, işyerinde gerçekleştirilen risk değerlendirmesini de ele alarak, teknik gelişmeleri dikkate alıp, gürültüye maruziyetten kaynaklanan risklerin kaynağında yok edilmesini veya en aza indirilmesini sağlar. Ayrıca yönetmeliğin 8, 9, 10 ve 11 inci maddelere göre hangi tedbirlerin alınacağını belirler (Gürültü Yönetmeliği 2013).

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Materyal

Gürültü ölçümleri, Kütahya İl sınırları içerisinde bulunan, kömür üretimi yapan Garp Linyitleri İşletmesinde yapılmıştır. Tesiste; yeraltı, yerüstü tesisleri ve lavvar bölümlerinde örnek çalışma alanları seçilerek ölçümler alınmıştır.

Tesisteki gürültü düzeyi "Testo 815 Gürültü Seviyesi Ölçüm Cihazı" ile yapılmıştır (Şekil 2). Cihazla ilgili bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Cihaz, ölçüm yapılan alanların kararlı bir gürültüye sahip olması nedeni ile 'Slow' (yavaş) modunda ve A ağırlıkta kullanılmıştır. Kararlı gürültüye sahip alanlarda yapılan ölçümlerde 'Slow' ya da 'Fast' konumu arasında istatistiksel bir değişiklik gözlenmemiş olup, farklılıklar kararsız gürültü ölçümlerinde ortaya çıkmaktadır. Yapılan ölçümlerde TS 2607 ISO 1999 standardı kullanılmıştır.

Şekil 2. Testo 815 gürültü seviyesi ölçüm cihazı.

Çizelge 2. Testo 815 gürültü seviyesi ölçüm cihazı özellikleri.

| | |
|---|---|
| Ölçüm aralığı | 30 - 130 dB |
| Frekans aralığı | 31,5 Hz … 8 kHz |
| Doğruluk | ±1,0 dB |
| Çözünürlük | 0,1 dB |
| Ölçüm hızı | 5 sn |
| Zaman ağırlıklandırma | Hızlı 125 msn / Yavaş 1 sn |

### 3.2. Yöntem

Yağışlı ve 5 m/sn'den yüksek hızda rüzgâr olan ortamlarda ölçüm yapılmaması ile birlikte, ölçüm alanındaki hafif bir rüzgârın dahi ölçüm sonuçlarını etkileyeceği bilinmektedir. Ayrıca gürültü ölçümünden önce ve ölçümler tamamlandıktan sonra ortamdaki arka plan gürültüsü ölçülerek kontrol edilmeli, eğer ölçülen düzeyler ile arka plan gürültüsü arasındaki fark 10 dB'den fazla ise herhangi bir işlem yapmaya gerek bulunmamaktadır (Arıtan vd. 2011).

Ayrıca, TS 2607 ISO 1999 standardında belirtildiği gibi mikrofon konumu, dış kulak seviyesine 10 cm uzaklıkta ve ses basıncı emilimini önleyecek şekilde yan tutularak, ölçüm yapılmıştır. İş makinelerindeki ölçümlerde ise gürültü ölçümü, çalışanın/operatörün emniyetli biçimde çalışmasını engellemeyecek biçimde, çalışanın/operatörün kulağına en yakın noktadan yapılmıştır. Çalışmayı temsil edecek uzunlukta ve tam bir döngüyü sağlayacak şekilde ölçüm süreleri uygulanmıştır.

## 4. BULGULAR

Çalışanların maruz kaldıkları gürültü değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. GLİ çalışanlarının maruz kaldıkları gürültü ölçüm değerleri.

| Yer | Yapılan İş | Ölçüm Sonucu (Leq, dBA) | Düşük/Yüksek |
|---|---|---|---|
| **Yeraltı** | Kazı İşçisi | 89,1 | Yüksek |
| | Barutçu | 81,3 | Düşük |
| | Kesici Operatörü | 91,8 | Yüksek |
| | Kulikar Operatörü | 87,3 | Yüksek |
| **Yerüstü** | Hizar Atölyesi | 87,9 | Yüksek |
| | Motor Deneme | 102,3 | Yüksek |
| | Motor Yıkama Bölümü | 92,1 | Yüksek |
| | Buharlı Yıkama | 82,8 | Düşük |
| **Kömür Hazırlama Tesisi** | Döner Kırıcı Giriş | 90,1 | Yüksek |
| | Vagon Dolum | 70,2 | Düşük |
| | 1. Kat Elek Önü | 91,7 | Yüksek |
| | Elek | 97,8 | Yüksek |

Yapılan ölçümler sonucunda, özellikle yerüstü tesislerinde, motor bakım atölyesinde gürültü probleminin büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Kapalı ortamda yapılan bakımlar sırasında çalıştırılan motorların ortamda yüksek seviyede gürültü oluşturduğu görülmüştür.

En yüksek ikinci sıradaki gürültü değeri ise kömür hazırlama tesisi elek yakınında ölçülmüştür. Elekler çalışmaları sırasında dengesiz hareketlenme sergiledikleri için bu gürültüyü oluşturmaktadırlar.

Yeraltında ise kesici operatörünün en yüksek gürültüye maruz kaldığı görülmektedir.

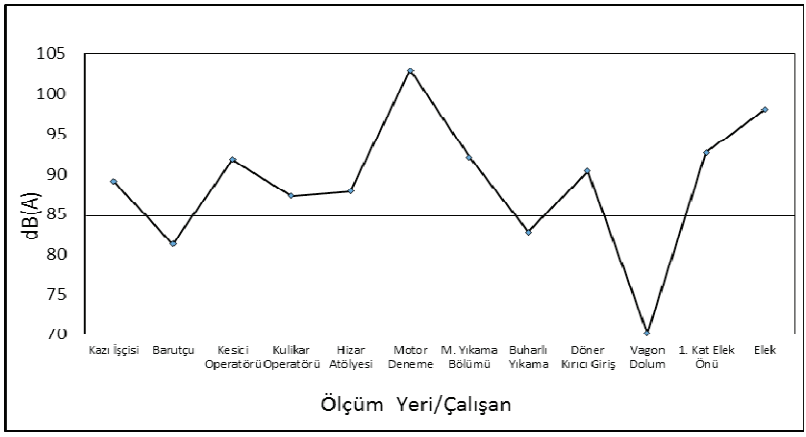
Ölçüm yapılan bölümlerde, barutçu, buharlı yıkama ve vagon dolum çalışanları haricindeki tüm çalışanlar, en yüksek maruziyet eylem değerinin üstünde gürültüye maruz kaldıkları görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz endüstriyel uygulamaları, oldukça yüksek düzeyde mekanizasyona doğru gitmektedir. Madencilik sektörü de makineleşmenin dışında kalamamaktadır. Bu durum üretim performansını artırırken, önemli iş sağlığı problemlerinden birisi olan gürültüyü de artırmaktadır.

Sadece gürültülü çalışan makineleri kullanan çalışan/operatörler etkilenmemektedir. Aynı işyerinde çalışan diğer çalışanlarda olumsuz yönde etkilenmektedir. İşitme kaybı gibi gürültü kaynaklı problemlerin önlenmesi için maden işyerlerindeki gürültü kaynakları tespit edilmeli, ölçümler yapılmalı, gürültü haritaları çizilmeli ve ölçümler belirli aralıklarla tekrarlanarak, haritalar güncellenmelidir (Erdem vd. 2016).

Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi, yeraltı, yerüstü ve kömür hazırlama tesislerinde yapılan gürültü ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Gürültü ölçümleri toplam 12 adet gürültüye maruz kalan çalışan/operatörden alınmıştır (Şekil 3).




Şekil 3. GLİ'nde alınan gürültü maruziyet ölçümlerine göre çalışanların maruz kaldıkları gürültü ölçüm değerleri.

Garp Linyitleri İşletmesinde, gürültü maruziyet ölçümü yapılan çalışanlar içinde, barutçu, buharlı yıkama ve vagon dolum çalışanları en yüksek eylem değeri (85 dB(A)) altında gürültü düzeyine maruz kalmaktadırlar. Diğer çalışan/operatörler, maruziyet sınır değerinin (87 dB(A)) üzerinde gürültüye maruz kalmaktadırlar. Bu durumda, toplam günlük gürültü maruziyet dozunu düşürmenin yolu olarak çalışma sürelerinin kısaltılması ve çalışanlara kişisel koruyucu donanımın temin edilmesi/kullandırılması düşünülebilir.

Çalışılan ortamlarda gürültü maruziyetinin azaltılması için;

1. Makinelerde titreşimi engellemek için üretici firmadan destek alınabilir.
2. Çalışanlar için, dönüşümlü çalışma sistemi uygulanabilir.
3. Personelin çalışma süreleri düzenlenebilir.
4. Araçların bakımları düzenli aralıklarla yapılarak, ilave gürültü oluşumu engellenebilir.
5. Metal yüzeylerin birbirine temasını engellemek için contalama kauçukla, titreşen makine elemanlarının sabitlendiği noktalar da kauçuk ve çakıllarla desteklenebilir. Makinenin oturtulduğu bölgelere takozlar konularak metal yüzeylerin birbirine teması engellenebilir.
6. Maruziyete uğrayan çalışanlar, kesinlikle kişisel koruyucu donanım kullanmalıdırlar.

## KAYNAKLAR

Arıtan, A.E. Akçakoca, H ve Karanfil, S. 2011. Taş Kırma Tesislerinde Gürültü Problemi; Afyonkarahisar Örneği, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Zonguldak, s. 149-155.

Boşat, M. 2013. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Hastanesi Polikliniklerinde Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ün. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 236 s.

Çetin, O. 2000. OAL'de Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi, Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 39, s. 39-45.

Çınar, İ ve Şensöğüt, C. 2009. Maden İşletmelerinde Meydana Gelen Gürültünün İşçi Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Adana, s. 93-99.

Çınar, İ ve Şensöğüt, C. 2017. Mermer Fabrikalarında Gürültü Dağılımının Değerlendirilmesi, Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Bodrum, s. 209-218.

Dobie, R.A. 1993. Medical-Legal Evaluation of Hearing Loss, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.

Erdem, B., Duran, Z, Doğan, T, Yüksel, H. ve Yüksek, S. 2016. Maden İşyerlerinde Gürültü Kirliliği, ISEM'2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality, Antalya, s. 856-869.

Güner, Ç. 2000. Gürültünün Sağlık Üzerine Etkileri, Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi, 7, 9, s. 20-21, Ankara.

Kadiroğulları, K. 2016. Madenlerin Yerüstü Tesislerindeki Gürültü Maruziyetinin Değerlendirilmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, s. 107.

Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi (MEGEP). 2011. Gürültü Kirliliği, Millî Eğitim Bakanlığı, Çevre Sağlığı Yayınları, Ankara, s. 46.

Resmi Gazete. 2013. Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, (http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130728-11.htm) (Erişim tarihi: 17.01.2018).

Robinson, D.W. 1987. Noise Exposure and Hearing: A New Look at the Experimental Data. Health and Safety Executive Research Report.

Soydaş, H. 2007. Taşıtlarda Gürültü Sebeplerinin Tespiti ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antakya, 79 s.

Sensogut, C. 2007. Occupational Noise in Mines its Control-A Case Study, Polish Journal of Environmental Studies, 16, 6, pp. 933-936.

Şensöğüt, C. 1998. Madenlerde Endüstriyel Gürültü ve İşçi Sağlığı, Maden Kolunda İşçi Sağlığı Sempozyumu, Zonguldak, s. 73-77.

Utku, M. 2006. Gürültü Kirliliği ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri, (http://halk-sagligi.uludag.edu.tr/Seminerler) (Erişim tarihi: 13.01.2018).

Yüceer, N. 2001. Gürültü, Metalurji, TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, 127, Ankara, s. 22-26.

# GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ YERALTI HARİCİ KARO TESİSİNDE AYDINLATMA VE TERMAL KONFOR ŞARTLARININ İNCELENMESİ

## *INVESTIGATION OF LIGHTENING AND THERMAL COMFORT CONDITIONS AT THE EXTERNAL MAINTENANCE WORKSHOP OF UNDERGROUND WORKINGS, WESTERN LIGNITE CORPORATION*

**Ali Ekrem Arıtan**
*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar*

**Cem Şensöğüt***
*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**Nurten Şensöğüt**
*A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Kütahya*

**ÖZET** Madencilik faaliyetleri, inşaat ve metal işleri, iş sağlığı ve güvenliği açısından en riskli olan endüstri kollarıdır. Madencilik faaliyetleri içerisinde ise kömür madenciliği ayrı bir yer tutmaktadır. Maden işletmeleri kendilerine has iş sağlığı ve güvenliği tehlikeleri barındırmaktadır. Üretim bölgelerinin yanı sıra; tamir, bakım vb. yardımcı işlerin yapıldığı çalışma bölgeleri de risk altındadır. Bu bölgelerde çalışanlar için, iş kazaları, meslek hastalıkları vb. riskler mevcuttur. Özellikle iş kazalarına sebebiyet verecek risklerden biri de aydınlatma şartlarıdır. Çalışanın düşük ya da istenenden daha fazla aydınlatma ile çalışması iş kazalarını doğurabilecektir. Sağlık açısından önemli risklerden biride termal konfordur. Çalışma ortamının sadece sıcak ya da soğuk olması değil konforlu olması şarttır. Bu durumda çalışanın; hem daha performanslı çalışması, hem de nem, hava hızı, sıcaklık düzeyi vb. şartlardan oluşabilecek hastalıklardan korunması mümkün olacaktır. Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi, Ömerler Yeraltı Harici Karo tesisinde aydınlatma ve termal konfor ölçümleri alınmıştır. Çıkan sonuçlara göre değerlendirmeler yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

**ABSTRACT** Mining activities, construction and metal works are the most risky in terms of occupational health and safety. The coal mining occupies a special place in mining activities. Mining enterprises are hosting their own occupational health and safety hazards. In addition to production places; repair, maintenance, etc. working areas where the auxiliary works take place are also at risk. For occupants in these regions, there are risks such as occupational accidents, occupational diseases etc. One of the risks that will cause accidents at working places in particular is lighting conditions. If an occupant is working with lower or more lighting than required, he or she may be able to cause job accidents. One other important risk for health is the thermal comfort. It is essential that the working environment is not only hot or cold, but comfortable. In this case, the employee will show better performance as well as he or she will be protected from diseases caused by humidity, air speed, temperature level, etc. In this study, lighting and thermal comfort measurements were taken from ground facilities of Ömerler underground colliery at Western Lignite Corporation. Evaluations were made according to the results and suggestions were made.

* *sensogut@dpu.edu.tr*

## 1. GİRİŞ

İnsanın bulunduğu ortamdaki rahatını ifade eden en önemli terimlerden birisi termal konfordur. Konforun yüksek olduğu ortamda insanın zihinsel ve fiziksel performansı da artmaktadır (Olesen 1982, Arıtan vd. 2017).

Endüstrinin üretim artışı ve bunun sonucu olarak hammadde girdisi ihtiyacının artması, madencilik faaliyetlerinde de artışı doğurmaktadır.

Özellikle enerji ihtiyacında oluşan artış, beraberinde ülkemizde termik santrallere, dolayısıyla da kömür ocaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Madencilik faaliyetlerindeki bu artışla beraber, bakım atölyeleri, imalat vb. destek ünitelerinde de işler daha tehlikeli bir boyut almaya başlamıştır.

Çalışanların verimli çalışmalarını sağlamak ve iş kazalarını ortadan kaldırmak için alınması gereken önlemlerden birisi de aydınlatmanın doğru yapılmasıdır. Doğru ortam aydınlatması için gerekli ölçümler yapılmalı ve tedbirler alınmalıdır.

Çalışanın, çalıştığı ortamda yaşayabileceği sağlık problemleri düşünüldüğünde ortamın ısıl konforu önem kazanmaktadır. Bu yüzden, yine ortam termal konfor ölçümleri yapılıp, gerekli önlemlerin alınması çok önemlidir.

İnsanların günün önemli bir kısmını işyerlerinde geçirdikleri düşünülürse buralarda oluşacak risklerin etkilerinin de büyük olacağı unutulmamalı ve gerekli asgari önlemler muhakkak işyerlerinde alınmalıdır.

## 2. TERMAL KONFOR

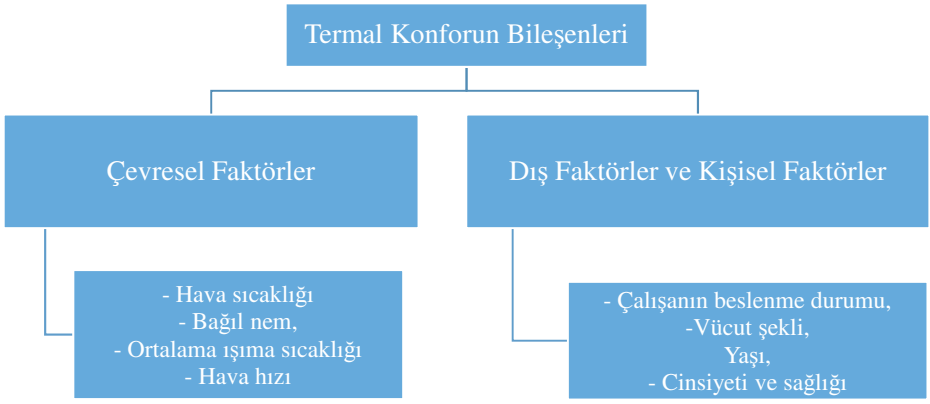
Termal konfor, insan zihninin termal çevresinden duyduğu memnuniyet ya da memnuniyetsizliğin bir ölçüsüdür ve ortamda bulunanların faaliyetlerine devam ederken sıcaklık, nem ve hava akım hızı gibi ortam şartları bakımından belirli rahatlık içerisinde bulunup bulunmadıklarını ifade eder (İmancı 2014).

Çalışılan ortamda termal konfor şartları yetersiz ise rahatsızlık duyulmaya başlanır ve çalışma veriminin düşmesine neden olur (İmancı 2014).

Termal çevreden memnun olma durumu ASHRAE 55 Standardına göre, termal konfor olarak adlandırılmaktadır (ASHRAE 2010).

İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmeliğe göre, termal konfor, çalışanların psikolojik, fizyolojik, kültürel ve sosyal durumlarını olumsuz etkilemeyecek ve çalışanları rahatsız etmeyecek şekilde olmalıdır. İşletmede çalışılan ortamda kullanılan soğutucu ve ısıtıcılar, çalışanların sağlığını olumsuz etkilemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. İşyerinde çalışanların bulunduğu ortamların tamamı termal konfor şartlarına uygun olmalıdır (RG 2013).

Bir insanın ısıl algısı, temel olarak vücudunun termal dengesine bağlıdır. Termal denge, çevre parametrelerinden etkilenir. Termal konfor bileşenleri Şekil 1'de verilmiştir.




Şekil 1. Termal konfor bileşenleri.

Dış faktörler birbirinden bağımsız olsalar da ısıl konfor üzerinde belirgin etkiye sahiptirler. Kişisel faktörler ise, metabolizma düzeyi ve kıyafet ısıl direnci olarak ifade edilebilir. Metabolizma düzeyi, insan performansını etkileyen bir tanımdır. Kıyafet ısıl direnci ise, çalışan ile çevre arasındaki ısı transferini etkileyen bir faktördür (Hensen 1990, ASHRAE 2009, Atılgan ve Ataer 2009, TS EN ISO 7730 2016).

Bu faktörler ölçüldüğünde, termal algı; tahmini ortalama olarak (PMV), tahmin edilen veya ölçülen vücut için bir bütün olarak hesaplanmış olur (TS EN ISO 7730 2016). PMV ısıl duyum ölçeği Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yedi nokta ısıl duyum ölçeği (Fanger 1967, ASHRAE 2010).

| **PMV** | **Anlam** | **Yorum** |
|---|---|---|
| +3 | Aşırı sıcak | Bunaltıcı ve tolere edilemez |
| +2 | Sıcak | Çok sıcak |
| +1 | Hafif sıcak | Tolere edilebilir, sıcak |
| 0 | Nötr | Konforlu |
| -1 | Hafif serin | Tolere edilebilir, serin |
| -2 | Serin | Çok serin |
| -3 | Soğuk | Tolere edilemez, soğuk |

Çalışanın termal rahatsızlığı, yüksek derecede lokal soğutma veya vücudun istenmeyen miktarda ısınması nedeniyle de oluşabilir. Memnuniyetsizlik, vücudun bir bütün olarak sıcak veya soğuktan rahatsızlığından kaynaklanabilir (TS EN ISO 2016).

## 3. AYDINLATMA

TS EN 12464-1 standardında, **"**insanları görsel görevleri etkili ve doğru bir şekilde yerine getirmelerini sağlamak için, yeterli ve uygun aydınlatma sağlanmalıdır. Aydınlatma, gün ışığı, suni aydınlatma veya ikisinin birleşimi ile sağlanabilir.**"** denmektedir.

İşyerlerinde, güvenli bir çalışma ortamı sağlanması, görsel işlerin kolaylıkla yapılması ve çalışılması, uygun bir görüş alanı için en önemli faktörlerden birisidir. Aydınlatmanın, çalışanın motivasyonunun iyileşmesi, moralinin yüksek olması ve yorgunluk hissetmemesi gibi psikolojik/biyolojik etkileri de bulunmaktadır. İşyerlerinde aydınlatma, iş verimini de çok büyük ölçüde etkilemektedir. Aydınlatma öncelikle, yapılan iş ve işlemlerde tüm detayın görülebilmesi için gereklidir. İş sağlığı ve güvenliği açısından ise aydınlatmanın işin uygulanan kalite standartlarının gerektirdiği şekilde yapılmasını ve hata oranlarının azaltılmasını sağlamasının yanında, iş kazalarının önlenmesinde de büyük bir etkisi bulunmaktadır (Arıtan vd. 2017, Kürkçü vd. 2018;).

Göz zorlanması ve yorgunluk üzerine etkisi ile birlikte aydınlatma tekniğindeki bazı temel kavramlar: Birimi lüks (lx) olan aydınlatma şiddeti, birimi kandela (cd) olan ışık yeğinligi ve birimi lümen (LM) olan ışık akısıdır. Aydınlatma şiddeti birim alana düşen ışık akısıdır ve lüksmetre ile ölçülür (Dülger 2015).

Çizelge 1'de, TS EN 12464 no'lu "Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması- Bölüm 2: Açık Çalışma Alanları" standardında belirtilen işyerlerindeki bazı alanlarda ve işlerde gerekli aydınlatma şiddeti değerleri verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. İşyerlerinde bazı alan/işler için gerekli aydınlatma şiddeti değerleri (TS EN 2013).

| **Çalışma alanı/iş** | **Aydınlatma şiddeti (lüks)** |
|---|---|
| Giriş salonları | 100 |
| Ofis çalışmaları | 500 |
| Yüzey hazırlama ve boyama | 750 |
| Montaj, kalite kontrol ve renk kontrolü | 1000 |

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

Termal konfor ve aydınlatma ölçümleri, Kütahya İl sınırları içerisinde bulunan, Garp Linyitleri İşletmesi Ömerler Yeraltı Harici Karo birimlerinden alınmıştır. Bu bölümlerde; lux, sıcaklık, nem, hava hızı ve ışıma sıcaklığı ölçümleri alınmıştır.

Termal konfor ölçümleri, Delta Ohm Wbgt 32.3 cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2). Ölçümlerde, sıcaklık, nem, hava hızı ve ışıma sıcaklığı probları ile ölçümler alınmıştır (Çizelge 3). PMV değeri cihazdan okunarak elde edilmiştir.

Şekil 2. Delta Ohm Wbgt 32.3 termal konfor ölçüm cihazı.

Çizelge 3. Termal konfor ölçüm cihazı özellikleri.

| **Prob** | **Sıcaklık** | **Hava Hızı** | **Glop Termometre** | **Nem** |
|---|---|---|---|---|
| Ölçüm aralığı | -40 – 100 ºC | 0,1-5,0 m/sn | -10 – 100 ºC | % 0 - 90 |
| Hassasiyet | 0,1 ºC | 0,1 m/sn | 0,1 ºC | % 0,1 |

Aydınlatma ölçümleri, Delta Ohm HD 2102.2 marka cihazla yapılmıştır (Şekil 3). Cihaza ait özellikler Çizelge 4'de verilmiştir.

Şekil 3. Delta Ohm Hd 2102.2.

Çizelge 4. Aydınlık ölçüm cihazı özellikleri.

| | |
|---|---|
| Ölçüm aralığı | 1-19.999 Lux |
| Hassasiyet | 0,1 Lux |
| Çalışma sıcaklığı | 0 - 50 ºC |

### 4.2. Yöntem

Termal konfor ölçümleri; özel problar (sıcaklık, nem ve hava hızı) ile donatılmış Delta Ohm Wbgt 32.3 termal konfor ölçüm cihazıyla, vardiya süresince yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Giysi ısıl direnci ve metabolizma oranı çalışma yeri göz önüne alınarak ASHRAE 55 standardına göre kabul edilmiştir (Çizelge 5 - 6).

Çizelge 5. Çeşitli Giysi Türleri ve Yalıtım Katsayıları (ASHRAE 2010, İmancı 2014).

| **Kıyafet Yalıtım Katsayısı, Icl (clo*)** | **Kıyafet Yalıtım Katsayısı, Icl (clo)** |
|---|---|
| Pantolon, kısa kollu gömlek | 0,57 |
| Pantolon, uzun kollu gömlek | 0,61 |
| Pantolon, uzun kollu gömlek, ceket | 0,96 |
| Diz uzunluğunda etek, kısa kollu gömlek | 0,54 |
| Ayak bileği uzunluğunda etek, uzun kollu gömlek, ceket | 1,1 |
| Etek / Elbise | 0,54-1,10 |
| Şort | 0,36 |
| Önlük / Tulum | 0,72-1,37 |
| Spor Kıyafetleri | 0,74 |

*1 clo = 0.155 $m^2K/W$

Çizelge 6. Bazı İşler İçin Metabolizma Oranları (ASHRAE 2010).

| **Aktivite** | **Metabolik Oran ($W/m^2$)** | **Metabolik Oran (met*)** |
|---|---|---|
| Yürüme | 115-220 | 2,0-3,8 |
| Aşçılık | 95-115 | 1,6-2,0 |
| Ev temizleme | 115-200 | 2,0-3,4 |
| Makine Kullanılarak Yapılan İşler | | |
| Oturarak çalışma | 65-130 | 1,0 |
| Ayakta çalışma | 65-140 | 1,2 |
| Testere ile yapılan işler | 105 | 1,8 |
| Hafif işler (ör. Elektrik end.) | 115-140 | 2,0-2,4 |
| Ağır işler | 235 | 4,0 |
| Ağır yük kaldırma (50 kg) | 235 | 4,0 |
| Kazma, kırma işleri | 235-280 | 4,0-4,8 |

1 met = 58,2 $W/m^2$

Isıl konfor için alınan ölçümler, TS EN 27243, TS EN ISO 7730 standartları ve ASSHRAE 55'den alınmış olunan verilerle, Fanger modeline göre değerlendirme yapılmıştır (Fanger 1972, TS EN ISO 2016).

PMV değerinin yorumlanması Çizelge 4'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre; ortamın termal konforunun uygun ya da uygun olmadığından bahsedilebilmektedir (TS EN ISO 2016).

Aydınlatma ölçümleri, TS EN 12464-1 standardına göre HD 2102.2 cihazı ile yapılmış ve aynı standart çerçevesinde değerlendirilmiştir (TS EN 2013).

## 5. BULGULAR

Harici karoda, yerinde alınan termal konfor ölçümleri sonucunda, hava hızı, ışıma sıcaklığı, çalışma sıcaklığı ve nem değerleri elde edilmiştir. Giysi ısıl direnci ve metabolik oran çalışma yeri göz önüne alınarak ASHRAE 2010 standardına göre kabul edilmiştir. Tüm çalışma alanlarında aynı tip iş elbisesi giyilmekte olup, clo değeri 0,8'dir. Bu bölgelerin hesaplanan değerleri Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Termal konfor sonuçları.

| Konum | Çalışma Şekli | Metabolik Oran (met) | PMV | Değerlendirme |
|---|---|---|---|---|
| Kaynakhane | Ayakta | 1,2 | 0,22 | Konforlu |
| Preshane | Ayakta | 1,2 | -0,45 | Konforlu |
| Kazan Dairesi | Ayakta | 1,2 | 1,68 | Sıcak |
| Elektrik Bakım | Oturarak | 1,0 | 0,91 | Hafif Sıcak |
| Marangozhane | Ayakta | 1,2 | 0,45 | Konforlu |
| Demirhane | Ayakta | 1,2 | -0,27 | Konforlu |
| Giyim Ambarı Ambar | Oturarak | 1,0 | 0,55 | Konforlu |
| Mekanik Atölye | Ayakta | 1,2 | 0,63 | Konforlu |

Ölçüm yapılan ortamlarda aydınlatma cinsi yapay aydınlatmadır. Ölçümler gündüz yapılmıştır. Her bir ortamdan 5 adet ölçüm alınarak değerlerin ortalaması bulunmuştur. Elde edilen veriler Çizelge 8'de sunulmuştur.

Çizelge 8. Aydınlatma ölçümlerine ait veriler.

| Konum | Ölçülen Değer (Lux) | En Az Değer (Lux) | Değerlendirme |
|---|---|---|---|
| Kaynakhane | 465,3 | 300 | Yeterli |
| Preshane | 486,9 | 300 | Yeterli |
| Kazan Dairesi | 138,6 | 200 | Yetersiz |
| Elektrik Bakım | 648,3 | 300 | Yeterli |
| Marangozhane | 279,6 | 300 | Yetersiz |
| Demirhane | 174,6 | 300 | Yetersiz |
| Giyim Ambarı Ambar | 216,9 | 100 | Yeterli |
| Mekanik Atölye | 225,3 | 300 | Yetersiz |

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Harici karo tesislerinde yapılan termal konfor ölçümleri sonucunda; beklendiği üzere kazan dairesinin en konforsuz (sıcak) alan olduğu tespit edilmiştir. Elektrik bakım ünitesinde de hafif sıcak ortam tespit edilmiştir. Diğer ölçüm yapılan 6 birimde ise konforlu sayılabilecek bir ısıl konfor ortamı ile karşılaşılmıştır.

Özellikle kazan dairesi gibi sıcak ortamların, havalandırılmasının iyi yapılması, çalışanlara ortama uygun iş elbiselerinin verilmesi ile konfor artırılabilir.

Elektrik bakım ünitesinde yapılan ölçümlerde hafif sıcak ortam tespit edilmesine karşılık, hava hızında oluşabilecek en ufak bir düşme, çalışanlar için sıcak bir ortama dönüşmesine sebebiyet verebilecektir. Bu durum değerlendirilerek havalandırmanın ve çalışanlar için iş elbiselerinin tekrar gözden geçirilmesinde fayda vardır.

Ortam ölçümlerinde aydınlatma problemlerine rastlanmıştır. Kazan dairesi, marangozhane, demirhane, mekanik atölyesinde aydınlatmanın yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Diğer 4 ölçüm yapılan alanda ise aydınlatma problemine rastlanmamıştır.

Aydınlatmada yetersizliğin iş kazalarının önemli sebeplerinden birisi olduğu bilinmektedir. Bu hususta hareketle ölçüm sonuçlarına göre yetersiz aydınlatma çıkan yerler için tekrar hesaplamalar yapılarak uygun aydınlatmanın sağlanması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

ASHRAE, 2009. Handbook—Fundamentals Chapter 9, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, s.7-8.

ASHRAE, 2010. ANSI/AHSRAE Standard 55, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE Publications.

Arıtan, A.E. Şensöğüt, C. ve Tümer M. 2017. Doğaltaş İşleme Tesisinde Termal Konfor Analizi, MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, Manisa, 23, s. 1-10.

Atılgan, I. ve Ataer, E. 2009. Application of Thermal Comfort Analysis, IX. HVAC and Sanitary Engineering National Congress, İstanbul, s. 571-581.

Dülger, S. 2015. Bir Mermer İşletmesindeki Problemlerin TRIZ Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 98 s.

Fanger, P.O. 1967. Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basic Comfort Equation, ASHRAE Transactions, 73, 2, s. 1-20.

Fanger, P.O. 1972. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York.

Hensen, J.L.M. 1990. Literature Review on Thermal Comfort in Transient Conditions, Building and Environment, 25(4), s. 309-316.

İmancı, C. 2014. Döküm Atölyelerinde Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 88 s.

İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, 2013. 28710 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Kürkçü, E.A. Çakar, İ. ve Zeyrek, S. İşyerlerinde Aydınlatma, İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi Müdürlüğü (İSGÜM), http://www.isgum.gov.tr/, (Erişim: 13.01.2018).

Olesen, B.W. 1982. Thermal Comfort, Technical Review to Advance Techniques in Acoustical Electrical and Mechanical Measurement, 2, s. 3-37.

TS EN ISO 7730. 2016. Termal Çevrenin Ergonomisi – Analitik Termal Konforun Belirlenmesi ve Yorumlanması PMV ve PPD Endekslerinin Hesaplanması ve Yerel Termal Konfor Kriterleri, Ankara.

TS EN 12464-1. 2013. Işık ve Aydınlatma - Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12464-2. 2007. Işık ve Işıklandırma - İş Mahallerinin Aydınlatılması- Bölüm 2: Açık Çalışma Alanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 27243. 2002. Sıcak ortamlar-WBGT (Yaş-hazne küre sıcaklığı) indeksine göre ısının çalışan üzerindeki baskısının tahmini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

# TÜRKİYE KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

## *EVALUATION OF FATAL WORK ACCIDENTS AT TURKISH COAL MINING*

**Ahmet Mahmut Kılıç, Esma Kahraman*, Özen Kılıç**
*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Madencilik, iş kazalarının yoğun olarak yaşandığı sektörlerden biridir. Madenler tehlikeli yerlerdir ve işçiler çok çeşitli ölümcül yaralanmalara maruz kalabilirler. Madencilik sektöründeki ölüm oranlarının önemli bir bölümünü kömür madenciliği kazaları oluşturmaktadır. Türkiye'nin birincil enerji kaynağı olan kömür, ülkenin enerji ihtiyaçlarını desteklemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu yüzden ülkemizde kömür üretimi oldukça önemlidir. Bu çalışmada; Türkiye kömür madenlerindeki ölümcül kazalar, 2010 ile 2017 yılları arasındaki verileri kullanarak niceliksel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca kömür madenlerinde meydana gelen ölümlü iş kazalarının nedenleri incelenerek sınıflandırılmıştır.

**ABSTRACT** Mining is one of the sectors where occupational accidents are concentrated. Mines are hazardous places and workers can suffer a wide variety of fatal injuries. Coal accidents account for a significant portion of the death toll in mining sector. As Turkish's primary energy supply, coal plays a leading role in supporting the country's energy needs. So coal production is very important in our country. In this study; fatal work accidents in Turkish coal mines are quantitatively analyzed using data from 2010 to 2017. It is also classified by examining the causes of fatal occupational accidents occurred in coal mines.

* ekahraman@cu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri, malzeme, ekipman, insan kaynakları ve olası felaket kayıp riskinin çok yüksek olduğu bir iş koludur. Kazalar, önceden planlanmamış ve istenmeyen olaylar olup; ölümlere, yaralanmalara ve maddi kayıplara neden olmaktadır (Güyagüler 2007). Dünyadaki çalışan nüfusun sadece %1'i madenlerde çalışmakta iken, dünyada meydana gelen ciddi yaralanmalara ve ölümlere sebep olan kazaların %8'i madenlerde gerçekleşmektedir (Tanır 2009).

Ülkemizde kömür madenciliği en fazla iş kazasının meydana geldiği iş kolları arasındadır. Meydana gelen iş kazaları sosyal ve ekonomik açıdan toplumu olumsuz etkilemektedir. İş kazaları nedeniyle meydana gelen yaralanmalar, sakatlanmalar ve ölümler konunun sosyal boyutunu, iş gücü ve iş günü kaybı, tıbbi iyileştirmeler ve tazminatlar, maddi hasarlar (makine, teçhizat, bina vs), üretim ve verimin düşüşü ise ekonomik yönünü ortaya koymaktadır (Yıldırım 2009). Bu olumsuzluklar, daha önce meydana gelen iş kazalarının analiz edilmesi ve karşılaşılabilecek tehlikelerin önceden belirlenmesi ile azaltılabilir.

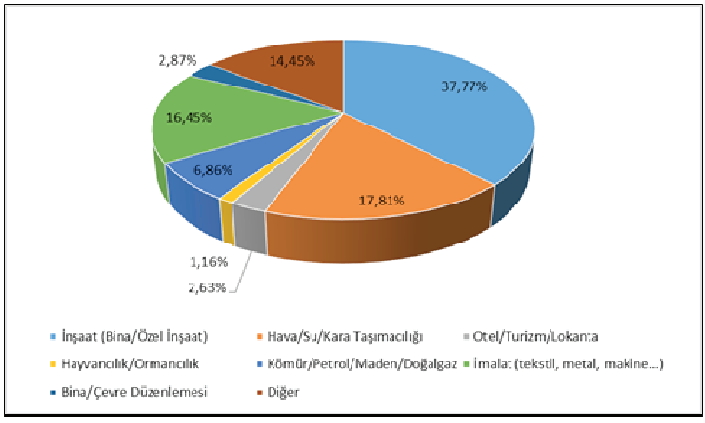
Türkiye kömür madenlerinde meydana gelen iş kazalarını inceleyen pek çok araştırma mevcuttur. Sarı ve arkadaşları (2009) GLİ-Tunçbilek yer altı linyit işletmesinin kaza verilerini incelemiş ve riskleri modellemiştir. Diğer bir çalışmalarında ise; ELİ-Eynez ve GLİ-Tunçbilek linyit işletmelerinde 1994-2002 yılları arasındaki iş kazalarını üretimide göz önünde bulundurarak kıyaslamışlardır (Sarı vd. 2004).

Önder ve Önder (2010) TKİ'ye bağlı linyit işletmelerinde meydana gelen yaralanmaları incelemişler ve çalışmalarında kazaların nedenleri, kazaya maruz kalan iş grupları ve yaralanan uzuvlar arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır. Önder ve Adıgüzel (2010) yaptıkları çalışmada; Türkiye'nin en önemli kömür üretim alanlarına sahip olan Türkiye Taşkömür İşletmeleri'nin beş farklı yeraltı kömür madeninde, 1980-2004 döneminde meydana gelen ölümlü iş kazalarına logaritmik analiz yöntemi uygulamışlardır. Kaza kayıtlarını değerlendirerek çok yönlü olasılık tabloları hazırlamış ve ölüm olaylarını etkileyebilecek olasılıkları araştırmışlardır.

Ülkemizde meydana gelen iş kazaları sektör bazında incelendiğinde; 2015 yılı verilerine göre en büyük oranın inşaat sektöründe olduğu görülmektedir. İnşaat sektörünün ardından en fazla iş kazası olan sektör madencilik sektörüdür (SGK 2015) (Şekil 1).

Türkiye madencilik sektöründe yaşanan gelişmeler, Türkiye'nin son on yılda elde ettiği hızlı ekonomik büyüme ve bunun sonucunda ortaya çıkan sürekli ve artan enerji ihtiyacı ile yakından ilgilidir. Türkiye 2014'te 70,6 milyon tonluk hacimle dünya genelinde 12. büyük kömür üreticisi olmasına rağmen yerli kaynakların düşük enerjili linyite dayanması nedeniyle yüksek kaliteli kömürde net ithalatçı durumundadır. Yurt içinde çıkarılan ve üretilen kömürün yüzde 90'ı linyittir. Türkiye elektrik üretiminde

yerli kömürün payını arttırmayı aktif bir şekilde hedeflemekte ve Türkiye'nin Onuncu Kalkınma Planında da (2014-2018) bu hedefe yönelik çabaların sürdürüleceği açıklanmaktadır (ILO 2016).




Şekil 1. 2015 yılı iş kazalarının sektör bazında dağılımı.

Türkiye kömür madenciliği sektöründe meydana gelen iş kazalarında yapılan incelemelerde (ILO 2016);

- Özellikle Türkiye kömür madenlerinde üretilen enerji birimi başına gerçekleşen ölüm olaylarının yüksek olduğu,
- Ölüm oranlarında istikrarsız olduğu,
- Dünyada diğer başlıca kömür üreticilerinin aksine, Türkiye'deki kömür sektöründe ölüm oranlarının düşmediği,
- Bir istisna dışında 1995'ten bu yana gerçekleşen başlıca kömür madeni kazalarının (10 veya daha fazla ölüm olayının yaşandığı) tümü özel şirketlerce işletilen kömür madenlerinde meydana geldiği gözlenmiştir.

Enerji üretiminde önemli bir konumda olan kömür madenciliği iş gücü olarak oldukça ağır olmasından ve üretim aşamalarının hemen hemen her kademesinde mevcut olan tehlikelerden dolayı işçiler ölümcül yaralanmalar ile karşı karşıya kalmaktadır. Ülkemiz kömür üretiminde iş güvenliği açısından oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada kömür madenciliğinde meydana gelen ölümlü iş kazaları incelenmiştir ve kazalar oluş nedenlerinde göre sınıflandırılmıştır. Sayısal veriler ile yapılan bu sınıflandırma neticesinde oluşan kaza tiplerinin irdelenmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından verimli tedbirlerin alınmasında faydalı olacaktır.

## 2. TÜRKİYE MADENCİLİK SEKTÖRÜ ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARI

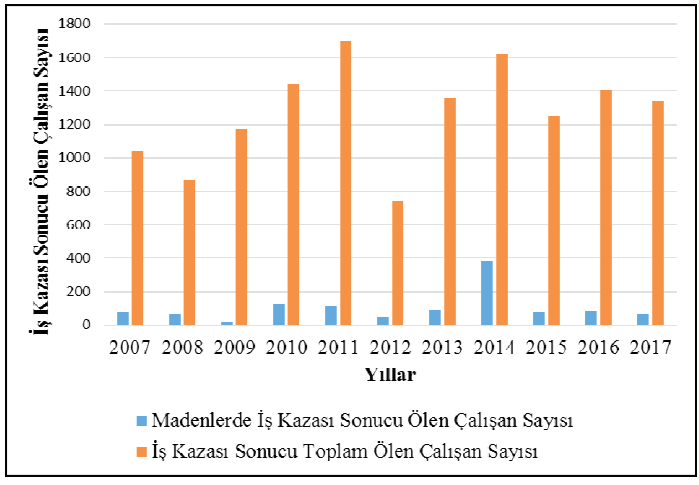
Türkiye'de iş kazası oranları son 40 yıl içinde ciddi oranda düşüş göstermiştir. Fakat iş kazası oranı gelişmiş ülkelere kıyasla Türkiye'de hala oldukça yüksektir. SGK

verilerine göre; 2007-2017 yılları arasında iş kazası sonucunda ölen toplam işçi sayısı ve madencilik sektöründe ölen işçi sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

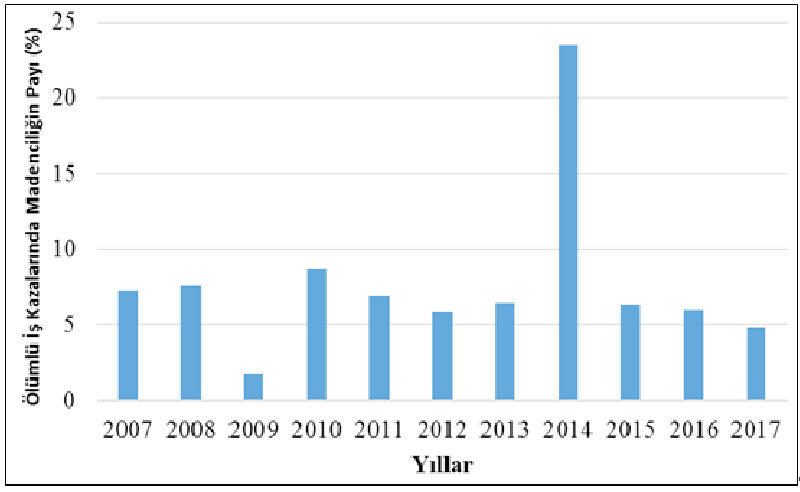
Çizelge 1. İş kazası sonucunda madenlerde ve tüm sektörde ölen işçi sayıları.

| | Madenlerde İş Kazası Sonucu Ölen Kişi Sayısı | İş Kazası Sonucu Toplam Ölen Kişi Sayısı |
|---|---|---|
| 2007 | 76 | 1043 |
| 2008 | 66 | 865 |
| 2009 | 20 | 1171 |
| 2010 | 125 | 1444 |
| 2011 | 117 | 1700 |
| 2012 | 44 | 744 |
| 2013 | 87 | 1360 |
| 2014 | 382 | 1626 |
| 2015 | 79 | 1252 |
| 2016 | 85 | 1405 |
| 2017 | 65 | 1338 |

Ölümlü iş kazaları kıyaslandığında madencilik sektöründe 2014 yılında oranın arttığı gözlenmektedir. Bu artışın sebebi Soma'da kaybettiğimiz maden şehitlerimizden kaynaklanmaktadır (Şekil 2). Ölümlü madencilik kazalarının toplam ölümlü iş kazaları içerisindeki yüzdesi ise Şekil 3'de verilmiştir. Yine 2014 yılında yaşanan Soma faciasından dolayı o yılki oran neredeyse %25'lere dayanmıştır.




Şekil 2. Tüm sektörlerde ölümlü iş kazası sonucu ölen işçi sayılarının madencilik sektörü ile kıyaslaması.



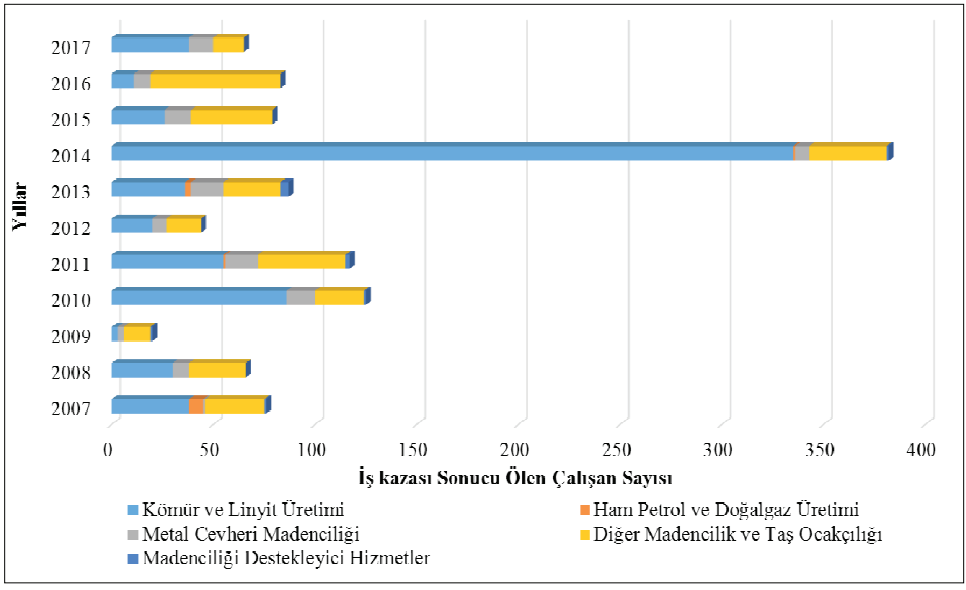

Şekil 3. Madencilik sektöründe meydana gelen ölümlü kazalarının tüm sektörlerdeki toplam ölümlü kazalar içerisinde yüzdesi.

Madencilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının istatistikleri Sosyal Güvenlik Kurumu veri tabanında sınıflandırılırken beş ayrı alt bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler kömür ve linyit üretimi, ham petrol ve doğalgaz üretimi, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taş ocakçılığı ile madenciliği destekleyici hizmetlerdir. 2007-2017 yılları arasında alt bölümlere göre madencilik sektöründe meydana gelen ölümlü iş kazaları sonucu ölen işçi sayıları Çizelge 2'de verilmiştir. Kazaların neredeyse yarısının Soma faciası hariç kömür ve linyit üretiminde gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 2. Alt bölümlere göre madencilik sektöründe meydana gelen ölümlü iş kazaları sonucu ölen işçi sayıları (SGK 2017).

| | Kömür Üretimi | Ham Petrol ve Doğalgaz Üretimi | Metal Cevheri Madenciliği | Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı | Madenciliği Destekleyici Hizmet |
|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | 38 | 7 | 1 | 29 | 1 |
| 2008 | 30 | 0 | 8 | 28 | 0 |
| 2009 | 3 | 0 | 3 | 13 | 1 |
| 2010 | 86 | 0 | 14 | 24 | 1 |
| 2011 | 55 | 1 | 16 | 43 | 2 |
| 2012 | 20 | 0 | 7 | 17 | 0 |
| 2013 | 36 | 3 | 16 | 28 | 4 |
| 2014 | 335 | 1 | 7 | 38 | 1 |
| 2015 | 26 | 0 | 13 | 40 | 0 |
| 2016 | 11 | 0 | 10 | 64 | 0 |
| 2017 | 38 | 0 | 12 | 15 | 0 |

Şekil 4'de ise yıllara göre sektörün alt bölümlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde Soma faciasının izleri açıkça görülmektedir. Soma faciasından dolayı kömür üretiminden kaynaklanan ölen işçi sayısı diğer yıllara göre neredeyse on kat artmıştır.




Şekil 4. Madencilik sektöründe meydana gelen ölümlü iş kazalarındaki değişim.

## 3. KÖMÜR MADENCİLİNDE MEYDANA GELEN ÖLÜMLÜ İŞ KAZALARININ İNCELENMESİ

Ülkemizde meydana gelen kömür madenciliği kazaları incelendiğinde genel olarak toplu ölümlere sebep olan kazaların grizu patlaması ve yangın sonucu zehirlenmeden kaynaklandığı görülmektedir (Çizelge 3).

1983-2017 yılları arasında meydana gelen ve toplu ölümlere sebep olan kömür madeni kazalarında yaklaşık 1000 maden işçimiz hayatını kaybetmiştir. Soma ve Zonguldak kazaları ülkemiz tarihine en kara kömür kazaları olarak kazınmıştır.

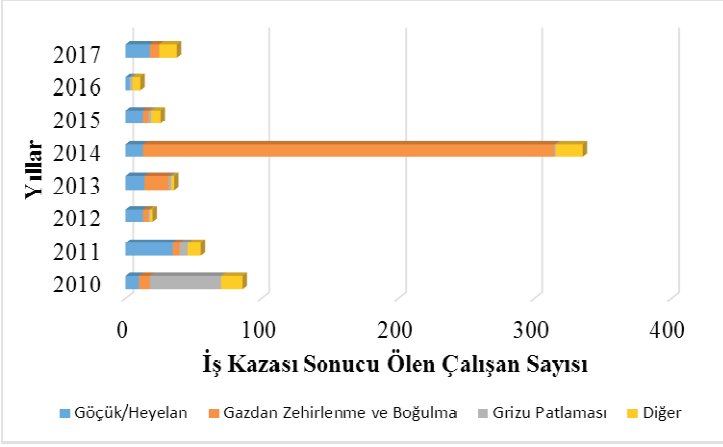
2010-2017 yılları arasında kömür madenlerinde meydana gelen ölümlü iş kazası nedenleri ise göçük/heyelan, gazdan zehirlenme, grizu/patlatma/patlama ve diğer olmak üzere dört ana başlıkta sınıflandırılmıştır (Çizelge 4). Şekil 5'de soma kazasının nedeni olan gazdan zehirlenme vakasından kaynaklanan artış gözden kaçmamalıdır.

Çizelge 3. 1983-2014 yıllarında toplu ölümlere sebep olan kömür madenciliği kazaları afetler (Derin vd. 2017).

| Yıl | Yer/Maden | Ölen İşçi Sayısı | Kaza Nedeni |
|---|---|---|---|
| 1983 | Zonguldak- Armutçuk | 103 | Grizu patlaması |
| 1983 | Zonguldak- Kozlu | 10 | Grizu patlaması |
| 1983 | Amasya-Yeniçeltek | 5 | Grizu patlaması |
| 1987 | Zonguldak - Kozlu | 8 | Göçük |
| 1990 | Bartın - Amasra | 5 | Grizu patlaması |
| 1990 | Amasya-Yeniçeltek | 68 | Grizu patlaması |
| 1992 | Zonguldak-Kozlu | 263 | Grizu patlaması |
| 1995 | Yozgat-Sorgun | 37 | Grizu patlaması |
| 2003 | Erzurum-Aşkale | 8 | Grizu patlaması |
| 2003 | Karaman-Ermenek | 10 | Grizu patlaması |
| 2005 | Kütahya-Gediz | 18 | Grizu patlaması |
| 2006 | Balıkesir-Dursunbey | 17 | Grizu patlaması |
| 2009 | Bursa-Mustafakemalpaşa | 19 | Grizu patlaması |
| 2010 | Balıkesir-Dursunbey | 13 | Grizu patlaması |
| 2010 | Zonguldak - Karadon | 30 | Grizu patlaması |
| 2011 | Kahramanmaraş- Elbistan | 11 | Heyelan |
| 2013 | Zonguldak - Kozlu | 8 | Degaj |
| 2014 | Manisa– Soma (Eynez) | 301 | Yangın |
| 2014 | Karaman-Ermenek | 18 | Su baskını |

Çizelge 4. Yıllara göre ölümlü iş kazalarının nedenlerine göre sayıları.

| | Göçük/Heyelan | Gazdan Zehirlenme ve Boğulma | Grizu Patlaması | Diğer |
|---|---|---|---|---|
| 2010 | 10 | 8 | 52 | 16 |
| 2011 | 35 | 5 | 6 | 9 |
| 2012 | 13 | 4 | 1 | 2 |
| 2013 | 14 | 18 | 2 | 2 |
| 2014 | 13 | 301 | 1 | 20 |
| 2015 | 13 | 4 | 2 | 7 |
| 2016 | 3 | 0 | 2 | 6 |
| 2017 | 18 | 7 | 0 | 13 |

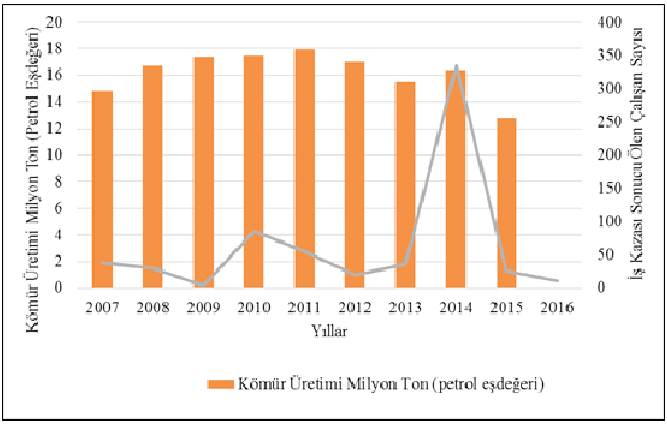



Şekil 5. Yıllara göre ölümlü iş kazalarının nedenlerine göre dağılımı.

### 3.1. Kömür Madenlerinde Meydana Gelen Ölümlü İş Kazalarının Üretim ile İlişkisi

Ülkemizde kömür üretimi ile ölümlü iş kazalarının ilişkisi incelendiğinde; kömür üretim miktarı ile ölümlü iş kazası arasında durağan bir ilişkinin olmadığı gözlenmiştir (Şekil 6). Bunun nedeninin ise özellikle 2010 ve 2014 yıllarında meydana gelen Soma ve Zonguldak kazalarındaki toplu ölümlerden kaynaklandığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 5'de yıllara göre üretim miktarları (BP 2017) ve kömür madenlerinde meydana gelen iş kazası sonucu ölen işçi sayıları verilmiştir.




Şekil 6. Kömür üretimi ve kömür üretiminde meydana gelen iş kazası sonucu ölen işçi sayısının karşılaştırılması.

Çizelge 5. Kömür üretim miktarları ve kömür madenlerinde meydana gelen iş kazası sonucu ölen işçi sayıları.

| Yıllar | Kömür Üretimi Milyon Ton (Ton Eşdeğer Petrol TEP*) | Kömür Madenlerinde İş Kazası Sonucu Ölenlerin Sayısı |
|---|---|---|
| 2007 | 14,8 | 38 |
| 2008 | 16,7 | 30 |
| 2009 | 17,4 | 3 |
| 2010 | 17,5 | 86 |
| 2011 | 17,9 | 55 |
| 2012 | 17,0 | 20 |
| 2013 | 15,5 | 36 |
| 2014 | 16,4 | 335 |
| 2015 | 12,8 | 26 |
| 2016 | 13,3 | 11 |

*1 ton taş kömürü: 0,61 TEP, 1 ton kok kömürü: 0,72 TEP

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Madencilik sektörü iş gücünün yüksek olduğu bir sektördür. Kömür madenciliğinde de emek yoğunluğuna dayalı olarak üretim yapılmaktadır. Bu çalışmada; Türkiye kömür madenlerinde meydana gelen ölümlü iş kazaları ele alınmış ve kaza nedenleri sınıflandırılmıştır. Ayrıca ölümlü kömür madeni kazalarının madencilik sektörü ve diğer tüm sektörlerde meydana gelen iş kazası sonucu ölen işçi sayıları içerisindeki payı araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen ana sonuçlar ve öneriler;

- Kömür üretimi yapılan ocakların çoğu klasik yöntemler ile üretim yapmaktadır. Klasik yöntemlerde, tam mekanize yöntemlere göre daha fazla iş kazası riski vardır.
- Kömür üretim yöntemi ocaktan ocağa değiştiği için uygulanan iş sağlığı ve güvenliği önlemleri tek bir kalıpta olamamalıdır.
- Yeraltı işletmelerinde mevcut durumdaki tehlikeler diğer işletmelere kıyasla daha fazladır. Burada çalışan iş güvenliği uzmanlarının daha deneyimli olması gerekmektedir. Ayrıca işçilerinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri yaptıkları işin niteliğine uygun olarak verilmelidir.
- İşverene ve işçilere iş sağlığı ve güvenliği önlemlerini uygulama ve uygulatma yönünden daha fazla hukuki sorumluluk verilmelidir.
- Devlet işletmelere yaptıkları denetleme sürelerini sıklaştırmalıdır.
- Madencilik sektöründe meydana gelen iş kazalarının büyük bir çoğunluğunun kömür madenlerinde meydana geldiği gözlenmiştir. Özellikle yeraltı kömür işletmelerinde (Soma olayında olduğu gibi) meydana gelen kazaların toplu ölümlere sebep olduğu görülmüştür. Toplu ölümlere sebep olan iş kazalarının çoğu grizu patlaması, zehirlenme ve göçük/heyelandan kaynaklandığı gözlenmiştir. Bu da önlem alınması gereken noktalarda yol gösterici olacaktır.

- Ülkemizdeki kömür madenlerinde meydana gelen ölümlü iş kazaları ile üretim miktarı arasında bir ilişki olmadığı gözlenmiştir.

## KAYNAKLAR

BP, 2017. Statistical Review of World Energy. June 2017, England. https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical review2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-coal.pdf Erişim Tarihi: 18.01.2018

Derin, L., Varol, N., ve Uymaz, S. 2017. Türkiye'deki Kömür Madeni Kazalarına İlişkin Değerlendirme, Journal of Resilience, 1, 1, s. 47-53.

Güyagüler, T. 2007. İnsan Özelliklerinin Kazalara Etkisi, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Adana, s. 51-55.

Önder, S., Önder, M. 2010. TKİ'ye Bağlı İşletmelerde Yaralanmalı İş Kazalarının Analizi, Bilimsel Madencilik Dergisi, 49, 3, s. 3-12.

Onder, M., Adiguzel, E. 2010. Evaluation of Occupational Fatalities Among Underground Coal Mine Workers Through Hierarchical Loglinear Models, Industrial Health, 48, 6, pp. 872-878.

Sarı, M., Düzgün, H.S.B., Karpuz, C., Selçuk, A.S. 2004. Accident Analysis of Two Turkish Underground Coal Mines, Safety Science, 42, 8, pp. 675-690.

Sarı, M., Selçuk, A.S., Karpuz, C., Düzgün, H.S.B. 2009. Stochastic Modeling of Accident Risks Associated with an Underground Coal Mine in Turkey, Safety Science, 47, 1, pp. 78-87.

Tanır, F. 2009. Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliğine Bakış, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Adana, s. 7-8.

SGK, 2017. SGK İstatistik Yıllıkları (2007-2016), Sosyal Güvenlik Kurumu, Ankara. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari, Erişim Tarihi: 18.12.2017.

Uluslararası Çalışma Örgütü, 2016. Türkiye Kömür Madenciliği Sektöründe Sözleşmesel Düzenlemeler: Gerçekleşme Biçimleri, Boyutları, Nedenleri, Yasal Nedenleri ve İSG Üzerindeki Etkisi, Uluslararası Çalışma Örgütü, ILO Türkiye Ofisi, Ankara.

Yıldırım, H. 2009. Kapalı Devre Suni Solunum Sağlayan Cihazlar, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Adana, s. 273-280.

# 3 BOYUTLU MADEN HARİTASI KULLANILARAK MADEN İŞ YERLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ İÇİN TOPUK VE GÜVENLİK SINIRI BELİRLEME

## *DETERMINATION OF PILLAR AND SAFETY BORDERLINE FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN MINE WORKPLACES USING 3-DIMENSIONAL MINE MAP*

**Hakan Akçın**[*]
*Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**Serkan Sargınoğlu**
*Türkiye Taşkömürü Kurumu, Kozlu TİM, Zonguldak*

**Hacı Mehmet Bardız**
*Türkiye Taşkömürü Kurumu, Karadon TİM, Zonguldak*

**ÖZET** Türk Maden Hukuku mevzuatında çalışma planlarının (imalat haritalarının) 3 Boyutlu hazırlanması, tehlikelere ilişkin risk haritalarının üretilmesi hükme bağlanmıştır. Böylece özellikle yeraltı maden projelerin niteliğinin ve işlevselliğinin arttırılması, bu belgelerden ve projeden kaynaklanan kazaların önlenmesi amaçlanmıştır. Bunu sağlamanın önemli bir koşulu ise yeraltı ve yerüstü mekânlarının 3 Boyutlu planlanmasıdır. 3 boyutlu planlama için standartlara uygun topoğrafik ölçmelerin yapılması gerekmektedir. Standart bir 3 boyutlu maden haritası üzerinde uzunayak üretimi gerçekleştirilen yeraltı kömür madenciliği için tehlikelere karşı yeraltı mekânsal yapısında topuk ve güvenlik sınırlarının belirlenmesi olasıdır. Ancak bunun için de 2 Boyutlu haritalamada yaşanan kaotik sorunların 3 boyutlu planlamada konumsal ilişkilerle giderilmesi gereklidir. Ele alınan bu çalışmada, yapılan örnek uygulamalar ile kaotik problemlere karşılık geliştirilen yaklaşımlar incelenmiş ve sonuçları tartışılmıştır.

**ABSTRACT** 3D preparation of work plans in Turkish Mining Law legislation, and production of risks maps related to hazard are regulated. Thus, increase of the quality and functionality of especially underground mines project, and prevent of accidents arising from these documents and projects have been intended. An important condition of accomplishing this based on 3D measurement of the true position of surface and underground spaces is worked in the form of certain principles that it was experimentally determined. Properties of the measuring equipment used in the application were analysed depending on the regulations in the mining legislation. It is possible to determine of the pillar and safety boundaries in the underground mine against the danger for the underground coal mining in the longwall panels on a standard 3D mine map. For this, however, chaotic problems experienced in 2D mapping need to be solved with spatial relations in 3D plan. In this study, this approach are investigated by example applications and the results were discussed.

[*] *hakanakcin@hotmail.com*

## 1. GİRİŞ

Yeraltı madenciliğinde çalışmayı ve güvenliği etkileyebilecek olan;

- Kaya ve kömürlü seviyelerdeki gaz, su ve toz patlamaları,
- Gaz degajı ve yayılımı, havalandırma, kazı işleri,
- Termal konfor, yangın, toz, gürültü, titreşim,
- Aydınlatma, tahkimat ve maden göçükleri,
- Patlayıcı madde kullanımı, elektrik, su baskını,
- Mekanizasyon ve makine kullanımı,
- Malzeme ve insan nakliyesi gibi,

Tehlikelerin, mevzuattaki hükümler çerçevesinde 3 boyutlu planlamaya dayalı mekânsal analizlerinin gerçekleştirilmesi en önemli mühendislik uygulamalarından biridir (Akçın vd. 2015, Akçın ve Sargınoğlu 2016). 6331 numaralı "İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun" 10. Maddesine göre ise İşveren, iş sağlığı ve güvenliği yönünden çalışma ortamına ve çalışanların bu ortamda maruz kaldığı risklerin belirlenmesine yönelik gerekli kontrol, ölçüm, inceleme ve araştırmaların yapılmasını sağlamalıdır. Bu kontrol, ölçüm ve incelemeler; madencilik yapılan mekânın yapısal özelliklerini, üretimleri, bu mekândaki tüm donanım ve teçhizatlar ile jeolojik yapı unsurlarının gerçek konumunda 3 boyutlu konumlanmasına yönelik topoğrafik ölçümleri de kapsamaktadır. Gerek bu kanun ve gerekse bu kanuna göre 2015'deki son düzenlenmiş şekli ile "maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğine" göre işletme; riskler ve önlemlerine yönelik haritaları ve planları oluşturmak zorundadır. Örneğin bu yönetmeliğin 22. Maddesinde "*Ani gaz geliri veya göçük veya su baskını ihtimali olan bölgelerde çalışanların korunması ve güvenli bir çalışma ortamı sağlanması için yürütülecek faaliyetler sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilerek planlanır ve uygulanır*" hükmü getirilmiştir.

Türk maden iş yerlerinde iş güvenliği mevzuatına göre, işverenin yeraltı kömür madenlerinde faaliyet alanının herhangi bir yerinde iş sağlığı ve güvenliğini etkileyecek olayın (göçük, gaz ve toz patlaması, zehirli veya boğucu gaz intişarı ve benzeri) meydana gelmesi durumunda tüm çalışanların acil durum planında belirtilen kaçış güzergâhlarına uygun olarak sağlıklı ve güvenli bir şekilde yer üstüne intikalini sağlama zorunluluğu getirilmiştir.

Bu mevzuatlardaki son yeniliklerle; çalışılmakta olan maden iş yerleri yakınında, basınç altında birikmiş tehlikeli ve zararlı gazların veya yeraltı suyunun tehlikeye neden olabileceği durumlarda veya eski çalışma yerlerinde su veya gaz birikme ihtimalinin olduğu durumlarda uygulanması gereken yöntemlerden biri olarak 50 m'den az olmamak kaydıyla uygun topuk bırakılması ön görülmüştür. Ayrıca; Yeraltı kömür ocaklarında, taşta açılan galerilerde, kömür damarı veya fay kesilmesi durumlarında, dört yönde olacak şekilde ve sağlık ve güvenlik dokümanında belirlenen sayılarda kontrol sondajları yapılır ve 15 metre topuk bırakılacak şekilde

10 metre ilerleme gerçekleştirildikten sonra her seferinde tekrarlanır. Yeraltı madenlerinde, hazırlık faaliyetlerinin yapıldığı alanlar ve üretim panoları gibi yeraltı maden işletmesinin bütün bölümlerini kapsayacak şekilde ve çalışanların yerüstüne çıkmalarını kolaylaştıran hayat hattının acil durum planlarına, çalışanların en kısa sürede madeni terk edecekleri şekilde yerleştirilmesi ve hayat hattının hiçbir şartta zarar görmemesinin sağlanması yani topuk ve güvenlik sınırlarıyla korunmasının sağlanması gerekmektedir.

Maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğine göre ayrıca; patlama riski bulunan yerlerde, alınması gerekli tedbir ve kullanılacak ekipmanı ayrıntılı olarak belirten tehlikeyi önleme planı hazırlanır, ilgili detayları kapsayan bir koruma planı da hazır bulundurulur. Ayrıca; gaz kaçağı, göçük veya su baskını ihtimali olan bölgelerde çalışanların korunması ve güvenli bir çalışma sistemi sağlanması için üzerinde topuk ve güvenlik sınırını gösteren bir çalışma planı hazırlanır ve uygulanır.

Mevzuatta; riskler ve önlemlerine ilişkin olarak haritaları ve planları oluşturmaya yönelik "yeraltı çalışmalarını açıkça gösterecek ölçekli bir yeraltı üç boyutlu çalışma planı hazırlanır" hükmü yer almaktadır. Bundan da önemlisi "çalışmayı ve güvenliği etkileyebileceği beklenen diğer özellikler bu planın üzerinde gösterilir, planlar sağlık ve güvenlik yönünden gerekli olduğu sürece saklanır" hükmüne de yer verilmiştir. Bu kanun ve yönetmeliğinden çıkartılacak en önemli üç sonuç şudur:

- Yeraltı çalışmalarını açıkça gösterecek ölçekli bir yeraltı üç boyutlu maden haritası (çalışma planı) hazırlanır,
- Çalışmayı ve güvenliği etkileyebileceği beklenen tehlikelere ilişkin özellikler bu planın üzerinde gösterilir,
- Planlar sağlık ve güvenlik yönünden gerekli olduğu sürece saklanır.

## 2. 3 BOYUTLU MADEN HARİTASI ÜRETİMİNE YÖNELİK KONUMSAL ÖLÇMELER VE BEKLENEN DOĞRULUK

Üç boyutlu haritalar, yeryüzünün veya yerin içinin mümkün olduğu kadar gerçeğine yakın görünümlerinin gerçek konumunda bilgisayar ortamında oluşturulması ve bu görünümlerin farklı ölçek seviyelerinde görselleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Mekânların üç boyutlu olması, üç boyutlu modellerin anlatım ve iletişimde kolaylık sağlaması, sunum ve görselleştirme açısından bilgisayar ortamında da üçüncü boyutun kullanılmasını ve bu sayede modelleme yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle yerin içyapısı ve yeryüzündeki nesnelerin üç boyutlu modellenmesi planlama, projelendirme, analiz, sunum ve görselleştirme yeteneklerinin arttırılması ve Mekânsal Bilgi Sistemi oluşturma açısından da önemlidir.

Yeraltı dinamik bir yapıdadır ve sürekli değişim gösterir. Bu değişime paralel olarak özellikle üretim yapılan alanlara tekrar tekrar girmek ve bu mekânlarda geniş bir zamana dayalı olarak ölçüm yapmak olanaksızdır. Mekânlar çok dar, tozlu, karanlık

ve ıslak ortamlar olup her an göçük tehlikesi söz konusudur. Yanı sıra bu dar alanlarda üretime yönelik birçok ağır ve gürültülü maden makineleri ve tahkimat, inşaat malzemesi ile birlikte çalışılma zorunluluğu vardır. Değişkenlik gösteren bir üretim ortamında sekiz saatlik bir vardiyada tüm mekânı üretimle senkronize olarak gerçek 3 boyutlu konumlamasını gerçekleştirmek zorunlu olup çok zor bir uygulamadır. Bu noktada gerçek ifadesi bir jeolojik formasyon (oluşum) içerisindeki bir yeraltı mekanın kendisi ya da bu mekanın içerisindeki bir nesnenin konumunu yaklaşık olarak değil, üç boyutlu ölçümle tanımlanmış (konumlanmış) şekliyle örneğin bir patlayıcı madde deposunun yeraltındaki 3 boyutlu konumunu ifade etmektedir.

Son 10 yıl içerisinde madencilikte bahse geçen konumlamanın iptidai ölçme yöntemleri ile belirlenmesi veya ölçüm yapılmaksızın yaklaşık olarak yerinin belirlenmesine bağlı olarak hayali planlar üzerinden üretilen madencilik projelerinin uygulandığı yerlerde büyük kazalar peş peşe gelmeye başlamıştır (Akçın 2015). Mevzuattaki yaptırımların bu konuda arttırılması ile artık bu uygulamalardan vazgeçilerek gerçek konumunda belirlemelerin yapılması zorunlu kılınmıştır.

Yeraltı Kömür Madenciliğinde maden yönetmeliği ve maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğine göre istenen harita ve planların gerçek konumunda 3 boyutlu oluşturulabilmesi için birçok önemli hususa dikkat edilerek yer altı açıklıklarının tesis edilen konum belirleme noktaları (poligon noktaları) yardımıyla oluşturulması gerekmektedir. Yeraltında konum belirleme noktaları; yer altı işletme şekillerine göre ana diziler, bağlantı dizileri ve tamamlayıcı diziler şeklinde düzenlenmelidir. Bu konum belirleme noktalarına;

- Yeryüzünden
- Yüzeyden sürülen galerilerden
- Yüzey bağlantılı desandrelerden (eğik kuyulardan)
- Tam düşey kuyulardan
- Kuyuların her bir kata açılan insetlerinden (bağlantı tünellerinden)
- Havalandırma bacalarından

Yatay konum ve yükseklik değerleri taşınmalıdır. Bağlantı işlemlerinde ana konumlama noktalarının hesaplanan nokta konum doğruluğu ± 30 cm, bağlantı konum noktalarının nokta konum doğruluğu ± 40 cm ve tamamlayıcı konum noktalarının nokta konum doğruluğu ± 50 cm ve daha büyük olmamasına özen gösterilmelidir. Ana konum noktalarının yükseklik doğruluğu ± 20 cm, bağlantı konum noktalarının yükseklik doğruluğu ± 30 cm tamamlayıcı konum noktalarının yükseklik doğruluğunun ise ± 40 cm ve daha incelikle belirlenmesi hedeflenmelidir.

Ana konum belirleme noktalarının tesisleri; yeraltında ana nakil yolları, havalandırma yolları, boşlukları ve ana galeriler gibi tesisler içinde oluşturulmalıdır. Bağlantı noktaları, ana konum noktalarını sıklaştırmada, detay alımında, küçük galeri ve

tünellerin konumlarını belirlemede ve yerlerdeki değişimleri belirlemek için oluşturulmalıdır. Tamamlayıcı noktalar ise üretim alanlarında işletmenin sürekli değişen durumunu ortaya çıkarmak için ayaklarda ve panolarda oluşturulan ve tavan-taban yolları boyunca tesis edilen nokta dizilerinden oluşmalıdır.

- Ana, bağlantı ve tamamlayıcı konum belirleme noktalarının ölçümünde kullanılan donanım; Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliği ve Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili Yönetmeliğe uygun olmalıdır.
- Ölçme işinde kullanılacak Mekanik ve elektrikli donanımın seçimi, kurulması, uygun yerlere yerleştirilmesi, hizmete alınması, işletilmesi ve bakımında, çalışanların sağlık ve güvenliği için, Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili bu Yönetmelik hükümleri dikkate alınır. Gazların, buharların veya buharlaşabilen sıvıların alev alarak tutuşması sonucu yangın veya patlama riski olan bir ortamda kullanılacak topoğrafik ölçme donanımları, bu tür ortamlarda kullanmaya uygun özellikte olmalıdır (Sarı 2014). Ölçme donanımları, gerektiğinde uyumlaştırılmış ulusal standartlara sahip, uygun koruma tertibatları ve arıza durumunda donanımın güvenli kalmasını sağlayacak sistemler ile donatılmalıdır.
- Ölçme işini yapan personel; Özel riski bulunan ortamlardaki ölçme işleri için yalnızca bu işlerle ilgili özel eğitim almalı ve iş güvenliği talimatlarına uygun olarak ölçme işini gerçekleştirmelidir.
- Gaz ve toz patlama riski bulunmayan madenlerde elektronik ölçme donanımları kullanılabilmekle birlikte, maden ocağının işletilmesinden ve güvenliğinden sorumlu mühendis tarafından riskli olduğu tespit edilen ocaklarda yalnızca optik ve mekanik donanımlarla ölçümler yapılmalıdır.
- Tamamlayıcı nokta konum geçkilerinde yatay ve düşey konum ölçmeleri aynı anda gerçekleştirilmelidir.

## 3. YERALTI KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE TOPUK PLANLAMASI VE BOYUTSAL FARKLILIKTAN KAYNAKLANAN SORUNLAR

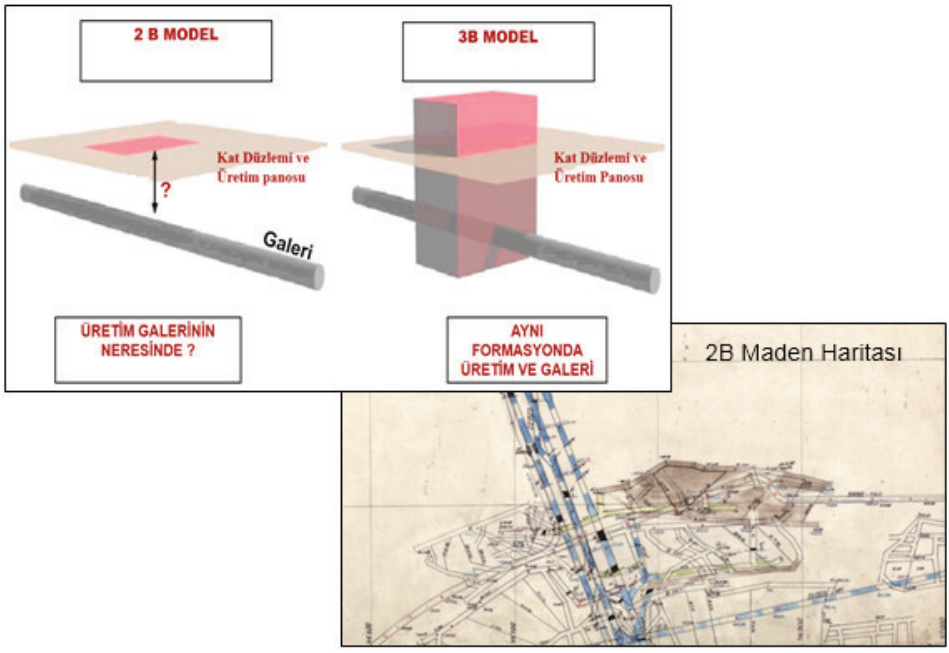
Yeraltındaki kömür üretimi sırasında doğacak boşlukların, üst katmanlar tarafından çökerek doldurulmaya çalışılmasıyla yeryüzüne kadar varan ve tasman olarak adlandırılan bir zemin içi ve üstü çöküntü yapısı meydana gelir (Akçın vd. 2003, Whittaker ve Reddish 1989, Lee ve Abel 1983) . Bu durum, üç boyutlu oluşum olup; üretimin derinliği, damarın kalınlığı, damarın eğimi, damarın üstünde bulunan katmanların jeolojik ve fiziksel özellikleri, üretimin şekli ve hızı gibi birçok özelliğin fonksiyonu olarak zemin içindeki ve üstündeki tüm yapıları etkiler (Whittaker ve Singh 1979). 13 Eylül 2013 Tarihli *"Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmelik"* te Ek 3 Madde 1'de yeraltı çalışma planları (imalat haritası, maden haritası) için şu ifadelere yer verilmiştir.

- Madde 1.1'de; yeraltı çalışmalarını açıkça gösterecek ölçekli bir yeraltı çalışma planı hazırlanır. Yollar, üretim alanları ile çalışmayı ve güvenliği etkileyebileceği beklenen diğer özellikler bu planın üzerinde gösterilir ve bu planlar kolayca ulaşılabilir şekilde muhafaza edilir. Planlar sağlık ve güvenlik yönünden gerekli olduğu sürece saklanır.
- Madde 1.2'de; yeraltı çalışma planları en geç ayda bir güncelleştirilir ve işyerinde bulundurulur.
- Madde 1.3'de eski çalışma yerleri, ocak içinde veya çevresinde su bulunması muhtemel tabakalar, faylar ve su kaynakları gibi doğal ve arızi su birikintilerinin durumu, genişliği ve derinliğiyle ilgili bütün bilgiler, ayrıntılı olarak imalat haritalarına işlenir.

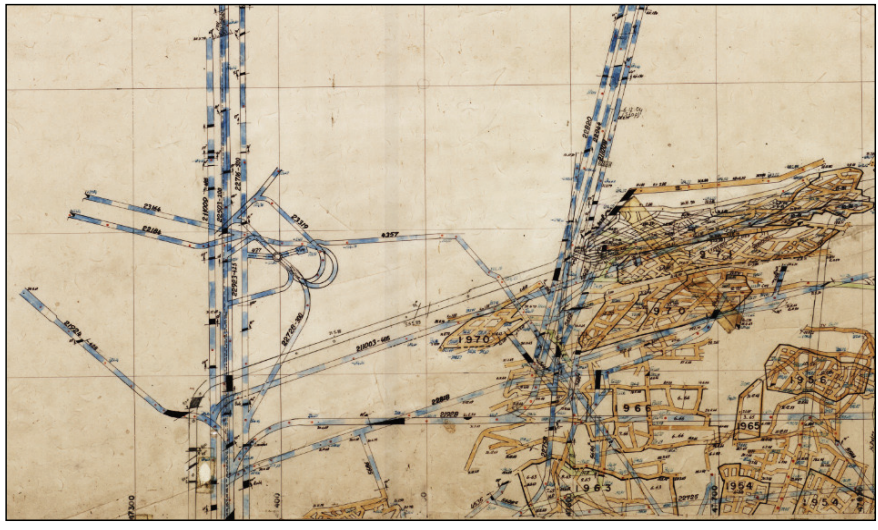
Aynı yönetmelikte topuklar, işletmelerde güvenlik için bırakılan maden kısımları olarak tanımlanmıştır. Topuklar; genellikle sürekli veya geçici süre korunması gereken bazı mühendislik yapıları ile deniz, göl veya nehir altı madenciliği ile fay gibi süreksizlikler ve kalkerle temas halindeki maden cevheri için bırakılır (Akçın vd. 2003, Whittaker ve Singh 1979, Sanşan 1980). Bu topuk yeraltındaki diğer damarlar içinde geçerli olup, her damar için genişleyerek devam eder.

Üretim planlaması açısından da topuklar önemlidir. Ayrıca madenin yeryüzüne ulaştırılması amacıyla yapılan tesislerin (kuyu, galeri gibi) korunması için de topuk bırakılır (Williams W.R. 1983, Whittaker ve Reddish 1989, Gao vd. 2017). Örneğin; Maden İş Yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği yönetmeliği Ek 3 2. Maddesinde, tüm yeraltı çalışmalarında, çalışanların kolayca ulaşabileceği, birbirinden bağımsız ve güvenli yapıda en az iki ayrı yoldan yerüstü bağlantısı bulunur. Bu yollar arasındaki topuk 30 metreden aşağı olmaz hükmüne yer verilmiştir. Yapılar, kuyular ve yer altı tesisleri için topuk tasarlamak ve bunu üretim (imalat) haritaları üzerine işleyerek, yeraltındaki üretim faaliyetlerinin takibi ve üretimin bağlantısının izlenmesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu önemli uygulama, bir maden haritacılığı hizmeti olup, havzanın tasman karakteristiklerinin mühendislik ölçmeleriyle belirlenmesi sonucu, 3 boyutlu çözümlemeler ile topuk planlaması yapılır. Güncel maden ve iş güvenliği mevzuatına göre maden planlarının 3 Boyutlu hazırlanması zorunluluğu getirilmiş olmasına rağmen daha önce bu planların 2 boyutlu hazırlanması dolayısıyla bu geçiş sürecinde bir takım kaotik durumların oluştuğu bilinmektedir.

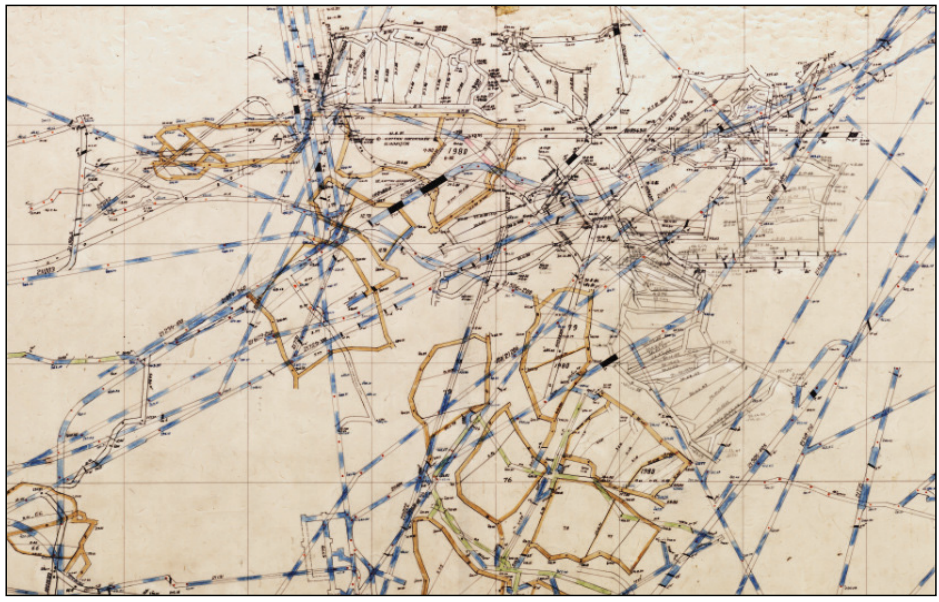
Ancak; planlamada 2 boyutlu haritalama ile yeraltı yapıları ve jeolojik unsurlar arasındaki mekânsal ilişkilerin belirlenmesi oldukça zordur (Akçın 2015, Akçın ve Sargınoğlu 2016). Bir damarda katlı üretim, bir formasyondaki istiflenmiş kömür damarlarında eş zamanlı veya farklı zamanda yapılan üretimler, üretimlerin süreksizlikler ile ilişkisi, damarların ondülasyonlu yapısı, farklı kat seviyesindeki üretimler gibi durumlar mekânın gerçek 3 Boyutlu konum koordinatları kullanılarak haritalanması ile sağlıklı olarak belirlenebilmektedir. Şekil 1, 2, 3, 4, 5 ve 6'da 2 Boyutta hazırlanmış grafik harita örneklerinde durumun karmaşık yapısı ile 3 Boyutlu haritalardaki gösterim kolaylıkları ele alınmıştır.



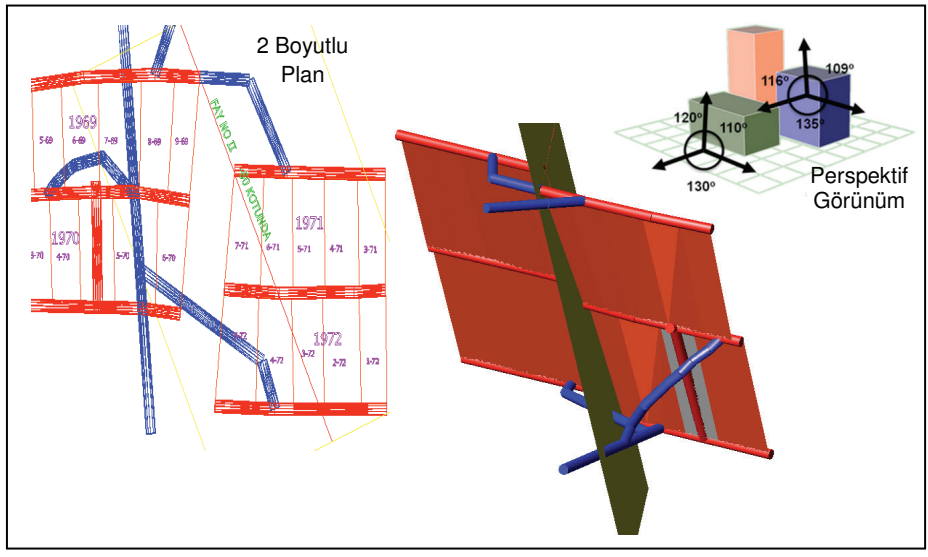

Şekil 1. 2 Boyutlu maden haritalarında konumsal ilişkilerde yaşanan sorunlar.



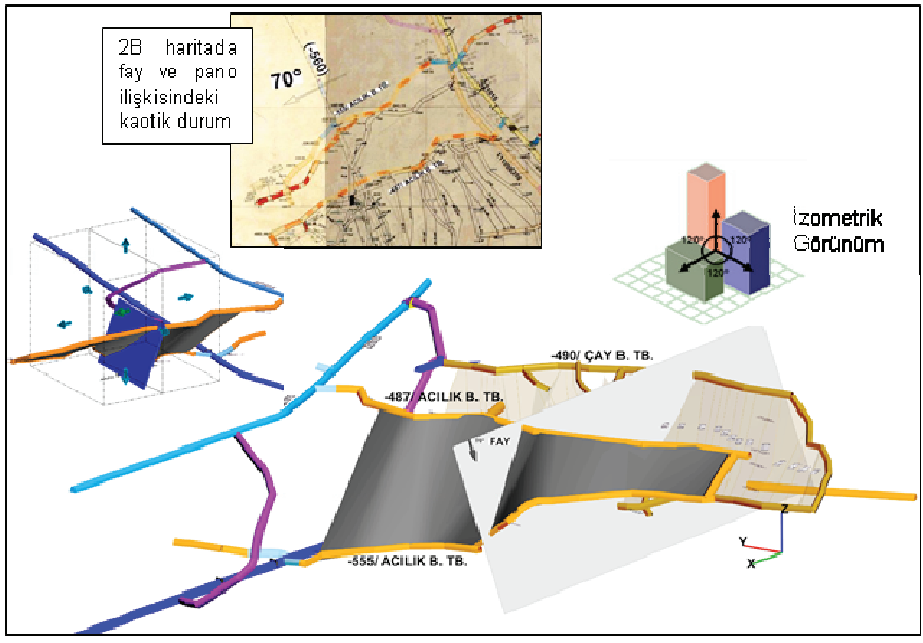
Şekil 2. Maden Haritalarının 2 Boyutlu yapısında çok karmaşık yapıdaki kuyu galeri ve üretim panosu ilişkisi.



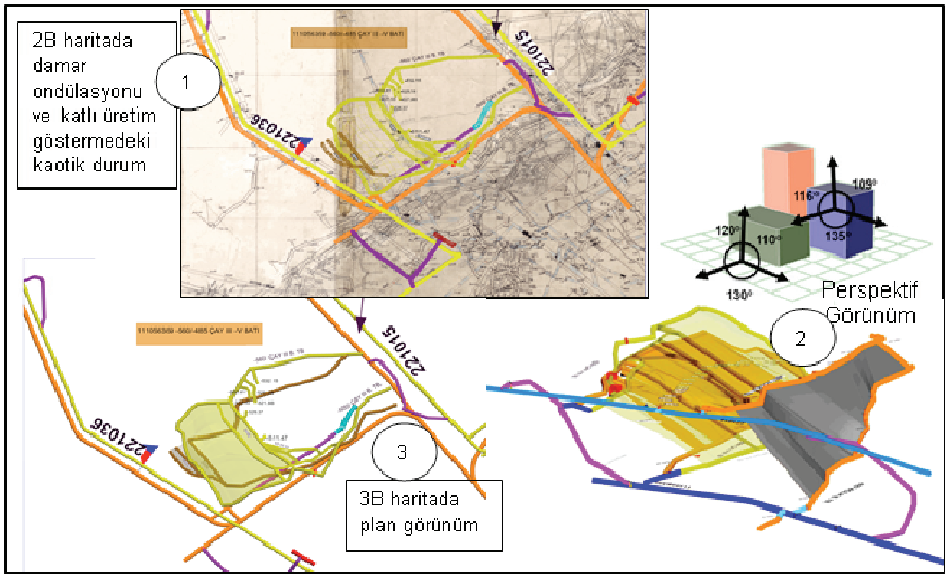
Şekil 3. Farklı derinlik seviyelerindeki taban yolları ve galeri şeklindeki yeraltı açıklıklarının 2 Boyutlu maden haritasındaki kaotik görünümü.




Şekil 4. Fayla kesilmiş bir uzunayak panosunun 2 Boyutta kaotik yapısı ve 3 Boyutlu haritada geniş ölçekte perspektif görünümü (Kuşçu vd. 2005, Sanşan 1980).




Şekil 5. 2 Boyutlu haritadaki kaotik duruma göre, 3 Boyutlu haritalarda fay ve çoklu damar ilişkisi izometrik görünüm olarak elde edilebilmektedir.




Şekil 6. 3 Boyutlu haritada ondülasyonlu kömür damarlarında tek ve çok katlı üretimlerin plan ve perspektif görünümdeki gösterim başarısı.

## 4. TOPUK VE GÜVENLİK SINIRI BELİRLEMEYE İLİŞKİN 3 BOYUTLU UYGULAMALAR

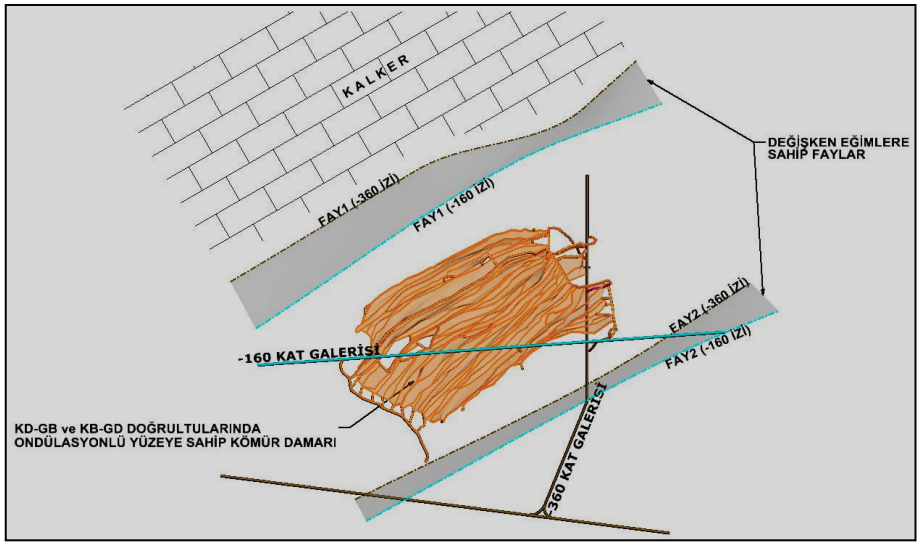
Bu çalışmada yukarıda belirtilen standartlarda hazırlanmış yeraltı kömür madenciliğinde topuk planlama güvenlik sınırının belirlenmesine ilişkin örnek uygulamalara yer verilmiştir. Konuya ilişkin uygulamalar uzunayak yöntemi ile yeraltı kömür üretiminin gerçekleştirildiği TTK Karadon ve Kozlu Taşkömürü İşletme Müdürlüğü üretim bölgelerindeki panoların kalker ve fay ile ilişkisinin, kuyu topukları ile üretim ilişkisinin, denizaltı panoları ile üretim ilişkisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından durumu analiz edilmiştir.

### 4.1. Kalkerli Sahada Galeri Topuğu ve Güvenlik Sınırı Belirleme

Birinci uygulamada -160m katında kalker (kireçtaşı) içinde açılan galerinin üretilen kömür damarı yüzeyi arasındaki en yakın mesafenin neresi olduğu incelenecektir. Bu durum iki açıdan önemlidir. Üretim planlaması açısından projelendirilen pano ve galeri eğer gerçek konumda değilse; yüksek maliyetlerle açılan ve yeraltına hava girişi sağlayan ve içinde her türlü nakliyatın ve haberleşmenin sağlandığı galerinin üretim sonucunda göçmesi söz konusu olur. Ayrıca, fayların konumu gerçek değilse üretim sonucu oluşan çatlaklardan su ve gaz sızması hatta patlamalarının meydana gelebilir. Bu açıdan analiz son derece önemlidir. Bunun nedeni, bahsi geçen tehlikeler nedeniyle faya ve galeriye bir yaklaşma sınırının bırakılması ve projelendirilen bu sınıra uyulması gerekliliğidir. Eğer belirtilen tüm detaylar ve yaklaşma sınırları gerçek konumunda ise 3 Boyutlu plana sadık kalınarak, sorunsuz bir şekilde üretimin gerçekleşmesi sağlanmış olur. Aksi durumda patlama tehlikesine bağlı ölümlü ya da en iyimser yaklaşımla yaralanmalı bir kaza durumu söz konusu olabilir.

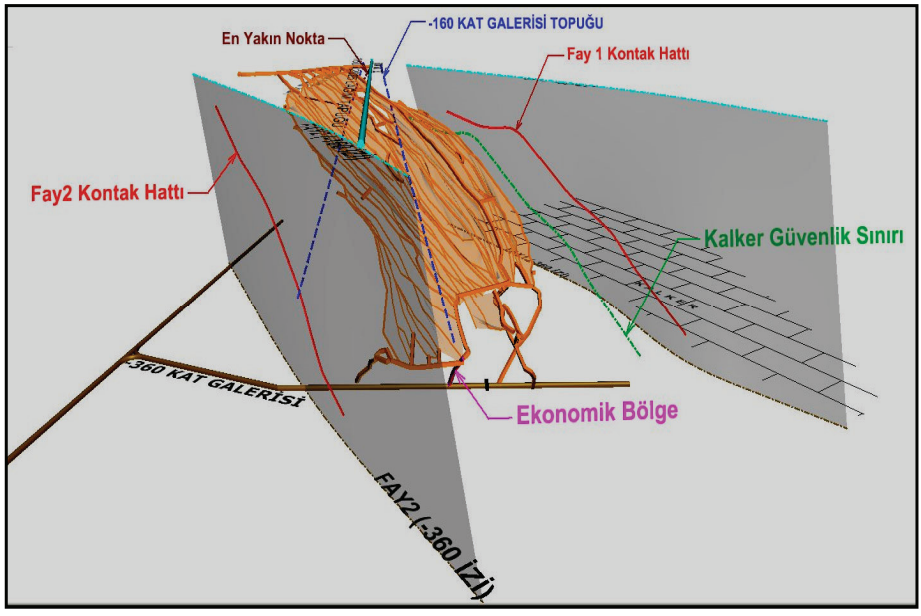
Bununla birlikte 3 Boyutlu planlamaya bağlı olarak şu soruların da yanıtının alınması söz konusudur:

- Kömür damarının kuzeybatı -160/-360 ayak boyu ile Fay 1'in ilişkisi nedir?
- Kalker tabakası için belirlenecek güvenlik mesafesi, ayak boyunca işaretlenebilir mi?
- Kömür damarının güneydoğu -160/-360 ayak boyu ile Fay2'nin ilişkisi nedir?
- Fay 2 ile kontak sağlanacak noktalar her nokta için tespit edilebilir mi?
- -160 kat galerisinin deformasyonunu önlemek maksadıyla bırakılacak olan topuk sınırı, ondülasyonlu kömür damarı yüzeyi boyunca belirlenebilir mi?
- -360 katından çıkılacak olan, belirli eğime sahip rekupların, taşta ilerleme miktarları ne kadar olabilir?
- -360 katından kömür damarına, en ekonomik şekilde bağlantı yapılabilecek rekuplar tespit edilebilir mi?




Şekil 7. Üretim panosunun 2 boyutlu planda fay, kalker ve galeri ile olan ilişkisi.

3 boyutlu planlamada yukarıdaki soruların tümünün yanıtının alınabilmesi söz konusudur. Gerçek konum koordinatları ile üretilmiş, animasyon olmayan 3 boyutlu model görünümleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



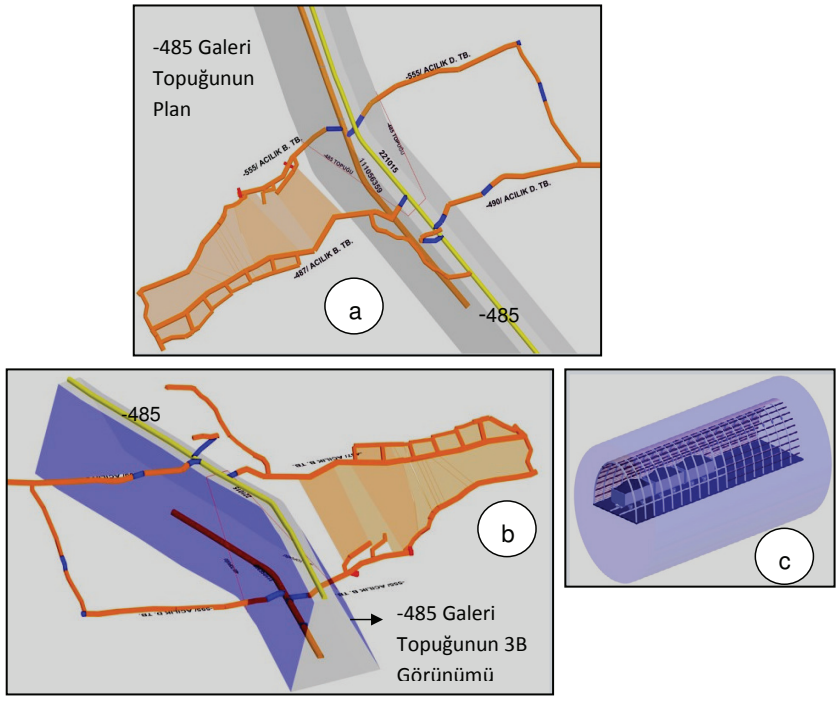

Şekil 8. Üretim mekanının hayat hattı olarak kullanılan galeri için topuk ve kalker güvenlik sınırlarının 3 boyutlu perspektif görünümü.

### 4.2. Uzunayak Pano Üretim Bölgelerinde 3 Boyutlu Galeri Topuğu Belirleme

Bu uygulamada ondülasyonlu bir kömür damarına ulaşım, nakliyat, hava ve hayat hattı hizmeti veren bir galerinin (taşta sürülen bir lağımın) 3 Boyutlu maden haritası üzerinde oluşturulmuş topuk uygulamaları ele alınmıştır. Şekil 9'da uygulamanın plan ve perspektif görünümleri ve galeri içinden güvenlik (emniyet) sınırına göre oluşturulmuş tampon bölge yapısı verilmiştir.

### 4.3. Uzunayak Pano Üretim Bölgelerinde 3 Boyutlu Kuyu Topuğu Belirleme

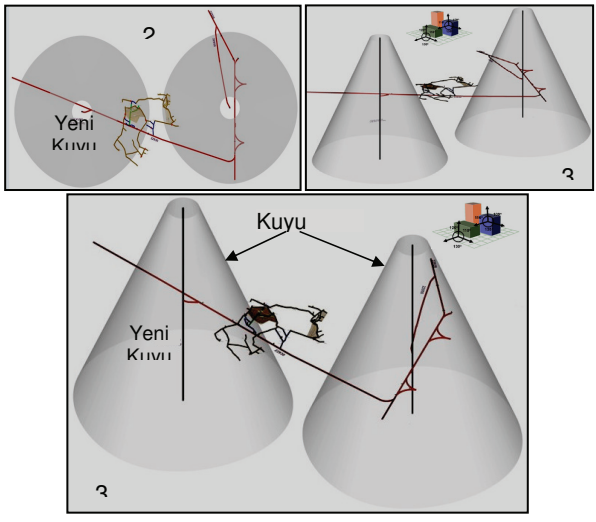
Ele alınan uygulamada uzunayak yöntemi ile kömür üretimi yapılan bölgelerde düşey sirkülasyonu sağlayan kuyular için topuk belirlemede 3 Boyutlu uygulamalar ele alınmıştır. Şekil 10 ve 11'de verilen uygulamada harita üzerinde plan görünümünde dolayısıyla 2 Boyutlu görünümünde üretim panoları yani imalatlar belirlenen topuk alanının içinde kalıyor gibi görünmektedir. Bu da ilk planda topuktan planlama dışı bir üretim gerçekleştirilmiş olması ihtimalini göstermektedir. Ancak üç boyutlu perspektif görünümlere bakıldığında üretimlerin 3 Boyutlu topuk koruma bölgesinin dışında kaldığı görülmektedir.



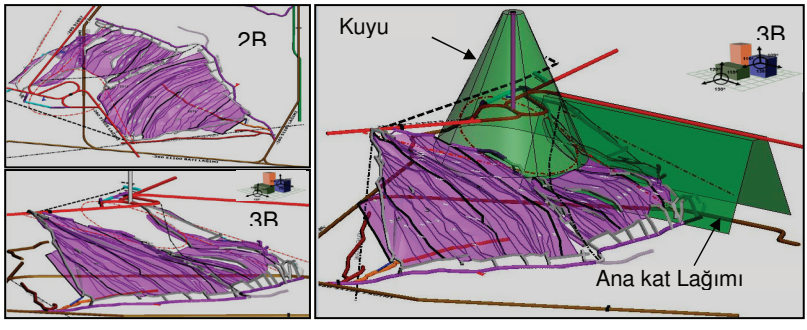

Şekil 9. Hayat hattı olarak da kullanılan ve yatay sirkülasyonu sağlayan bir galeriye ilişkin; a) 2 Boyutlu topuk görünümü, b) 3 Boyutlu perspektif görünümü, c) 3 Boyutlu güvenlik bölgesi.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde madencilik faaliyetleri kapsamında ve özelde yeraltı madenciliğinde hukuksuz bir şekilde gerçekleştirilen ve büyük iş kazalarına neden olan mühendislikten uzak uygulamaların altında hiçbir standarda ve yönetmeliğe uymayan alelade hazırlanmış ölçme ve haritalama çalışmalarının yattığı bir gerçektir. Buna neden olan kavramların ayrıca geniş kapsamda incelemelerinin yapılması gerekmektedir (Akçın 2015). Ele alınan bu çalışma ile gerçek konumunda 3 boyutlu ölçmelere dayalı olarak maden hukuku mevzuatına uygun risk analizlerinin ve planlamanın yapılabileceği, temel uygulamalar ile gösterilmiştir. Bu uygulamaların başarıya ulaşması için gerekli yaklaşımlar belirlenmiştir.




Şekil 10. Kuyu insetleri ve hayat hattı olarak kullanılan lağımla bağlantılı üretim panosu için kuyu topuklarının plan ve perspektif görünümü.




Şekil 11. Kuyu dibinde ve hayat hattı olarak kullanılan ana kat lağımının etki alanındaki bir uzunayak panosunda bırakılan topuklar.

## KAYNAKLAR

Akçın, H., Şahin, H., Aratoğlu, T. 2003. Madencilikte Tasman Hasarlarından Korunmaya Yönelik 3B Topuk Planlaması, 1. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.

Akçın, H., Uzun, A.G., Atalay, C., Şekertekin, A. 2015. Endüstriyel Alanlarda Risk Haritalarının Oluşturulması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara.

Akçın, H. 2015. Maden Kanunundaki Gelişmeler Çerçevesinde Harita Niteliğindeki Belgelere İlişkin Sorunların İrdelenmesi, Maden Hukuku Sempozyumu, Afyonkarahisar.

Akcin, H., Sargınoğlu S. 2016. Yeraltı Kömür Madenciliğinde Gerçek Konumlu Üç Boyutlu Risk Haritalarıyla Mekânsal Analiz, 20. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Gao, Y., Liu, D., Zhang, X., and He, M. 2017. Analysis and Optimization of Entry Stability in Underground Longwall Mining, Sustainability, 9, 2079.

Kuşçu, Ş., Şahin, H., Akçın, H., 2005. Maden İmalat Haritalarının Sayısallaştırılması ve Yeraltının Görsel Modelinin Oluşturulması, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

Lee, F.T., Abel, Jr., J.F. 1983. Subsidence from Underground Mining Environmental Analysis and Planning Considerations, United States Department of the Interior, Geologıcal Survey Circular 876, USA.

Sanşan, M. 1980. Topoğrafya, EKİ İnsan gücü Eğitim Müdürlüğü Yayını, No 39, İlk Adım Matbaası, Zonguldak.

Sarı M., K. 2014. Yeni atex direktifi, Elektrik Mühendisliği Dergisi Ağustos, 451, s. 40-44.

Whittaker, B.N., Singh, R.N. 1979. Design and Stability of Pillars in Longwall Mining, The Mining Engineer, pp. 59-73.

Whittaker, B.N., Reddish, D.J. 1989. Subsidence Occurrence, Prediction and Control, Elsevier, Amsterdam-Oxford-Newyork-Tokyo, 528 p.

Williams, W.R. 1983. Mine Mapping and Layout, Prentice-Hall Inc., New Jersey.

# MADEN MEVZUATI ÜZERİNE

## *ABOUT MINE REGULATIONS*

**Ömer Günay**[*]
*Maden Mühendisi - Avukat, Ankara*

**ÖZET** Maden Kanununda 04.02.2015 tarihinde esaslı değişiklikler yapılmış ve yeni yönetmeliği 8 ay içinde çıkarılmak üzere düzenlenmiştir. 2.5 yıl sonra yeniden bir düzenleme yapılmış, 21.09.2017 günü Maden Yönetmeliği yayınlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu yazıda gerek Kanun ve gerekse yeni çıkan Yönetmelik hakkında ki değerlendirmeler sunulmuştur.

**ABSTRACT** Substantial amendments were made in the Mining Law on 04.02.2015 and it was regulated that the new directive will be issued within 8 months. The regulation made after 2.5 years was published on 21.09.2017 as Mining Regulation and entered into force. In this article, evaluations about the law and the new regulation are presented.

[*] *omerguna@hotmail.com*

## 1. GİRİŞ

Maden hukuku çok bilinen ve üzerinde fazla düşünülmüş bir hukuk dalı değildir. Ayrıca mevzuatta çok fazla değişiklikler yapılmaktadır. Yapılan değişiklikler, birbirini tamamlayan, açıklayan, güçlendirici olmaktan çok, birbirine zıt düzenlemeler şeklinde olmaktadır. Bu durumda hukuki güvenlik, öngörülebilirlik bakımından sakıncaları da beraberinde getirmektedir.

Mevzuatla ilgili toplu olarak değerlendirme yapılan bu yazıda, tespit edilen konular aşağıda başlıklar altında incelenmiştir.

## 2. KANUN VE YÖNETMELİĞE VERİLEN İSİM

Öncelikli olarak, Kanunun ve Yönetmeliğin adı ile başlamak gerekir. Kanun ve Yönetmelik Maden Kanunu ve Yönetmeliği olarak adlandırılmıştır. Oysa her ikisi ile de yapılmak istenen madenlerin aranması ve işletilmesini düzenlemektir. Oysa, düzenlenmesi gereken konu maden değil, madencilik faaliyetleridir. Maden nötr bir varlıktır. Ne zaman ki onu aramaya ve işletmeye teşebbüs edilirse, diğer haklarla olan çatışma başlamakta, üretilen madenin paylaşımı söz konusu olmaktadır, bu nedenle de düzenlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Düzenlemelerin tümüne yakını da, madenleri düzenlemekten çok (madenlerin gruplandırması hariç) madencilik faaliyetini düzenlemektedir. Bu nedenle Kanun ve Yönetmeliğin adı maden değil, madencilik faaliyetleri olmalıdır.

Bu ayrımın yapılmasının önemi şudur: Kanunun adı maden olunca, sınıflandırma da madenler için yapılmaktadır. Dolayısıyla da madenler gruplara, alt gruplara ve o da yetmeyince diğer ayrımlara gidilmektedir. Oysa madencilik faaliyetlerine göre ayrım yapılmış olsa idi açık ocak ve yeraltı madencilik faaliyetleri ayrımı veya kolay erişilebilen madenler zor erişilebilen madenler ayrımı yeterli olacaktı. Maden Mühendisliği eğitiminde de benzer şekilde açık ocak madenciliği ile yeraltı madenciliği temel sınıflandırmadır. Bu nedenle, Maden Kanununda ki sınıflandırma da buna benzetilerek yapılabilir.

## 3. MADENLERİN DEVLETİN MÜLKİYETİNE BAĞLANMASI

Yönetmeliğin Amaç başlıklı Birinci maddesinde "…Devletin mülkiyetinde olan maden kaynakları…" saptaması yapılmıştır. Anayasada ve Kanunda olmayan bu değerlendirme, bugüne kadar olan madenle ilgili düzenlemelerin hiçbirinde yok iken, ilk defa karşımıza çıkmaktadır. Konu ile ilgili doktrinde: "Ulusların benimsedikleri ekonomik-sosyal sisteme göre de maden hukukunu düzenledikleri görülmektedir. Maden hukukunda temel ayrım, madenlerin tamamen özel sektörce aranıp, işletilmesini sağlayan hukuk sistemleri ile tamamının devletçe aranıp-işlendiği sistemlerdir. Üçüncü yol ise, bazı madenlerin devlet tarafından doğrudan işletilmesinin yanında, özel sektöründe madencilik yaptığı sistemlerdir.

Bir başka klasik ayrım da, madenlerin mülkiyetinin, arazinin mülkiyetine bağlandığı sistemlerdir, tapu sicillerine maden hakları işlenerek, maden hakkının kullanımının mülk sahibine terk edildiği sistemlerdir. Arazinin sahibi, arazideki maden ile altındaki madenlerin de maliki sayılır. Dolayısıyla maden hukuku bir özel hukuk ilişkidir. ABD'de uygulanan yöntem bu şekildedir.

Diğer sistemde, Arazi mülkiyeti ile arazinin kapsadığı maden hakları farklılaştırılmıştır. Toprak mülkiyeti özel mülk konusu olurken, maden mülkiyeti devletin mülkiyetinde olmadan, devlet hüküm ve tasarrufundadır. Başka bir deyişle madenlerin hüküm ve tasarrufu devlete aittir. Devlet eliyle madencilik faaliyeti yapılabildiği gibi, istenirse özel sektöre de yetki verebilir. Sonuç olarak, birinci sistemde madenler özel hukuk kurallarına tabiidir. Ancak ikinci sistemde maden hukuku bir kamu hukuku konusu olup, idare hukukunun çalışma alanına girer." denmektedir (Günay 2017).

Ülkemizde ki düzenleme yetkisi ise, Anayasamızın 168. maddesine dayanır. Düzenleme şu şekildedir:

***III. Tabii servetlerin ve kaynakların aranması ve işletilmesi***

***Madde 168 –*** *Tabii servetler ve kaynaklar Devletin hüküm ve tasarrufu altındadır. Bunların aranması ve işletilmesi hakkı Devlete aittir. Devlet bu hakkını belli bir süre için, gerçek ve tüzelkişilere devredebilir. Hangi tabii servet ve kaynağın arama ve işletmesinin, Devletin gerçek ve tüzel kişilerle ortak olarak veya doğrudan gerçek ve tüzelkişiler eliyle yapılması, kanunun açık iznine bağlıdır. Bu durumda gerçek ve tüzelkişilerin uyması gereken şartlar ve Devletçe yapılacak gözetim, denetim usul ve esasları ve müeyyideler kanunda gösterilir.*

Bu düzenleme nedeni ile yani Anayasa da tabii servetler ve kaynaklar devletin hüküm ve tasarrufu altında olduğu şeklinde düzenlenmişken; yönetmelikte Devletin mülkiyetinde olan maden kaynakları ifadesi ile çelişmektedir. Bu nedenle ilgili düzenleme Anayasa 168. maddeye aykırıdır.

Bununla ilgili diğer gerekçe, kamu-özel ortaklıklarında, devir söz konusu olduğunda mülkiyet devri yerine uzun süreli kullanım hakkı devri sözleşmeleri yapılmaktadır. Özelleştirme Uygulamaları Hakkında kanun (Kanun Numarası: 4046) un 1. Maddesinin a, b, c, d, e, f maddelerinde mülkiyet devri değil kamu paylarının, varlıklarının ve iştiraklerindeki paylarının, mal ve hizmet üretim birimlerinin işletilmesi haklarının devri öngörülmüşken, hiçbir şekilde mülkiyet devri söz konusu değildir. Ayrıca belirtmelidir ki, madenlerin devletin mülkiyetinde olması, bilindiği kadarı ile yalnızca Küba Anayasasında mevcuttur.

Bu nedenlerle ilgili yönetmelik maddesinin yönetmelikten çıkarılması yerinde olacaktır.

## 4. ÜRETİME MİGEM'İN MÜDAHALESİ

Yönetmeliğin 24/2 maddesine de eleştiri getirmek mümkündür.

"*Genel Müdürlük; madenin cinsi, rezerv miktarı, tenörü/kalitesi, üretimin yapıldığı bölge, işletme izin alanı gibi kıstasları dikkate alarak projede yer alan minimum yıllık üretim miktarlarını belirleyebilir.*"

şeklindedir. Bu düzenlemeye göre, Genel Müdürlük, Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiliklerin (YTK) yaptığı işletme projelerindeki üretim miktarını tek taraflı olarak belirleyebilecektir. Ancak her ne olursa olsun Genel Müdürlük tarafından eğitimi verilen ve Genel Müdürlük tarafından yetkilendirilen YTK'ların hazırladığı projeler üzerinde değişiklik yapılması bilimselliği zedeler, hukuki güvenirliliği de tartışmalı hale getirir.

Ayrıca madenlerin tükenebilir varlıklar olduğu kabulü ile (Günay 2017), madencilik faaliyetlerinde verimlilik; nicel anlamda üretimin fazla yapılması değil; mevcut madenin israf edilmeden, yalnızca yüksek kar beklentisini karşılayan kısmını değil, rezervin ekonomik kısmının hepsinin üretilmesidir. Bu nedenle de mevcut yönetmelikte konu ile ilgili beklenti, rezervin tümünün üretimini sağlayacak tedbirler alınması iken, bu amaç karşılanmamıştır.

Bir diğer tipik değişiklik Yönetmeliğin 28/9 maddesinde yapılmıştır.

" *Tuz Gölünde verilecek işletme ruhsatlarının projedeki tuz üretim kapasitesi 200.000 ton/yıl tuzdan az veya 800.000 ton/yıl tuzlu su miktarından aşağı olamaz.*"

şeklindedir. Anayasa'da ise

***IV. Çalışma ve sözleşme hürriyeti başlıklı düzenlemede***

***MADDE 48****. – Herkes, dilediği alanda çalışma ve sözleşme hürriyetlerine sahiptir. Özel teşebbüsler kurmak serbesttir. Devlet, özel teşebbüslerin millî ekonominin gereklerine ve sosyal amaçlara uygun yürümesini, güvenlik ve kararlılık içinde çalışmasını sağlayacak tedbirleri alır.*

şeklindedir. Dolayısıyla Anayasa'da özel teşebbüs kurmak serbesttir denmesine rağmen, yönetmeliğin 28/9 Maddesinde kısıtlama getirilmektedir. Kısıtlamanın ancak kamu yararına olması gerekir. Ancak bu kısıtlamanın hangi gerekçe ile kamu yararına olduğu belli değildir.

Bu düzenleme ile de küçük ve orta ölçekli madenciye madencilik yapma imkanı bırakılmamaktadır. Kısıtlamalar adil değildir ve hakkaniyet içermemektedir.

Diğer yandan, Türk Ticaret Kanununda tacir ile esnaf gelir beklentisi ile ilgili olarak ayrı değerlendirilmektedir."

***MADDE 11-***

*(1) Ticari işletme, esnaf işletmesi için öngörülen sınırı aşan düzeyde gelir sağlamayı hedef tutan faaliyetlerin devamlı ve bağımsız şekilde yürütüldüğü işletmedir.*

*(2) Ticari işletme ile esnaf işletmesi arasındaki sınır, Bakanlar Kurulunca çıkarılacak kararnamede gösterilir.*

Ayrıca, esnaflar KOBİ kategorisinde değerlendirilmekte, onların büyütülüp geliştirilmesi ile ilgili tedbirler alınmaktadır. Bu nedenle, küçük ölçekli madencilik, esnaf düzenlemesine benzer şekilde korunmalıdır. MİGEM'in üretim miktarlarına müdahalesi bu nedenle küçük ve orta boy madenciyi koruyacak şekilde olmalıdır.

## 5. İDARİ PARA CEZALARININ MAKTU OLMASI

Küçük ve orta boy madenciliğin gelişmesini önleyici, zayıflatıcı, hatta yok edici diğer düzenleme ise Kanun ve Yönetmelikte yer alan idari para cezalarıdır. Maden mevzuatımızda 17 tür idari para cezası vardır ve hepsi maktudur (Altun 2018). Her ölçekte ki ve her ruhsat tipine tek tip ceza düzenlenmiştir. Bu durum bu cezayı küçük ölçekli madenci ödemekte güçlük çekerken; büyük ölçekli madenci için hiçbir önleyici niteliği bulunmamaktadır. İdari para cezalarının muhatabı da genel olarak küçük ölçekli madenciler olduğu için, sektörden ayrılma sonuçlarını da doğurmaktadır. İdari para cezalarının da nisbi hale getirilmesi ve adil olmayana bu düzenlemenin değiştirilmesi gerekir. Diğer adil olmayan ve eşitlik ilkesine aykırı düzenlemeler ise, rödovans yasağının kamu kurumlarında geçerli olmamasıdır.

## 6. RUHSAT İHALELERİNDE TEKNİK YETERLİLİK ARANMAMASI

Konu ile ilgili düzenleme, Maden Sahaları İhale Yönetmeliği'nin İhaleye müracaat başlıklı 6. Maddesinde istenen belgeler sayılmakta ancak teknik yeterlik şartı aranmamaktadır. Oysa mevzuatın genelinde madencilik faaliyeti en az bir maden mühendisinin nezaretinde yapılır düzenlemesi mevcuttur. Durum böyle iken ihale aşamasında maden mühendisi aranmaması kanunun genel ruhuna aykırıdır. Madencilik yapmak, ruhsat sahibi olmak için madencilik konusunda özel bilgiyi gerektirdiği açık olduğu için, ihaleye gireceklerde de "Maden Mühendisi" bulundurma şartı getirilmelidir.

## 7. MİGEM'İN SÜRE BAKIMINDAN SORUMSUZLUĞU

Bir diğer eleştiri konusu olan düzenleme Maden Kanunu 24/2 de "Taleplerin uygun görülmesi hâlinde bir ay içinde işletme ruhsatı düzenlenir." şeklindedir. Madenciye evrakların süresinde verilmemesi ve diğer uygulamalarda idari para cezası ve ruhsat

iptaline varan cezalar varken, idarenin ruhsat düzenlemesi için verilen sürenin aşılması halini düzenleyici hüküm yoktur. İdare sadece dava edilebilir. 1 aylık süre aslında idari hukukunda ki genel süredir. Bu nedenle madenci benzer konuda sorumlu iken, idare sorumsuzdur. MİGEM'in kadro yetersizliği nedeniyle cevaplama süresi en erken 3-4 ay gibi sürelere kadar uzamaktadır. Bu durumda hukuki öngörülebilirlik ilkesine aykırıdır. Bu nedenle de MİGEM'in işlemleri ile ilgili süreler hukuki öngörülebilirlik açısından belirlenmelidir.

## 8. MADEN BÖLGESİ VE HAVZA MADENCİLİĞİ SORUNU

18.05.2017 tarihinde Maden Kanunu'nda yapılan değişiklik, 7020 sayılı Kanunla 27 Mayıs 2017 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Öncelikli olarak, Maden Kanunu'nda ki iki kavramın açıklanmasına ihtiyaç vardır. Bu iki kavramdan ilki Havza Madenciliğidir. İlgili düzenlemeler şu şekildedir : Bilindiği üzere havza madenciliği sadece Ereğli Kömür havzası nedeniyle akla gelmektedir. İlgili düzenleme 3867 sayılı Ereğli Kömür Havzasındaki Ocakların Devletçe İşlettirilmesi Hakkında Kanun ve güncel Maden Kanununun Ek Madde 1 sidir. Konuyla ilgisi bakımından ilgili düzenlemeler;

Maden Kanunu 47:

*"Bakanlık tarafından, ruhsat müracaatlarına kapatılan alanlar ile havza ve kuşak madenciliğini geliştirmek ve jeolojik yapıyı aydınlatmak için herhangi bir sebeple hükümden düşmüş, terk edilmiş veya taksir edilmiş alanlarda, Bakanlıkça da gerekli görüldüğü takdirde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne arama faaliyeti yaptırılmak gayesiyle ruhsat verilir. İşletilebilecek maden varlığının belirlenmesi halinde, bu alanlardan ruhsat müracaatına kapatılan alanlardaki madenlerin işletilmesi için Bakanlar Kurulu kararı, diğer alanlar için ise bu madde ve 30 uncu madde hükümlerine göre Genel Müdürlük tarafından ihale edilir."*

*Maden Kanunu 30:*

*"Havza madenciliğini geliştirmek ve jeolojik yapıyı aydınlatmak amacıyla yeni oluşturulan alanlar ile herhangi bir sebeple hükümden düşmüş, terk edilmiş veya taksir edilmiş sahalar, alan sınırlamasına bakılmaksızın birleştirilerek ihale edilebilir. Bu şekilde ihale edilen sahaların ruhsatlandırılmasında 16. maddedeki alan sınırlaması aranmaz."*

Maden Bölgesi ise, 18.05.2017 tarihinde yapılan değişiklikle Maden Kanun' unumuza girmiştir. 29 MADDE ye ilave edilen ilk değişiklik:

"*Birbirine bitişik veya yakın maden sahalarında, yapılan üretimin çevresel etkileri, şehirleşme, işletme güvenliği, rezervin verimli işletilmesi ve benzeri sebeplerden dolayı yapılacak proje ve planlama çerçevesinde Genel Müdürlüğün teklifi ve Bakan*

*onayı ile maden bölgesi ilan edilebilir. Maden bölgesindeki ruhsatların bir veya birden fazla ruhsatta birleştirilmesi Genel Müdürlükçe yapılır*."

şeklindedir. Havza madenciliği ile Maden bölgesi ilan edilmesi arasındaki temel fark, havza madenciliğinin yapılabilmesine Bakanlar Kurulu karar vermekte iken, Maden Bölgesi ilanına ise MİGEM'in teklifi ile Bakan Onayı yeterli olmaktadır.

Öncelikli olarak her iki kavrama, havza madenciliği ve maden bölgesi tanımına maden kanunda tesadüf edilmemiştir. Bu nedenle yorum yaparak sonuca ulaşmak gerekecektir. Maden Bölgesi ilanının Bakan oluruna; havza madenciliği ile ilgili kararın Bakanlar kuruluna verilmesinden, havza madenciliğinin, maden bölgesini de kapsayan daha geniş ve ağırlıklı bir kavram olduğu söylenebilir. Maden kanununda kaynak tanımı ise Maden Kanunu 3. Madde de yapılmıştır.

*Madde-3:*

"*Kaynak: Yerkabuğunda veya derinliklerinde; biçim, nitelik ve nicelik olarak muhtemel ekonomik beklentileri karşılayacak katı, sıvı ve gaz birikimleri.*

şeklindedir. O halde kaynak, maden bölgesi ve maden havzası olmak üzere üç tanıma ihtiyaç var.

Kaynak, kanunda tanımlanmıştır. Maden bölgesi, bölgeye yayılmış kaynakları, bölgeleri kapsayan kaynakların da havzayı oluşturduğu yorumu yapılabilir.

Bu tanımlar ışığında, Maden Bölgesi, düzenlemede sayılan gerekçelere dayanılarak, birden çok maden ruhsatına bağlı maden kaynağının, bir veya birden fazla ruhsata bağlanması anlaşılmaktadır. Bir başka deyişle, ekonomik bütünlük arz eden tek bir maden kaynağının, mevcut birden fazla ruhsata tabi olmasının sakıncaları nedeniyle bir veya birden fazla ruhsata bağlanarak, kaynak üzerinde ki hak sahiplerinin azaltılması hedeflendiği anlaşılmaktadır. Yapılan değişiklikle de, bunun nasıl yapılacağı düzenlenmektedir.

Yürürlükte olan kanunda ruhsat birleştirme ile ilgili düzenleme şu şekilde idi: *İlk müracaat ve ruhsatlandırma*

***Madde 16***

"*…Ruhsatlar hak sahiplerinin işletme ruhsat taban bedeli ile müracaatta bulunmaları hâlinde birleştirilebilir. Birleştirme sonucunda ortaya çıkan alan, bu maddede belirtilen alan sınırlamasını geçemez. Ancak işletme ruhsatı safhasında görünür maden rezervinin mücavir ruhsat alanlarında bir bütünlük teşkil etmesi, ortak işletme yapılmasının zorunlu veya üretimin entegre tesisi beslemeye yönelik olması hâlinde bu alan kısıtlaması aranmaz. Mevcut işletme ruhsat alanında uygun ve yeterli yer bulunamaması hâlinde zorunlu tesis ve altyapı tesisleri için bitişik*

*alandaki ruhsat sahası ile safhasına bakılmaksızın ve alan sınırlaması aranmaksızın birleştirme yapılarak işletme ruhsatı düzenlenir. I. ve II. Grup ruhsatlar, birleştirme sonucunda alan sınırlamasını geçemez.*"

Yukarda ki düzenlemeden de anlaşılacağı üzere, ruhsat birleştirme mevcut kanunda zaten vardı ve hak sahiplerinin iradesine bağlı düzenleme yapılmıştı. Oysa yeni düzenleme ile hak sahiplerinin (ruhsat sahiplerinin) iradesi aksi yönde olsa da bakan oluru ile birleştirme düzenlenmektedir.

Yapılan yeni düzenleme de, birleştirilecek ruhsatların "Birbirine bitişik veya yakın maden sahalarında" uygulanacağı ifade edilmektedir. Birbirine bitişik ifadesi yeteri kadar açık ve tartışma götürmeyecek netlikte iken, "yakın maden sahaları" nın aynı netlikte olmadığı ve farklı yorumlanabileceğini söylemek zor değildir. Yakın maden sahalarından ne anlaşılması gerektiği bilinmediği için, idareye verilen yetkinin sınırlarını da tesbit etmek mümkün olmamaktadır. Burada sözü edilen yetki belirsizdir. Oysa idare hukukunda belirsiz yetki olamaz.

Yapılan düzenleme de Maden Bölgesi ilanı için sayılan gerekçeler "yapılan üretimin çevresel etkileri, şehirleşme, işletme güvenliği, rezervin verimli işletilmesi ve benzeri sebeplerden " şeklinde sayılmaktadır. Yine burda da "benzeri sebepler" açıklanmamış veya neyin benzeri olacağına da atıf yapılmamıştır. Bu nedenle benzeri sebepler düzenlemesine uygun olarak her türlü gerekçe, maden bölgesi ilanı için yeterli olabilecektir. Burada da idarenin yetkisi belirsizdir ve sınırsız kullanılmaya adaydır. Ayrıca maden bölgesi ilanına esas gerekçeler çevre, şehircilik, işletme güvenliği konularında farklı bakanlıkların görev alanına girer. Farklı Bakanlıkların görev alanına giren konularda, tek başına Enerji Bakanı'nın oluruna bırakılması yetki kargaşası doğurur. İdarenin hiyerarşisi ve ihtisaslaşması niteliğine aykırıdır.

Benzer şekilde, anılan gerekçelerde sayılan hususlar farklı Bakanlıklarca ve sayısını bilemediğimiz çok mevzuatla zaten düzenlenmiştir. "Üretimin çevresel etkileri, gerek Maden Kanunu'nun 7 maddesinde, gerekse Çevre Kanunu'nda düzenlenmiş ve denetlenmektedir. Şehirleşme ile ilgili düzenleme yine Maden Kanunu 7. maddesinde, İmar Kanununda ve Belediye Kanunu'nda düzenlenmiştir. İşletme güvenliği, SGK ve Çalışma Bakanlığı'nca mevcut düzenlemelere göre denetlenmektedir, Rezervin verimli işletilmesi, Enerji Bakanlığı ve MİGEM'ce denetlenmektedir. Dolayısıyla kanunun sebepleri arasında sayılan konularda zaten oldukça fazla düzenleme vardır, denetim unsurları bellidir ve denetimler bu düzenlemelere göre yapılmaktadır. Bundan başka Başbakanlık genelgesi ile de izinler için Başbakanlığın oluru gerekmektedir. Bu nedenle ayrıca Başbakanlıkça denetlenmektedir.

Tüm bu nedenlerle tüm bu mevzuat ve denetimleri yok sayıp, aynı gerekçelerle Maden Bölgesi ilanı hukuka uygun düzenleme olmayacaktır. Başka bir deyişle anılan sebeplerle, Maden Bölgesi ilanı gerekçesizdir, yukarda sayılan tüm mevzuata ve

hukuka aykırı olacaktır. Maden Bölgesi ilanı için başka sebepler ileri sürülmesi gerekir (Günay, 2017).

Maden bölgesi ilanı için öncelikli olarak MİGEM tarafından proje ve planlama yaptırılacağı ifade edilmiş ise de, TBMM'nin Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu'nda MİGEM le ilgili olarak: "MİGEM mevcut hâliyle ruhsat veren, kontrol-denetim yapan, uzman personel sayısının yetersizliği, Kuruluş Kanunu'ndan ve kurumsallaşamamasından kaynaklanan nedenler ile çoğunlukla evrak ve dosya bazında hareket eden bir Genel Müdürlük görüntüsüne bürünmüştür.

MİGEM personeli, mevcut uygulamaya göre; ruhsatlandırma, izleme, inceleme, raporlama yapan, aktif olarak mahallinde denetim görevi icra edip kanuna bağlı olarak cezai yaptırım uygulayan bir denetim elemanı görüntüsündedir. Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye geneline yayılmış yaklaşık 45 bin adet maden ruhsatlı (yaklaşık 12 bin işletme ruhsatlı) sahanın denetim hizmetlerini yürütmektedir. Her hafta en az 35-40 heyet denetime gönderilmekte olup personel sayısının yetersizliğine rağmen yılda ortalama 5 bin maden sahası denetlenmektedir." denmektedir (Komisyon Raporu 2010). Bu nedenle mevcut hali ile MİGEM'in maden bölgesi ilanı ile ilgili proje ve planlama yapacak kadrosu ve ihtisas sahibi elemanı olmadığı anlaşılmaktadır.

Oysa ülkemizde 16 adet Maden Mühendisliği eğitimi veren Üniversite bulunmaktadır. Ayrıca bu üniversitelerde 76 profesör 36 doçent, 80 yardımcı doçent ve 130 araştırma görevlisi bulunmaktadır (Avşaroğlu 2017). Bundan başka maden konusunda ihtisaslaşmış MTA kurumu da mevcuttur. Bu nedenle MİGEM tarafından yapılacak olan çalışmanın başarısızlığa uğrayacağı açıktır, ilgili kurumlara yaptırılması gerekir.

Değişiklik de ayrıca, "Maden bölgesindeki ruhsatların bir veya birden fazla ruhsatta birleştirilmesi" neden söz edilmektedir. Burada da "birden fazla" tanımlaması ucu açık bir yetkilendirmedir. Birden fazla deyimi sonsuza kadar gider. Kanunun amacı zaten birleştirme olmasına rağmen birden fazla ruhsatta birleştirme kanunu amacından saptırır. İdarenin keyfi kullanımına açık hale getirir. Kanunda ki değişiklik, ruhsatların birleştirmesini konu edinmiş, Maden Kanunu'nda yer alan maden grupları arasında ayırım yapmamıştır. Başka bir deyişle maden kanununda sayılan aynı grup madenlerin birleştirilmesi değil, her tür maden ruhsatı bir veya birden fazla ruhsatta birleştirilebilecek veya farklı grupta yer alan madenler için de maden bölgesi ilan edilebilecektir. Bu durum Maden Kanunu'nun özünü teşkil eden maden tanımına ve madenle ilgili sınıflandırmaların etkisizliğine yol açacaktır. Maden Kanununda madenler gruplara ayrılarak, her grup için farklı düzenlemeler içermektedir. Oysa maden bölgesi ilanında bu grupların hiçbir önemi kalmayacaktır. Her tür ruhsat birleştirilebilecektir. Bu nedenle de Maden Kanunu'nun özüne aykırıdır.

Oysa maden ruhsatları idare hukukunda şartlı idari işlemlerdir. İşletme projeleri ruhsatların ayrılmaz parçalarıdır. Ruhsatın şartı, işletme projelerine uygun çalışma yapmaktır. Her madencilik projesi kendi başına özgün nitelikler taşır. Bölge ilanı ile bu projelerde yok sayılacaktır. Değişikliğin başka bir sakıncası ise, mevcut çok sayıda maden işletmesi yerine, bir veya birden fazla maden işletmesi ne dönüşmesi olacaktır. Dolayısıyla madencilik işletmesi sayısı azalırken, birleşen madencilik şirketinin hacmi büyüyecektir. Bu durumda, küçük ve orta boy madencilik şirketleri yok olacaktır. Rödovans sözleşmeleri yasaklandığı içinde birleştirilen maden şirketlerinin, birleşen maden şirketlerinde çalışması mümkün olmayacaktır. Bu durumda istihdam azalacak, emek yoğun işletme yerine sermaye yoğun niteliğe bürünecek, maden makineleri ithalatı artacaktır.

Birleştirilen maden ruhsat sahibi madencilerin, kazanılmış hakları ile ilgili tazminat sadece yatırım giderleri ile sınırlandırılmıştır. Yatırım giderleri, kapanan şirketlerin zararının, sadece çok ufak bir kısmıdır. Tazminata esas zararlar tam olarak ödenmeyecek ve ilan edilen her maden bölgesinde, konu ile ilgili hukuki uyuşmazlıklar çığ gibi büyüyecektir.

Mevcut değişiklik, birleşen ruhsatlar lehine tekel hakkı doğuracaktır. Değişiklik öncesi birçok maden işletmesi tarafından üretilen madenlerle ilgili arz ve talep dengesi oluşmuş ve rekabet koşulları varken, değişiklikten sonra aynı ürünler bir veya birkaç maden şirketi tarafından üretilecek, arz talep dengesi bozulacak ve bu ürünler serbest rekabet değil, tekel fiyatı ile piyasaya sürülecektir. Bundan etkilenen diğer sektörlerde de maliyet artışı olacak, enflasyonu körüklenecektir. Özellikle de inşaat firmaları bu durumdan en çok etkilenenler olacaktır.

Sonuç olarak, değişiklik yeni maden sahalarını üretime sokmayacaktır, atıl kapasiteyi canlandıracak hükümler içermemektedir, maden aramalarını teşvik edecek hükümler yoktur. Mevcut üretimleri artıracak hükümlere tesadüf edilmemiştir. Bu değişikle maden sektörü büyütmeyecektir.

Bu değişiklik maden sektörünü büyütmeyeceği gibi sadece yeniden paylaşımı öngörmektedir. Mevcut ruhsat sahiplerini birleşmeye zorlama (fiilen mümkün değil) olmaz ise ruhsat iptali ve yeniden ihale ve ihalesiz olarak ruhsat sahipliğinin el değiştirmesi niteliğindedir. Bir başka deyişle, mevcut ruhsatların iptali ile yeni ruhsat sahiplerine tevdi edilmesidir. Ruhsatların idare eliyle el değiştirmesini sağlayacaktır. Ruhsat hakları birilerinden alınıp, başka birilerine verilecektir. Mevcut değişiklik, ekonomik bağımsızlığı sağlayacak herhangi bir değişiklik yapmadığı gibi, maden makinelerinde ithalatı artıracağı için ekonomik bağımsızlığımızı da zayıflatacaktır.

Oysa Havza Madenciliği, 1940 yılında yapılan düzenleme (Kanun numarası 3867) ile halen yürürlüktedir. Üzerinde de hemen hemen hiçbir değişiklik yapılmamıştır. Bütün siyasi rüzgarların bile değiştirmeye gücü yetmediği bir düzenlemedir.

## 9. KAMU KURUMLARINA TANINAN AYRICALIKLAR

Maden bölgesi ile ilgili eleştirilerin temelinde, teşebbüs hürriyetinin kullanılmasına engel olunduğu ve maden ruhsatının hukuki güvencesinin yok olduğu-kalmadığı hususu yatmaktadır.

Yönetmeliğin dokuzuncu bölümü Kamu Kurum ve Kuruluşlarının veya Yap-İşlet-Devret Modeli ile Yapılan Kamu Yatırımlarının Hammadde İhtiyaçlarının Karşılanması'na ayrılmıştır. Anayasamızın liberal sistemi tercihi nedeniyle, ilke olarak kamu kurum ve kuruluşlarına maden kanununda özel olarak düzenlenmesi, Anayasa'nın eşitlik ilkesine aykırı ve tercih edilen ekonomik sisteme aykırıdır. Bunu yapabilmek için ya Anayasayı ya da Kamu Kurumlarına özel düzenlemeyi değiştirmek gerekir. Kamu kurumlarına yapılan ayrıcalıklardan tespit edebildiklerimiz ise, ruhsatla değil izinle yapılıyor olması, çevreye uyum bedelinin % 30'nun alınması, altı aydan az süreli ve toplam bin tondan az olan miktarlardaki hammadde taleplerini için daimi nezaretçi atanması zorunluluğu olmamasıdır.

## 10. MADEN MÜHENDİSLERİNİN DURUMU

Maden Kanununda özel olarak tanımlanmış iki görev, Maden Mühendislerince yürütülmektedir. Bunlardan ilki Daimi Nezaretcilik; bir diğeri ise YTK'lardır. Bunların her ikisi de özünde idarenin yapması gereken denetim ve nezaret hizmetlerini yapmaktadırlar. Bir başka deyişle, idare ile madenci arasında ki ilişki yumağında görev alırlar. Daimi nezaretci ve YTK'lar idarenin personeli gibi çalışırken, ücretleri madenci patron-işadamı tarafından tespit edilmekte ve ödenmektedir. Bu durum da adı geçen mühendislerin görevlerini, bağımsız ve tarafsız olarak yapmasını engellemektedir. Bu nedenle Maden mühendislerinin sosyal hakları ve ücretleri ile YTK ve daimi nezaretçilerin ücretleri devletçe ödenmelidir.

## 11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yönetmelikten beklenilen ve yönetmelikte yer almayan hususlar ise şunlardır.

Madenciliği diğer sektörlerden ayıran en önemli sebeplerden biri de madenciliğin ağır ve tehlikeli işlerden sayılmasıdır. Ayrıca madenlerde alınacak iş güvenliği ve işçi sağlığı ile ilgili tedbirlerle ilgili düzenleme hem sayı olarak fazla ve hem de çok dağınıktır. Kazaların önlenebilmesi için, mevzuatında kolaylıkla erişilebilir olması ve madenlerde alınan tedbirlerin spesifik olması nedenleri ile, işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili düzenlemeler genel kanundan ayrı olarak maden mevzuatında yer almalıdır. Ya da diğer mevzuattan ayrı tek bir mevzuatla düzenlenmelidir.

İş kazalarını önlemenin bir diğer yolu da işçilerin kendi sendikalarına sahip olmaları, iş kanunundan doğan haklarını kullanabilmeleri ve eğitimleri için de kendi sendikalarını kurabilmelidir. Bu nedenle Maden işçilerinin kendi sendikalarını kurabilmeleri ile düzenlemeler maden kanununda yer almalıdır. Madencilik

faaliyetinden doğan uyuşmazlıklar da idari para cezaları için sulh ceza, ruhsatla ilgili konularda idari mahkemeler, rödovans sözleşmelerinden doğan uyuşmazlıklarda sulh hukuk mahkemeleri, iş kanunundan doğan uyuşmazlıklarda iş mahkemesi, haciz işlemlerinde icra daireleri, sözleşme ile kurulan davalarda, kamulaştırmasız el atma ve kamulaştırma davlarında asliye hukuk mahkemeleri görevlidir. Bu durumda konuya hakim ve uyuşmazlığa bakacak ihtisas sahibi mahkemeye tesadüf etmek nerdeyse imkansızdır. Bu nedenle madencilik faaliyetinden doğan uyuşmazlıklarda adil karar beklentisi varsa ihtisas mahkemeleri kurulmalıdır. Madencilik projelerine nihai izin, bilimsel ve özerk yapılanması olan ulusal maden konseyince verilmelidir. Orta ve küçük boy madencilik mutlaka geliştirilmelidir. El emeği madenciliği mevzuata dahil edilmelidir.

Son olarak, çıkarılan bu düzenlemeler, hem madenciler ve hem de idarenin bu kuralları tanıması, davranış ve fiilerini bu kurallar varmış gibi düşünüp karar vermesi içindir. Her iki taraf ta bu kurullara uyarsa hukuk devleti var demektir. Özellikle Danıştay'ın verdiği yürütmeyi durdurma kararlarına idarenin uymaması hukuk devletinde olmaması gereken uygulamalardır.

Yönetmelik ve Mevzuat, beklentileri karşılamaktan bir hayli uzaktır. Konulara günlük çözümler arandığı için de Mevzuat üzerinde yeni değişiklikler yapılması kaçınılmazdır.

## KAYNAKLAR

Altun, E. 2017. Madencilikte İdari Para Cezaları, www.eyupaltun.com.tr (27.01.2018).

Avşaroğlu, N. 2017. Türkiye'de Mühendislik Eğitimi ve Maden Mühendisliği Eğitimine Genel Bir Bakış, https://alldocs.net/the-philosophy-of-money.html?utm_source=tuerkiye-de-muehendislik-egitimi-ve-maden-mueh-egitimine-genel-bir-bakis (27.01.2018).

Göğer, E. 1979. Maden Hukuku, Ankara, AÜ Hukuk Fakültesi Yayınları.

Günay, Ö. 2017. Maden Hukuku, Ankara, Seçkin Yayınevi.

Günay, Ö. 2017. Maden Kanununda 27 Mayıs 2017 Tarihinde Yapılan Değişiklik Üzerine, http://omergunay.av.tr/maden-kanununda-27-mayis-2017-tarihinde-yapilan-degisiklik-uzerine/ (27.01.2018).

Komisyonu Raporu, 2010. TBMM Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştirmasi Komisyonu Raporu, https://docslide.net/documents/tbmm-madencilik-komisyonu-raporu.html (27.01.2018).

# 6552 SAYILI TORBA YASANIN ZONGULDAK HAVZASI KÖMÜR MADENCİLİĞİNE ETKİLERİ

## *THE EFFECTS OF THE OMNIBUS BILL NUMBERED 6552 TO ZONGULDAK BASIN COAL MINING*

**Pınar Yılmaz**[*]
*Demir Madencilik A.Ş., Zonguldak*

**Nuh Baş**
*5D Enerji A.Ş., Zonguldak*

**ÖZET** 13 Mayıs 2014 tarihinde meydana gelen elim Soma Maden Faciası, Türkiye yeraltı kömür madenciliğinin sorgulanmasına neden olan kaza olarak ülke tarihindeki yerini almıştır. Kaza sonrası yeraltı maden çalışanlarının özlük hakları ve iş sağlığı-güvenliği konularında birçok hukuki düzenleme yapılmıştır. Yapılan düzenlemeler sonrası özellikle emek yoğun çalışılan Zonguldak havzasında işçi maaşları asgari ücretin iki katına yükseltilmiş, işveren işçilik maliyetleri %54 artmış, çalışma gününün azalması ile üretim miktarı azalmış ve özel işletmelerde ekonomik sıkıntılar baş göstermiştir. İşletmelerdeki artan işçilik maliyetlerinin azaltılması amacıyla Devlet tarafından yeraltı kömür işletmelerine fiyat farkı iade desteği sağlanmaya başlanmış, mevcut durumda işveren işçilik maliyetinin % 37'si Devlet tarafından karşılanır hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, 6552 Sayılı Torba Yasa ile yeraltı maden çalışanlarının özlük haklarında yapılan iyileştirmelerle ilgili düzenlemeler ele alınarak, söz konusu düzenlemelerin Zonguldak havzasındaki kömür üreticilerine olan etkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

**ABSTRACT** Soma mining calamity occurred in 13 May 2014 is an accident that cause to interrogating of underground coal mining in Turkey. After the accident, a lot of legal arrangement had made about personal rights of employee and occupational health safety in underground. After the arrangements in Zonguldak Basin, employees salaries have been increased double of subsistence wage, employment cost for employers increased 54%, production decreased because of going down of working day and financial difficulties have been occurred. Government has began backing as price difference to underground coal mining entities on the purpose of decrease of high employment costs, also at present 37% of employment cost for employer is refund by the state. In this study, these legal arrangements made with Omnibus Bill Numbered 6552 have been considered. After that, effect of the arrangements for coal producers in Zonguldak basin has been explained.

[*]*pinaryilmaz@demirgrup.net*

## 1. GİRİŞ

13.05.2014 tarihinde meydana gelen elim Soma Maden Kazası ile ülkemizde yeraltı kömür madenciliği sorgulanmaya başlanmış, maden işçilerinin sosyal ve ekonomik hakları ile güvenlikli çalışma ortamı koşullarına dair; iktidar ve muhalefet temsilcileri, sivil toplum kuruluşları, üniversiteler ve halk tarafından tartışma ve görüş beyanları uzun süre kamuoyunun gündeminde kalmıştır.

Yaşanan kaza sonrası, ülkemiz yeraltı kömür madenciliği sektöründeki iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin artırılmasının yanı sıra işçi özlük haklarında iyileştirmeler yapılması gerekçesiyle, Türkiye yeraltı madenciliği sektöründe radikal düzenlemeler içeren 6552 Sayılı Torba Yasa 11.09.2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

"6552 Sayılı İş Kanunu ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması ile Bazı Alacakların Yeniden Yapılandırılmasına Dair Kanun" ile yeraltı kömür madeni çalışanlarının ücretleri en az iki asgari ücret seviyesine çıkarılmış, haftalık çalışma süresi 45 saatten 36 saate düşürülmüş, yıllık ücretli izinler 4 gün artırılmış, iş sözleşme fesihlerindeki 6 aylık kıdem şartı kaldırılarak iş güvencesi sağlanmış, 55 olan emeklilik yaşı 50'ye düşürülmüştür. Kanun sonrasında, işçilerin özlük haklarına dayalı bu düzenlemelere ek olarak iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliklerinde de değişiklikler yapılmış, daha emniyetli ve kontrol edilebilir ocaklar oluşturulması amacıyla işletmelere ek yükümlülükler getirilmiştir.

Zonguldak Havzasında kömür üretimi Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve kuruma ait sahalarda rödövans karşılığı çalışan özel sektör tarafından yapılmaktadır. Yapılan mevzuat düzenlemelerinin yürürlüğe girmesi ile işletmelerde meydana gelen yoğun maliyet artışlarını karşılayamayacakları gerekçesiyle tüm Türkiye'de olduğu gibi Zonguldak Havzasında da kömür üretim faaliyetinde bulunan küçük ölçekli özel işletmeler kömür üretimini durdurma kararı almıştır.

Yeraltı kömür madenciliği sektörünün içerisine girdiği zor durum sonucu üretimin durması ve istihdamın azalmaya başlaması nedeniyle, torba yasa ile yeraltı kömür işletmelerine gelen ek maliyetlerin devlet tarafından sübvanse edileceği Hükümet yetkililerince basın ve kamuoyuna açıklanmıştır. Yapılan açıklama sonrası sektörde doğan beklenti ile işletmeler tekrar üretime başlamışlardır.

Zonguldak Havzası özel sektör kömür üreticileri için yapılan hesaplamalarda, 11.09.2014 tarihinde yürürlüğe giren 6552 Sayılı Torba Yasa ile işletmelere gelen ek maliyetin ton başı yaklaşık 60 TL olduğu, tüvenan olarak üretilen 4.000-4.500 kcal/kg kömür için yeni oluşan üretim maliyetinin piyasadaki mevcut kömür fiyatlarının üzerine çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmada öncelikle, Soma maden kazasından günümüze kadar geçen sürede Türkiye kömür madenciliği sektörünü etkileyen ve yeni düzenlemeler getiren mevzuat değişiklikleri açıklanmıştır. Ardından Zonguldak Havzasındaki kömür

üretim faaliyetleri hakkında kısa bir bilgilendirme yapılarak, 6552 Sayılı Torba Yasa ile yeraltı maden işçilerinin özlük haklarında yapılan düzenlemelerin Zonguldak kömür üreticilerine olan maliyet etkileri araştırılmış, Devlet tarafından karşılanan fiyat farkı ödemeleri ve oluşan yeni maliyetler kıyaslanmıştır.

## 2. TÜRKİYE YERALTI MADENCİLİĞİNDE 6552 SAYILI TORBA YASA İLE BAŞLAYAN YAPILANMA SÜRECİ

Soma kazası sonrasında yeraltı maden işletmeciliği mevzuatında, rödövans sözleşmelerini ve işletme projelerini önemli ölçüde etkileyen esaslı değişikliklerin yapıldığı uzun bir yapılanma sürecine girilmiştir.

Bu bölümde, 6552 Sayılı Torba Yasa ve uzantıları olarak yürürlüğe giren Kanun ve Bakanlar Kurulu Kararları detaylar verilerek sıralanmıştır. Kanunlar ve Bakanlar Kurulu Kararlarına göre oluşan maliyet ve fiyat farkı ödemelerine dair değerlendirmeler ise dördüncü bölümde ayrıca ele alınmıştır.

1. 11.09.2014 tarihinde 1. Mükerrer Resmi Gazetede yayımlanan 6552 Sayılı "İş Kanunu ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması ile Bazı Alacakların Yeniden Yapılandırılmasına Dair Kanun" yürürlüğe girmiştir.

   Bu kanun ile;

   - 4857 Sayılı Kanunun 18 inci maddesinin birinci fıkrasına "Yer altı işlerinde çalışan işçilerde kıdem şartı aranmaz." ibaresi eklenmiş olup, işe iade davalarının açılmasında aranan 6 aylık kıdem şartı yeraltı işlerinde çalışan işçiler için artık aranmamaktadır.

   - 4857 sayılı İş Kanununun 41 inci ve 63 üncü maddelerinde yapılan düzenlemelerle yeraltında maden işlerinde çalışan işçilerin haftalık çalışma süresi 36 saat olarak belirlenmiştir. Ancak söz konusu düzenlemede daha sonra 6645 Sayılı Kanun ile değişikliğe gidilerek haftalık çalışma süresinin günlük en fazla 7,5 saat, haftalık ise 37,5 saat olabileceği belirtilmiştir. 37,5 saatin üstündeki çalışmaların da ancak; "zorunlu nedenlerle çalışma" ve "olağanüstü hallerde fazla çalışma" hallerinde söz konusu olabileceği, haftalık çalışma saatini aşan her bir saat fazla çalışma için verilecek ücretin, normal çalışma ücretinin saat başına düşen miktarının yüzde yüzden az olmamak üzere arttırılması suretiyle ödeneceği hüküm altına alınmıştır.

   - Yine aynı Kanunun 53 üncü maddesinin dördüncü fıkrasına "Yeraltı işlerinde çalışan işçilerin yıllık ücretli izin süreleri dörder gün arttırılarak uygulanır." hükmü eklenerek, yeraltı işçisinin kıdemine göre yıllık en az 18, 24 ve 30 gün izin kullanabilmesi sağlanmıştır.

- 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 28 inci maddesinde yapılan düzenleme ile 2008 yılı sonrası işe başlayan yeraltı çalışanlarının ara vererek veya sürekli olarak 5 yıl yeraltı koşullarında çalışmaları durumunda, 50 yaşında emekli olabilmeleri sağlanmıştır.

- 3213 sayılı Maden Kanuna eklenen Ek Madde 9 ile linyit ve taşkömürü çıkarılan yeraltı madenlerinde çalışan işçilerin maaşları en az iki asgari ücret seviyesine çıkarılmıştır.

Söz konusu düzenlemelerle, ihale, ruhsat alımı ve sözleşme tarihlerindeki mer'i mevzuatlarda esaslı değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler; ihale aşamasındaki mer'i mevzuata göre öngörülen ve işletme projelerinde belirtilen işçilik, hazırlık, üretim, yatırım ve finansman maliyetlerini esaslı şekilde etkilemiştir. Özellikle emek yoğun sistemi ile çalışılan işyerlerinde artan üretim-hazırlık ve yatırım maliyetleri madencilik projelerinin fizibilite değerlendirmelerinin yeniden yapılması gerekliliğini doğurmuştur.

2. Soma kazası akabinde, 28.10.2014 tarihinde Ermenek'de bir kömür madeninde, üst kotlardaki eski imalatlarda biriken suyun mevcut ocağa doğru patlaması sonucu elim bir kaza daha meydana gelmiştir. Ülkemiz yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan bu iki kaza sonrası Başbakan tarafından 12.11.2014 tarihinde 'İş Güvenliği Eylem Planı' basın ve kamuoyuna açıklanmıştır. Açıklanan bu 'İş Güvenliği Eylem Planı'nda belirtilen hususların yasalaşma süreci beklenmiştir.

3. 18.02.2015 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "6592 Sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile 3213 Sayılı Maden Kanununa Geçici 29uncu madde eklenmiş olup, bu madde aşağıda verildiği gibidir. Söz konusu madde ile 6552 Sayılı Kanun ile yeraltı kömür işletmelerine gelen ek maliyetlerin Devlet tarafından karşılanması hedeflenmiştir.

"Bu kanun kapsamında yeraltındaki maden işlerinde faaliyet gösteren kamu kurum ve kuruluşlarının yeraltındaki maden işlerine ilişkin 11/9/2014 tarihi ve bu maddenin yürürlüğe girdiği tarih itibarıyla, 5/1/2002 tarihli ve 4735 sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanunu kapsamında devam eden sözleşmeler ile bu Kanun kapsamındaki rödövans sözleşmelerinde, 22/5/2003 tarihli ve 4857 sayılı İş Kanununun 41, 53 ve 63 üncü maddelerinde 10/9/2014 tarihli ve 6552 sayılı Kanunla yapılan değişiklikler ile bu Kanunun ek 9 uncu maddesiyle sınırlı olmak kaydıyla meydana gelen maliyet artışları fiyat farkı olarak ödenir. Fiyat farkı ödenmesine ilişkin esas ve usuller; 4735 sayılı Kanun kapsamında imzalanan sözleşmeler için Kamu İhale Kurumunun teklifi, rödövans sözleşmeleri için ise Bakanlığın teklifi üzerine Bakanlar Kurulunca belirlenir."

İlgili kanun maddesi, 18.02.2015 tarihinde çıktığı hali ile ruhsat sahibi özel hukuk tüzel kişisi işletmelerini kapsamamakta olup, fiyat farkı ödemelerine ilişkin

hesaplama detaylarını içeren 2015/7703 Sayılı ilk Bakanlar Kurulu Kararı 23.05.2015 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Kamu eliyle yürütülen madencilik faaliyetlerinde özel sektöre devredilen kömür üretimi ve hazırlık işleri hizmet alımı ya da rödövans usulü ile yapılmaktadır. Hizmet alımı sözleşmelerinin çoğu, maliyet artışlarının ihaleyi yapan İdareler tarafından karşılanacağı ile ilgili madde içermektedir.

Rödövans usulüyle kamu sektöründe işletmecilik yapılması, hizmet alımından çok farklıdır. Hizmet alımı işlerinde kurumlar tarafından yüklenici işletmeciye yaptığı hizmet için bedel ödenirken, rödövans usulünde ise işletmeler tarafından üretimi yapılan her ton kömür için sözleşmeli olunan kurumlara rödövans bedeli olarak adlandırılan bir nevi kira ödemesi yapılır ve üretilen kömürler işletmelerce kullanılır veya satılır.

6592 Sayılı Kanunda, 6552 Sayılı Kanunla gelen hangi maliyet kalemlerinin fiyat farkı olarak ödeneceği hüküm altına alınmasına rağmen, fiyat farkı hesaplamaları ile ilgili yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararında fiyat farkı ödemesi üretilen ton başına kömür için verilmekte olup, rödövans bedeli ile sınırlandırılmıştır. Söz konusu Bakanlar Kurulu Kararı ile sadece kömür üretiminin yapıldığı işletmelere fiyat farkı ödenmesi hüküm altına alınmış olup, yeraltında hazırlık dönemindeki işletmeleri kapsamaması ve ton başı rödövans bedeli ile sınırlandırılması ilgili Kanun maddesinin amacını karşılamamaktadır.

09.07.2015 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 2015/7765 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 2015/7703 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararında belirtilen hesaplama formülünde hata olduğundan bahisle düzeltmeye gidilmiştir. Ancak yapılan düzeltme formüldeki küçük bir hesaplama hatasından ibaret olup, ilgili Kanun maddesinin amacına hizmet eden bir düzenleme değildir.

Zonguldak Havzasındaki rödövanslı işletmeler için fiyat farkı ödenmesine dair maliyet hesaplamaları Türkiye Taşkömürü Kurumunca yapılarak, 2015 Ağustos ayında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na sunulmuştur. Ton başı yaklaşık 60 TL olarak hesaplanan maliyet artışına karşın, ilgili Bakanlar Kurulu Kararlarındaki hesaplamalara göre ton başı 14-24 TL arası fiyat farkı ödemesi alınabildiği ve ek maliyet tutarının çok altında kaldığı görülmüştür.

Oluşan bu tablo sonrası, 08.04.2016 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 2016/8672 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 2015/7703 sayılı Bakanlar Kurulu Kararında yer alan fiyat farkı hesaplama formülüne ''Z-İşgüçlüğü Zorluk Katsayısı'' eklenmiştir. İlgili Bakanlar Kurulu Kararında, fiyat farkının iş güçlüğü zorluk katsayısı (Z) ile çarpılarak hesaplanacağı ve karara eklenen 10.fıkra ile iş güçlüğü zorluk katsayısının (Z), işin yapıldığı bölgeye ve işe göre 1 den az olmamak üzere Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirleneceği belirtilmiştir. Ancak, bu karara göre hesaplanacak fiyat farkı toplamının işçi başına

düşen miktarının, özel hukuk tüzel kişisi ruhsat sahipleri için yayımlanan 2016/8673 sayılı kararnameye göre hesaplanan işçi başına destek tutarından fazla olamayacağı belirtilmiştir.

2016/Ağustos ayında "Z-İşgüçlüğü Zorluk Katsayısı'' Bakanlık tarafından 3 olarak belirlenmiş ve hesaplamalara dahil edilmiştir.

3213 Sayılı Kanunun Geçici 29 uncu maddesi 1 inci fıkrası, 6552 sayılı Torba Yasanın yürürlüğe girdiği 11.09.2014 tarihi itibariyle faaliyette olan işletmeler için geçerli olup, bu tarihten sonra ihale edilen yeni işletmeleri kapsamamaktadır. Ancak 28.07.2017 tarihli Resmi Gazete'de yürürlüğe giren 2017/10450 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile fiyat farkı ödemesinden yeni ihale edilecek Kamu rödövanslı saha işletmelerinin de yararlanması sağlanmış ve 2015/7703 sayılı ilk Bakanlar Kurulu Kararında değişikliğe gidilerek, fiyat farkı ödemesi alınabilmesi mevzuata uygun madencilik faaliyetinde bulunulması koşullarına bağlanmıştır.

4. 10.03.2015 tarihli Resmi Gazetede "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik'' yayımlanmıştır. İlgili yönetmelik kapsamında yeni açılacak ocaklarla ilgili mevzuat değişikliği ile bir standardizasyona gidilmesi, ek fiziki iş güvenliği önlemlerinin alınması, personel takip sistemi, gaz izleme sistemi, kaçış yolları, galeri yükseklikleri ve eğimleri, insan naklinin yapılacağı galeri eğimleri, gaz degajı ile ilgili önlemler, acil durumlar için hayat hattı kurulması gibi yeni düzenlemeler yapılmıştır.

5. 23.04.2015 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan "6645 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" yürürlüğe girmiştir.

   Bu kanunun 36. Maddesi kapsamında, yer altı maden işyerlerinde haftalık çalışma süresi günde en çok 7,5 saat, haftada en çok 37,5 saat olarak sınırlandırılmış ve yeraltı maden işyerlerinde çalışma hayatını düzenleyen esaslı değişiklikler yapılmıştır. Söz konusu düzenleme ile yeraltı madenlerinde işçi başı yıllık fiili çalışma günü 302 günden 250 güne düşmüştür. Bu durum, işletme projelerindeki hazırlık ve üretim terminlerinde önemli değişiklikler yapılması gerekliliğini doğurmuştur.

6. 27.01.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "6661 sayılı Askerlik Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile 3213 Sayılı Maden Kanunun Geçici 29 uncu maddesine ekleme yapılarak, yeraltı linyit ve taşkömürü üretimi yapan özel hukuk tüzel kişilerinin ruhsat sahibi olarak işlettikleri yeraltı maden işletmelerine de fiyat farkı ödemesi yapılacağı hüküm altına alınmıştır.

   Ancak yapılan düzenlemede, Maden Kanunun Geçici 29 uncu maddesinin birinci fıkrasından farklı olarak ek maliyetlerin karşılanmasında fiyat farkı ödemesi yerine

Bakanlık bütçesine konulan ödeneklerden destek ödemesi verileceği ve bu destek ödemesine ilişkin usul, esaslar ve uygulama süresinin Bakanlığın teklifi ile Bakanlar Kurulunca belirleneceği belirtilmiş olup, uygulama usulleri ile ilgili olarak 08.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan 2016/8673 sayılı Bakanlar Kurulu Kararında uygulama süresi 5 yıl olarak belirlenmiştir.

Ayrıca, 26.06.2016 tarihli Resmi Gazetede "Yeraltı Kömür İşletmelerinde İşçi Maliyetlerine Uygulanacak Desteğe İlişkin Tebliğ" yayımlanmış, bu tebliğ ile 3213 sayılı Kanunun 2nci maddesinde sayılan IV. Grup madenlerden "Linyit" ve "Taşkömürü" çıkaran ve özel hukuk tüzel kişilerinin ruhsat sahibi olarak işlettikleri yeraltı maden işletmelerinde meydana gelen maliyetlerin karşılanması amacıyla belirlenen hesaplama yöntemine ait usul ve esaslar belirtilmiştir.

11.09.2014 tarihinde 6552 Sayılı torba Yasanın yürürlüğe girmesinden itibaren Türkiye yeraltı kömür madenciliği sektörünü etkileyen ve yukarıda açıklanmaya çalışılan mevzuat düzenlemeleri Çizelge 1'de kronolojik sıra ile detaylandırılarak sunulmuştur.

## 3. ZONGULDAK HAVZASINDA KÖMÜR MADENCİLİĞİ

Zonguldak Havzasında kömür üretimi Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve Kuruma ait sahalarda rödövans karşılığı çalışan özel sektör işletmecileri tarafından yapılmaktadır.

Havzada 1829 yılında kömürün bulunmasından itibaren 1940 yılındaki devletleştirme sürecine kadar yerli-yabancı pek çok kuruluş tarafından kömür üretim faaliyetinde bulunulmuştur. Kurum kayıtlarına göre 1941 yılından 2017 yılı sonuna kadar 236,5 milyon ton satılabilir (390 milyon ton tüvenan) kömür üretimi yapılmıştır.

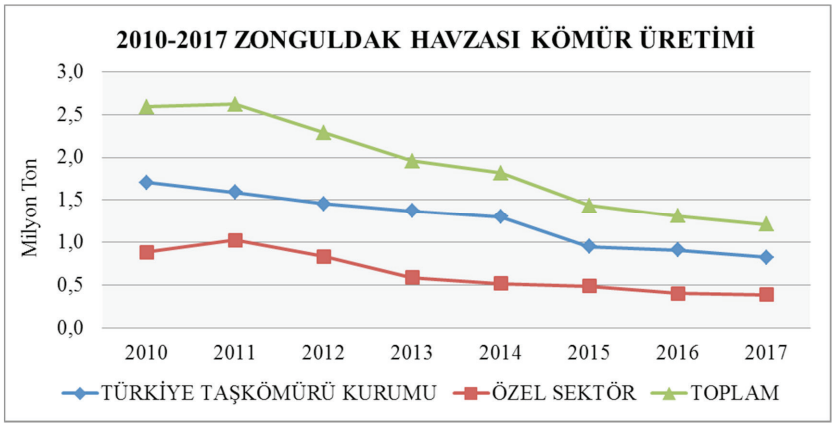
Havza tarihi boyunca devlet eliyle en fazla tüvenan kömür üretimi, 8,5 milyon ton ile 1974 yılında, satılabilir üretim ise 5 milyon ton olarak 1967 yılında gerçekleştirilmiştir. Kurum için izlenen küçültme politikalarına bağlı olarak azalan işçi sayısı ile birlikte üretim de yıldan yıla düşmüş, 2015 yılından itibaren 1 milyon tonun altına inen satılabilir üretim miktarı 2017 yılında 823 bin ton olarak gerçekleşmiştir.

1988 yılında TTK tarafından çalışılması ekonomik görülmeyen ve Kurumca daha önce çalışılarak terkedilmiş sahalarda kalan kömür topukları ve ince damarlardan oluşan rezervlerin ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla havzada rödövans uygulamasına başlanmıştır. 05.06.2004 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 5177 Sayılı Kanun'la getirilen yeni düzenlemeler sonrası, 23 küçük ölçekli taşkömürü sahası ihale edilerek, rödövans usulü işletmecilik yapılmak üzere özel sektöre devredilmiş, böylelikle 1988 sonrası uygulanmaya başlanan rödövans işletmeciliği yasal zemine oturtulmuştur.

Çizelge 1. Türkiye yeraltı kömür madenciliği sektöründe yeraltı işçilerinin özlük haklarında iyileştirmeler içeren 6552 Sayılı Torba Yasanın yürürlüğe girmesi ile başlayan mevzuat düzenlemeleri.

| Kanun No | Kanun Adı | Etkilenen/Düzenlenen Maddeler | Tarih |
|---|---|---|---|
| 6552 | 6552 Sayılı İş Kanunu ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması ile Bazı Alacakların Yeniden Yapılandırılmasına Dair Kanun | 1-4857 Sayılı Kanunun 18 inci maddesinin birinci fıkrasına ek<br>2-4857 sayılı İş Kanununun 41 inci ve 63 üncü maddelerinde yapılan düzenlemeler<br>3-4857 Sayılı İş Kanununun 53 üncü maddesinin dördüncü fıkrasına ek<br>4-5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 28 inci maddesinde yapılan düzenleme<br>5-3213 sayılı Maden Kanuna eklenen Ek Madde 9 | 11.09.2014 |
| 6592 | 6592 Sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun | 3213 Sayılı Maden Kanununa Eklenen Geçici 29uncu madde | 18.02.2015 |
| Yönetmelik | Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik | Ocaklarda iş güvenliği tedbirleri ile ilgili yeni düzenlemeler | 10.03.2015 |
| 6645 | İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun | 36. Maddesi kapsamında, yer altı maden işyerlerinde haftalık çalışma süresinin düzenlenmesi | 23.04.2015 |
| 2015/7703 S. B. K. K. | Bakanlar Kurulu Kararı | 3213 Sayılı Maden Kanununun Geçici 29uncu maddesi kapsamında fiyat farkı ödemelerine ilişkin hesaplama detayları | 23.05.2015 |
| 2015/7765 s. B. K. K. | Bakanlar Kurulu Kararı | Hesaplama formülünde hata olduğundan bahisle düzeltme | 09.07.2015 |
| 6661 | Askerlik Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun | Madde 6 ile 3213 Sayılı Maden Kanunun Geçici 29uncu maddesine ek fıkra | 27.01.2016 |
| 2016/8672 s. B. K. K. | Bakanlar Kururlu Kararı | 1-2015/7703 sayılı Bakanlar Kurulu Kararında yer alan fiyat farkı hesaplama formülüne ''Z-İşgüçlüğü Zorluk Katsayısı'' eklenmesi<br>2-2015/7703 sayılı fiyat farkı kararnamesinin 5. Maddesine 11. Fıkra eklenmesi | 08.04.2016 |
| 2016/8673 s. B. K. K | Bakanlar Kurulu Kararı | 3213 Sayılı Maden Kanunun Geçici 29uncu maddesi kapsamında ruhsat sahibi özel hukuk tüzel kişilerine ait yeraltındaki maden işleri için verilecek desteğe ilişkin hesaplama detayları | 08.04.2016 |
| Tebliğ | Yeraltı Kömür İşletmelerinde İşçi Maliyetlerine Uygulanacak Desteğe İlişkin Tebliğ | 3213 Sayılı Maden Kanununun Geçici 29uncu maddesi kapsamında verilecek desteğe ilişkin hesaplama detayları | 26.06.2016 |
| 2017/10450 s. B.K. K. | Bakanlar Kurulu Kararı | 2015/7703 sayılı Bakanlar Kurulu Kararında değişiklik yapılması | 28.07.2017 |

1989-2017 yılları arasında rödövanslı sahalarda özel firmalarca yaklaşık 11,5 milyon ton satılabilir kömür üretimi yapılmıştır. Rödövans uygulamasının başladığı yıldan itibaren özel sektör üretim miktarı her yıl artış göstermiş, 2008-2009 ve 2011 yıllarında 1 milyon tonun üzerine çıkarak TTK ile rekabet edecek düzeye gelmiş, ancak 2012 yılı itibariyle düşüşe geçmiştir (Şekil 1).




Şekil 1. 2010-2017 yılları TTK ve özel sektör kömür üretim miktarı.

Havza genelinde üretimi yapılan kömürler demir çelik sektörüne, termik santrallere, çimento fabrikalarına, sanayiye, ticarethanelere ve ısınma amaçlı kullanılmak üzere hanelere satılmaktadır. Havzada oluşan kömür fiyatına dünya kömür piyasası yön vermektedir. 2012 yılı itibariyle kömür fiyatlarının düşüşe geçmesi ve 2013 itibariyle devlet eliyle işletilen Çatalağzı Termik Santrali (ÇATES)'nin rehabilitasyon süreci içerisinde kömür alımını azaltması, havzada özel sektör tarafından yapılan kömür üretiminin düşmesinde etken olan başlıca nedenlerdendir.

2014 yılında 6552 Sayılı Torba Yasanın yürürlüğe girmesinden sonra emek yoğun çalışılan havzada artan işçilik maliyeti ve azalan üretim sebebiyle rödövanslı özel işletmelerde ekonomik sıkıntılar baş göstermiştir. Üretimin daha da azalmasıyla başlayan süreçte işçilerin maaşları, TTK'ya olan rödövans borçları ve diğer ilişikli kurumlara doğan borçlar ödenememiştir. 2014 yılında ortalama 4600 olan maden işçisi istihdamı, 6552 Sayılı Torba Yasa sonrası işçi kayıpları ve Alacaağzı-Armutçuk bölgesinde 700 personel istihdam eden özel işletmenin madencilik yatırımlarını durdurmasıyla birlikte 2015 yılında 2800 kişiye gerilemiş olup, bu sayı günümüzde güncelliğini korumaktadır.

## 4. ÜRETİM DÖNEMİ İÇİN TORBA YASA SONRASI İŞÇİLİK MALİYETİ DEĞERLENDİRMESİ

Üretim dönemi için devlet tarafından verilecek fiyat farkı hesaplarında kullanılmak üzere Zonguldak Havzası rödövanslı saha işletmelerinin 2014 yılının ilk sekiz ayına

ait SGK tahakkuk belgelerinde yapılan incelemede, rödövanslı sahalarda yeraltı maden işçisine verilen ücretin asgari ücretin yaklaşık 1,3 katı olduğu belirlenmiştir. 6552 Sayılı Torba Yasanın yürürlüğe girdiği 11.09.2014 tarihinden önce işçi başı işverene maliyet aylık ortalama 1.900 TL iken, sonrasında ücretlerin iki asgari ücrete çıkartılması ile birlikte işçi başı işverene aylık maliyet tutarı %54 artış göstererek 2.922 TL'ye yükselmiştir.

2015 yılı 2. yarısına gelindiğinde asgari ücrete yapılan zamlar ve yeraltı çalışanlarına özel sigorta yaptırılması zorunluluğu ile yeraltı çalışan başı işverene maliyet 3.336 TL/ay olmuştur. Ancak bu değere haftalık çalışma süresinin 37,5 saate indirilmesi ile oluşan ek maliyette eklendiğinde toplam işveren maliyeti ortalama 3.728 TL/ay olarak gerçekleşmiştir.

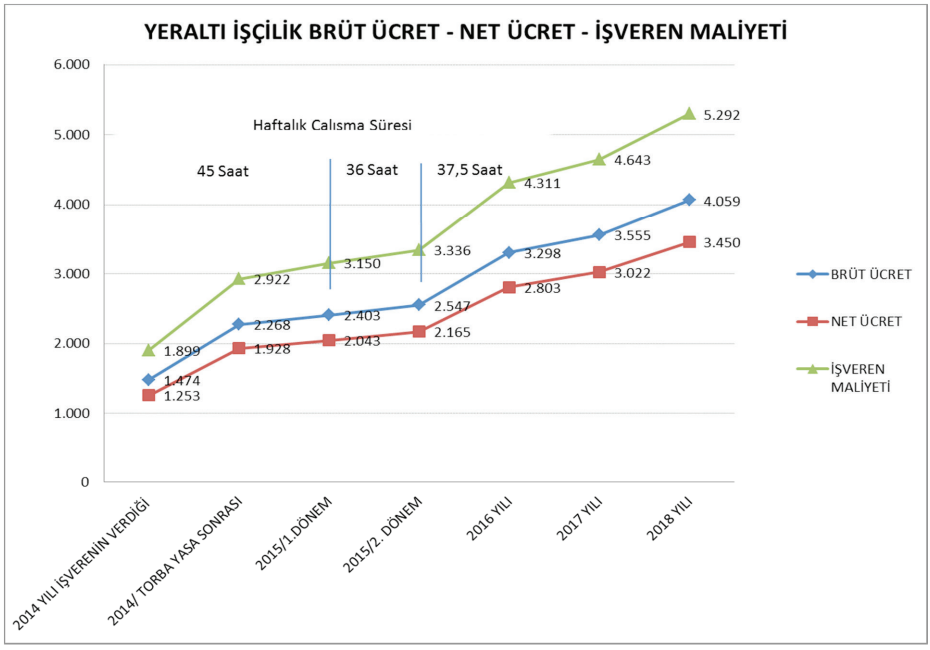
Yeraltı haftalık çalışma süresinin 45 saatten 37,5 saate indirilmesi ile çalışan başı haftalık çalışma süresi 1 gün azalmış, kömür üretim miktarı düşmüş ve çalışan başı yaklaşık 392 TL maliyet gelmiştir. Ancak gelinen noktada, kömür üretimi azalan Zonguldak Havzası özel sektör işletmeleri değişen mevzuata uygun yapılanmaya başlamış ve ocaklarda verimliliği artırma çabasına girmiştir.

2016 yılbaşından itibaren asgari ücretin %30 kadar artırılması ve sonrasında 2017 ile 2018 zamları ile mevcut durumda özel sektör işletmelerinde yeraltı çalışan başı maliyet 5.292 TL/ay'dır. Ancak 627 TL ye karşılık gelen haftalık çalışma süresinin azalmasından doğan maliyet de eklendiğinde bu tutar 5.920 TL/ay'ı bulmaktadır.

Zonguldak Havzasında Kömür üretim maliyetinin yaklaşık %60'ını işçilik maliyeti oluşturmaktadır. Havza genelinde özel sektör kömür üretim randımanı ortalama 1.00-1.50 ton/yevmiye arasındadır. 2014 yılı torba yasa öncesi 1,25 ton/yev genel randımanla çalışılması durumunda bir ton kömür üretimi işçilik maliyeti ortalama 58 TL/ton iken 11.09.2014 tarihi itibariyle 91 TL'ye yükselmiştir. Çalışma süresinin düşürülmesi ve özel sigorta zorunluluğu ile bu tutar 2015 yılı ikinci yarısında 124 TL/ton olmuştur. Mevcut durumda, 2018 yılında ise ton başı işçilik maliyeti ortalama 197 TL'dir.

Ancak, ocaklarda mevzuata uygun şekilde madencilik faaliyetinde bulunulması ve üretilen kömürün sevk edilebilir durumda olması kaydıyla, işletmeler devlet tarafından sübvanse edilen maliyetler için fiyat farkı iadesi alabilmektedirler. Bu tutar randımanın havza ortalaması olarak 1,25 ton/yev olması durumunda her bir yeraltı çalışanı için 2018 yılı değeri ile yaklaşık 1.990 TL/ay olup, işletmeler tarafından fiyat farkı iadesi alınabilmesi sonrası mevcut durumda oluşan ton başı işçilik maliyeti 123 TL'dir.

Şekil 2'de Zonguldak Havzası yeraltı çalışanları için minimum ücret düzeyi ve bu ücretin işverene maliyeti verilmiştir. Çizelge 2'de ise minimum işçilik ücreti üzerinden ton başı işçilik maliyetinin değişimi ve alınan fiyat farkı sonrası oluşan ortalama ton başı işçilik bedeli verilmiştir.




Şekil 2. Zonguldak Havzası rödövanslı sahalar yeraltı çalışanları için minimum ücret düzeyi ve bu ücretin işverene maliyeti.

Çizelge 2. Bir ton kömür üretimi için oluşan ortalama işçilik maliyeti.

| ASGARİ ÜCRET DÖNEMİ | A | B | C | D | E* | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **TORBA YASA ÖNCESİ ORTALAMA İŞÇİ ÜCRETİ** | 1.474 | 1.899 | - | 45,00 | 33 | 58 | - | - | 58 |
| **TORBA YASA SONRASI 11.09.2014 - 31.12.2014** | 2.268 | 2.922 | - | 45,00 | 32 | 91 | | 21 | 70 |
| **01.01.2015-23.04.2015** | 2.403 | 3.096 | - | 36,00 | 26 | 120 | | 21 | 99 |
| **23.04.2015-30.06.2015** | 2.403 | 3.096 | 54 | 37,50 | 27 | 118 | | 21 | 97 |
| **01.07.2015-31.12.2015** | 2.547 | 3.281 | 54 | 37,50 | 27 | 124 | | 21 | 103 |
| **01.01.2016-31.12.2016** | 3.294 | 4.244 | 63 | 37,50 | 27 | 161 | 1.607 | 60 | 101 |
| **01.01.2017-31.12.2017** | 3.555 | 4.580 | 63 | 37,50 | 27 | 173 | 1.731 | 65 | 109 |
| **01.01.2018-31.12.2018** | 4.059 | 5.229 | 63 | 37,50 | 27 | 197 | 1.990 | 74 | 123 |

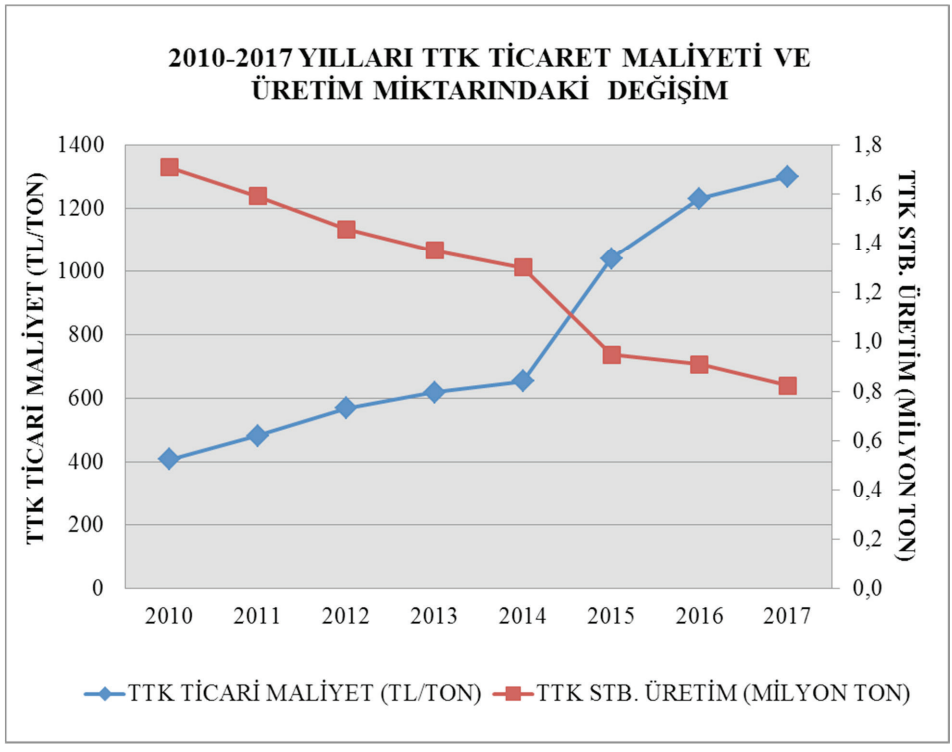
*Randıman 1,25 ton/yev olarak alınmıştır.

A: Brüt Ücret (TL); B: İşveren Maliyeti (TL); C: Özel Sigorta (TL); D: Haftalık Çalışma Süresi (Saat); E: İşçi Başı Aylık Üretim (Ton), F:Ton Başı İşçilik Maliyeti (TL/Ton); G:İşçi Başı Ort. Destek Tutarı (TL); H:Ton Başı Ort. Destek Tutarı (TL); I:Ton Başı Net İşçilik Bedeli (TL)

Rödövanslı sahalara ek olarak, 2014 yılında yürürlüğe giren 6552 Sayılı Torba Yasa ve sonraki düzenlemeler ile TTK ocaklarında da yapılanma süreci başlamıştır. İşçilere net iki asgari ücret verilmesi ve çalışma gününün azalmasına bağlı olarak

kömür üretim maliyetinde yaklaşık %60 oranında artış meydana gelmiştir. 6552 sayılı yasa sonrasında TTK da yıllık fiili çalışma gününün 302 den 250 ye düşmesiyle, üretimde buna paralel olarak azalmış, ticari maliyet yükselmiş, 2017 yılında satılabilir üretim 823.000 Ton ve ticari maliyet 1.300 TL/Ton olarak gerçekleşmiştir.

2010-2017 yılları için TTK üretim miktarı ve ticari maliyet değerlerindeki değişim Şekil 3'de verildiği gibidir.




Şekil 3. 2010-2017 yılları arası TTK üretim miktarı ve kömür üretim ticaret maliyetindeki değişim.

## 5. HAZIRLIK DÖNEMİ İÇİN TORBA YASA SONRASI İŞÇİLİK MALİYETİ DEĞERLENDİRMESİ

6552 Sayılı Torba Yasa ile yer altında çalışan işçilerin özlük haklarına getirilen değişiklikler yeraltında hazırlık döneminde olan üretim safhasına geçmemiş tüm işletmeleri kapsamaktadır. Kamu tarafından işletilen ve kamuya bağlı olarak ihale edilen ve sözleşmesinde hazırlık dönemi ihtiva eden özel sektör işletmeleri ile ruhsat sahibi tüzel kişilikler torba yasa ile yürürlüğe konan düzenlemelerden sorumludurlar.

18.02.2015 tarihinde yürürlüğe giren "6592 Sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" ile 3213 Sayılı Maden Kanununa eklenen Geçici 29uncu madde kapsamında, 6552 Sayılı Kanun ile yeraltı kömür işletmelerine gelen ek maliyetlerin Devlet tarafından karşılanması amacıyla hazırlanan 2015/7703 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı 23.05.2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Kamuya bağlı olarak faaliyet gösteren rödövanslı özel sektör işletmelerine ait maliyet farklarının fiyat farkı olarak hesaplanmasını düzenleyen söz konusu kararnamede, ödemesi yapılacak fiyat farkları hesaplanırken rödövans payı üst sınır olarak belirlenmiş ve üretim yapılması durumuna bağlı bırakılmıştır. Dolayısıyla kararnamenin bu hali ile sözleşme ve işletme projesine göre hazırlık döneminde olan ve üretim yapılmayan yeraltı işletmeleri fiyat farkı ödemesinden yararlanamamıştır.

Sonrasında, 08.04.2016 tarihinde 2016/8672 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı yürürlüğe girerek 2015/7703 sayılı kararnamede değişikliğe gidilerek ilave hükümler getirilmiştir.

2016/8672 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı kapsamında, 2015/7703 sayılı fiyat farkı kararnamesinin 5. Maddesine eklenen 11. Fıkra ile 'Hazırlık dönemi ihtiva eden rödevans sözleşmelerinde; hazırlık dönemi ile sınırlı kalmak kaydıyla, idarenin onayladığı işletme projesi kapsamında yapılan yeraltı işlerinden çıkartılan her bir metreküp pasa için birinci fıkranın (ç) bendine göre hesaplanan fiyat farkının %16'sı uygulanır. Hesaplanacak bu tutarın işçi başına düşen miktarı, Özel hukuk tüzel kişileri ruhsat sahipleri için yayımlanan 2016/8673 sayılı kararnameye göre hesaplanan işçi başına destek tutarının %80'inden fazla olamaz' hükmü getirilmiştir.

Bu karara göre hazırlık döneminde ödenecek fiyat farkı desteği, her bir metreküp pasa için bir ton kömür çıkartılmasına göre hesaplanan fiyat farkı desteğinin %16'sı olarak belirlenmiştir.

Her iki kararnamedeki hesaplamalar yapıldığında, 2014 yılının ilk sekiz ayında(torba yasa öncesi) aynı işçi ücretini uygulayan rödövanslı saha işletmesi ile özel hukuk kişisi ruhsat sahibi işletme arasında, alınacak destek miktarında çok büyük fark oluştuğu görülmektedir. 2016/8672 Sayılı Kararnameye göre, hazırlık döneminde olan rödövanslı bir işletmede, örnek olarak yeraltında 14 $m^2$ kesitli 50 m/ay ilerlemeli galeri açılması sonucu çıkarılan pasa için işçi başına 339 TL/Ay fiyat farkı desteği alınabilmekte iken, 2016/8673 sayılı kararnameye göre özel ruhsat sahipleri 1.919 TL/Ay destek alabilmektedir (Çizelge 3).

Zonguldak havzası gibi gaz içeriği yüksek, derin kotları içeren ve kumtaşı, konglomera gibi kazısı güç kayaçların olduğu bölgedeki hazırlıklarda, linyit havzalarına göre çok daha fazla birim işçilik harcandığı bilinmektedir. Hazırlık döneminde yeraltında galeri açma işlerine ek olarak, elektrik, mekanik, iş güvenliği tesis ve teçhizatlarının montajı, nakliyat işleri gibi önemli ve işçilik gerektiren işler

yapılmaktadır. Değişiklik yapılan kararnamede rödövanslı sahalarda hazırlık döneminde sadece galeri açılmasından doğan pasa miktarına göre fiyat farkı hesaplaması yapılması önemli bir eksiklik olarak görülmektedir.

Çizelge 3. 2018 yılı için rödövanslı saha işletmeleri ve ruhsat sahibi özel işletmeler için hazırlık dönemi fiyat farkı desteği karşılaştırması.

| | 2016/8672 Nolu Kararname Rödövans İşletmeleri Hazırlık Dönemi Desteği | 2016/8673 Nolu Kararname Ruhsat Sahibi İşletmeler Hazırlık Dönemi Desteği |
|---|---|---|
| Ücret Maliyetindeki Artış Desteği (TL) | 16,58 | 1.494,24 |
| Çalışma Süresinin Azalması Desteği (TL) | 5,03 | 849,00 |
| Yıllık İzinin Artması Desteği (TL) | 0,33 | 55,82 |
| İş Güçlüğü Zorluk Katsayısı (Z) | 3,00 | - |
| Fiyat Farkı Desteği (TL) | 65,82 | 2.399,06 |
| Destek Yararlanma Oranı (O) | 0,16 | 0,80 |
| Toplam Fiyat Farkı Desteği (TL) | 10,53 | 1.919,25 |
| İşçi Başı Aylık Destek (TL)* | 339,65 | 1.919,25 |

*14 $m^2$ kesitli galeride kazı kesiti 16 $m^2$, günlük ilerleme 2,4 m, aylık ilerleme 50,4 m, çıkan pasa 16*50,4=806,4 $m^3$, çalışan sayısı 25, tüm işçiler için alınacak fiyat farkı destek tutarı=10,53*806,4=8.491,40 TL, bir işçi için fiyat farkı destek tutarı=8.491,40/25 =339,65 TL

Rödövanslı sahalarda hazırlık döneminde uygulanacak fiyat farkı hesabında, 2016/8672 Sayılı Kararnamenin 5. Maddesi 10. Fıkrasına göre işin yapıldığı bölge ve işe göre İş Güçlüğü Zorluk Katsayısı (Z)'nın ilgili Bakanlık tarafından belirlenebileceği belirtilmektedir. Hazırlık dönemi ihtiva eden sözleşmelerde Z'nin artırılması ile rödövanslı saha özel işletmeleri ile özel hukuk tüzel kişilerinin sahibi oldukları ruhsat sahaları arasındaki eşitsizliği ortadan kaldıracağı değerlendirilmektedir.

## 6. SONUÇLAR

11.09.2014 tarihinde yürürlüğe giren "6552 Sayılı İş Kanunu ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması ile Bazı Alacakların Yeniden Yapılandırılmasına Dair Kanun" ile yeraltı madencilik sektöründe yapılan yeni düzenlemelerin Zonguldak Havzası açısından değerlendirilerek, havzadaki madencilik faaliyetine olan etkilerini ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralandığı gibidir.

- 2014 yılında 6552 Sayılı Torba Yasanın yürürlüğe girmesinden sonra emek yoğun çalışılan havzada işçilik maliyetleri %54 artmış, çalışma gününün azalması dolayısıyla üretim miktarı azalmış ve özel işletmelerde ekonomik sıkıntılar olmuştur. 2016 yılının ikinci yarısında verimli olarak fiyat farkı desteği alınana kadar işletmelerde yaşanan ekonomik buhran nedeniyle işçi maaşları, TTK'ya olan rödövans borçları ve diğer ilişikli kurumlara doğan borçlar ödenememiştir. Ödenemeyen işçi maaşları nedeniyle havzada işçi göçü yaşanmaya başlanmış ve gelinen noktada özellikle kalifiye işçi bulunması zorlaşmıştır.

- Havzada üretim ve hazırlık faaliyetinde bulunan işletmeler kanun ve yönetmeliklerle gelen yeni mevzuat düzenlemelerini yerine getirmeye çalışmaktadır. Ancak, yatırım ortamının iyileştirilmesi ve kömür üretiminin artırılması için Zonguldak havzasına özel ek teşviklere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

- Rödövanslı işletmeler için fiyat farkı hesaplarının rödövans payına ve yapılan üretim miktarına göre yapılması karmaşık bir hesaplama sistemini de beraberinde getirmiştir. Mevcut durumda, Zonguldak havzası kömür madencileri üretim miktarına göre fiyat farkı iadesi alabilirken özel hukuk ruhsat kişilerinin üretim zorunluluğu olmadan yeraltı işçi sayısına göre destek alabilmektedir.

- Ayrıca, özel hukuk tüzel kişisi olarak ruhsat sahibi olunan bir işletmede hazırlık döneminde kısıtlama olmaksızın yeraltı işçisi başına 1.919 TL/ay destek alınabilirken, rödövanslı sahalarda bu tutar 339 TL/ay'dır. Ayrıca, rödövanslı sahalarda hazırlık döneminde sadece galeri açılması işinden açığa çıkan pasa miktarından fiyat farkı hesaplanmakta olup, bu durum önemli bir eksiklik olarak görülmektedir.

- 6552 sayılı kanun ile getirilen düzenlemeler, yeraltı madenciliği yatırımcılarının ihale aşamasındaki mer'i mevzuata göre öngörülen ve işletme projelerinde belirtilen işçilik, hazırlık, üretim, yatırım ve finansman maliyetlerini ve projelerin hazırlık sürelerini etkilemiş, sözleşmeler ve işletme projelerinde revize yapılması gerekliliğini doğurmuştur.

- Küçük ölçekli rödövanslı sahaların iş güvenliği kanun ve yönetmeliklerine uygunluğu ve kısıtlı sözleşme süreleri göz önüne alındığında varlıklarını sürdürmeleri ve yatırım yapmaları güçleşmiştir.

## KAYNAKLAR

Resmi Gazete, 2018. http://www.resmigazete.gov.tr/default.aspx.
TTK, 2018. http://www.taskomuru.gov.tr/

# ZONGULDAK HAVZASI KÖMÜR MADENCİLİĞİ POTANSİYELİ

## *THE COAL MINING POTENTIAL IN ZONGULDAK BASIN*

**Vedat Didari*, Nuri Ali Akçın**
*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) işçi sayısı ve üretimi giderek azalan, satış gelirleri her zaman düşük olan, zararı 250-300 milyon dolar/yıl mertebelerinde seyreden ve sunduğu az miktarda (400-500 bin t/yıl) koklaşabilir kömürle demir-çelik endüstrisinden kopmuş olan, ülkemiz taşkömürü tüketiminin % 5-6'sını ancak karşılayabilen bir kurum görüntüsündedir. Kurumun son yıllardaki kötüye gidişini durduracak teknik, finansal ve idari tedbirlerin alınması durumunda ulaşılabilecek hedeflerin (bir anlamda Havza ve TTK'nın önündeki seçeneklerin) bir projeksiyonunu amaçlayan bu çalışma, karar vericilere yardımcı olabilecek değerli verileri ortaya koymaktadır.

**ABSTRACT** Turkish Hardcoal Enterprise (TTK) is a state-owned company set apart from iron and steel industry due to very low production of cokable coal (400-500 thousands tonnes per year) and huge financial losses (250-300 billion USA $ per year). In this study, a projection involving alternative technical and financial attempts for improvement of the TTK's current negative status is given to help the decision makers.

**vedatdidari@hotmail.com*

## 1. PROJEKSİYONDA YAPILAN KABULLER

Çalışmada salt teknik/istatistiksel verilere dayalı olarak Müesseseler bazında yapılabilecek iyileştirmelere esas olan saptamaları yaparken Havza gerçeklerinden kopmadan aşağıdaki makul hedefler ve kabuller dikkate alınmıştır (Didari vd. 2017):

- Bölüm 2 ve 3'de ayrıntıları verilen yapılacak başlıca yatırımlar, TTK'nın da programında yer alan ve mutlaka yapılması gereken hazırlık ve üretimde mekanizasyon çalışmalarına yöneliktir. Yeni bir büyük yatırım önerilmemiştir.
- Üretim ayaklarında kademeli olarak emek-yoğun teknolojilerden makine-yoğun teknolojilere geçiş öngörülmüştür ki bu da TTK'nın vizyonu ve programı dahilinde olan bir konudur.
- Birim maliyetin ve zararın düşürülmesindeki en önemli araçlardan birinin üretim artışı olduğu gerçeği gözden uzak tutulmadan mekanize üretim ayaklarının hizmete girmesi yanında emek-yoğun (klasik) ayaklar için de en azından son 5 yıldaki işçi kaybının telafi edilerek bir hamle yapılmasını ve hazır bekleyen atıl kazı arınlarının devreye sokulmasını hedefleyen bir strateji gerekli görülmüştür. Projeksiyon; mekanize ayakların üretimdeki payının giderek artmasını ancak mekanizasyon olanağı bulunmayan rezervlerin de klasik ayaklarla üretilerek ulusal servetin kaybının önlenmesini öngörmektedir.
- Havza koşullarında üretim işçisi randımanı klasik ayaklarda 3,5 ton/yev. ve mekanize ayaklarda 10,5 ton/yev (tüvenan) olarak alınmıştır ki bir başlangıç olarak son derecede makul rakamlardır (motivasyonun iyileştiği bir Havza'da bu rakamlar rahatça 4 ton/yev ve 12 ton/yev değerlerine erişebilir olup bu aynı zamanda yapılan projeksiyonda yüksek bir güvenlik katsayısı kullanıldığının bir göstergesidir).
- Klasik ayaklarda % 60 olan maliyette işçiliğin payının yarı mekanize ayaklarda %45'e ve mekanize ayaklarda % 30'a, düşeceği; mekanizasyonla birlikte maliyetlerdeki amortisman payının yükseleceği; yeraltı işçiliklerinde kalifiye eleman oranı artmakla birlikte işçi sayısında sadece ayaklarda ve yerüstündeki işlerde azalma sağlanabileceği kabul edilmiştir.
- Kömür yıkamada mevcut randımanlara fazla bir müdahale yapılmamış, sadece 2 yıkama seçeneği (termik santrala ve demir-çelik endüstrisine ağırlık verecek şekilde) değerlendirilmiştir.
- Rakamsal veriler için bu çalışmanın başladığı sırada kesinleşmiş bulunan 2015 yılına ait veriler kullanılmış ve projeksiyonlardaki değişimler bu yılın rakamlarına göre sunulmuştur.
  Takip eden yıllarda yevmiye ücreti ile birim kömür satış fiyatları (girdiler ve çıktılar) aynı tutularak denge sağlanmıştır. Eğilim hem yevmiye fiyatlarında hem de kömür satış fiyatlarında artışlar olması yönündedir. Dolayısıyla birim maliyet ve ortalama zarar güvenilir yol gösterici değerlerdir.

## 2. ALT YAPI YATIRIM HEDEFLERİ

Havza'ya son 25 yılda alt yapıya yönelik yaklaşık 651 milyon $ tutarında bir yatırım yapılmıştır. Bu, 1950'lerdeki, Havza'nın alt yapısını kuran Marshall yardımı dönemine yakın bir rakamdır. Ancak, o kadar etkin bir sonuç vermemiştir.

2005 yılından itibaren yatırımlarda sağlanan nisbi artışlarla Havza'nın potansiyel üretim kapasitesine (5 Milyon ton/yıl satılabilir) yeniden kavuşmasının alt yapısı tamamlanmak üzeredir. 2002 yılında 3,43 $/ton olan yatırımlar 2005'de 11,65 $/ton'a ve 2014'de 11,88 $/ton'a ulaşmıştır (Çizelge 1) (TTK 2016a). Bu yatırımın olumlu sonuçlarının alınması için gerekli çalışmalara hız verilmelidir.

Çizelge 1. TTK'da yıllara göre yatırımlar (TTK 2016a).

| YIL | Gerçekleşen Yatırım (bin TL) | Satılabilir Üretim (Ton) |
|---|---|---|
| 2002 | 11.532 | 2.244.372 |
| 2005 | 25.988 | 1.665.324 |
| 2010 | 42.900 | 1.708.844 |
| 2014 | 30.627 | 1.300.154 |
| 2015 | 35.600 | 948.573 |

2020 yılına doğru Müesseseler bazında planlanan ana yatırımların dökümü aşağıda verilmiştir.

Karadon Müessesesi'nde 2020 yılına kadar yapılması planlanan alt yapı yatırımları şu şekilde sıralanabilir:

- Kilimli -540 Doğu Kanadı Kat Hazırlığı, -540 Batı Kanadı Kat Hazırlığı, -460 Kat Bağlantı Lağımı
- Gelik -460 Kat Hazırlığı
- Karadon I No.lu Kuyu Derinleştirme ve Tesis (-360/-780)

Kozlu Müessesesi'nde üretimin kısmen mekanize ayaklardan yapılmasına yönelik yatırımlar başlatılmış olup -560 ve -630 katlarında hazırlık çalışmalarına devam edilmektedir

Üzülmez Müessese'nin üretim artışına yönelik ana alt yapı hazırlıkları 2017-2019 yılları arası için planlanmış ve yatırım programına alınmıştır. Bu bağlamda yapılacak çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- Asma-dilaver -250 kat hazırlığı
- Asma-dilaver -320 kat hazırlığı.

Armutçuk Müessesesi'de mevcut 13 nolu kuyu -400 katına kadar hizmet verebilmekteyken üretimin -500 seviyelerinin altına doğru inmiş olması bir handikap yaratarak olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Müessese'de -450 ve -650 katlarında hazırlık galerileri, desandre gibi çalışmalar yanında yeni bir kuyu (+184/-740) yatırımı planlanmaktadır (2018'de başlamak üzere).

Amasra Müessesesi'nde 2017-2019 yılları arasında -250 ve -350 katlarında yaklaşık 6.000 m ana kat hazırlığı yapılması planlanmıştır. Bu hazırlıklarla birlikte özellikle eğimli damarlarda mekanize üretim yapmak üzere panolar oluşturulacaktır.

## 3. MEKANİZASYON HEDEFLERİ

Zonguldak Havzası jeolojik ve tektonik koşulları ile kömür çevre kayaçları göz önünde bulundurulduğunda tam mekanize kömür üretim sürecine geçmek çok olanaklı değildir. Bu cümleden hareketle havzada mekanizasyona geçilemez-uygulanamaz önyargısı desteklemek söz konusu olamaz. Havza koşullarına uygun mekanizasyon sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi olanaklıdır. Klasik anlamda hazırlıklarda yaygın bir galeri açma makinası kullanımı ve kesici-yükleyicili veya sabanlı bir mekanize uzun ayak uygulaması havza koşullarında çok olanaklı değildir.

Zonguldak Havzasında sürekli olarak hazırlıkların zamanında yetişmemesinden ve gecikmesinden söz edilir. 170 yıllık madencilik kültürü olan bir havzada klasik delme+patlatma yöntemiyle yapılan galeri, lağım ve tabanyolu sürme işlemlerinde ve hatta kuyu açma çalışmalarında koşullara uygun standart yöntemler oluşturulamamıştır. Her müessesede farklı uygulamalarla karşılaşılmakta ve ilerlemede randımanlar 12-15 cm/yevmiye düzeyinde gerçekleşmektedir.

Havzada hazırlık çalışmalarını hızlandırmak için elektro-hidrolik delici ve yükleyicilerin yanında kollu galeri açma makinası kullanımı için de araştırmalar sürdürülmüştür. Özel sektör tarafından yapılan çalışmalar Zonguldak Havzası kömür çevre kayaçlarının kazılabilirlik özellikleri ve açılacak yeraltı açıklıklarının amacına uygun bir galeri açma makinası seçildiğinde başarılı olunacağını ortaya koymaktadır (Ersoy vd. 2016).

Zonguldak Havzasında koşulların üretim mekanizasyonu açısından değerlendirilmesi amacıyla yapılan incelemelerin ışığında klasik anlamda tam mekanize bir üretim sisteminin (kesici+yükleyici veya saban ve yürüyen tahkimat sistemi) kullanım olanağı çok sınırlıdır. Havza koşullarına uygun daha esnek (fleksibil) ve robust kazı ve tahkimat sistemlerinin seçilmesi veya geliştirilmesi en uygun çözüm olacaktır.

Zonguldak Havzasının geçmişinde bazı mekanizasyon arayışları ve uygulamaları söz konusu olmuştur. 1950'li yıllarda havzada potkabaç makinası ile kazı ve sürtünmeli direk+mafsallı sarma sistemiyle yarı mekanize sayılabilecek sistemler denenmiştir. Ancak, yaygın bir uygulama haline getirilememiştir. Daha sonraki yıllarda aşağıda

sıralanan yarı mekanize uygulama sistemleri seçilmiş ve pilot uygulamalar yapılmıştır (Akçın 1991, Akçın 2000, Yamudi ve Akçın 2000):

- Pilot saban uygulaması,
- ANŞ dikdamar mekanizasyon sistemi,
- Yüksek basınçlı hava patlatmalı kazı sistemi,
- CARDOX sistemi.

Kurumda 2004 yılından itibaren devam eden ve ana altyapı hazırlıklarına paralel olarak kömür üretim maliyetlerini düşürmek, verimliliği artırmak ve daha emniyetli bir teknik çalışma ortamını sağlamak amacıyla üretimde tam mekanize kazı sistemlerinin araştırmaları da sürdürülmüştür. Bu bağlamda Çek Cumhuriyeti menşeyli MV4 tipi teçhizatın kurum ocaklarında denenmesi kararlarını almıştır (Biçer 2016).

Başlangıçta, Amasra TİM'de bir kömür panosunda mekanize üretim yönteminin pilot olarak denenmesinden elde edilen sonuçlara göre havza çapında yaygınlaştırılması planlanmıştır. 2013 Mart ayında sistem kurulmuş ve mekanize kazı teçhizatıyla yapılan deneme çalışmalarıyla istenilen başarı elde edilmiştir. Mekanize kazı teçhizatının kurumun diğer müesseselerindeki dik damarlarda birbirini izleyerek yaygınlaştırılması ve ayrıca, düz ve az eğimli damarlarda farklı çalışmalar için araştırmalar sürdürülmektedir.

Bu tür teçhizatın Karadon, Üzülmez ve Kozlu taşkömürü işletmelerinde kullanılmasına yönelik uygun damarlar mevcut olup Karadon Taşkömürü Müesesesi Gelik İşletmesindeki dik damarlarda uygulanmak üzere aynı tip teçhizatın bu defa daha kalın, 1,7 ile 2,7 metre damarlarda denenmesi ve başarılı olunması hâlinde satın alınmasına yönelik hazırlıkları sürdürülmektedir. Teçhizatın başarılı olması hâlinde Karadon Müessesesinde 3,3 Milyon ton rezervin üretilmesi söz konusudur. Ayrıca, teçhizatın Kozlu ve Üzülmez TİM'deki dik damarlarda kullanılmasına yönelik de bir planlama yapılmıştır. Bu şekilde havza çapında toplam 6,3 Milyon ton hazır bir rezervin mekanize kazı sistemiyle üretilmesi hedeflenmektedir (Çizelge 2).

Kurum mekanize sistemin yaygınlaştırılmasına yönelik bir planlama yapmış ve buna göre bir üretim hedefi belirlemiştir (Çizelge 3). 2016 yılında hedeflenen toplam üretim miktarı 2.115.000 tondur ve bunun içinde 180.000 tonluk bir mekanize üretim (%8,5) payının olması hedeflemiştir. Sistemin yaygınlaştırılması için yapılan planlama da 2029 yılında toplam üretimin 2.285.000 ton olması ve bunun içinde 1.020.00 tonluk bir mekanize üretim (%36,1) payı olması öngörülmektedir.

Karadon Müessesesi'nde mekanizasyona yönelik çalışmalar sadece Gelik İşletmesi'nde sürdürülmektedir. Bu işletmede mevcut 5.251.300 ton işletilebilir rezervin 3.830.415 tonu eğimi $40^0$ üzerinde olan damarlarda toplanmıştır. Eğimli damarlardaki bu rezervin mekanize olarak üretilmesi planlanmaktadır. Mekanize üretime 2017 yılında başlanması ve ilk etapta 330.00 ton/yıl olan mekanize üretimin 2029 yılında 510.000 ton/yıla çıkması hedeflenmektedir.

Çizelge 2. Müesseseler itibariyle hazır dik damar rezervleri (TTK 2016a).

| | Damar | Kalınlık (m) | Eğim | Pano boyu (m) | Ayak boyu (m) | Rezerv (ton) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Amasra** | Tavan Damar | 1-2,2 | 52° | 300-330 | 75-85 | 140.000 |
| | Kalın Damar | 2,5-3,2 | 52-61° | 300-340 | 70-80 | 285.000 |
| | Taşlı Damar | 2,5-3,2 | 52-61° | 300-340 | 70-80 | 285.000 |
| **Üzülmez** | Piç | 1,5 | 55° | 400-450 | 100-150 | 204.000 |
| | Nasifoğlu | 3,3 | 55° | 400-450 | 100-150 | 303.000 |
| **Kozlu** | Ömerağa | 2,5 | 70° | 400-450 | 70 | 898.000 |
| | Civelek | 2,5-3 | 70° | 400-500 | 70 | 694.000 |
| | Kılıç (Büyük) | 7 | 70° | 400-500 | 70 | 1.579.000 |
| **Karadon** | Acılık | 3 | 60° | 530 | 110 | 297.330 |
| | Piriç | 1,8 | 60° | 540 | 110 | 181.760 |
| | Çay | 3 | 60° | 560 | 110 | 314.160 |
| | Akalın | 1,7 | 60° | 580 | 110 | 184.380 |
| | Gökcan | 1,5 | 60° | 590 | 110 | 165.490 |
| | Kurul | 3 | 43-45° | 980 | 145 | 720.000 |
| **TOPLAM** | | | | | | 6.251.000 |

Çizelge 3. Dik damar kazı teçhizatının yaygınlaştırılması halinde üretim planlaması (TTK 2016a) (Bin Ton).

| MÜESSESE | ÜRETİM YÖNTEMİ | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amasra | Klasik | 110 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| | Mekanize | 180 | 180 | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Üzülmez | Klasik | 475 | 345 | 345 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 | 475 |
| | Mekanize | 0 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 0 | 0 |
| Kozlu | Klasik | 505 | 375 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 | 245 |
| | Mekanize | 0 | 180 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 |
| Karadon | Klasik | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 | 595 |
| | Mekanize | 0 | 330 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 | 510 |
| Armutcuk | Klasik | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| | Mekanize | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TTK | Klasik | 1935 | 1,805 | 1,675 | 1,675 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 | 1,805 |
| | Mekanize | 180 | 835 | 1,285 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,020 | 1,020 |
| | TOPLAM | 2,115 | 2,640 | 2,960 | 2,840 | 2,970 | 2,970 | 2,970 | 2,970 | 2,970 | 2,970 | 2,970 | 2,970 | 2,825 | 2,825 |

TTK'nın mekanize ve yarı mekanize sistemlerin yaygınlaştırılmasına yönelik olarak yapmış olduğu planlamada Kozlu Müessesesi için 2017 yılından itibaren uygun damarlarda yarı mekanize üretim sistemlerinin uygulanabileceğini öngörülmüştür (Çizelge 3). 2017 yılında Kozlu Müessesesi'nin toplam üretiminin 555.000 ton olması ve bunun 180.000 tonunun (%32,43'nün) yarı mekanize üretim yöntemiyle sağlanması öngörülmektedir. Yarı mekanize olarak üretim yapmak üzere hazırlanan panoların toplam rezervi 5.235.000 ton'dur.

TTK'nın mekanize ve yarı mekanize sistemlerin yaygınlaştırılmasına yönelik olarak yapmış olduğu planlamada Üzülmez Müessesesi için 2017 yılından itibaren uygun damarlarda yarı mekanize üretim sistemlerinin uygulanabileceğini öngörmüştür (Çizelge 3). 2017 yılında Üzülmez Müessesesi'nin toplam üretiminin 490.000 ton olması ve bunun 145.000 tonunun (%29,59'nun) yarı mekanize üretim yöntemiyle karşılanması planlanmıştır.

Üzülmez Müessesesi'de halen 3. Ocak Piriç -183/-220 panosunda yarı mekanize üretim sistemiyle üretim yapılmaktadır. Ayrıca; 2. Ocak -160/-205/-260 Nasıfoğulu, 3. Ocak -195/-235 Çay Piçi, 3. Ocak -260/-317 Çay panoları yarı mekanize üretim sistemiyle çalışılmak üzere hazırlıkları yapılmıştır. 2. Ocak Nasıfoğlu panosunun donanımı şiparişe bağlanıp programa konulmuştur. Geleceğe yönelik planlamada her ocakta mekanize bir panonun oluşturulması ve aynı anda üç panodan üretim yapılması düşünülmektedir.

TTK'nın 2016-2029 yılları arasındaki üretim planlamasında Armutçuk için herhangi bir mekanize üretim hedefi bulunmamaktadır. Ancak, yeni açılacak kuyuya paralel olarak I. ve II. Bloklardaki kat hazırlıkları ile birlikte (-450, -500, -550, -600 ve -650 katları) bazı panolarda yarı mekanize üretime geçmek üzere pano hazırlıkları sürdürülmekte ve yatırım programlarına girmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Amasra Müessesesi'nde mekanize üretim çalışmalarına ilk olarak Mayıs 2013 tarihinde Güney Panoları Bölgesinde; -236/-300 Tavan Damar ayakta başlanmıştır. Daha sonra aynı bölgede -248/-300 kotlarında Kalın, Taşlı ve Alt Taşlı damarlarında mekanize sistemle kömür üretimi gerçekleştirilmiştir. Uygulama başarıyla sürdürülmektedir.

## 4. PROJEKSİYON ÇALIŞMASININ ÖZETİ

Bölüm 1'de açıklanan kabullerle, Müesseselerin yatırım ve mekanizasyon hedefleri gözönünde bulundurularak ve ek olarak mekanizasyona yatkın olmayan rezervler ile atıl tutulan hazır ayak arınlarının değerlendirilmesini (çalışılmasını) hedefleyen stratejilerle yapılan projeksiyonlar sonucunda Müesseselerde elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmektedir. Bu bölümdeki çizelgelerde yeralan 2015 ve 2016 rakamsal değerleri (TTK 2015b, TTK 2016) kaynaklarından alınmıştır.

### 4.1. Karadon Müessesesi

İşletmenin üretim faaliyetleri 3 katta konsantre edilmiştir (-160/-260;-260/-360 ve -360/-460). Ana İhraç Açıklığı olan Çatalağzı Kuyusunun kapasitesi 420 ton/saat olup derinleştirme yatırımının tamamlanmasıyla ihraç görevini alacak olan 1 No.lu kuyunun kapasitesi ise 500 ton/saat olacaktır (TTK 2016b). Bu çalışmada yapılan projeksiyonda yukarıda sözü edilen kapasiteler yanında TTK'nın hedefleri dikkate alınmış ve TTK tarafından eksik bırakılmış olan "klasik ayaklar üretiminde de artış" öngörülmüştür. Orta vadede İşletmenin hedefi 1,250 milyon ton/yıl tüvenan ve 812.500 ton/yıl

satılabilir olup istihdam edilecek işçi sayısı 3400 civarındadır. Bugünkü randımanları zorlamadan yapılan kabullere dayalı hesaplamalarda; üretimin (1/3'ü mekanize ayaklardan sağlanacak şekilde) ihraç kuyusu kapasitesine uyumlu biçimde arttırılması durumunda Çizelge 4'de özetlenen iyileştirme ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4. Karadon Müessesesi'nde durum özeti (Didari vd. 2017).

| **KARADON** | **2015** | **2016** | **Projeksiyon** | **Fark** | **% değişim*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tüv.Üretim ton/yıl | 469.000 | 419.000 | 1.250.000 | 781.000 | 166 |
| Sat.Üretim ton/yıl | 298.500 | 249.000 | 812.500 | 514.000 | 172 |
| Birim Maliyet TL/ton | 1165 | 1568 | 537 | -628 | 54 |
| Ort.Zarar TL/ton | 951 | 1364 | 185 | -766 | 81 |
| İşçi sayısı (Aralık Sonu) | 3131 | 2739 | 3408 | 277 | 9 |
| PAÜ Tüv. Randıman,kg/yev | 2997 | 2886 | 4524 | 1527 | 51 |
| PAÜ Sat. Randıman,kg/yev | 1908 | 1716 | 2941 | 1033 | 54 |
| Genel Sat.Randıman,kg/yev | 449 | 415 | 1122 | 673 | 150 |

TTK programı **1.105.000 ton/yıl,** üretimin 1/3'ü mekanize ayaklardan ***2015'e göre**

## 4.2. Kozlu Müessesesi

İşletmenin üretim faaliyetleri 3 katta konsantre edilmiştir (-300/-425;-425/-485 ve -485/-560). Müessese'nin ana ihraç kuyuları olan Yeni Kuyu ve 2 No.lu kuyunun toplam ihraç kapasitesi 410 ton/saat olmaktadır (TTK 2016c). Kozlu Müessesesi asgari ihraç kapasitesine orta vadede ulaşabilecek durumdadır. Bu çalışmada yapılan projeksiyonda yukarıda sözü edilen kapasiteler yanında TTK'nın hedefleri dikkate alınmış ve TTK tarafından eksik bırakılmış olan "klasik ayaklar üretiminde de artış" öngörülmüştür. Üretim klasik ve mekanize ayaklara eşit olarak bölünmekte ve kısa vadede İşletmenin hedefi 1,0 milyon ton/yıl tüvenan ve 620.000 t satılabilir olup (orta vadede 1,2 milyon ton tüvenan ve 745.000 ton satılabilir) istihdam edilecek işçi sayısında ilk aşamada hedef, klasik ayakları canlandırmak üzere, son 5 yıldaki işçisi sayısındaki dramatik düşüşü dengelemek ve mekanize üretim için yeni işçi alımı yapmaktır (toplam 2900 işçi) (Çizelge 5).

## 4.3. Üzülmez Müessesesi

Üzülmez Müessesesi'nde üretim esas itibarıyla 3 katta (-150/-200; -200/-250 ve -250/-300) sürdürülmekte iken 2016'da en üst katta üretim yapılmadığı görülmektedir. Müessese'nin ana ihraç kuyusu olan 2 No.lu kuyunun kapasitesi 750 t/saat'dir. Kısa-orta vadede bu kapasiteyi makul olarak kullanma şansı bulunmamaktadır (TTK 2016c). İşçi açığının kapatılacağı (3300) ve üretimin (1/3'ü mekanize ayaklardan sağlanacak şekilde) 1.200.000 ton/yıl tüvenan ve 745.000 t satılabilir olarak gerçekleştirileceği öngörülmüştür (Çizelge 6).

Çizelge 5. Kozlu Müessesesi'nde durum özeti (Didari vd. 2017).

| **KOZLU** | 2015 | 2016 | Projeksiyon | **Fark** | **% değişim*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tüv.Üretim ton/yıl | 373.500 | 365.000 | 1.200.000 | 826.500 | 221 |
| Sat.Üretim ton/yıl | 217.000 | 216.000 | 745.000 | 528.000 | 243 |
| Birim Maliyet TL/ton | 1046 | 1099 | 631 | -415 | 40 |
| Ort.Zarar TL/ton | 842 | 905 | 274 | -568 | 67 |
| İşçi sayısı | 1792 | 1625 | 2918 | 1126 | 63 |
| PAÜ Tüv. Randıman,kg/yev | 3594 | 3437 | 5246 | 1652 | 46 |
| PAÜ Sat. Randıman,kg/yev | 2085 | 2036 | 3257 | 1172 | 56 |
| Genel Sat.Randıman kg/yev | 557 | 612 | 1174 | 617 | 111 |

TTK programı **755.000 ton/yıl** Üretimin 1/2'si mekanize ayaklardan ***2015'e göre**

Çizelge 6. Üzülmez Müessesesi'nde durum özeti (Didari vd. 2017).

| **ÜZÜLMEZ** | **2015** | **2016** | **Projeksiyon** | **Fark** | **% değişim*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tüv.Üretim ton/yıl | 364.000 | 351.000 | 1.200.000 | 836.000 | 230 |
| Sat.Üretim ton/yıl | 228.500 | 235.000 | 745.000 | 516.500 | 226 |
| Birim Maliyet TL/ton | 822 | 973 | 588 | -234 | 28 |
| Ort.Zarar TL/ton | 605 | 734 | 229 | -376 | 62 |
| İşçi sayısı | 1639 | 1436 | 3285 | 1646 | 100 |
| PAÜ Tüv. Randıman,kg/yev | 3811 | 4014 | 4500 | 689 | 18 |
| PAÜ Sat. Randıman,kg/yev | 2395 | 2691 | 2792 | 397 | 17 |
| Genel Sat.Randıman,kg/yev | 657 | 736 | 1067 | 410 | 62 |

TTK programı **620.000 ton/yıl** , üretimin 1/3'ü mekanize ayaklardan ***2015'e göre**

### 4.4. Armutçuk Müessesesi

Armutçuk Müessesesi'nde mevcut 13 no. kuyu -400 katına kadar hizmet verebilmekteyken üretimin -500 seviyelerinin altına doğru inmiş olması bir handikap yaratarak olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Herhangi bir ayak mekanizasyonu girişimi de olmaması (veya ocak alt yapısının mekanize ayaklar kurulmasına uygun olmaması) nedeniyle bu çalışmada yer alan projeksiyonda üretimin tamamının klasik ayaklardan yapılması ve İşletmenin hedefinin 375.000 ton/yıl tüvenan ve 232.500 t satılabilir olması öngörülmüştür (Çizelge 7). Hedef işçi sayısı 1250'dir.

### 4.5. Amasra Müessesesi

Bu çalışmada yer alan projeksiyonda üretimin 2/3'ü klasik ve1/3'ü mekanize/yarı mekanize ayaklardan yapılmakta ve uzun vadede işletmenin hedefi 450.000 ton/yıl tüvenan ve 270.000 ton/yıl satılabilir olup istihdam edilecek işçi sayısında hedef, norm kadroya yaklaşılmasıdır (1250 işçi) (Çizelge 8).

Müesseseler arasında birim maliyetlerin birbirine çok yakın olduğu ve en ciddi iyileşmenin Karadon ile ilgili olduğu dikkati çekmektedir. Birim zarar açısından da en iyi durumdaki müesseseler Karadon ve Armutçuk olup TTK genelindeki ortalama zararı aşağıya çekmektedirler.

Çizelge 7. Armutçuk Müessesesi'nde durum özeti (Didari vd. 2017).

| **ARMUTÇUK** | **2015** | **2016** | **Projeksiyon** | **Fark** | **% değişim*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tüv.Üretim ton/yıl | 184.000 | 190.000 | 375.000 | 191.000 | 104 |
| Sat.Üretim ton/yıl | 114.000 | 127.000 | 232.500 | 118.500 | 104 |
| Birim Maliyet TL/ton | 1161 | 1185 | 589 | -572 | 49 |
| Ort.Zarar TL/ton | 900 | 875 | 149 | -751 | 83 |
| İşçi sayısı | 1123 | 1036 | 1257 | 134 | 12 |
| PAÜ Tüv. Randıman,kg/yev | 2661 | 3687 | 3500 | 839 | 32 |
| PAÜ Sat. Randıman,kg/yev | 1648 | 2456 | 2168 | 520 | 32 |
| Genel Sat.Randıman,kg/yev | 465 | 556 | 848 | 383 | 82 |

TTK programı **250.000 ton/yıl,** üretim tamamen klasik ayaklardan ***2015'e göre**

Çizelge 8. Amasra Müessesesi'nde Durum Özeti (Didari vd. 2017).

| **AMASRA** | **2015** | **2016** | **Projeksiyon** | **Fark** | **% değişim*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tüv.Üretim ton/yıl | 195.000 | 171.000 | 450.000 | 255.000 | 131 |
| Sat.Üretim ton/yıl | 90.000 | 83.500 | 270.000 | 180.000 | 200 |
| Birim Maliyet TL/ton | 1029 | 1118 | 748 | -281 | 27 |
| Ort.Zarar TL/ton | 792 | 870 | 479 | -313 | 40 |
| İşçi sayısı | 635 | 549 | 1232 | 597 | 94 |
| PAÜ Tüv. Randıman,kg/yev | 4600 | 4267 | 4500 | 100 | 2 |
| PAÜ Sat. Randıman,kg/yev | 2138 | 2088 | 2700 | 562 | 26 |
| Genel Sat.Randıman,kg/yev | 668 | 721 | 1027 | 359 | 54 |

TTK programı **360.000 ton/yıl, ü**retimin 1/3'ü mekanize ayaklardan ***2015'e göre**

## 4.6. TTK Geneli

Müesseselerdeki durum birleştirilerek elde edilen genel görünüm Çizelge 9'da verilmiştir. Görüleceği üzere;

- TTK'nın toplam tüvenan üretiminde 4.475.000 ton/yıl ve satılabilir üretiminde 2.805.000 ton/yıl hedeflenmektedir.
- İşçi sayısında % 35 artışla (yaklaşık 3.000 yeni işçi), mekanizasyon ve konsantrasyonun katkısıyla birim maliyette %43 azalma ile 592 TL/ton değerine ulaşılmaktadır.

- Üretim ile hasılatın artışına bağlı olarak ortalama zararda % 71 azalma ile 239 TL/ton değerine ulaşılmaktadır.

Bu şekliyle Kurum, sübvanse edilebilir bir görünüm kazanmaktadır.

Çizelge 9. TTK'da durum özeti (Didari vd. 2017).

| **TTK** | **2015** | **2016** | **Projeksiyon** | **Fark** | **% değişim*** |
|---|---|---|---|---|---|
| Tüv.Üretim ton/yıl | 1.585.000 | 1.496.000 | 4.475.000 | 2.890.000 | 182 |
| Sat.Üretim ton/yıl | 949.000 | 911.000 | 2.805.000 | 1.856.000 | 196 |
| Birim Maliyet TL/ton | 1040 | 1218 | 592 | -448 | 43 |
| Ort.Zarar TL/ton | 820 | 991 | 239 | -581 | 71 |
| İşçi sayısı | 8982 | 8458 | 12.100 | 3118 | 35 |
| *PAÜ Tüv. Randıman,kg/yev | 3392 | 3475 | 4572 | 1180 | 35 |
| PAÜ Sat. Randıman,kg/yev | 2029 | 2116 | 2866 | 837 | 41 |
| Genel Sat.Randıman,kg/yev | 491 | 516 | 927 | 436 | 89 |
| *3915 işçi | TTK programı **2.970.000 ton/yıl** | | | ***2015'e göre** | |

## 5. SONUÇ

Bu projeksiyonda TTK için toplam tüvenan üretimde 4.475.000 ton/yıl ve satılabilir üretimde 2.805.000 ton/yıl hedeflenebileceği kolayca görülebilmektedir. İşçi sayısında % 35 artışla (yaklaşık 3.000 yeni işçi) 12.000 rakamına, mekanizasyon ve konsantrasyonun etkisiyle birim maliyette % 43 azalma ile 592 TL/ton değerine ve üretim ile hasılatın artışına bağlı olarak ortalama zararda % 71 azalma ile 239 TL/ton değerine ulaşılmaktadır. Bu şekliyle Kurum, sübvanse edilebilir bir görünüm kazanmaktadır (670 milyon TL/yıl, 168 milyon $/yıl). Bu sübvansiyon ile koklaşabilir kömür ithalatında yaklaşık olarak yarı yarıya azalma sağlanmakta olup sübvansiyonun karşılığı bu ithalata ayrılan kaynak olmaktadır. Koklaşabilir kömür tedariğinde sağlanan kolaylık ve güvence ise ülkemiz için önemli bir stratejik kazanım olacaktır

Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biri; mevcut ve süregelen yatırımlarıyla kısa zamanda ulaşılacak üretim kapasitesiyle ve ciddi bir havza planlamasıyla TTK'nın hedefini belirli ölçüde büyütebileceği ve zararını büyük oranda azaltabileceğidir. TTK, kendi üretim hedefini uzun vadede 4 Milyon ton/yıl satılabilir (3 Milyon ton/yıl koklaşabilir) olarak belirleyebilir. Ön koşullar, azami ölçüde mekanizasyonun sağlanması ve üretim işçisi açığının ivedilikle giderilmesi suretiyle mevcut atıl ayak uzunluklarının üretime katılması olarak görülmektedir.

Paralel olarak; rödevanslı sahalarda TTK proje birimlerinin koordinasyonunda havza madenciliği ilkesine uygun planlama ve programlarla çalışılması verimliliği arttıracaktır. TTK işletmelerinin havzada "lider" ve "örnek" işletmeler olarak faaliyetlerini sürdürmesi ekonomik ve sosyal açılardan olduğu kadar iş sağlığı ve güvenliği açısından da yaşamsaldır. Yatırımları önemli bir düzeye ulaşmış olan

Amasra-B sahası başta olmak üzere rödevansla işletilecek büyük sahalarda da Kurumun işletmeleri örnek alınarak uzun vadede Kurum'unkine yakın hedeflerin benimsenebileceği söylenebilir. Büyük sahalarda henüz ciddi bir üretim olmamasına karşın 2015 yılında tüm sahalarda 2826 işçi istihdam edilirken küçük sahalardan 486.000 ton kadar üretim yapılmıştır (TTK 2015b).

TTK'daki küçülme politikaları belki de en önemli darbesini Maden Makinaları Fabrikasına vurmuştur. Yetişmiş uzman teknik eleman ve donanım gücüyle tüm ülkemiz madenciliği için kendi koşullarımıza uygun maden makinaları üretme potansiyeline sahip olan bu birim, bugün gelişmiş ülkelerin madencilik endüstrilerindeki en güçlü destekler olan maden makinaları üreticilerinin bir kozasını oluşturabilirdi. Bugün bazı ciddi modernizasyon girişimleri ile daha çok küçük maden aletleri ve tamir-bakım konularında yoğunlaşan hizmetleriyle toparlanmaya çalışmaktadır. Bu kuruluşa gerekli özenin gösterilerek yatırım yapılmasının sadece Havza'ya değil genel olarak ülke madenciliğine büyük yararı olacağı açıktır.

## KAYNAKLAR

Akçın, N.A. 1991. ANŞ Dik Damar Mekanizasyon Sisteminin Tanıtımı ve Zonguldak Havzasında Uygulanabilirliği, Madencilik, 15, 3, s. 5-12.

Akçın, N.A. 2000. Hava Patlatmalı Kazı Sistemi, DPT Teknolojik Araştırma Projesi. Proje Kod No: 97 K 122 460.

Biçer, N. 2016. Dik Damarlarda Mekanizasyon Uygulamaları, 4. Tünelcilik Kısa Kursu, 27-29 Ağustos 2017.

Didari, V., Akçın, N.A., Toroğlu, İ., Kaymakçı, E., Sakız, U. 2017. Zonguldak Havzası Kömür Madenciliği Potansiyeli ve Türkiye Taşkömürü Kurum, BEÜ Döner Sermaye Projesi, 169 s.

Ersoy, C., Balcı, C., Şenkal, S. 2016. Amasra Taşkömürü Havzasında Çalışan Kollu Galeri Açma Makinasının Performans Değerlendirmesi, Türkiye 20. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 37-47.

TTK, 2015a. Taşkömürü Sektör Raporu.

TTK, 2015b. İstatistik Yıllığı.

TTK, 2016. İstatistik Yıllığı.

TTK, 2016a. Türkiye Taşkömürü Kurumu Tanıtım Kitapçığı.

TTK, 2016b. TTK Karadon Müessesesi 2016 Yılı Ekim Ayı Değerlendirme Sunumu, 83.s.

Yamudi, C., Akçın, N.A. 2000. Sıvı Karbondioksitle (CARDOX) Kazı Sisteminin Kozlu Ocaklarında Kullanılması, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s.55-66.

# YAZAR İNDEKSİ
AUTHOR INDEX


| | |
|---|---|
| Akçın, H. | 459 |
| Akçın, N.A. | 57, 501 |
| Aksoy, C. | 249 |
| Altıner, M. | 229 |
| Altınsoy, B. | 381 |
| Arıtan, A.E. | 85, 431, 439 |
| Atalay, D. | 355 |
| Aydın, A. | 277, 291 |
| Aydın, G. | 39, 117 |
| Aydın, H. | 69 |
| Baltaş, A. | 125 |
| Bardız, H.M. | 459 |
| Baş, N. | 485 |
| Bilen, M. | 337, 347 |
| Can, M.F. | 85 |
| Cook, A. | 13 |
| Çalkaya, M. | 193 |
| Çınar, M. | 219 |
| Çuhadaroğlu, A.D. | 337, 347 |
| Dağ, A. | 207 |
| Daloğlu, G. | 105 |
| Demir, İ. | 367 |
| Demir, U. | 277, 291 |
| Demirarslan, K.O. | 179 |
| Didari, V. | 501 |
| Doğruöz, C. | 47 |
| Dursun, A.E. | 193, 401 |
| Duru, H. | 69 |
| Ediz, İ.G. | 317, 327 |
| Ediz, N. | 317, 327 |
| Erboy, F. | 381 |
| Eryılmaz, H. | 179 |
| Genç, B. | 1, 13 |
| Geniş, M. | 69 |
| Günay, Ö. | 473 |
| Günaydın, F. | 417 |
| Hacıfazlıoğlu, H. | 249, 259 |
| Horasan, Ü. | 219 |
| Kahraman, E. | 139, 449 |
| Karaca, S. | 317, 327 |
| Karakurt, İ. | 39, 117 |
| Karaküp, F. | 57 |
| Kasap, Y. | 93, 151 |
| Kaya, S. | 39, 117 |
| Kılıç, A.M. | 139, 449 |
| Kılıç, Ö. | 139, 449 |
| Kızgut, S. | 337, 347 |
| Koçali, K. | 387 |
| Köken, E. | 337 |
| Kurşun, İ. | 249, 259, 367 |
| Kurşunoğlu, N. | 27 |
| Kurt, H. | 165 |
| Lavrik N.A. | 237 |
| Litvinova N.M. | 237 |
| Onifade, M. | 1, 13 |
| Önder, M. | 27, 105, 417 |
| Önder, S. | 417 |
| Özbayoğlu, G. | 267 |
| Özdemir, A.C. | 207 |
| Pusat, H. | 417 |
| Rasskazov, I.J. | 237 |
| Rasskazova, A.V. | 237 |
| Sakız, U. | 69 |
| Sargınoğlu, S. | 459 |
| Sekisov A.G. | 237 |
| Su, O. | 69 |
| Şahbaz, O. | 317, 327 |
| Şahinoğlu, E. | 305 |
| Şensöğüt, C. | 317, 327, 431, 439 |
| Şensöğüt, N. | 431, 439 |
| Taşdemir, A. | 355 |
| Terzi, M. | 249, 259 |
| Terzioğlu, H. | 193 |
| Teymen, A. | 229 |
| Toptaş, T.E. | 207 |
| Toroğlu, İ. | 337, 347 |
| Töre, Y. | 207 |
| Tümer, M. | 85 |
| Uçar, A. | 317, 327 |
| Ural, S. | 207 |
| Yaralı, O. | 69 |
| Yıldırım, F. | 39, 117 |
| Yılmaz, C.E. | 347 |
| Yılmaz, P. | 485 |
| Yılmaz, S. | 337, 347 |