

Bahtiyar Ünver  
Mehmet Ali Hindistan  
Abdullah Erhan Tercan  
Güneş Ertunç  
Mehmet Suphi Ünal  
Süleyman Yasin Kılıoğlu  
Fırat Atalay

Orijinal Araştırma / Original Research

**Soma Eynez Kömür Sahası için Farklı Bir Üretim Yöntemi Önerisi**

*A New Production Method Proposal For Soma Eynez Coal Field*

Metin Özdoğan  
Hakkı Özdoğan

Orijinal Araştırma / Original Research

**Cycle Time Segments and Cycle Time Distribution Curves of Mining Size Wheel Loaders – A Case Study**

*Maden Yükleyicilerinde İş Döngüsü Evreleri ve İş Döngüsü Dağılım Eğrileri - Olay Çalışması*

Kazım Onur Demirarslan  
Ali Kaya

Derleme / Review

**Kömür Madenciliği Kaynaklı Hava Kirliliği: Partikül Madde ve Metan Emisyonları Üzerine Literatür Araştırması**

*Air Pollution due to Coal Mining: Literature Review About Particulate Matter and Methane Emissions*

Mehmet S. Kızıl

Derleme / Review

**New Developments in the Australian Mining Education**

*Avustralya Madencilik Eğitimindeki Yeni Gelişmeler*





**BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ**  
**Scientific Mining Journal**

Cilt / Vol: 56, Sayı / No: 1, Mart / March, 2017

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın hakemli dergisidir.  
*A peer-reviewed quarterly journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey*

**Editörler Kurulu / Editorial Board**

**Baş Editor / Editor-in-Chief:**

Dr. Nejat Tamzok, Türkiye Kömür İşletmeleri / *Turkish Coal Enterprises*

**Editörler / Editors:**

Dr. Bülent Toka, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü / *General Directorate of Mineral Research and Exploration*

Dr. İlkay Bengü Çelik, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Mehtap Gülsün Kılıç, Dicle Üniversitesi / *Dicle University*

Dr. Fırat Atalay, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

**Derginin Kapsamı ve Amacı**

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın bir yayını olup 1960 yılından bu yana yayımlanmaktadır. Derginin ismi 2016 yılı Haziran sayısına kadar "Madencilik" şeklindeyken, benzer isimli popüler dergilerle karıştırılabilmesi nedeniyle 2016 yılı Eylül sayısından itibaren "Bilimsel Madencilik Dergisi" olarak değiştirilmiş ve o tarihe kadar 0024-9416 olan ISSN numarası da 2564-7024 olarak güncellenmiştir. Dergide yeraltı ve açık ocak işletmeciliği, cevher/kömür hazırlama ve zenginleştirme gibi madencilikğin tüm alanlarında yapılan özgün çalışmalar, eleştirel derlemeler, kısa teknik notlar ve dergide yayımlanmış yazılara ilişkin tartışmalar yayımlanır. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizce'dir. Yılda dört kez (Mart, Haziran, Eylül ve Aralık) yayımlanır. Dergiye elektronik ortamda <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir. Derginin amacı maden mühendisliği mesleğinin ulusal ve uluslararası düzeyde gelişimine katkı sağlamaktır.

**Scope and Aim of the Journal**

*The Scientific MINING Journal, a publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey, has been published since 1960. The name of the journal has been changed from "Mining" to "Scientific Mining Journal" since September 2016 because it can be mixed with popular magazines with similar names and the ISSN number has also been updated from 0024-9416 to 2564-7024. The journal is a medium for the publication of original research papers, critical comprehensive reviews, and technical notes in all fields of mining engineering such as underground and surface mining, and mineral/coal processing. The journal also publishes discussion of papers which have been already published in the journal. The publication languages are Turkish and English, and is published quarterly (March, June, September and December). The journal can also be freely accessed at <http://www.mining.org.tr> The objective is to contribute to the development of the profession of mining engineering at national and international levels.*

Yayın Danışma Kurulu, 2017 Yılı Hakem Listesi, Makale Yazım Kuralları ve Hakem Değerlendirme Sürecine <<http://www.madencilik.org.tr>> adresinden erişilebilir.

*Editorial Advisory Board, 2017 Reviewer List, Author Instructions and the Peer Review Process can be accessed from <<http://www.mining.org.tr>>.*

**Bilimsel MADENCİLİK Dergisi yazı dizini ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları / Scientific MINING Journal is indexed or abstracted in GeoRef, Chemical Abstracts, ENCOMPLIT, ENCOMPLIT2, Compendex**

**Makale Yazım Kuralları – Hakem Değerlendirme Süreci / Author Instructions – The Peer Review Process**

Makale yazım kuralları ve hakem değerlendirme sürecine <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

*Author instructions and peer review process can be accessed from <http://www.mining.org.tr>*

#### **Etik Kurallar / Publication Ethics**

Dergiye gönderilecek çalışmalarda, araştırma ve yayın etiğine uyulması tartışmasız bir ön koşul olarak kabul edilmektedir.

*Complying with the research and publication ethics is considered an indisputable precondition to be published.*



Bilimsel  
**madencilik**  
SCIENTIFIC MINING JOURNAL  
DERGİSİ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

**MART**  
*MARCH*  
2017

**CİLT**  
*VOLUME*  
56

**SAYI**  
*NUMBER*  
1

**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

- |  |           |   |
|--|-----------|---|
| Bahtiyar Ünver<br>Mehmet Ali Hindistan<br>Abdullah Erhan Tercan<br>Güneş Ertunç<br>Mehmet Suphi Ünal<br>Süleyman Yasin Killioğlu<br>Fırat Atalay | <b>5</b>  | Orijinal Araştırma / <i>Original Research</i><br><b>Soma Eynez Kömür Sahası İçin Farklı Bir Üretim Yöntemi Önerisi</b><br><i>A New Production Method Proposal for Soma Eynez Coal Field</i>   |
| Metin Özdoğan<br>Hakkı Özdoğan   | <b>13</b> | Orijinal Araştırma / <i>Original Research</i><br><b>Cycle Time Segments and Cycle Time Distribution Curves of Mining Size Wheel Loaders – A Case Study</b><br><i>Maden Yükleyicilerinde İş Döngüsü Evreleri ve İş Döngüsü Dağılım Eğrileri - Olay Çalışması</i> |
| Kazım Onur Demirarslan<br>Ali Kaya   | <b>23</b> | Derleme / <i>Review</i><br><b>Kömür Madenciliği Kaynaklı Hava Kirliliği: Partikül Madde ve Metan Emisyonları Üzerine Literatür Araştırması</b><br><i>Air Pollution due to Coal Mining: Literature Review About Particulate Matter and Methane Emissions</i>     |
| Mehmet S. Kızıl  | <b>33</b> | Derleme / <i>Review</i><br><b>New Developments in the Australian Mining Education</b><br><i>Avustralya Madencilik Eğitimindeki Yeni Gelişmeler</i>  |



**BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ**  
**Scientific Mining Journal**

TMMOB Maden Mühendisleri Odası adına sahibi /  
*Owner on behalf of the Chamber of Mining Engineers of Turkey: Ayhan Yüksel*

Sorumlu yazı işleri müdürü / *Responsible manager: Necmi Ergin*

Yönetim yeri ve yazışma adresi / *Correspondence address:*  
Selanik Cad. No: 19/4 06650 Kızılay-Çankaya / ANKARA - TURKEY

Tel: +90 312 425 10 80 / +90 312 418 36 57 • Fax: +90 312 417 52 90

e-mail: [bilgi@madencilik.org.tr](mailto:bilgi@madencilik.org.tr) / [info@mining.org.tr](mailto:info@mining.org.tr)  
web: <http://www.madencilik.org.tr> / <http://www.mining.org.tr>

Yayın türü / *Publication type: Yerel süreli yayın, 3 ayda bir yayımlanır / Local periodical, quarterly*

Tasarım / *Design: Ayhan Çınar*

Baskı yeri / *Printed at: Korza Matbaası*

Baskı Tarihi ve saati / *Printing date: 21.03.2017 at 09:00*

Basım adedi / *Number of printed copy: 1500*



Orijinal Araştırma / Original Research

## SOMA EYNEZ KÖMÜR SAHASI İÇİN FARKLI BİR ÜRETİM YÖNTEMİ ÖNERİSİ<sup>1</sup>

### A NEW PRODUCTION METHOD PROPOSAL FOR SOMA EYNEZ COAL FIELD

Bahtiyar Ünver<sup>a</sup>, Mehmet Ali Hindistan<sup>a,\*</sup>, Abdullah Erhan Tercan<sup>a</sup>, Güneş Ertunç<sup>a</sup>,  
Mehmet Suphi Ünal<sup>a</sup>, Süleyman Yasin Kılıoğlu<sup>a</sup>, Fırat Atalay<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, ANKARA

**Geliş Tarihi / Received** : 12 Şubat / February 2017

**Kabul Tarihi / Accepted** : 28 Şubat / February 2017

#### Anahtar Sözcükler:

Soma Eynez,  
beton dolgu,  
mekanizasyon,  
dilimli kömür damarı.

#### Keywords:

Soma Eynez,  
concrete fill,  
mechanization,  
sliced coal seam.

#### ÖZ

Soma Eynez kömür damarında üretim farklı seviyelerde katlar oluşturularak yapılmaktadır. Damar meyili uygun olan üst kısımlarda yatay dilimli üretim yöntemi uygulanmıştır. Eynez damarının tavanında sağlam nitelikte marn, tabanında ise sudan etkilenen oldukça zayıf bir kil formasyonu bulunmaktadır. Bu koşullar nedeniyle ilk dilim (ayak) kömür tavanında açılmakta ve damar kalınlığına göre yeterli sayıda diğer dilimler tabana doğru açılmaktadır. Tabandaki kilden daha az etkilenmek amacıyla bir miktar kömür bırakıldıktan sonra üzerine taban dilimi ayağı oluşturulmaktadır.

Sahadaki üretim verimini artırmak amacıyla farklı üretim teknikleri konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Sahada henüz taban diliminde tam mekanizasyon uygulanmadığı için karşılaşılabilecek sorunlarla ilgili bir tecrübe bulunmamaktadır. Teknik ayrıntılarına girilmeden, burada önerilen yöntem ile tüm kömürün mekanize olarak daha hızlı ve güvenilir bir şekilde üretilmesi olanaklı olabilir. Yöntemde taban ayak diliminin öncelikle üretilmesi ve arkada oluşan boşluk göçmeden beton ile doldurulması düşünülmüştür. Bu beton dolgu, üstündeki panonun üretiminde güvenli sağlam bir taban olarak kullanılacaktır. Önerilen yöntemin uygulanabilir olması için ayrıntılı araştırma ve analizler yapılmalıdır. Esas olarak bu yazıda Soma Eynez sahası için farklı bir üretim stratejisinin tartışmaya açılması hedeflenmiştir.

#### ABSTRACT

Soma Eynez coal seam is produced by constituting slices at different elevations. Seam inclination in upper parts was suitable for horizontally sliced production method. The hanging wall of the seam is strong marn whereas the footwall formation is clay with a very low strength and it is considerably affected by water. Therefore, the first slice (face) is operated in the roof contact and the other slices, numbers depend on the seam thickness, are operated towards the floor. To minimize the effects of clay formation, the last production panel is formed at the bottom on a coal slice left above the clay contact.

Different production methods must be studied for especially to increase the production rate. A full mechanization production in footwall panel has not been applied yet in the area therefore the difficulties in such an application have not been experienced. It is thought that it might be possible to produce the coal more efficiently and safely by applying the method proposed in this paper. It is suggested that a longwall panel should be produced firstly at the floor and the gap behind is filled with concrete preventing roof collapse. This concrete filling will be used as a safe strong floor for the longwall panel located above. Detailed analysis and studies should be carried out on the proposed method. In this paper, it is basically aimed to initiate a discussion on an alternative coal production strategy for Soma Eynez coal field.

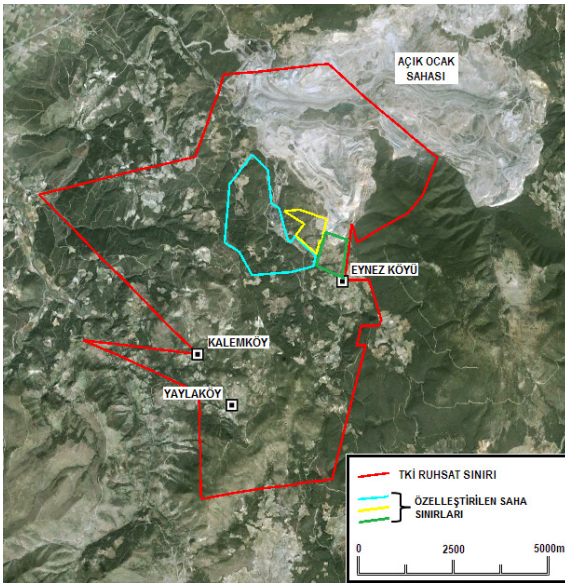
<sup>1</sup> Bu makale, Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi (IMCET 2015) bildiriler kitabında yayınlanmıştır.

This article has been published in the 24<sup>th</sup> International Mining Congress of Turkey (IMCET 2015) Proceedings' Book.

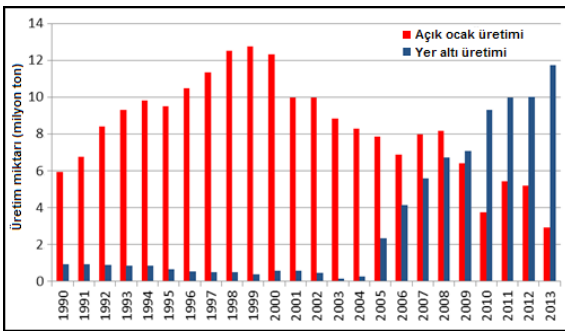
\* İlgili Yazar: hmali@hacettepe.edu.tr

## GİRİŞ

Soma Eyzeh sahası hem kalite hem de kaynak miktarı açısından tartışmasız Türkiye'nin en önemli linyit varlığıdır. Türkiye Kömür İşletmesi'ne (TKİ) ait ruhsat sınırı ve farklı firmaların üretim yaptığı saha sınırları Şekil 1'de verilmektedir. Soma bölgesinde 1960'lı yıllardan bu yana açık ocak madenciliği ile linyit üretimi yapılmaktadır. Açık ocak üretimi sahanın kuzeyinde yapılmaktadır. Ancak bu sahada açık ocak işletmeciliğine uygun linyit rezervi bitmek üzeredir. Bununla birlikte yer altı madenciliği ile yapılan üretim son yıllarda önemli ölçüde artmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. Eyzeh bölgesine ait TKİ ruhsat sınırı ve özelleştirilen saha sınırları (Ünver vd., 2015)



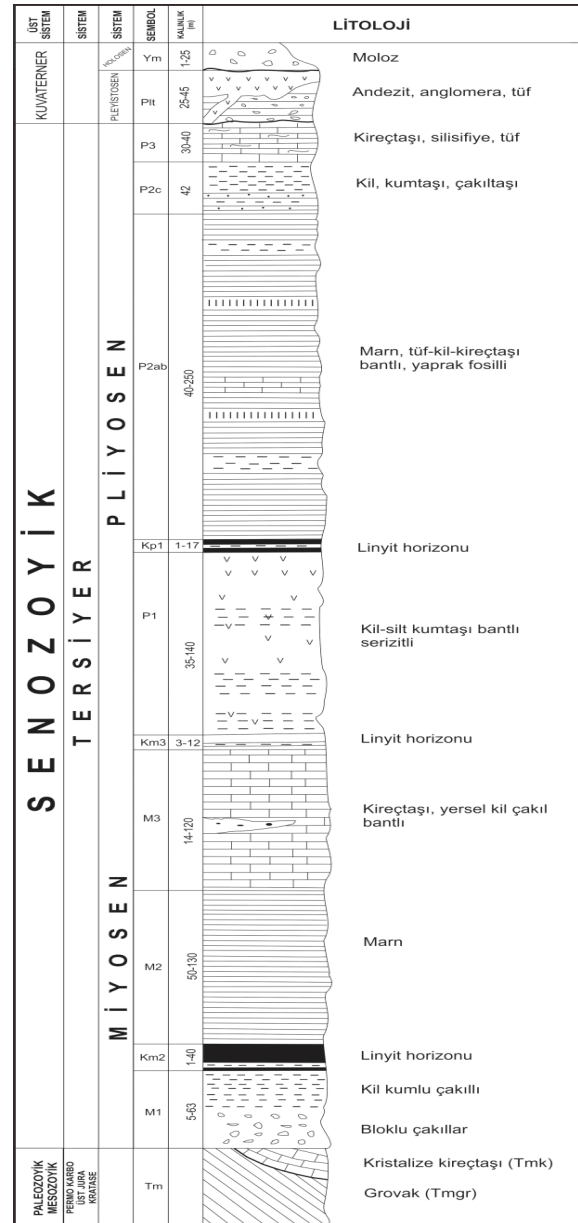
Şekil 2. Soma bölgesinde yerüstü ve yer altı üretim miktarlarının yıllara göre değişimi (Anon, 2014)

## 1. SAHANIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Soma yöresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit görüntüsü Şekil 3'de verilmektedir. İçerisinde kömür damarlarının da yer aldığı farklı litolojik birimler bulunmaktadır. Bu birimler yukarıdan

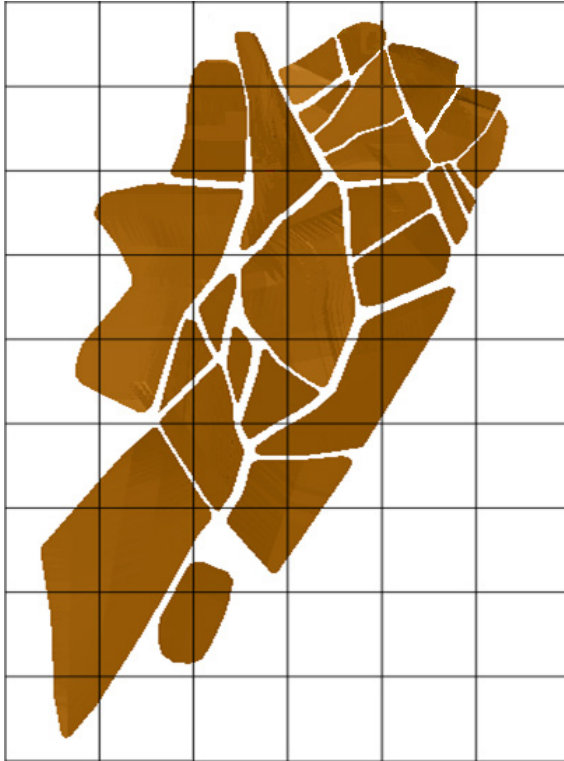
aşağıya doğru olmak üzere şu şekilde sıralanmaktadır:

- Serizitli kumtaşı-silttaşı-alacalı kil (P1)
- Orta linyit horizonu (KM3)
- Kireçtaşı (M3)
- Marn (M2)
- Alt linyit horizonu (KM2)
- Çakıltaşı-Kumtaşı-Kil (M1)
- Taban: Kristalize kireçtaşı-grovak (Tmk-Tmgr)



Şekil 3. Soma yöresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Nebert, 1978 ve MTA, 2008'den değiştirilerek alınmıştır)

Sahada tektonik hareketlere sebep olan çok sayıda faylanmalar sonucunda kömür damarı bloklara ayrılmıştır. Şekil 4'de Eynez sahası için yapılan 3B modelin plan görüntüsü verilmektedir (Tercan vd., 2011). Bu şekilden sahada önemli miktarda faylanma olduğu ve kömürün bu faylarla parçalanmış olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Eynez sahasında faylarla ayrılmış blokların plan görüntüsü (Tercan vd., 2011)

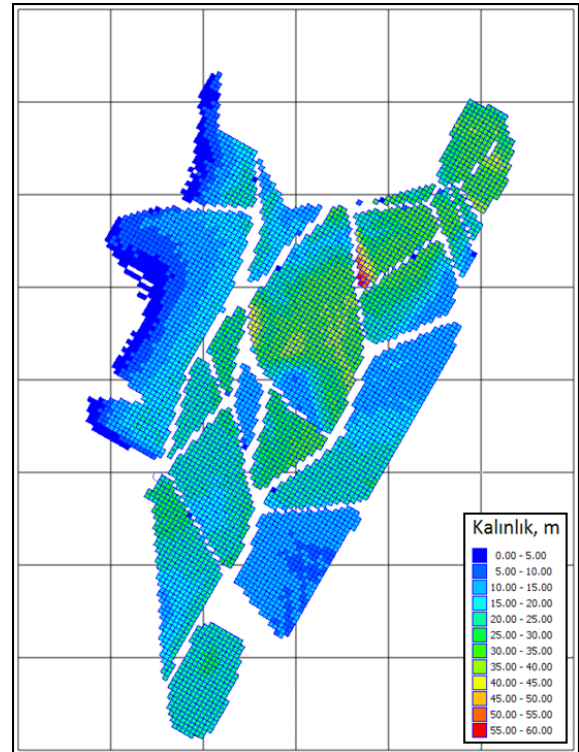
## 2. EYNEZ KÖMÜR KAYNAK MİKTARI VE ÖZELLİKLERİ

Şekil 4'de gösterilen bloklara ait yapılan hesaplamalar ile sahada üretime uygun toplam yaklaşık 426 milyon ton kömür varlığı belirlenmiştir. Analiz değerlerine göre ortalama alt ısı değer (AİD), kül ve nem içeriği sırasıyla 3187 kcal/kg, %34 ve %14 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5'de kömür damar kalınlığına ait blok model verilmektedir. Ortalama damar kalınlığı yaklaşık 20 m olmasına rağmen bazı bölgelerde damar kalınlığının 60 m'ye kadar yükseldiği görülmektedir. Saha kenarlarında kalınlığın daha az, kömür oluşumuna uygun olarak beklendiği şekilde orta kısımlarda kalınlığın artmakta olduğu anlaşılmaktadır (Tercan vd., 2013).

## 3. EYNEZ SAHASINDA ÜRETİME ETKİ EDEN YAPISAL ÖZELLİKLER

Soma Eynez sahasında uzun yıllardır kömür üretimi yapılmaktadır. Bu amaçla hem yer altı hem de yerüstü üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Uzun yıllardır çalışılan bir saha olması nedeniyle tavan taşının yapısı, kömürün özellikleri, taban kilinin karakteristiği genel anlamda bilinmektedir. Yapılan farklı uygulamalar ve üretim faaliyetleri süresince elde edilen deneyimlerden ilerde uygulanması düşünülen üretim yöntemi ve stratejilerinin nasıl olması gerektiği konusunda önemli bir bilgi birikimi oluşmuştur.



Şekil 5. Eynez sahasına ait kalınlık blok model görüntüsü (Tercan vd., 2013)

Kömür damarının kalın damar sınıfına girmesi üretim ile ilgili seçenekleri artırmakta ve bir anlamda üretim faaliyetlerini ince damar kömür üretimine kıyasla daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, seçilecek olan üretim yönteminin riski en aza indirecek nitelikte olması zorunludur. Eynez sahası için yapılan ocak planlaması ve tasarımında bazı önemli noktalar dikkate alınmaktadır. Ocak planlaması ve buna bağlı olarak üretim yöntemi seçiminde dikkate alınması gereken temel parametreler aşağıda liste halinde sunulmaktadır (Tercan vd., 2011).



- Damar kalınlığı ve damar özellikleri
- Tavan taşı özellikleri
- Taban kili özellikleri
- Kömürün ve yan kayaçların metan gazı içerikleri
- Yapılması planlanan yıllık üretim miktarı
- En az kömür kaybıyla üretim yapılması
- Hazırlık galerilerinin konumları
- Ocak yangınlarıyla mücadele yöntemi

### 3.1. Damar Kalınlığı ve Damar Özelliklerinin Etkisi

Yapılan katı model özelliklerine göre, sahadaki kömür damarı kalınlığı 1,8-62 m arasındadır. Kalınlığın değişken olması seçilecek üretim stratejisini önemli ölçüde etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sahada üretim temel itibarıyla dilimli ve tavan kömürünün ayak arkasından göçertilmesi suretiyle yapılmaktadır. Mekanize ayaklarda aynada tamburlu kesici, klasik ayaklarda ise delme patlatma suretiyle kömür kazılmaktadır. Tavan kömürü göçertmeli (top coal caving) yöntemde üretimin en kritik aşaması tavan kömürünün göçertilerek ayak arkasından kazanılmasıdır (Ünver, 1996 ve 1997). Diğer bir ifadeyle, aynadaki kömürün kazılması genel itibarıyla sorun yaratır nitelikte değildir ve yöntemin verimli ve güvenli bir şekilde uygulanabilmesi büyük ölçüde tavan kömürünün göçertilerek üretilmesine bağlıdır. Ayna kesimi birkaç saat içerisinde tamamlanabilmekte ve geri kalan sürenin tamamı arka kömürünün alınması ve ayağın yeni bir ayna kesimine uygun hale getirilmesi için harcanmaktadır (Ünver vd, 1991). Tavan kömürünün üretilmesi sırasında hem üretilen kömüre tavan taşı karışarak kömür seyreltmekte hem de ayak arkasında önemli bir miktarda kömür üretilmeden heba olmaktadır. Yapılan işin doğası gereği ne tavan taşının üretilen kömüre hiç karışmadığı, ne de ayak arkasında hiç kömür bırakılmadığı bir yöntem olabilir. Ancak bu seyrelme ve kayıpların en az düzeyde olmasını sağlamak gerekmektedir.

Ayak arkasından göçertilen kömürün kazanılma verimi tavan diliminde bulunan kömürün düzenli bir şekilde akması ile sağlanabilir. Bu da tavan kömürünün olabildiğince homojen bir tane boyunda olması ile sağlanabilir (Yaşitli and Ünver, 2004; Yaşitli ve Ünver, 2005; Ünver ve Yaşitli,

2006). Üretimin en az kömür kaybıyla yapılabilmesi için göçertilen tavan kömürünün üretim öncesinde zayıflatılması şeklinde bir şartlandırma yapılmalıdır. Kömür damarı, farklı özelliklere sahip damarlardan oluştuğu için her kısmın dayanımı farklı olabilmektedir. Eynez sahasında kömür damar yapısı incelendiğinde kömür kalitesinin damar tavanından tabanına doğru azaldığı ve kömür kül içeriğinin arttığı görülmektedir. Kömür içerisinde bulunan kil yüzdesinin artmasıyla dayanım düşmektedir. Kömür damar dayanımının değişken olması tavan kömürünün göçme özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca kömür damarının tavana yakın kısımlarında oldukça yüksek dayanıma sahip sileks bandı bulunmaktadır. Sonuç olarak, tavan kömürünün kolay akmasını teminen göçertme öncesi damar içerisinde göçmeyi zorlaştıran kısımların yapay şekilde (gevşetme patlatması benzeri) zayıflatılması gereklidir. Bu sayede tavan kömürünün daha kolay akması sağlanarak üretim hızı ve verimi önemli oranlarda iyileştirilmelidir. Tavan kömürünün göçme mekanizması ve önerilen uygulama ile ilgili ayrıntılar yukarıda sunulan kaynaklarda bulunabilir.

### 3.2. Tavan Taşının Yapısı ve Göçme Davranışı

KM2 damarı tavanında M2 marnları ve daha üstte de M3 kireçtaşları bulunmaktadır. M2 marnlarının kalınlığı, havza genelinde 50-130 metre arasında değişim gösterirken Eynez sahasında 3-120 metre arasında olup, oldukça masif ve sağlam bir yapıya sahiptir. M2 marnları üzerinde bulunan M3 kireçtaşları ise genelde 14-120 metre kalınlık gösterirken Eynez sahasında 1-60 metre kalınlığa sahip olup genel itibarıyla M2'ye benzer şekilde sağlam bir yapıya sahiptir (Ünver, 1995b). Netice olarak, göçertmeli üretim yöntemi kullanılması sırasında kömür damarı tavan taşının masif ve sağlam olması, göçme sorunlarına neden olma potansiyeline sahiptir. Esasen bu durum geçmişte yapılan üretim faaliyetleri sırasında net olarak tespit edilmiş olan bir olgudur. Dolayısıyla, göçertmeli bir üretim yöntemi kullanılmasının zorunlu olmasından hareketle, tavan taşı göçertilmesini kontrol etmek, seçilecek olan yöntemin en önemli parametrelerinden birisi olacaktır. Sonuç olarak, sahada öncelikle tavan taşının hemen altında bir ayak oluşturularak üretim yapılması gerekmektedir. Ayak ilerlemesi sırasında göçük arkasında kalan tavan taşının düzenli olarak patlatılarak zayıflatılması ve göçmenin düzenli olarak gerçekleşmesi sağlanmalıdır (Ünver, 1995a). Göçmenin nasıl geliştiği

ölçümlerle izlenmeli ve ayrıca göçük içerisindeki gaz özellikleri de mutlaka takip edilmez.

### 3.3. Taban Kili Özelliklerinin Etkisi

Damar tabanında yer yer kalınlığı önemli miktarlara ulaşan M1 kili bulunmaktadır. İşletme sırasında kaçınılmaz olarak ortamda su bulunacağı gerçeğinden hareketle taban kilinin plastik özelliğe sahip olması önemli sorunların oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle kömür damarının taban taşı kantağında en az 1 m'lik kısmın alınmadan bırakılması gerekecektir. Diğer taraftan damar tabanında oluşturulacak olan son dilimin üretilmesi sorunlu olacaktır. Tabanda bulunan M1 kilinin plastik özellik göstermesi nedeniyle ayak içi mekanize tahkimat ünitelerinin ağırlığını taşıması oldukça zordur.

### 3.4. Metan Gazı Gelirinin Etkisi

Eynez sahasında projelendirilen derin kısımlarda metan gazı gelirinin olacağı bilinmektedir. Metan gelirinin hangi seviyelerde olacağını elde edilen bilgiler ışığında tam olarak söylemek olanaksızdır. Proje uygulanmadan önce mutlaka kömür damarı ve yan kayaçların metan içerikleri belirlenmek zorundadır. Kalori, kül ve nem dağılımları gibi metan dağılım haritaları da çıkarılmalıdır. Halen yer altı üretimi devam eden ocaklarda yapılan çalışmalarda önemli miktarlarda metan gelirinin olduğu tespit edilmiştir. Bu ocaklarda yapılmış olan çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında metan drenajı yapılmadan ocaktan kömür üretimi yapılmasının riskler taşıdığı söylenebilir. Bu nedenle, üretim öncesi kömür içerisinde bulunan metanın mutlaka drene edilerek riskin azaltılması gerektiği uzun sayılabilecek bir süredir vurgulanmaktadır (Tercan vd., 2011). Kömür ve/veya yan kayaçtan metan gelirinin olması kesin olduğundan ocak havalandırmasının en güvenli bir şekilde yapılması zorunludur. Bu nedenle, ocak planlanırken metan içerecek havanın düz veya başyukarı hareket etmesi prensibi benimsenmelidir. Metan havadan daha hafif olduğu için hava dönüş yolunda metan içerecek olan hava mutlaka düz veya yukarı gidecek şekilde planlanmalıdır.

### 3.5. Hazırlık Galerilerinin Konumları

Normal şartlarda kömür ocaklarında tüm hazırlık galerilerinin taban taşında sürülmesi tasman etkisinin en aza indirilmesi açısından tercih edilir. Eynez sahasında taban taşı oldukça yumuşak

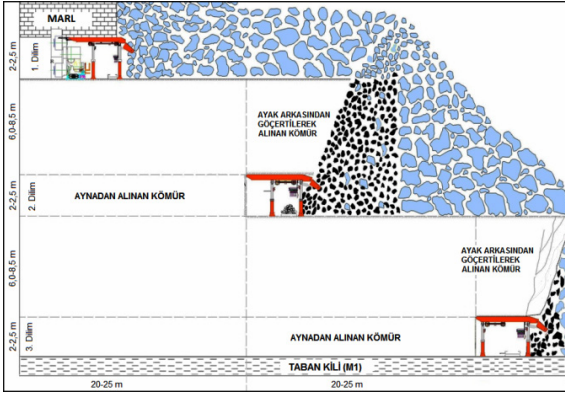
özellikli kiltastır. Sahanın doğu kısımlarında M1 kili kalınlığı az olmakla birlikte batı tarafında oldukça fazladır. Bu nedenle, genel itibarıyla hazırlık galerilerinin tavan taşında sürülmesi, madencilik geleneklerine göre tercih edilen bir yöntem olmamakla birlikte, Eynez sahasında bu bir zorunluluktur.

### 3.6. Ocak Yangınlarıyla Mücadele Yöntemi

Eynez sahasında yapılmakta olan üretim çalışmaları sırasında birçok ocak yangını ile karşılaşmıştır. Buradan kömürün kendiliğinden tutuşma riskinin yüksek olduğu sonucuna kolaylıkla varılabilir. Kalın damar üretiminde en kritik konulardan birisi, üretim alanı hemen terk edilemeyecek alt dilimlerin de sonradan üretilmesi gereğinden dolayı, yangın problemidir. Yangının önlenmesi açısından ilerleme hızı artırılmalı, ayak arkasında bırakılan kömür en az düzeyde tutulmalı ve göçüğe hava gitmesi önlenmelidir (Ünver ve Demirbilek, 1994). Sahada bundan sonra yapılacak olan çalışmaların metan riski de taşıdığından hareketle olabilecek bir ocak yangını ile mücadele çok zor ve daha riskli olacaktır. Bu nedenle, yangın çıkmasını önleyecek her türlü önlem alınmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, her dilimin üretilmesi sonrasında termik santral külü-su karışımı ile dolgu yapılmalıdır. Ayrıca ayak arkasındaki göçük içerisinde bulunan ortamı izlemek amacıyla göçükteki oksijen, metan ve karbon monoksit değerleri sürekli ölçülmelidir. Ayrıca ayak arkasında sıcaklık değerleri de ölçülerek ileride yangın oluşabilecek nüve erkenden tespit edilmeli ve bu bölgeye azot gazı basılarak yangın daha oluşmadan önlenmelidir.

## 4. MEVCUT ÜRETİM YÖNTEMİ VE TARTIŞILMASI ÖNERİLEN DEĞİŞİKLİK

Soma Eynez sahasında uygulanan üretim yöntemi Şekil 6'da verilmektedir. Öncelikle tavanda bir ayak oluşturulmakta, daha sonra ikinci dilim ve en sonunda ise taban dilimi üretilmektedir. Damarın çok kalın olduğu durumlarda tavan ve taban ayakları arasının iki kat halinde alınması şeklinde planlama yapılmaktadır. Bu durumda üretim toplam olarak dört dilim halinde gerçekleştirilmektedir.



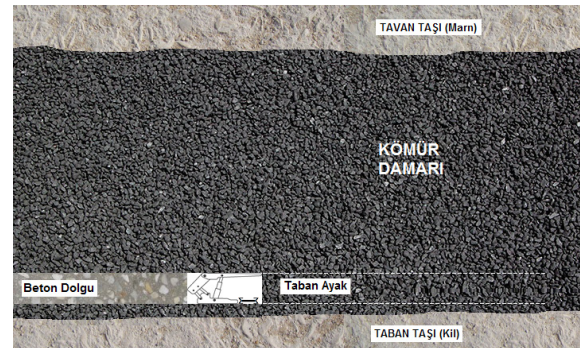
Şekil 6. Eynez sahasında genel olarak uygulanan üretim yöntemi (Anon, 2014)

Eynez sahasındaki kömürün kalınlığı, tavan ve taban özellikleri üretim yöntemini belirleyen en önemli parametrelerdir. Alt kotlarda metan içeriği artacağı için, ocak yangınları ve metan sorunu daha belirleyici olacaktır. Tavan taşı altında bir ayak oluşturulması ve bu sayede tavan taşının kırılması zaten bir zorunluluktur ve bu yöntemde bir değişiklik yapılması uygun olmayacaktır. Hatta tavan taşının üst kotlarını daha iyi kontrol edebilmek için tavan taşı içerisine, tavan taşını zayıflatacak patlatmaların yapılabilmesi, kül dolgunun daha verimli olarak uygulanabilmesi ve metan drenajının yapılabilmesi için yollar açılması etüt edilmelidir.

Eynez sahasında geçmişte yapılan üretim çalışmaları esnasında karşılaşılan en önemli sorun damar tabanında bulunan M1 kilinin çok zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Taban kili sudan son derece kötü etkilenen ve taşıma kapasitesi düşük olan bir yapıdır. Tabanda bulunan kısım mevcut uygulanan yöntemle en son üretildiği için yukarıda yapılan üretimler sırasında basınç dağılımı değişmekte ve özellikle üst dilimlerde yoğun olarak karşılaşılan suyun bu bölgeye sızarak taban kilini bakir durumuna göre daha zayıf hale getirmektedir. Bu nedenle Eynez sahasındaki taban dilimi mevcut bakış açısıyla ya çok sorunlu bir şekilde üretilebilir ya da belki de hiç üretilemez. Bu da ülkemizin kıt kaynaklarının yeterince kullanılamamasına yol açabilir. Taban dilimindeki kömür üretilse bile mekanizasyon uygulaması düşüncemize göre çok zordur. Mekanizasyon uygulanmadığı zaman bu kömür klasik ve yarı mekanize yöntemlerle üretilebilir; ancak bu durumda da ayağın ilerleme hızı çok düşük olacaktır. Killi, özellikle sudan etkilenen, bir yapı içerisinde duraylılığı sağlamanın en temel koşulu ilerlemeyi çok hızlı yapmak ve bir an önce sorunlu bölgeyi terk etmektir. Ayrıca bu

durum yangın riskleri için de böyledir. İlerleme yavaş olduğu sürece yangınla karşılaşılma riski çok yüksektir. Killi bölgelerde ayak içinin duraylılığı önemli olmakla birlikte taban yollarının duraylılığı çok daha fazla önem taşır. Taban yolları şişme özelliğine sahip kil içerisinde uzun süreler tutulamayacağı için çok miktarda tamir tarama yapılması gerekecektir. Bu da üretimin hem zor hem de çok maliyetli olması demektir.

Yukarıda açıklanmış olan nedenlerden dolayı, üretime mevcut durumda olduğu gibi tavan ayağıyla başlanmadan, bakir bir sahada öncelikle taban kilinin 1-2 m üzerinde bir ayak oluşturulması ile başlanmalıdır. Bu ayak ilerlerken ayak arkası göçmeden tamamen beton ile doldurulmalıdır. Bu dilimde ayak arkası göçmesine izin verilmeyeceği için mümkün oldukça hafif ve yüksekliği çalışma rahatlığı sağlayacak en düşük miktarda bir mekanize sistem seçilmelidir. Bu bakir sahada taban kömürü üretimi yapıldıktan ve ayak arkası tamamen beton ile doldurulduktan sonra, mevcut yöntemde olduğu gibi tavan ayağı oluşturmak ve tavanın muntazam bir şekilde kırılmasını sağlamak gerekmektedir. 13 Mayıs 2014 faciasında da görüldüğü üzere tavanın düzenli olarak oturtulması büyük önem arz etmektedir. Bu işlem için yapılacak olan ölçümler neticesinde belki de tavan taşı içerisine sırf tavan taşını kırmak için galerilerin açılması dahi gerekli olabilir. Bu konu bilimsel çalışmalar yapılarak değerlendirilmelidir. (Şekil 7)

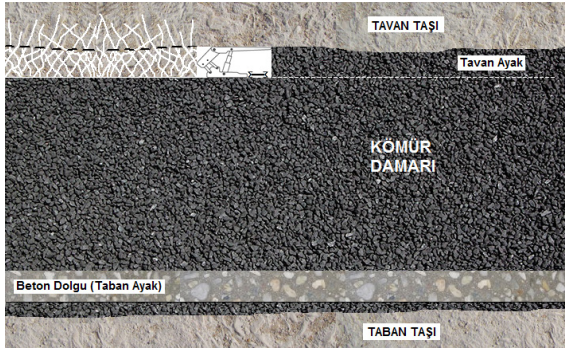


Şekil 7. Beton dolgulu taban ayak üretiminin şematik gösterimi (Ünver vd., 2015)

Tavan dilimi normal olarak üretilirken tavan taşı zayıflatılması için tavana deliklerin delinmesine ek olarak tabanda bulunan kömür içerisine de yoğun bir şekilde müdahale ederek hem metan drenajının sağlanması hem de altta oluşturulacak olan ayağın üretimi sırasından tavan kömürünün kolay akabilmesi için şartlandırma yapılması mutlaka gerekecektir. Bu yöntemin ayrıntı-



ları ve sağlayacağı faydalar literatürde verilmiştir (Yaşitli and Ünver, 2004; Yaşitli ve Ünver, 2005; Ünver ve Yaşitli, 2006). Kömür damarı kalın olması nedeniyle düşey kesiti boyunca hem kalorifik değer hem de dayanım açısından sabit özelliklere sahip değildir. Damarın göçme sorunu yaratacak kısımları önceden tespit edilerek tavan dilimi üretimi sırasında küçük çatlaklandırma patlatmaları ile zedelenmelidir. Bu sayede esas üretimin yapılacağı alt ayakta kömürün rahat bir şekilde akması temin edilmelidir. Metanın drene edilmesi ve damarın şartlandırması gerek görüldüğü takdirde bakir sahada ilk defa üretime başlanan beton dolgulu taban ayak tavanında da uygulanmalıdır. Bu sayede beton dolgu üzerinde oluşturulacak olan ana üretim ayağı için tavan kömürü hazır hale getirilmiş olacaktır. Tavan dilimi üretilirken ve üretilikten sonra ayak arkası mutlaka kül ile doldurulmalıdır (Şekil 8).



Şekil 8. Tavan ayak üretiminin şematik gösterimi (Ünver vd., 2015)

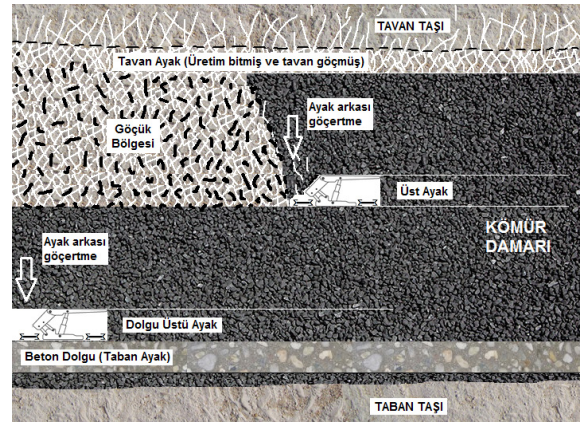
Tavan dilimi üretimi tamamlandıktan sonra tabandaki beton dolgu üzerine ana üretim ayağı yerleştirilmelidir (Şekil 9). Ana üretim ayağının taban yolları da beton dolgu üzerinde olmalıdır. Bu nedenle ana üretim ayağının uzunluğu taban yolları beton dolgudan yeteri kadar içeride olacak şekilde seçilmelidir. Ana üretim ayağında mutlaka çift konveyör bulunmalıdır. Bu ayaktan çok yüksek üretim yapılacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Esasen beton dolgulu taban ve tavan taşını kırmaya yönelik olarak oluşturulan tavan ayak bu ayakta yapılacak olan üretime bir çeşit hazırlık niteliğinde olacaktır.

Beton dolgu üzeri ana üretim ayağı tavan ve taban dilimi arasını bir defada almak üzere tasarlanabilir. Kömür damarının kalın olduğu kısımlarda gerekli görüldüğü takdirde halen sahada uygulandığı şekilde tavan dilimi altına bir dilim daha eklenerek önerilen yöntem uygulanabilir (Şekil 10). Bu sayede bir defada göçertilecek olan ta-

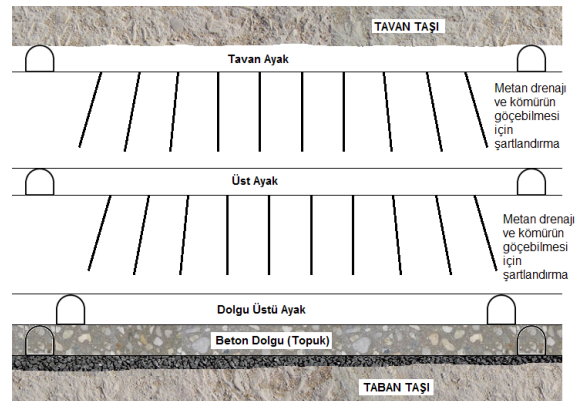
van kömürü kalınlığını azaltmak mümkün olabilir. Önerilen yöntem için pano enine alınmış olan kesit görüntü Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 9. Dolgu üzeri ana üretim ayağının şematik gösterimi (Ünver vd., 2015)



Şekil 10. Yüksek damar kalınlıklarında uygulanabilecek alternatif üretimin şematik gösterimi (Ünver vd., 2015)



Şekil 11. Önerilen üretim yönteminin kesit görünüşü (Ünver vd., 2015)

Değişik dilimlerdeki panoların geometrik konumları en uygun basınç dağılımının oluşması ve kömür kazanımının sağlanması dikkate alınarak belirlenmelidir. Burada verilen şekillerdeki pozisyonlar bu parametreler dikkate alınmadan, genel üretim fel-

sefesini açıklamak amacıyla oluşturulmuştur.

Beton dolgu üzerine oluşturulacak ana üretim ayağı ilerleme yönü ayrıntılı bir çalışma sonrasında belirlenmelidir. Bu ayak doğrultu boyunca ilerletilebileceği gibi meyil aşağı da çalıştırılabilir. Bu durumda arka kömürünün alınması daha etkin ve verimli olarak yapılabilir. Sonuç olarak bu tür ayrıntıların dikkatlice etüd edilmesi önerilmektedir.

## SONUÇLAR

Eynez sahasında tam mekanize üretim yönteminin uygulanma geçmişi fazla değildir. Manuel ve yarı mekanize yöntemlerde karşılaşılan sorunlar tam mekanize yöntemdekinden çok farklı olabilir. Sahada yüksek verimlilikte üretim yapmanın ön koşulu mekanize yöntemleri kullanmaktır. İleride daha fazla mekanizasyon kullanmayı hedeflerken bu uygulamanın kendine has birçok sorunu da beraberinde getireceğini düşünmek gerekmektedir. Bu nedenle, madencilik bilim ve teknolojisi tam olarak uygulanmadan bu işin başarılı olabilmesi mümkün değildir. 13 Mayıs 2014 faciasının temel nedenlerinden birisi budur; bir kaç yüz bin ton üretim yapmak için gerekli olan araştırma, projelendirme ve uygulama, yılda 3,5 milyon tonluk üretim yapılan bir ocaktakinden tamamen farklı olmak zorundadır.

Sonuç olarak burada Eynez sahasında uygulanabilme koşullarının tartışmaya açılabilmesi amacıyla yeni bir üretim yöntemi yaklaşımı sunulmaktadır. Önerilen üretim yöntemindeki tüm ayrıntılar belirlenmiş olmamasına rağmen yöntemin konu ile ilgili herkes tarafından önce tartışılması ve sonra gerekli bilimsel çalışmaların yapılması hedeflenmektedir. Yöntemin ayrıntılı olarak çalışılması ve gerekli ayrıntıda sayısal modellerinin yapılması neticesinde detaylarının belirlenmesi mümkün olacaktır. Bunu yapabilecek bilgi birikimi ülkemizde yeterince vardır. Hem Soma hem diğer madenlerimizle ilgili temel çözümlere büyük ölçüde ülkemizde yapılacak araştırmalar, bilgi birikimi ve tecrübe ile ulaşılabileceği bilinmeli ve bu yönde gerekli düzenlemelerin acilen yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Anon, 2014. Manisa'nın Soma ilçesinde başta 13 Mayıs 2014 tarihinde olmak üzere meydana gelen maden kazalarının araştırılarak bu sektörde alınması gereken iş sağlığı ve iş güvenliği tedbirlerinin belirlenmesi. TBMM Meclis Araştırması Komisyonu Raporu.

MTA, 2008, Manisa-Soma-Eynez İzmir-Kınık-Yaylaköy Sahası 05.04.2007 Tarihli Sözleşme Raporu. 41 s.

Nebert, K., 1978, Linyit içeren Soma Neojen bölgesi, Batı Anadolu. MTA Dergisi, 90, 20-72.

Tercan, A.E., Ünver, B., Hindistan, M.A., Ertunç, G., Atalay, F. ve Ünal, S., 2011. Soma-Eynez sahası linyit rezervinin kestirimi ve yer altı işletme projesi. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 235 s.

Tercan, A.E., Ünver, B., Hindistan, M.A., Ertunç, G., Atalay, F., Ünal, S. ve Killoğlu, Y., 2013. Seam modeling and resource estimation in the coalfields of western Anatolia. International Journal of Coal Geology, 112 (7), 94-106.

Ünver, B., Çetiner, R., Namlıtürk, C. ve Yalman, O.İ., 1991. E.L.İ. Eynez yeraltı ocağında mekanizasyon uygulaması. 12. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 99-116, Ankara.

Ünver, B. ve Demirbilek, S., 1994. Kömür karışımı pasaların kendiliğinden yanma riski potansiyelinin analizi. Türkiye 9. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 309-318, Zonguldak.

Ünver, B., 1995a. Kalın damar kömür madenciliğinde tabaka kontrolü ve göçme mekanizmasına pratik bir yaklaşım. Türkiye 14. Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 15-22, Ankara.

Ünver, B., 1995b. Eynez yeraltı ocağının yapısal jeoloji ve jeoteknik açıdan incelenmesi. TUKMD Bülteni, Haziran, 27-40.

Ünver, B., 1996. Possibility of efficient application of semi-mechanization in longwall mining in thick seams. Journal of Mines Metals and Fuels, 223-230, India.

Ünver, B., 1997. Arakatlı göçertme uygulanan kalın kömür damarlarında işletme veriminin artırılması. Türkiye 15. Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 179-183, Ankara.

Ünver, B. and Yasitli, N.E., 2006. Modelling of strata movement with a special reference to caving mechanism in thick seam coal mining. International Journal of Coal Geology, 66, 227-252.

Ünver, B., Hindistan, M.A., Tercan, A.E., Ertunç, G., Ünal, M.S., Killoğlu, S.Y., Atalay, F., 2015. Soma Eynez Kömür Sahası İçin Farklı Bir Üretim Yöntemi Önerisi. Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (IMCET 2015), 14-17 Nisan 2015, Bildiriler Kitabı, 363-371, Antalya.

Yaşıtlı, N.E. and Ünver, B., 2004. Numerical modelling of top coal caving in thick seam coal mining. EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. Schubert (ed.).

Yaşıtlı, N.E. and Ünver, B., 2005. 3D numerical modeling of longwall with top coal caving. Int. J. of Roch Mech. and Min. Sci., 42(2), 219-235.



Orijinal Araştırma / Original Research

## CYCLE TIME SEGMENTS AND CYCLE TIME DISTRIBUTION CURVES OF MINING SIZE WHEEL LOADERS – A CASE STUDY

*MADEN YÜKLEYİCİLERİNDE İŞ DÖNGÜSÜ EVRELERİ VE İŞ DÖNGÜSÜ DAĞILIM EĞRİLERİ - OLAY ÇALIŞMASI*

Metin Özdoğan<sup>a</sup> · \*, Hakkı Özdoğan<sup>a</sup>

<sup>a</sup> İdeal Makine Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara, TURKEY

**Geliş Tarihi / Received** : 18 Ocak / January 2017

**Kabul Tarihi / Accepted** : 21 Şubat / February 2017

### ABSTRACT

#### Keywords:

Electrical wheel loader, cycle time segments, cycle time distribution curves, normal distribution curve, skewed distribution curve.

Mining wheel loaders loading haul trucks, in contrary to earthmoving equipment which have 360 degrees slewing capability of upperframe, have an entirely different cycle time phases: Travel to dig (TTDG), Dig (DG), Travel to dump (TTDMP), and Dump (DMP). Therefore, the cycle time (CT) of a mining loader is comparatively higher than that of an equivalent sized excavator with a rotating upper frame. However, whenever mobility and versatility of the loading tool is essential such as selective mining applications the wheel loaders are favoured. Investigating cycle time segments may give qualitative and quantitative hints for improving the cycle times of the loader applications upon changing the operators and the truck spotting layouts. Therefore, studying cycle time statistics and cycle time frequency distribution curves are important. In the article, two cases are explored one being from Brasil, the other one is from Turkey. Sample CT segments and CT distribution curves are investigated and discussed

### ÖZ

#### Anahtar Sözcükler:

Elektrikli yükleyici, iş döngüsü evreleri, iş döngüsü dağılım eğrisi, normal dağılım eğrisi, çarpık dağılım eğrisi

Kazdıklarını kamyonla yüklemekte olan tekerlekli maden yükleyicilerinin döngü süresi evreleri kule dönüşlü makinalardan bütünüyle farklıdır. Bu evreler kazıya gidiş, kazı, boşaltmaya gidiş ve boşaltma evrelerinden oluşur. Bu nedenle maden yükleyicisinin iş döngüsü eşdeğer kule dönüşlü yerkazardan daha uzundur. Ancak seçmeli kazı gerektiren madenlerde olduğu gibi çok gezginlik ve esneklik gereken uygulamalarda yükleyiciler yeğlenir. İş döngüsü evrelerinin incelenmesi iş döngüsünü geliştirme yönünde nesnel ve nicel ipuçları verebilir. Özellikle operatör değişikliklerinde ve kamyon yanaştırma düzeni değiştirildiğinde, bu evreler incelenmelidir. Bu yüzden iş döngüsü istatistiklerini ve iş döngüsü dağılım eğrilerini incelemek olağanüstü önemlidir. Bu makalede biri Brezilya'dan biri de Türkiye'den olmak üzere iki olay çalışılmıştır. Örnek iş döngüsü evreleri ve iş döngüsü dağılım eğrileri araştırılmış ve tartışılmıştır.

\* Corresponding author: metinozdogan@gmail.com



## INTRODUCTION

Traditionally wheel loaders are used in auxiliary works in mining such as spoil heap loading of ore and coal and as backup equipment. The growing size of the off-highway trucks necessitated the development of larger mining size wheel loaders in recent years. The large wheel loaders are used in overburden and/or ore digging and loading operations wherever the conditions are favourable and benches are blasted. The wheel loaders are capable of load haul and dump of the material to the bunkers if the hauling and dumping distances are favourable and to haul trucks.

The wheel loader application necessitates more bench space for manoeuvring (wider benches); needs a level and stable floor in order to protect tyres which is a big investment item. Floor must be flat and dry due to the fact that traction force of the tyres is a key factor in wheel loader operation. Wheel loader application needs stronger floors ie higher ground pressure of 0,41 MPa to 0,552 MPa (4,22 kg/cm<sup>2</sup> to 5,62 kg/cm<sup>2</sup> (Grant, 2016).

Electric Wheel Mining Loaders: Today both mechanical wheel loaders (MWL) and electric wheel loaders (EWL) are available for mining size applications. Electric wheel loaders are mainly favoured instead of equivalent mechanical drive loaders because of the fuel economy which is 45 to 60 % less than the mechanical one depending on the application (Norris, 2013). Lubricant consumption amount is smaller since it has not got any gearboxes and conventional transmissions. Furthermore, less number of components means less parts consumption. Because of its simple structure, repair and maintenance expenditures are less. Eventhough the first capital investment is a little bit higher with respect to equivalent mechanical drive ones, this difference is compensated in a short while with the lower cost of operation (Ozdogan and Ozdogan, 2015a).

The electric wheel drive system consists of a brushless switched reluctance motor combined with high-power semiconductor switches and digital controls. The SR motor includes a rotor with no magnets or windings and a stator whose poles contain a winding, similar to a field of a DC motor. The SR system employs the principle of magnetic attraction to move the motor's rotor from pole to pole creating rotation (Fleet, 2012). SR motor achieves rotation by the sequential energizing of stator poles. When the stator pole winding is energized, the nearest rotor pole

is attracted into alignment with that stator pole. The rotor will follow this sequence, attempting to align rotor poles with energized stator poles. However, as the rotor and stator poles align, the stator poles switch off and the next group of stator poles switch on, continuing the rotation of the rotor (Fleet, 2012). The switched reluctance motor generates continuous movement by consecutively switching the currents on and off, thus ensuring the poles on the rotor are continually chasing the stator current. The movement achieved is a function of the current flowing through the winding and the characteristics of the iron in the rotor (Fleet, 2012).

A typical electric wheel loader loading cycle is ideal for capitalizing on capturing regenerated power with multiple braking. Utilising switched reluctance system allows power generation to be fully regenerative, resulting in a very efficient wheel loader operation. During braking or retarding electrical motors become generators and feed power back into the generator which is connected to the diesel engine. Ultimately, this causes the generator to operate as a motor and turns the diesel engine (Ozdogan and Ozdogan, 2015b).

One of the reasons why electrical Wheel loader is preferred by the mine sites is the fuel saving achieved by the equipment. It regenerates power in breaking or retarding during the phases of cycle time; as motors behave as generators and pump the power back to the generator; generator acts as motor and drive the prime mover diesel engine. That is how the major fuel saving is achieved.

Technical Specifications of the Electric Wheel Loaders Examined are given in Table 1, See Photograph 1.

Table 1. Some technical specifications of L-1350 Electric Wheel Loader (Anon a, 2016)

Specification	Standard Lift Model	High Lift Model
Country	Brasil	Turkey
Engine, kW	1193	1193
Breakout Force, kN	961	987
Operating Weight, t	184	186
Static Tipping Load, t	102	95
Bucket Capacity, m <sup>3</sup>	23	21
Payload, t	-	31
Payload Limit, t	-	34
Overload Limit, t	-	37.4
Critical Overload Limit, t	-	40.8

Photograph 1. L-1350 is loading to Hitachi EH400AC-3 truck at the gold mine



Technical Specifications of the off-highway trucks loaded by the 21 m<sup>3</sup> electric wheel loaders are as follows:

Table 2. Some technical specifications of the trucks being loaded by L-1350s

Specification	Cat 785C	EH400 AC-3	Cat 793
Country	Turkey	Turkey	Brasil
Engine (kW)	1082	1864	1693
Nominal Payload (t)	136	212	227
Loading Height (m)	4.97	6.13	13.14
Operating Weight (t)	250	384	386
Operating Width (m)	6.64	7.29	13.41

Loader and Truck Spotting layouts: Wheel loader operators should also be trained on truck spotting techniques to have shorter cycle times. Truck spotting is the responsibility of the loader operator, (Anon.a). The hands on training courses cover the truck spotting layouts and techniques which are illustrated below. It is one of the important factors impacting the cycle time improvement.

As depicted in Figure 1, V-type truck spotting and loading is to be favoured. Operator to make a tight V-pattern between the material, wheel loader pivot point and the truck (Anon. a, 2016).

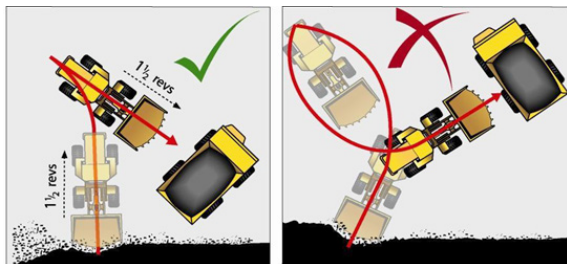


Figure 1. Wheel loader and truck spotting layouts (Anon. b, 2016)

Sometimes there are situations where it is difficult for the loader to work left to right. In these cases it is best to perform parallel digs, which run right to left, See Figure 2. The dig face is narrow. In a parallel dig, there is usually no pocket, so position the trucks at 15 to 20 degrees from perpendicular. That sets up the V-pattern for the loader (Anon. b, 2016).

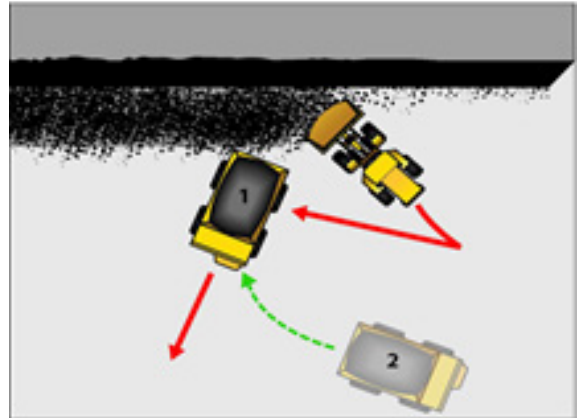


Figure 2. Wheel loader's paralel dig layout (Anon. b, 2016)

Cycle Time Segments of Earthmoving Equipment: Hydraulic shovels, electric rope shovels and walking draglines have rotating upper frames; swing roller assembly swings on swing roller path and the upper frame is slewed by swing pinion thru a swing ring gear. Therefore, the cycle time segments of these equipment having slewing roller assembly between lower and upper frames are basically digging, swinging to load or dump, dumping and swinging back to digging. However, this is not the case with wheel loaders; in order to complete the cycle the equipment has to travel back and forth. In contrary to revolving frame shovels, wheel loaders have different cycle time segments: Travel to dig (TTDG), Dig (DG), Travel to dump (TTDMP), and Dump (DMP). Özdoğan and Özdoğan (2015b) studied the cycle time phases of electric wheel loaders.

Cycle time distribution curves and cycle time segments statistics give clues about the performance of the equipment and the operator and the success of the present truck and loader layout at the bench. Thus give hints to improve the cycle times; naturally, improving cycle times imply shortening the cycle times.

## 1. ELECTRICAL WHEEL LOADER CASES MONITORED

The electric wheel loaders in question have on-board PreVailSystem® monitors. The wheel loaders have mainly two types of applications: The major application is to dig and dump to a hauler. Minor application is dig, haul and dump to a bunker, to as spoil heap or to a in pit dump area. In the monitored cases, the loaders were loading to off-highway mining trucks. If the loader is dumping to a truck tray, the dump segment includes raising of full bucket beyond the level of truck body. Therefore, it is expected that dumping time is higher than that of a dig-haul and dump to an in-pit spoil area application.

### 1.1. An Iron Ore Mining Application of Mining Loader

The first electric wheel loader investigated is a high-lift electric wheel loader (L-1350) having a 21m<sup>3</sup> bucket operating at an iron ore digging in Brasil and loading into 200 tonnes range off-highway trucks in 8 passes. The average payload of the bucket is 29 tonnes and the average cycle time is 44,74 seconds for the case explored. Average truck filling time is 7,25 minutes (Klink, 2015).

Cycle time of a wheel loader comprises of Travel To Dig (TTDG), Dig (DG), Travel To Dump (TTDMP), and Dump (DMP) phases. Duration of segment times depends on the truck loader layout at the face, skill and experience of the operator and design features of the equipment, pit geometry and blasting. See Table 3, 4 and Figure 3 and 4. Please note that in the cases explored the wheel loaders were loading haul trucks; therefore travel to dump phase should be understood as travel to truck to unload the bucket.

Figure 3 depicts the percentages of the segments of the cycle time as a result of a week's observation, see Table 1, too. Cycle time consists of 21,9 % Travel to dig segment, 9,7 % Dig segment, 49,7 % Travel to dump segment and 18,7 % Dump segment. Travel to dump segment takes the highest time among the segments as expected because in this segment the equipment travels towards the haul truck with full bucket. The second highest time is consumed in Travel to dig segment, which should not take such a high percentage; I think it due to the layout of truck and loader with respect to the bank. The third highest time consuming segment is

Dump with 18.7 % which is expected to be a time consuming segment because the full bucket is lifted up to a higher level than the truck body for dumping. It is a difficult segment due to the fact that the loader is overcoming the gravity of the earth. The digging time is the shortest with 9,7 % indicating that muckpile is good fragmented.

Cycle Time (CT) Segments of the Case From Brasil L-1350 (21 cu.m) for a Week in 2015, Iron Ore Mine

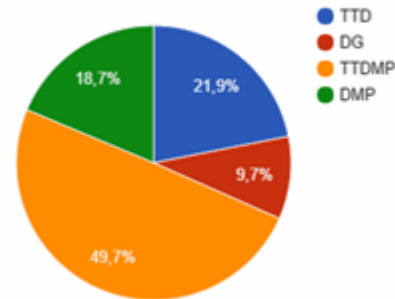


Figure 3. CT segment percentages of the mining loader in the iron mine

Table 3. A week's CT statistics of Feb 24–March 2015 L-1350 (an iron mine in Brasil)

Shifts (8h)	TTDG (s)	DG (s)	TTDMP (s)	DMP (s)	CT (s)
Shift 1	9.76	4.34	22.14	8.33	44.53
Shift 2	9.19	5.00	22.71	9.50	46.42
Shift 3	7.62	4.83	22.88	7.87	43.28
Mean	8.86	4.72	22.58	8.57	44.74

Monitoring cycle time segments is important; analysis of time of each segment gives hints on the layout of the loader and haul truck, skill and experience of operator, fragmentation of the muckpile etc. By analyzing the cycle time phases one may have clues on how to shorten the cycle time.

### 1.2. A Gold Mining Application of Mining Loader

The second electric Wheel loader studied have a 21m<sup>3</sup> bucket and a highlift one (L-1350) operating at gold mine in Turkey. The loader operates in digging rock and ore and load 150 tonnes rock trucks in five passes whereas loading 220 tonnes trucks in 7 passes. Average bucket payload is about 30 tonnes; average cycle time was in the range of 45 seconds (Anon a, 2016). The rock material is of volcanic origin with a loose

density of 1,30 tonnes/ m3 and it is very abrasive. It is a hardrock operation and the banks are blasted. The deposit is a porphyry gold deposit formed beneath coeval Miocene volcanic complex in western Anatolia. It is a low-grade, bulk-tonnage open pit mining operation; gold recovery is by heap leaching. Haul road distance to dump area varies from 1,5 km to 3 km; grade varies from 3% to 7% depending on the depth of operation in the pit.

CT Segments of the Turkish Case L-1350 for a Week in 2016. TTD (Travel To Dig), DG (Dig), TTDMP (Travel To Dump), DMP (Dump)

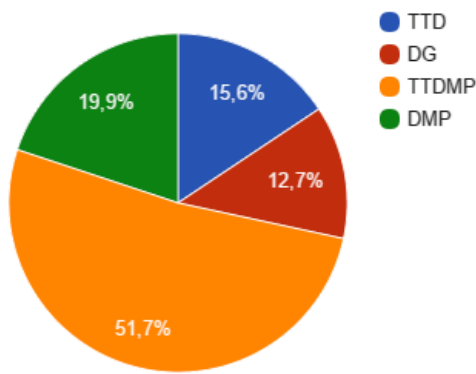


Figure 4. CT segment percentages of the mining loader in the gold mine

Segment time percentage sequence of the application in Turkey is TTDG-15.6 %, DG-12,7%, TTDMP-51,7 % and DMP-19.9 %, See Table 4 and Figure 4. As expected the most difficult (time consuming) segments are the ones performed with the bucket having payload in it in other words travel to dump and dump to haultruck tray segments, assuming operators are skilled and experienced and layout of loader, haultrucks, and position of the loader with respect to the bank are allright.

Table 4. A week's CT statistics of year 2016 (L-1350) of a gold mine in Turkey

Days (24h)	TTDG (s)	DG (s)	TTDMP (s)	DMP (s)	CT (s)
Day 1	7.33	5.80	24.80	8.19	46.19
Day 2	7.19	6.21	20.95	9.30	43.65
Day 3	7.25	5.55	23.12	8.78	44.72
Day 4	7.32	5.80	24.80	8.19	46.19
Day 5	6.18	5.26	21.94	9.16	42.61
Day 6	6.32	5.24	21.78	9.29	42.78
Mean	6.93±0.49	5.64±0.34	22.90±1.49	8.82±0.48	44.36±1.47

2. CYCLE TIME DISTRIBUTION CURVES

Cycle time distribution curves and cycle time segments statistics give clues about the performance of the equipment and the operator and the success of the present truck and loader layout at the bench. Thus give hints to improve the cycle times; naturally, improving cycle times imply shortening the cycle times.

2.1. Samples of Normal (Bell-Shaped) Distribution Curves

Travel to Dig (TTDG), Travel to Dump (TTDMP) segments of the cycle time (CT) is associated with speed and maneuvering specifications of the equipment, bench geometry and the layout of truck w.r.to loader. Dump (DMP) segment time is associated with the design features of the bucket and size of the truck (dumping height). However, Dig segment is mainly associated with the fragmentation performance of blasting rounds.

The sample illustrated in Figure 5 is a two shift a day operation, See Table 5. The daily cycle time distribution curve indicates that the operators of the both shifts managed to have an average of about the same cycle times. Vertical axis depicts Frequency of cycle times in counts, whereas horizontal axis depicts frequency range of total cycles, See Figure 5.

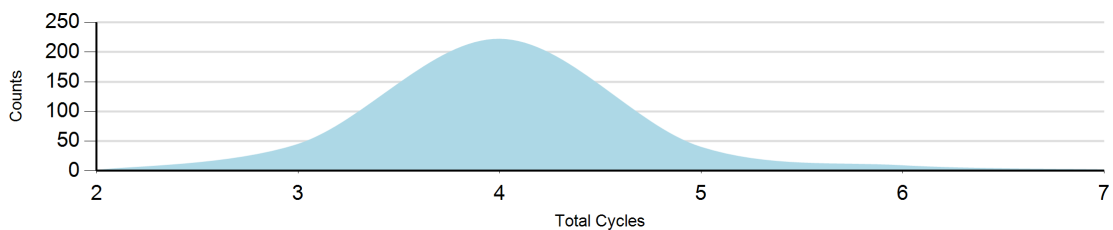


Figure 5. Daily Cycle time frequency distribution curve of Oct 15-16, 2016 (PreVail System®)



Table 5. Cycle time segments statistics of Oct. 15-16, 2016

Shifts (12h)	TTDG (s)	DG (s)	TTDMP (s)	DMP (s)	CT (s)
(07AM-07PM)	7.03	5.14	21.84	8.75	42.83
(07PM-07AM)	5.32	5.37	22.04	9.56	42.38
Mean	6.18	5.26	21.94	9.16	42.61

Table 5 and Figure 5 depict a good example of successful operators' cycle distribution. The following sample, Figure 6 and Table 6, is also a good distribution curve indicating a steady and smooth operation in both shifts.

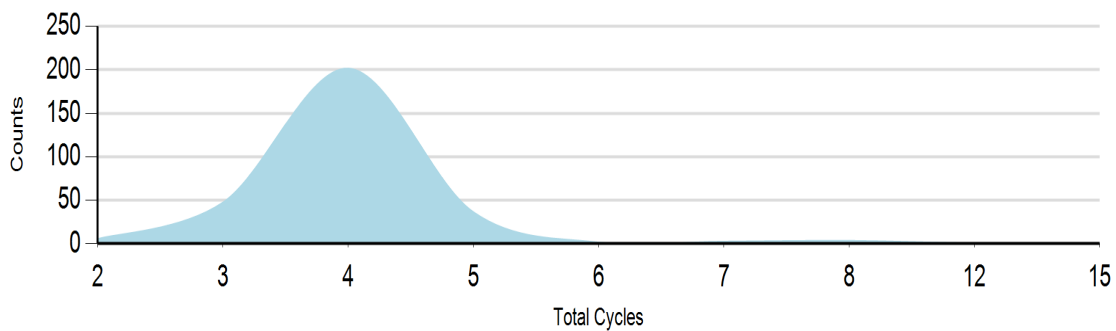


Figure 6. Daily Cycle time frequency distribution curve of Oct. 16-17, 2016 (PreVail System®)

Sample no. 2, depicts that then both operators of the two shifts are good performers, even better than the first sample; deviation from the mean cycle time value is narrower. The smaller the deviation from the mean value is, the better the performance and productivity of the equipment and the team are.

Table 6. Cycle time statistics of Oct. 16-17, 2016

Shifts (12h)	TTDG (s)	DG (s)	TTDMP (s)	DMP (s)	CT (s)
(07AM-07PM)	7.11	5.13	21.45	9.05	42.92
(07PM-07AM)	5.53	5.34	22.10	9.53	42.64
Mean	6.32	5.24	21.78	9.29	42.78

## 2.2. Samples of Skewed Cycle Time Distribution Curves

As mentioned earlier, qualitative analysis of cycle distribution curves may indicate how good the performance of operator in different shifts. Some of the cycle time distribution curves are skewed ones, Figure 7, Figure 8, and Figure 9. Skewed CT distribution curves imply that the operator of each shift has had two different average of cycle times. Eventhough, it is not a good performance for the operators, it is not uncommon especially in two shift a day applications.

In the sample curve above, Figure 7, there exist two peaks; which implies one of the operators

of the shifts achieved shorter average of cycle times than the other one, See Table 7. Figure 7., is a sample for a distribution curve skewed to left.

Table 7. Cycle time segments' statistics of Sept. 01-02, 2016

Shifts (12h)	TTDG (s)	DG (s)	TTDMP (s)	DMP (s)	CT (s)
(07AM-07PM)	8.12	5.48	21.10	8.72	43.46
(07PM-07AM)	6.38	5.61	25.14	8.84	45.98
Mean	7.25	5.55	22.12	8.78	44.72

Figure 8, is a sample of cycle time distribution curve of skewed to right. The curve has two peaks again implying two different distinctive cycle time averages for the two shifts worked. The

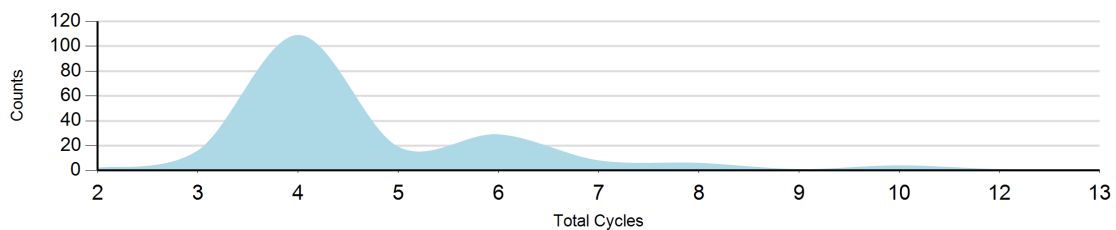


Figure 7. Daily cycle time frequency distribution curve of Sept 01-02, 2016 (PreVail System®)



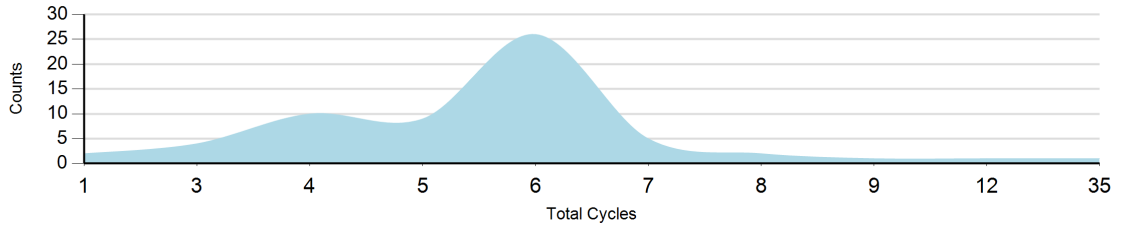


Figure 8. Daily cycle times' distribution of L-1350 EWL on March 2-3, 2016 (PreVail System®)

operator working in shift 07AM-07PM achieved a mean cycle time of 42,39 seconds; whereas the other operator working in shift 07PM-07AM had an average of 48,43 seconds, See Table 6.

This type of distribution curve is seen in the operations held in two shifts; distribution curve skewed to right. It has two mediums; two operators have different medians, Figure 8.

Table 8. Cycle time segments statistics of March 2-3, 2016

Shifts (12h)	TTDG (s)	DG (s)	TTDMP (s)	DMP (s)	CT (s)
(07AM-07PM)	12.48	4.14	17.78	7.97	42.39
(07PM-07AM)	8.48	5.21	25.82	8.89	48.43
Mean	10.48	4.68	21.80	8.43	45.41

TTDMP time reflects how good the truck spotting is with respect to the EWL. In shift 07AM-07PM truck spotting seems to be better because travel to dump time is comparatively shorter.

### 3. CYCLE TIME AND PRODUCTIVITY PARAMETERS OF LOADING EQUIPMENT (DISCUSSION)

Singh & Narendrula, (2006) cited the factors affecting the productivity of loading equipment in a comprehensive manner. The productivity of the loading equipment is influenced by primary and secondary parameters.

The primary parameters are Cycle time (CT), Bucket Fill Factor (BFF), Tonnes per Hour (TpH), Power (Fuel) Consumption, Utilization (U) %, Equipment Wear. The secondary parameters are Loading Equipment Design Features, Loading Geometry and Practice, Muckpile Characteristics, Operating Conditions.

Normal distribution curve, Figure 9a, indicates that the performance of the operators in both shifts are about the same achieving more or less the same mean cycle time values

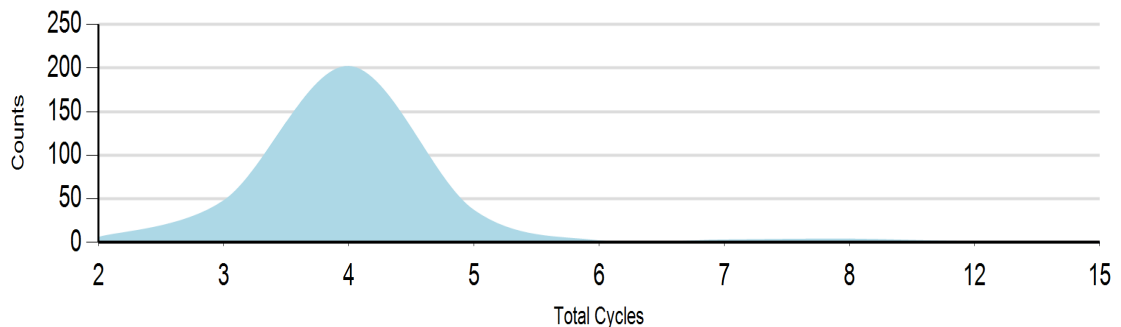


Figure 9 a. Normal cycle time frequency distribution curve (PreVail System®)

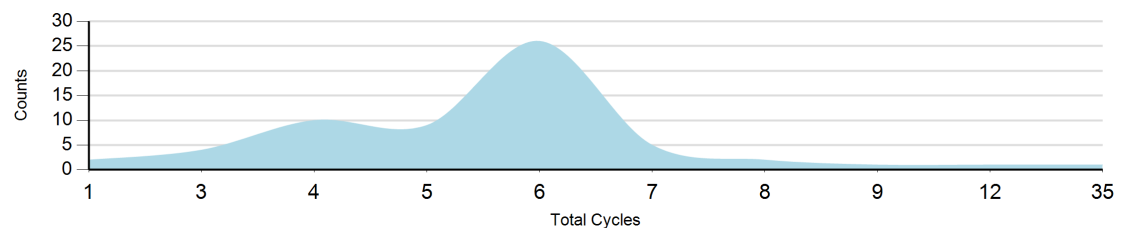


Figure 9b. Cycle time distribution curve skewed to right (PreVail System®)

Distribution skewed to right, which is seen (common) in two shift a day operations. One can see qualitatively that one of the shifts had longer cycle times than the other, Figure 9b.

Loading Equipment Design Feature factors comprises of Bucket size and shape, Breakout force, Digging Trajectory, Machine size, Capacity and power. Loading Geometry and Practice factors comprises of Loader and Muckpile Orientation (positioning), Machine Dimensions and Loading Area, Maneuvering space, Strategy for Muckpile attack, Strategies for oversize material handling. Muckpile Characteristic factors are Rock fragmentation, Muckpile Geometry, Looseness, Flow Characteristics, Angle of Repose. Operating Conditions factors are Training and experience of operator, Floor Conditions, Moisture content, Loading frequency.

Distribution skewed to left, which is seen (common) in two shift a day operations. One can see qualitatively that one of the shifts had longer cycle times than the other, Figure 9c.

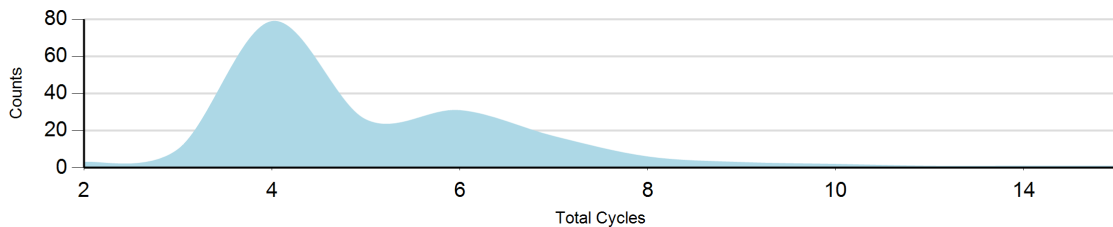


Figure 9c. Cycle time frequency distribution skewed to left (PreVail System®)

## CONCLUSIONS

For the cases studied total cycle time segments percentages are as follows in sequence of the Brazilian and the Turkish cases: TTDG : 21,9 % and 15,6 %; DG : 9,7 % and 12,7 %; TTDMP : 49,7 % and 51,7 %; and DMP : 18,7 % and 19,9 %. Eventhough, the operational conditions are entirely different except the brand and capacity of the two loaders and the capacity of the haul trucks, it is interesting to note that the hardest segments of the cycles are travel to dump and dump phases which are the segments performed with full buckets. The Brazilian case have travel to dig phase time higher than the travel to dumptime, it might be due to the loader truck layout.

Cycle time distribution curves of loaders are handy in quick evaluation of the performance

of the loader and hauler operators qualitatively. Smooth bell-shaped distribution curves indicate a steady operation with steady cycle times. The curves with two peaks indicate that cycle time averages achieved by the two operators are not alike.

Travel to dig, travel to dump to truck segments of the cycle time is associated with speed and maneuvering specifications of the equipment, bench geometry and the layout of truck with respect to loader. Dump to truck tray segment time is associated with the design features of the bucket and size of the truck (dumping height). Dumping period may be effected by unconformity of the height of the truck body and lifting height of the mining loader. However, Dig segment is mainly associated with the fragmentation performance of blasting rounds.

In loaders, the crowd force is generated by the traction of the tyres and hoist force is represented by the curling motion of the bucket. For this reason, a sound and dry and a flat bench floor is a requisite for loader application in mines. The loaders and trucks did not encounter with any

water problem. Breakout force of wheel loader is created by lift and tilt cyclinders wheras crowding force is dependent on traction force.

Exploring the cycle time segments of mining loaders are important because they may have hints for the field engineer to improve the cycle time; thus, in turn improving the productivity of the loader.

The major factors in improving the productivity of a mining loader is to have optimum bucket fill factors and shorter dig times which are mainly governed by the mean muckpile particle size and its' distribution. Therefore, there is need for a good cooperation between the pit engineer and the blasting engineer for a sound and productive operation.

The effect of bucket dumping height on cycle time of the wheel loaders, and the effect of loa-

der and haul truck size match on cycle time and its segments are the topics recommended for future studies.

## REFERENCES

- Anon. a, 2015. PreVail System Daily Reports, U.K.
- Anon. b, 2016. North Pacific Training and performance, Inc. Canada's "Loader Training Manual Sample", LoaderManual-Sample-English.pdf, Canada
- Fleet, M., 2012. Personal communication on "Hybrid Drive Electric Mining Loaders", Longview, Texas, USA
- Grant, M., 2016. "Hydraulic Shovel vs Wheel Loader" Quarry Academy. <https://www.911metallurgist.com/blog/wp-content/uploads/2016/01/Hydraulic-Shovel-vs-Wheel-Loader.pdf>
- Klink, D., 2015. Personal Communication "P&H Surface mining equipment", Milwaukee, WI, USA
- Norris, J., 2013. Personal Communication, P&H LeTourneau Factory., Texas, U.S.A.
- Ozdogan, M. ve Ozdogan, H, 2015 a. "Diesel-electric mining loaders-A case study", DOI : 10.13140/RG.2.1.4714.4728 [https://www.researchgate.net/publication/276206831\\_Diesel-Electric\\_Mining\\_Loaders\\_-\\_A\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/276206831_Diesel-Electric_Mining_Loaders_-_A_Case_Study)
- Ozdogan, M.ve Ozdogan, H, 2015 b. "Analytics of cycle time and target load of electric mining loaders-A case study", DOI : 10.13140/RG.2.1.4924.4644 [https://www.researchgate.net/profile/Metin\\_Ozdogan/publications](https://www.researchgate.net/profile/Metin_Ozdogan/publications)
- Singh, S.P. and Narendrula, R., 2006. "Productivity indicators for loading equipment" maintenance and Engineering, May 2006, pp. 1-7, Canada. [https://www.researchgate.net/publication/268802680\\_Productivity\\_indicators\\_for\\_loading\\_equipment](https://www.researchgate.net/publication/268802680_Productivity_indicators_for_loading_equipment)





Derleme / Review

## KÖMÜR MADENCİLİĞİ KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ: PARTİKÜL MADDE ve METAN EMİSYONLARI ÜZERİNE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

*AIR POLLUTION DUE TO COAL MINING: LITERATURE REVIEW ABOUT PARTICULATE MATTER AND METHANE EMISSIONS*

Kazım Onur Demirarslan<sup>a,\*</sup>, Ali Kaya<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ARTVİN

**Geliş Tarihi / Received** : 09 Ekim / October 2016

**Kabul Tarihi / Accepted** : 22 Ocak / January 2017

### Anahtar Sözcükler:

Hava kirliliği,  
kömür madeni,  
metan gazı,  
partikül madde

### Keywords:

Air pollution,  
coal mine,  
methane gas,  
particulate matter

### ÖZ

Yenilenebilir enerji teknolojileri gelişmesine rağmen, halen fosil yakıtlara olan bağımlılığımız devam etmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde, verimliliği ile fiyatı en uygun yakıt kömürdür. Endüstri devrimiyle beraber kömür kullanan buhar makinelerinin yaygınlaşması kömür ihtiyacını da arttırmıştır. Kömüre olan ihtiyaç kömür üretimini fazlalaştırmış, kömür madenciliği nedeniyle oluşan çevresel sorunlar çoğalmıştır. Bu sorunlar arasında başı hava kirliliği çekmektedir. Özellikle açık ve yeraltı madenciliğinde meydana gelen Partikül Madde (PM) ve Metan (CH<sub>4</sub>) gazı emisyonları önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu çalışmada, dünya üzerindeki kömür madenlerindeki PM ve Metan gazı emisyonlarının durumu ve alınması gereken önlemler literatür araştırması yapılarak açıklanmış, yapılması planlanan diğer çalışmalara kaynak olması hedeflenmiştir.

### ABSTRACT

In spite of development of renewable energy technologies, our dependence on fossil fuels still has been continuing. Coal is the most suitable fuel in terms of price and efficiency in fossil fuels. With the industrial revolution, coal using steam engines increased and as a result of this, coal demand increased. The need for coal makes coal production increased and so, environmental problems increase because of coal mining. One of these problems is air pollution. Especially Particulate Matter (PM) and Methane (CH<sub>4</sub>) emissions which occurred in open and underground mining represent major place. In this research, PM and methane emissions situation and precautions in coal mines around the world are explained by making literature review. Also, this research is intended to be resource to other planned studies.

\* İlgili Yazar: onurdemirarslan@artvin.edu.tr

## GİRİŞ

Yaşayan tüm bitkiler fotosentez olarak bilinen bir süreç ile güneş enerjisini bünyelerinde depolamaktadırlar. Bitki öldüğü zaman depolanan bu enerji gezegene çürüme yoluyla tekrar geri verilmektedir. Diğer yandan farklı bir kazanım olarak uygun formasyonlar altında bu çürüme azalmakta ve bitkinin canlıyken depoladığı enerjinin büyük bir kısmı kömür olarak depolanabilmiş ve halen bu depolanmış enerji insanoğlu tarafından kullanılmaktadır (URL-1). Kömürün ana bileşeni karbon olup, ayrıca içerisinde hidrojen, oksijen, kükürt gibi farklı miktarlarda bileşenleri de barındırmaktadır (URL-2). Fosil yakıtlar içerisinde en çok bulunan ve tüketilen kömürün kullanım tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Ancak endüstri devrimi ile birlikte kullanım miktarı ile kullanım alanı daha çok artarak önemli bir noktaya gelmiştir (URL-3). Günümüzde ise gelişen teknoloji, sanayi ve kentleşme ile yaşam standartlarının artması enerji ihtiyacını yüksek seviyelere çıkarmıştır. Özellikle endüstriyel prosesler sırasında mevcut enerji kaynaklarının tek başlarına yeterli olmaması, özelinde elektrik enerjisine çevrilmesinin gerekliliği, enerji çevrimi sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlere uğrayan hammaddelere duyulan gereksinim hâlâ fosil kökenli yakıt kullanımı ile karşılanmaktadır (Çukuroğlu ve Besim, 2015).

Bunun sonucu olarak dünya birincil enerji arzı 1973 ve 2011 yılları arasındaki 38 yılda iki kat fazla artarak 2011 yılı itibarıyla 13.113 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) düzeyine ulaşmıştır. 2011 yılındaki artış oranı bir önceki yıla göre %3,1 düzeyindedir. 1973-2011 yılları arasındaki dönemde; petrolün payı %46,0'dan %31,5'e düşerken, doğal gazın payı %16'dan %21,3'e, nükleer enerjinin payı %0,9'dan %5,1'e ve hidrolik dahil yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9'dan %3,3'e yükselmiştir. Aynı dönemde kömürün payı 4,2 puan artışla %24,6'dan %28,8 düzeyine ulaşmıştır. 2011 yılında dünyadaki toplam kömür arzı ise bir önceki yıla göre %8,8 düzeyindeki yüksek bir artışla 3.777 mtep olarak gerçekleşmiştir (Kömür Sektör Raporu, 2014). 2015 yılına bakıldığında petrol küresel enerji tüketiminin % 32,9'u ile dünyanın en önemli yakıtı olurken, kömür ise Pazar payı itibarı ile % 29,2 ile en büyük ikinci yakıt olmuştur. Üçüncü sırada ise % 23,8 ile doğalgaz gelmektedir (URL-4).

Dünyadaki kömür üretimi ise 1972' de 3 Gigaton (Gt), 1983'de 4 Gt, 2003' de 5 Gt, 2006'da 6 Gt,

2010 yılında 7 Gt ve 2013 yılında ise 8 Gt olarak kaydedilmiştir. Dünya üzerindeki önemli kömür üreticisi ülkeler ve yıllara göre ürettiği kömür miktarları incelenirse Çizelge 1'deki değerler elde edilir (URL-5).

Birçok maden işletmesinde olduğu gibi kömür madenciliği de çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bu etkiler arasında su kirliliği, yeşil dokunun zedelenmesi, toprak kirliliği, görüntü kirliliği, asit maden drenajları, maden aktiviteleri sırasında meydana gelen emisyonlar, tarım alanlarının azalması gibi etkenler sıralanabilmektedir. Bunun yanında da birçok orman alanı, maden aktiviteleri sonucunda yok edilmekte özellikle toprak profilinin bozulması, açık madencilikte yapılan yüzey toprağının sıyrılması doğal toprak karakteristiğini kötü yönde etkilemektedir (Neufeld ve Chappelka, 2007; URL-6).

Çizelge 1. Dünya üzerindeki önemli kömür üreticisi ülkeler ve yıllara göre ürettiği kömür miktarları

Ülke	2012 (Mt)	2013 (Mt)	2014 (Mt)	2015 (Mt)
ABD	932	904	916	820
Almanya	197	191	187	186
Avustralya	431	459	491	471
Çek Cumh.	56	49	47	46
Çin	3678	3749	3651	3538
Endonezya	444	488	471	387
Güney Afrika	259	256	253	248
Hindistan	603	610	668	764
İngiltere	17	13	12	8
Kanada	66	69	69	62
Kazakistan	121	120	115	107
Kolombiya	89	85	89	86
Polonya	144	143	137	136
Rusya Fed.	331	328	335	349
Türkiye	71	60	64	45
Ukrayna	68	69	54	33
Dünyada	7938	8019	7975	7686

Hazırlanan birçok raporda dünyadaki kömür madenciliğinin habitat ve biyoçeşitlilik, toprak kaybı ve bozulması üzerine birçok olumsuzluklarına değinilmektedir (Colagiuri vd., 2012). Özellikle açık maden işletmelerinde kömür hazırlama ve toz emisyonlarının kontrolünde oldukça büyük miktarda su kullanılıyor olması yüzeysel sularda sediment birikimi gibi problemlere de yol açabilmektedir (URL-7). Ayrıca yine açık işletmelerde dekapaj malzemeleri-

nin toplandığı yerlerde oluşan tepeler nedeniyle topografya bozulmakta habitat yeniden şekillenmeye zorlanmaktadır. Bu da onlarca yıla mal olmaktadır. Yeraltı maden işletmelerinde kömürün alındığı yerlerde çöküntüler meydana gelebilmekte ve kömür gazlarından meydana gelen grizu ve kömür patlamalarına neden olmaktadır (Küçükönder, 2014).

Kömür üretiminin çevreye olan hasarına ek olarak kömürün hâlâ yakıt olarak kullanılıyor olmasının da özellikle sera gazı salınımında önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Ayrıca birçok maden aktivitesi, hava kirliliği üzerinde doğrudan ve dolaylı yollardan etkili olabilmektedir. Kömür madenciliğinden kaynaklı çevresel etkilerin önemlilerinden biri de hava kirliliğidir. Soluduğumuz hava, gaz, katı ve sıvı partikül karışımlarından meydana gelmektedir ve insan sağlığını etkileyen en önemli çevresel faktörlerden bir tanesidir. Hava kirleticileri gaz, katı partiküller ve sıvı damlacıklar şeklinde olabilmektedir. Hava kirliliği ise bu kirleticilerin doğal olaylar veya insan faaliyetleri sonucunda oluşan, atmosferin doğal bileşimini değiştiren, yoğunluğu ve atmosferde kaldıkları süreye bağlı olarak insan ve hayvan sağlığı ile bitki ve eşyalara zarar verecek kadar artması olarak tanımlanabilmektedir (Eğri, 1997; Yücedağ ve Kaya, 2016; Sharma ve Siddiqui, 2010; Roy ve Singh, 2014) ve hem havada doğal olarak bulunmayan maddeleri hem de doğal olarak bulunmasına karşın normalden daha yüksek konsantrasyonlara erişen ya da normalde bulunmaması gereken yerlerde bulunan doğal bileşenleri de tanımı kapsamına almaktadır (Ev yapan vd., 2012). Hava kirliliğinin çevre üzerindeki etkileri yerelden bölgesel ve son olarak küresel ölçeklerde meydana gelebilmektedir. 2011 yılı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, hava kirliliğinin dünya çapında çoğunluğunu orta gelirli ülkelerin oluşturduğu yılda 1,3 milyon kişinin ölümüne neden olduğu rapor edilmektedir (Çetin ve Demirci, 2016). Havayı kirleten en önemli olay, yanma faaliyetleridir. Fosil yakıt olarak tanınan petrol, gaz ve kömürün yakılması sırasında çıkan gazlar hava kirlenmesinin önemli sebeplerinden biridir (Çiftçi vd., 2013).

Bu çalışmada, kömür madenlerinde üretim esnasında meydana gelen partikül madde (PM) ve metan gazı (CH<sub>4</sub>) emisyonlarının oluşma safhaları, atmosfer üzerine etkileri ve alınacak önlemler Türkiye’de ve dünyada bu konu hakkında yapılan çalışmalar titizlikle taranarak ortaya konmuştur.

## 1. KÖMÜR MADENİ KAYNAKLI HAVA KİRLLETİCİ EMİSYONLAR

Kömür endüstrisi, modern teknolojinin önemli ihtiyacıdır. Ancak sonuç olarak doğrudan veya dolaylı şekilde atmosfere önemli ölçüde toz ve gaz emisyonları salınmaktadır. Bu kirleticiler sadece maden çalışanlarına zarar vermemekte, aynı zamanda, meteorolojik koşullara bağlı olarak yerleşim yerlerinde yaşayanlara ve tarımsal alanlara zararı bulunmaktadır (Kund ve Pal, 2015; Pandey vd., 2014). Kömür madenciliğinde seçilen üretim metotları, maden alanının jeolojik ve jeomorfolojik yerleşimi hava kirletici emisyonların türü ile miktarını önemli derecede etkilemektedir. Kömür üretiminde meydana gelen önemli emisyonlar partikül madde (PM) ve metan gazı (CH<sub>4</sub>) olurken kömürün yanması sonucu çıkan emisyonlar ise kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), ağır metaller, polisiklik aromatik bileşikler (PAH) ve atık ısı olarak sıralanabilir (Ghose ve Majee, 2001; Pandey vd., 2014; Warhate vd., 2015). Bu emisyonlar ise çoğunlukla delme, patlatma, nakliye, yükleme boşaltma, depolama ile kömürün yanması işlemleri sonucunda meydana gelmektedir (URL-6).

### 1.1. Kömür Madenciliği ve PM Emisyonları

Partikül maddeler, hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Partikül madde terimi, havada askıda halde bulunan katı ve sıvı maddeleri belirtmekte olup; bu kirleticilerin etkisi insanların yaş ve sağlık durumlarına göre değişebilmektedir. PM emisyonları, farklı çaplarda ve konsantrasyonlarda olabilmekte, kömür madenciliğinde ise bu emisyonların en zararlısını kömür tozu oluşturmaktadır. Hem yeraltı hem açık ocak işletmelerinde meydana gelen PM emisyonlarının yayılımı ve dağılımı kirleticinin çap ve şekli ile yerel meteorolojik şartlara bağlı olarak değişmektedir. Özellikle çapı 2,5 µm ve daha az çapa sahip PM kirleticileri havada uzun süre kalarak uzun mesafelere kadar taşınmaktadır (Gautam vd., 2012; İmal vd., 2013; Naghadehi vd., 2014). PM kirleticisinin çapı ile meydana getirdiği sağlık problemleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Çapı 10 µm ve daha az olan kirleticiler, akciğerlere rahatlıkla ulaşmakta ardından kana karışarak ciddi problemlere neden olmaktadır. Yapılan birçok çalışmada bu kirleticilerin, kalp ve/veya akciğer rahatsızlıklarından erken ölümlere, kalp ritminde düzensizliklere, astım krizlerine, akciğer fonksiyonlarında



azalmalara, solunum güçlüğü gibi rahatsızlıklara neden olduğu belirtilmektedir (Demirarslan, 2016).

Özellikle yerüstü madencilğinde meydana gelen PM emisyonları literatürde kaçak emisyonlar olarak adlandırılmakta ve maden sahalarında taneli parçacıkların mekanik olarak aşınması, rüzgâr etkisi sonucunda serbest bir şekilde atmosfere yayılmasıyla oluşmaktadır. Bu sahalarda ortaya çıkan PM emisyonlarının oluşması aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir (Beşir, 2015; Dang vd., 2002).

Madencilik işlemleri sırasında uygulanan mekanik kuvvet ile oluşan pulverizasyon ve yüzey malzemenin aşınması (tekerlek, kesiciler vs.).

Türbülanslı hava akımı sebebiyle toz parçacıklarının sürüklenmesi. Ayrıca hafriyat malzemesi ile pasa yığınları özellikle meteorolojik koşullar gibi doğal olaylar sonucunda parçalanarak daha küçük boyutlara ufalanmakta ve bu prosesler sonucunda oluşan PM'ler birkaç hafta içerisinde çevreye yayılmaktadırlar.

Ghose ve Majee (2001) ise açık işletme madencilğinde cevhere ulaşabilmek ve büyük miktarlarda örtü tabakasının kaldırılması için ekskavator, taşıyıcı, yükleyici gibi gereçlere ihtiyaç duyduğunu ve bu araçlarla yapılan işlemlerin ise örtü toprağından oluşan büyük miktardaki PM emisyonunun atmosfere verildiğini belirtmektedir (Ghose ve Majee, 2001). Bunun yanında delme işlemi açık ocak işletmelerinde partikül madde oluşturmada ikinci sırada yer almaktadır. Bir diğer işlem ise patlatmadır. Kısa süreli partikül madde emisyonu oluşsa da kirletici konsantrasyonu bir hayli yüksektir (Gautam, vd. 2012).

Kömür madencilği kaynaklı partikül madde çapları ve bileşimleri, madencilik faaliyet türü ve alanın jeolojisine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Tipik olarak bir işletmede partikül madde çapları 1 µm ile 100 µm arasında değişmektedir. 1 µm ve daha küçük çaplı kirleticiler toplam emisyonun %0,2'sini, 2,5 µm olanlar %2~5 'ini, 2,5 µm ile 10 µm olanlar toplam emisyonun %15~45 ini son olarak da 10 µm ve üzeri çapa sahip partikül maddeler %50~70 ini oluşturmaktadır (URL-8).

Yapılan araştırmalara göre; PM kontrolünün yapılmasına rağmen açık madencilikten kaynaklanan kaçak PM'nin en fazla görüldüğü alanın stabilize nakliye yolları olduğu da belirtilmektedir. Aynı çalışmada maden sahalarında oluşan ka-

çak tozun %12'sinin stok yığınınına boşaltılırken, %33'ünün rüzgar erozyonu sonucunda, %15'inin stok yığınınından yüklenirken, en yüksek oran olan %40'ünün ise stok alanında ekipman ve araçların hareketi sırasında olduğu belirtilmiştir (Beşir, 2015). Açık işletmelerde özellikle taşımacılıktan kaynaklı olarak önemli miktarlarda partikül madde atmosfere verilmekte ve bu emisyonlar havadaki toz miktarının %80'ini oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı emisyonların %50' si kamyon nakliyatı sırasında, %25' i ise yükleme ve boşaltma sırasında meydana gelmektedir (Chaulya vd., 2011). Warhate ve diğerleri, 2015'de yapılan bir çalışmada küçük bir maden işletmesinde 100 m<sup>2</sup>'lik bir alan içerisinde m<sup>2</sup>'de 215,28 mg partikül madde birikimi olduğunu belirtmiştir (Warhate vd., 2015).

Literatür araştırmalarına dayanılarak çeşitli ülkelerdeki kömür madenlerinde yapılmış ölçümler incelenmiştir. Buna göre; Aneja vd., 2012; Pless-Mulloli vd., 2000; Hyksova ve Brejcha, 2009; Önder ve Yiğit, 2009; Tecer vd., 2008; Ghose ve Majee, 2002; Dubey ve Pal, 2012 tarafından yapılan ve dünyadaki farklı açık kömür madenleri yakınlarında ölçülen PM10, PM2,5 değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Dünyadaki farklı açık kömür madenleri yakınlarında ölçülen PM10, PM2,5 değerleri

Bölge	Süreç	PM2,5 (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )
Kuzey Doğu İngiltere	Ortalama	-	22,1
	Isıtma periyodu	-	37
Çek Cumhuriyeti	Isıtmasız periyot	-	26
	Dönüşüm Periyodu	-	33
	Yıllık Ortalama	-	33,5
Türkiye	Delme	-	3080
	Kömür çıkarma	-	1840
	Depolama	-	1670
	Taşıma	-	1350
	Yükleme-boşaltma	-	1300
Zonguldak	Kış	34,17	63,59
	Bahar	29,84	59,16
	Yaz	25,03	41,83
	Sonbahar	23,03	39,66
Jharia, Hindistan	Ortalama	-	-
Dhanbad, Hindistan	Ortalama	-	194±32
Appalachia, ABD	Campell alanı	-	250,2
	Willis alanı	-	144,8

Türkiye'de, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 03/07/2009 tarih ve 27277 sayılı resmi gazetede yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY, 2009) ne göre (Ek-1, Tablo 2:2) ise PM10 için sınır değerler Çizelge 3 deki gibi verilmiştir.

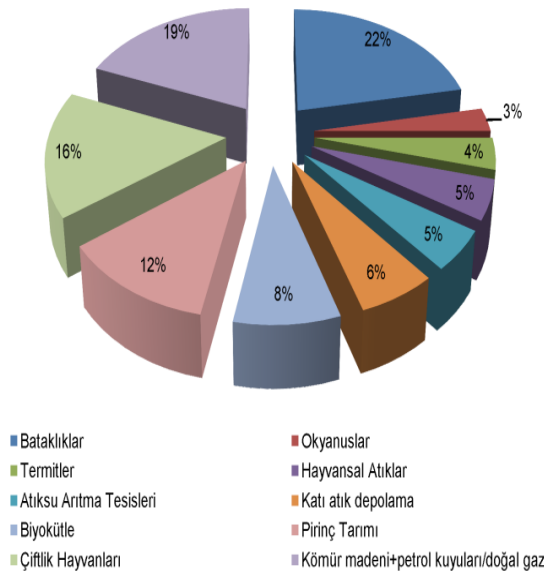


Çizelge 3. SKHKKY'ne göre (Ek-1, Tablo 2:2) PM10 için sınır değerler

Yıllar	24 Saat ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Yıllık ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
2014	100	60
2015	90	56
2016	80	52
2017	70	48
2018	60	44
2019-2023	50	40
2024 Sonrası	50	40

## 1.2. Kömür Madenciliği ve Metan gazı Emisyonları

Metan gazı sera gazları içerisinde önemli bir yere sahiptir ve antropojenik sera gazı salınımlarının %16'sını meydana getirmektedir. Küresel ısınmaya katkısı yıllarca değişmemiştir ve bu gazın atmosferdeki oranı son yüzyılda iki katına çıkmıştır. Küresel metan salınımları incelendiğinde % 60'ının insan kaynaklı, % 40'ının ise doğal kaynaklı olduğu görülmektedir (Aydın vd., 2015). Doğal ve yapay metan gazı emisyonlarının kaynakları ise Şekil 1' de verilmiştir (URL-9).



Şekil 1. Dünyadaki metan gazı kaynakları

Yeraltı kömür madenleri, maden kaynaklı metan gazı emisyonlarının başlıca kaynağıdır. Bu nedenle dünya üzerinde bulunan kömür madenci-

liğinin, toplam metan gazı emisyonununun %8'inden sorumlu olduğu belirlenmiştir. Atmosferdeki metan gazı emisyonu halihazırda  $\text{CO}_2$ 'den 21 kat daha fazla sera etkisine sahiptir. Yapılan araştırmalara göre Güney Afrika'da bulunan madenlerden bir yılda 7 milyon ton  $\text{CO}_2$ 'ye eşdeğer metan gazının atmosfere salındığı hesaplanmıştır. US EPA'nın tahminlerine göre ise 2010 yılında kömür madenlerinden 27,8 milyon metrik ton (MMT) civarında metan gazı atmosfere salınmıştır. Öksüz tarafından 2012 yılında yapılan çalışmaya göre Türkiye Taşkömürü Kurumu faaliyetlerine bağlı yıllık hesaplanan metan gazı salınımı  $48455064 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır ve bu değer de  $145714 - 437142$  ton karbona eşdeğerdir (Banks, 2012; Lloyd, 2004; Öksüz, 2012). Yeraltı madenciliği ile atmosfere karışan metan gazı emisyonu miktarı, kömürün çıkarıldığı derinlik, madencilik metodu gibi nedenlerden dolayı farklılık gösterebilmektedir ve derinlere inildikçe kömürlerdeki metan gazı içeriğinin artmasından dolayı yeraltı madenlerinden çıkan metan gazı emisyon miktarı açık ocak işletmelerinden bir hayli yüksektir (Irving vd., 2001). Metan gazı ise, kömürün kökeni olan ve su altında havasız kalan bitkilerdeki karbon, hidrojen ve oksijenin birbirleri ile yaptıkları kimyasal tepkimeler ile oluşur. Bu kimyasal tepkimeler neticesinde karbon oksijen ile birleşerek ( $\text{CO}_2$ ), oksijen hidrojen ile birleşerek ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ve hidrojen karbon ile birleşerek ( $\text{CH}_4$ ) meydana gelmektedir. Metan gazı oluşumunda biyojenik ve termojenik olmak üzere iki temel mekanizma bulunmaktadır. Biyojenik metan gazı oluşumu bitki kökenli organik maddelerin kömürleşmesinin ilk aşamalarında ve  $50^\circ\text{C}$ ' lik bir ortam sıcaklığında, mikrobiyolojik ayrışmalar sonucunda meydana gelir.

Termojenik mekanizmada ise fosil biyojenik metan gazı birikimleri çok ender görülür ve ancak çok hızlı çöken az sayıda havzada salınırlar. Gaz oluşumunun kinetiğine bağlı olmakla birlikte yaklaşık  $55^\circ\text{C}$ ' den itibaren karbondioksit,  $100^\circ\text{C}$ ' den itibaren de metan ve azot gazları oluşmaya başlar. Artan kömürleşmeyle birlikte oluşan metan gazı miktarı da artar. Yeraltında bulunan metan gazının miktarı da basınca ve çevresini saran kaya formasyonlarının cinsine bağlı olarak değişmektedir. Yeraltının derinliklerine inildikçe tutulmuş olan metan gazının fazla olması dolayısıyla yeraltı kömür ocaklarında çok miktarda metan gazı emisyonu olması doğaldır ve bu oran açık işletmelere göre oldukça fazladır (Öksüz, 2012; Irving vd., 2001). Kömürün kolloidal bir yapıya sahip olması, birim kömür hacminin

1~40 katı arasında metan gazını bünyesinde tutmasına izin vermektedir. Yeraltındaki yüksek basınç nedeniyle kömür ve metan emisyonu denge içerisinde. Bu basıncın miktarı ise ortamdaki kömürleşme derecesine, damarın derinliğine ve kömür yüzeyinin gözenekliliğine bağlıdır. Yeraltı kömür damarlarında depolanmış olan metan, çatlaklarda, kırıklarda ve makro gözenek içerisinde serbest olarak, çatlaklarda ve mikro gözeneklerde adsorbe gaz olarak ya da su içerisinde çözülmüş durumda olabilmektedir. Metan gazı emisyonu açısından bu durumlardan ilk ikisi önem teşkil etmektedir (Aydın, 2008).

Bir kömür işletmesinde ise metan gazı emisyonları aşağıdaki operasyonlarda ve kaynaklarda meydana gelmektedir (Banks, 2012):

- Yeraltı kömür madenciliğinde metan drenaj sistemlerinden,
- Yeraltı kömür madenciliğinde havalandırma sistemlerinden,
- Kapatılmış madenlerden,
- Açık işletmelerden,
- Maden öncesi uygulanan işlemlerdeki kaçak emisyonlardan.

Açık ocak işletmelerinde ise, yeni açılan kömür katmanlarından ve patlatma operasyonu ardından içerisinde kömür bulunan yığınlardan atmosfere karışmaktadır. Ek olarak üst örtü toprağının kaldırılması sırasında da CH<sub>4</sub> meydana gelebilmektedir. Bu toprağın kaldırılmasıyla, iç taraftaki kayalar üzerindeki basınç ve stres azalmakta; sonuç olarak metan gazı serbest kalmaktadır. Yukarıda da açıklandığı üzere yer altı madenciliğinde üretilen 1 ton kömür başına meydana gelen metan miktarı, açık ocaklara nazaran daha yüksektir (Irving vd., 2001).

Madencilik aktivitelerinden önemli miktarda metan gazı emisyonu oluşsa da, üretim sonrasında kömür içerisinde hâlâ az da olsa metan bulunabilmektedir. Kalan bu metan kömürün işlenmesinde, depolanmasında ve taşınmasında ortaya çıkabilmektedir. Bu işlemlerde meydana gelen metan miktarı kömürün karakteristiğine ve yapılan işlemlere göre değişiklik göstermektedir. Üretim sonrasında oluşan ve parça kömür emisyonu olarak isimlendirilen bu emisyonlar, kömürün çıkarılmasından itibaren aylarca sürebilmektedir. Ayrıca terk edilmiş maden sahaları da metan gazı emisyonu oluşturabilmektedir (EPA, 1999).

### 1.3. Emisyon Azaltım Teknikleri

Kömür madenciliğinde meydana gelen PM ve metan gazı emisyonunun bertaraf edilmesi dünya üzerinde farklı teknolojilerle gerçekleştirilebilmektedir. PM emisyonunda azaltım yöntemlerini delme patlatma işlemleri, madde ayrıştırma, nakliye, depolama işlemleri sırasında alınacak önlemler olarak sıralayabiliriz.

Delme ve patlatma işlemleri sırasında aşağıdaki önlemler alınabilmektedir (URL-9):

- Madenlerdeki patlatmalar günlük meteorolojik koşullara bakılarak yapılmalıdır.
- Bu tür işlemler yapılırken, yerel hava tahminlerinden yararlanılmalıdır.

Özellikle açık ocaklarda yapılan ilk işlem, üst toprağın iş makineleriyle kaldırılarak araçlarla taşınmasıdır. Kaldırılan bu materyal maden sahasında bulunan başka bir noktaya nakledilmektedir. Burada yapılan, ayırma, taşıma, yükleme ve boşaltma işlemleri potansiyel toz emisyonuna yol açmaktadır. Toz emisyonu kömür damarının ayrıştırılması sırasında da ortaya çıkabilmekte olup; oluşan bu toz emisyonu kuru ve rüzgârlı havalarda oldukça artmaktadır. Bu nedenle:

- Toz kontrolünün yetersiz olduğu alanlarda, yüksek rüzgâr koşullarında bu işlem yapılmalıdır (URL-10).

Ayrıştırılan materyal genellikle işlenecek noktaya kadar kamyonlar ile taşınmaktadır. Bu işlem, kömür madenlerindeki önemli toz emisyonlarından biridir. Bu yolların, tasarımı, bakımı ve yönetimi toz emisyonunu azaltmakta önemli bir etkidir. Nakliyedeki bu kaçak toz emisyonları, yolculuk mesafesine, yol yüzeyinin durumuna, taşıma için kullanılan kamyonların hızına bağlı olarak miktarları değişmektedir (URL-10).

Diğer kontrol yöntemleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Operasyon standartlarının uygulanması,
- Hava koşullarının takibi, buna göre işlemlerin uygulanması,
- Kötü hava koşullarında işlemlerin kısıtlanması veya durdurulması,
- Patlama alanlarının kısıtlanması,
- Toz önleme sistemlerinin sık sık denetimi,
- Malzeme taşıma yollarının en kısa sürede varabilecek şekilde tasarımı,

- Depolama alanlarının hâkim rüzgâra en az maruz kalacak şekilde tasarımı,
- Depolama sahasının geçici olarak bitkilendirilmesi,
- Eleklerle kırıcıların üzerlerinin kapatılması,
- Taşıyıcı bant üzerlerinin kapatılması,
- Taşıma esnasında kamyonların aşırı yüklenmemesi,
- Taşıma yollarının sık aralıklarla düzeltilmesi,
- Rüzgârları önleyecek yeşillendirme yapılması,
- Su püskürtme sistemlerinin kurulması.

Özellikle yeraltı madenlerinde daha çok görülen metan gazı madencilik açısından önemli tehlikeler meydana getirmektedir. Bu nedenle metan gazının maden ortamından alınarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak hem kullanılan bu yöntem hem de kömür üretimi esnasında açığa çıkan metan gazı emisyonu küresel ısınmaya neden olduğu için tehlike arz etmektedir. Dünya üzerinde metan drenajında birçok farklı teknolojiler kullanılmaktadır.

**Üretim Öncesi İşlem;** Bu işlemde kömür madenlerinin işletilmeye başlamasından önceki bu süre farklı kaynaklarda 2 ila 7 yıl önce olarak verilmektedir. Açılan sondajlarla metan gazı alınabilmektedir. Bu yöntemin avantajı, metan gazının saf olarak elde edilmesi ve bu nedenle yüksek kalorifik değere ( $32-37 \text{ MJm}^{-3}$ ) sahip olmasıdır. Bu yöntemin diğer bir avantajı hem yeraltı hem de açık işletme madenciliğinde uygulanabilmesidir (Williams ve Mitchell, 1994; Durşen ve Yasun, 2012).

**Üretim Sırasında Açılan Drenaj Delikleri;** Damar içerisine yatay, dikey, çapraz şekilde açılan sondajlarla yapılan metan drenajıdır. Maden ocağındaki çalışılan bölgeye muhtemel gaz sızmasını önleme amacıyla uygulanmaktadır. Metan drenajı sadece kazılmamış kömür damarında yapıldığından ve drenaj zamanı kısa olduğundan dolayı bu yöntemin verimi düşüktür. Ancak ele geçirilen metan gazı miktarının az olmasına karşın gazın kalitesi bir o kadar yüksektir (Öksüz, 2012).

**Terk Edilen Madenlerde Metan Drenajı;** Üretimi tamamlanan alana dik ve/veya açılı olarak açılan sondaj kuyuları sayesinde metanın drenajı sağlanır. Yöntemde metan göçük bölgesinden deliklerle emilir ve boru hattı boyunca hareket

ederek yüzeye ulaşır. Yöntem düşey kuyularla karşılaştırıldığı zaman bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar; yüksek gaz içeriğinden yoksun olmaları, nispeten kısa üretim yaşamı ve üretimin sadece çevreleyen tabakalardan gerçekleştirilmesidir. Üretim sırasında göçük arkasına bırakılan borulardan da drenaj yapılabilir (Öksüz, 2012).

## SONUÇLAR

Günümüzde gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı fosil yakıt tüketimini arttırmıştır. Fosil yakıtlardan biri olan ve enerji üretiminde kullanılan önemli bir kaynak da kömürdür. Kömürün elde edilme prosesleri ise açık madencilik ve yeraltı madenciliği olmak üzere iki şekildedir ve bu yöntemlerdeki tercihler kömür yatağındaki jeolojik yapıya göre değişiklik göstermektedir. Her iki madencilik yönteminin çevreye karşı olumsuz etkileri olmaktadır. Bu olumsuz etkiler arasında hava kirliliği en önemlilerinden birisidir. Kömür işletmeciliğinde meydana gelen başlıca emisyonlar partikül madde (PM) ile metan gazı ( $\text{CH}_4$ ), kömür kullanımında çıkan emisyonlar ise kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ), azot dioksit ( $\text{NO}_2$ ), karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ), karbon monoksit (CO), ağır metaller, polisiklik aromatik bileşikler (PAH) ve atık ısı olarak sıralanabilir. Sayılan emisyonlar arasında partikül maddeler ve metan gazı önemli bir yer oluşturmaktadır. Partikül maddelerin taşınımı ile maden ve çevresine etkileri olmakla birlikte metan gazı emisyonlarının da atmosferde küresel ısınmaya çok büyük katkıları bulunmaktadır. Dünyadaki birçok kömür işletmesi bu iki emisyonların azaltılması için değişik teknolojiler ve önlemler geliştirmişlerdir. Bu önlemler arasında PM emisyonları için patlatma alanlarının kısıtlanması, maden çevrelerinin geçici olarak bitkilendirilmesi, nakliye yollarına, stok alanlarına ve taşıma bantlarına su püskürtme işlemlerinin uygulanması sayılabilir. Metan gazının maden sahasından uzaklaştırılması için ise kullanılan en yaygın yöntem meydana gelen metan gazının yakılarak atmosfere verilmesidir. Bu sayede atmosfere  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ (gaz) emisyonları verilmekte ancak sonuç olarak  $\text{CO}_2$  den daha fazla sera etkisi gösteren metanın gazının salınması önlenmiş olmaktadır.

Türkiye'de ve dünyada anlık kullanıma sunulmuş enerji ihtiyacı, üretimi ve tüketimi gün geçtikçe artan şekilde devam etmektedir. Oluşan enerji açığının kapanması için günümüzde alternatif enerji elde etme yöntemlerinde gelişme kayde-

dilmesine rağmen, hâlâ yüksek kalorili olması ve diğerlerine nazaran ucuzluğu nedeniyle kömür önemini korumakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenledir ki kömür madenciliği vazgeçilemez bir endüstridir. Ancak kömür üretimi ile çevreye verilen zararlar yadsınamaz şekilde önümüzde durmakta bu zararların en aza daha doğrusu kabul edilebilir düzeyde tutulmasına özen gösterilmelidir. Bu konuda günümüz çevre teknolojileri oluşabilecek zararı en aza indirme konusunda önemli üstünlüklere sahiptir.

## KAYNAKLAR

Aneja, V. P., Isherwood, A., Morgan, P., 2012. Characterization of Particulate Matter (PM10) Related to Surface Coal Mining Operations in Appalachia. *Atmospheric Environment*, 54, 496-501.

Aydın, G., 2008. Kömür Kökenli Metanın Kullanım Teknolojileri ve Enerji Üretiminden Kaynaklanan Antropojenik Metan Emisyonlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Aydın, G., Karakurt, İ., Aydın, K., 2015. Antropojenik Metan Emisyonlarının Sektörel Analizi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4 (1), 42-51.

Banks, J., 2012. Barriers and Opportunities for Reducing Methane Emissions from Coal Mines. [http://www.catf.us/resources/whitepapers/files/201209Barriers\\_and\\_Opportunities\\_in\\_Coal\\_Mine\\_Methane\\_Abatement.pdf](http://www.catf.us/resources/whitepapers/files/201209Barriers_and_Opportunities_in_Coal_Mine_Methane_Abatement.pdf).

Beşir, A.Ç., 2015. Yerüstü Madenciliğinde Kullanılan Partikül Madde Emisyon Faktörlerinin Türkiye Ve Uluslararası Uygulamalarla Değerlendirilmesi. Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Chaulya, S.K., Kumar, A., Mandal, K., Tripathi, N., Singh, R.S., Mishna, P.K., Bandyopadhyay, L.K., 2011. Assessment of Coal Mine Road Dust Properties for Controlling Air Pollution. *International Journal of Environmental Protection*, 1 (2), 1-7.

Colagiuri, R., Cochrane, J., Girgis, S., 2012. Beyond Zero Emissions (Australia). Health and Social Harms of Coal Mining in Local Communities.

Çetin, M., Demirci, O. K., 2016. Erzincan'da Doğal Gaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (1), 8-18.

Çiftçi, Ç., Dursun, Ş., Levend, S., Kunt, F., 2013. Topoğrafik Yapı, İklim Şartları ve Kentleşmenin Konya'da Hava Kirliliğine Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, 1 (1), 19-24.

Çukuroğlu, S., Besim, T., 2015. Denizli Organize

Sanayi Bölgesi Yakıt Kaynaklı Emisyon Envanteri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (6), 248-253.

Dang, Z., Liu, C., Haigh, M.J., 2002. Mobility Metals Associated With the Weathering of Coal Mine Spoil. *Environmental Pollution*, 118 (3), 419-426.

Demirarslan, K.O., 2016. Kış Kentlerinde Isınma Kaynaklı Partikül Maddenin Hava Kalitesi Üzerine Etkisi ve Doğu Anadolu Bölgesi Ağrı, Ardahan, Erzurum ve Kars İlleri Örneği. *Uluslararası Kış Kentleri Sempozyumu, Erzurum*, 817-831.

Dubey, B., Pal, A.K., Singh, G., 2012. Trace Metal Composition of Airborne Particulate Matter in the Coal Mining and Non-Mining Areas of Dhanbad Region. *Atmospheric Pollution Research, Jharkhand, India*, doi:10.5094/APR.2012.026.

Durşen, M., Yasun, B., 2012. Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı. [http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG15-yeraltinda\\_bulunan\\_zararli\\_gazlar\\_ve\\_metan\\_drenaji.pdf](http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG15-yeraltinda_bulunan_zararli_gazlar_ve_metan_drenaji.pdf)

Eğri, M., 1997. 1996-1997 Kış Döneminde Malatya İl Merkezi Hava Kirliliği Parametrelerine Meteorolojik Koşulların Etkisi. *Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi*, 4 (3), 265-269.

EPA, U.S. Methane Emissions 1990-2020. Inventories, Projections, and Opportunities for Reductions. EPA 430\_R\_99\_013, Office of Air and Radiation 1999.

Evyapan, F., Mungan, D., Akgün, M., Arbak, P., 2012. Hava Kalitesi ve Sağlık. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara. [http://kronikhastaliklar.thsk.saglik.gov.tr/Dosya/Dokumanlar/kitaplar/hava\\_kalitesi\\_ve\\_saglik.pdf](http://kronikhastaliklar.thsk.saglik.gov.tr/Dosya/Dokumanlar/kitaplar/hava_kalitesi_ve_saglik.pdf).

Gautam, S., Prusty, B. K., Patra, A. K., 2012. Pollution Due to Particulate Matter from Mining Activities. *Professional Paper*, 5, 53-58.

Ghose, M. K., Majee, S. R., 2001. Air Pollution due to Opencast Coal Mining and Its Control in Indian Context. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 60, 786-797.

Ghose, M. K., Majee, S. R., 2002. Assessment of the Status of Work Zone Air Environment due to Opencast Coal Mining. *Environmental Monitoring and Assessment*. 71, 51-60.

Hykysova, S., Brejcha, J., 2009. Monitoring of PM10 Air Pollution in Small Settlements Close to Opencast Mines in the North-Bohemian Brown Coal Basin. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 123, 387-398.

Irving, W., Tailakov, O., Kruger, D., 2001. CH4 Emissions: Coal Mining and Handling. IPCC Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 129-144.

İmal, M., Karapınar, Ç., Doğan, O., 2013. Hava



Kalitesine Doğalgazın Etkisi: Kahramanmaraş Örnek Çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 22-28.

Kömür Sektör Raporu 2013. 2014. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, <http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/Sektör%20Raporu%202013.pdf>.

Kund, S., Pal, A. K., 2015. Estimation of Air Quality in the Opencast Mine of Jharia Coal Field, India. *Current World Environment*. 10 (2), 691-697.

Küçükönder, T. Y., 2014. Enerjide Dışa Bağımlılığın Azaltılması ve Ekonomiye Katkısının Artırılması Kapsamında Linyit Rezervlerinin Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, Ankara.

Lloyd, P. J., 2004. Coal Mining and the Environment, Energy Research Institute, University of Cape Town. [http://web.uct.ac.za/depts/erc/Research/publications-pre2004/02Lloyd\\_Coal\\_environment.pdf](http://web.uct.ac.za/depts/erc/Research/publications-pre2004/02Lloyd_Coal_environment.pdf), (Aralık, 2015).

Naghadehi, M. Z., Sereshki, F., Mohammadi, F., 2014. Pathological Study of the Prevalence of Silicosis Among Coal Miners in Iran: A Case History. *Atmospheric Environment*, 83, 1-5.

Neufeld, H. S., Chappelka, A. H., 2007. Commentary for Papers Resulting from the Recent Symposium on Air Pollution and Vegetation Effects in National Parks and Natural Areas: Implications for Science, Policy and Management. *Environmental Pollution*, 149 (3), 253-255.

Önder, M., Yigit, E., 2009. Assessment of Respirable Dust Exposures in an Opencast Coal Mine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 393-401.

Öksüz, H., 2012. Kömür Kökenli Metan Gazı Salınımının Değerlendirilerek İklim Değişikliğine Etkisinin Azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pandey, B., Agrawal, M., Singh, S., 2014. Assessment of Air Pollution Around Coal Mining Area Emphasizing on Spatial Distributions, Seasonal Variations and Heavy Metals, Using Cluster and Principal Component Analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 5, 79-86.

Pless-Mulloli, T., King, A., Howel, D., Stone, I., Merefild, J., 2000. PM10 Levels in Communities Close to and Away From Opencast Coal Mining Sites in Northeast England. *Atmospheric Environment*, 34, 3091-3101.

Roy, D., Singh, G., 2014. Source Apportionment of Particulate Matter (PM10) in an Integrated Coal Mining Complex of Jharia Coal Field, Eastern India, A Review. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4 (4), 97-113.

Sharma, A. K., Siddiqui, K. A., 2010. Assessment of Air Quality for an Open Cast Coal Mining Area. *Indian J. Sci. Res*, 1 (2), 47-55.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 03/07/2009 Tarih; 27277 Sayılı Resmi Gazete.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Kömür Sektör Raporu (Linyit), Haziran 2014.

Tecer, L.H., Suren, P., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G., 2008. Effect of Meteorological Parameters on Fine and Coarse Particulate Matter Mass Concentration in a Coalmining Area in Zonguldak, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58, 543-552.

URL-1, World Coal Association, What is coal? <https://www.worldcoal.org/coal/what-coal>.

URL-2, International Energy Agency, Coal. <http://www.iea.org/topics/coal/>.

URL-3, U.S. Department of Energy, A Brief History of Coal Use. [http://www.fe.doe.gov/education/energylessons/coal/coal\\_history.html](http://www.fe.doe.gov/education/energylessons/coal/coal_history.html).

URL-4, BP Basın Bülteni,

<http://www.bp.com/content/dam/bp->

[country/tr\\_tr/pdf/BP\\_Enerji\\_statistikleriRaporu\\_2016\\_BB.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp-country/tr_tr/pdf/BP_Enerji_statistikleriRaporu_2016_BB.pdf)

URL-5, International Energy Agency Statistics, Key Coal Trends Excerpt from: Coal Information, 2015, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyCoalTrends.pdf>.

URL-6, Air pollution from coal mines. [http://www.sourcewatch.org/index.php/Air\\_pollution\\_from\\_coal\\_mines](http://www.sourcewatch.org/index.php/Air_pollution_from_coal_mines).

URL-7, <https://yearbook.enerdata.net/coal-and-lignite-production.html>

URL-8, Technical Fact Sheet: Air Quality – Dust Monitoring, <http://www.edonsw.org.au/pollution>.

URL-9, <http://icp.giss.nasa.gov/education/methane/intro/cycle.html>

URL-10, Environmental Compliance and Performance Report “management of dust from coal mines”. [www.epa.nsw.gov.au](http://www.epa.nsw.gov.au).

Warhate, S. R., Pokale, W. K., Pokale, A. W., Yenkie, M. K. N., 2015. Study of Impact of Coal Mining on Air Quality Near Wani, Dist. Yavatmal. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 4 (1971), 504-510.

Williams, A., Mitchell, C., 1994. Mining Emission from Coal Mining, Mining and its environmental impact. The Royal Society of Chemistry, Editors: Hester, R.E., Harrison, R.M.

Yücedağ, C., Kaya, L.G., 2016. Hava Kirleticilerin Bitkilere Etkileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7 (1), 67-74.





Derleme / Review

## NEW DEVELOPMENTS IN THE AUSTRALIAN MINING EDUCATION<sup>1</sup>

### AVUSTRALYA MADENCİLİK EĞİTİMİNDEKİ YENİ GELİŞMELER

Mehmet S. Kızıl<sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> The University of Queensland, School of Mechanical and Mining Engineering, AUSTRALIA

**Geliş Tarihi / Received** : 14 Şubat / February 2017

**Kabul Tarihi / Accepted** : 28 Şubat / February 2017

**Anahtar Sözcükler:**  
 Madencilik eğitimi,  
 MEA,  
 Avustralya.

#### ABSTRACT

The Australian mining industry is responsible for more than 50% of the export revenues and is the largest exporter of black coal and the second largest exporter of iron ore in the world. As a major export player on the world minerals markets, the Australian mining industry delivers significant benefits to the Australian economy. Graduating good quality engineers for such an important industry requires world-class education. Mining Education Australia (MEA) was developed to deliver a common undergraduate curriculum in mining engineering across Australia. This unique initiative was developed in response to increased demand for mining industry professionals in an environment of limited funding within the traditional university environment and a critical shortage of suitably qualified academic staff. MEA is an unincorporated joint venture between The University of Queensland, The University of New South Wales and Curtin University in Western Australia. In 2009, The University of Adelaide became a member of the MEA Program. This paper discusses the history and governance of MEA as well as the structure of the common curriculum and teaching innovations adopted.

#### ÖZ

Avustralya madencilik sektörü, ihracat gelirinin %50'den fazlasını karşılayan ve dünyanın en büyük beş üreticisinden biri olan önemli bir sektördür. Böyle önemli bir sektöre maden mühendisi yetiştirmek için, dünya kalitesinde bir eğitim gerekmektedir. 1996 yılında, Avustralya çapında standart bir maden mühendisliği eğitimi imkanı sunacak, orijinal adı Mining Education Australia (MEA) olan Avustralya Madencilik Eğitimi adı altında ulusal bir maden okulu kuruldu. MEA'nın kuruluş amacı, maden bölümlerine verilen maddi desteğin azalması, öğretim üyelerinin sayısındaki azalmaya karşın maden endüstrisinin artan mühendis ihtiyacını karşılamak ve daha kaliteli mühendis yetiştirmektir. Kurucu üyeler Queensland, New South Wales ve Curtin Üniversiteleriydi. 2009 yılında Avustralyanın dördüncü büyük maden okulu olan Adelaide Üniversitesi de MEA'ye katıldı. Bu makale, MEA'nin kuruluş tarihçesini, oluşturulan ortak ders programını ve eğitim ve öğretimde getirilen yeni standartları ve metotları kapsamaktadır.

**Keywords:**  
 Mining education,  
 MEA,  
 Australia.

<sup>1</sup> This article has been published in the 24<sup>th</sup> International Mining Congress of Turkey (IMCET 2015) Proceedings' Book

Bu makale Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi (IMCET 2015) bildiriler kitabında yayınlanmıştır.

\* Corresponding author: m.kizil@uq.edu.au

## INTRODUCTION

The global mining education institutions, especially in the developed countries, faced a number of challenges between 1985 and 2003. These included an acute shortage of talented academic staff, small number of student enrolments, high relative costs, making mining programs vulnerable to closures, when universities were under extreme cost pressures, and most importantly under-resourcing of mining departments because of their comparatively small size, making these departments incapable of delivering top class teaching in all aspects of their courses, despite being excellent in some areas. In Australia, this concern was felt more by the industry when it was realised that a number of mining departments across the world had already been closed down as shown in Figure 1 with exception of Chile, South Africa and Australia. The mining industry through its representative body, the Minerals Council of Australia (MCA) set up a task force to review the state of the minerals education in Australia. The findings and recommendations from this review was published in a report called “Back from the brink” in 1998 (MCA, 1998). In response to industry’s concerns the National Tertiary Education Taskforce established the following Mission.

*“The Development of World-Class Education for a World-Class Minerals Industry”*

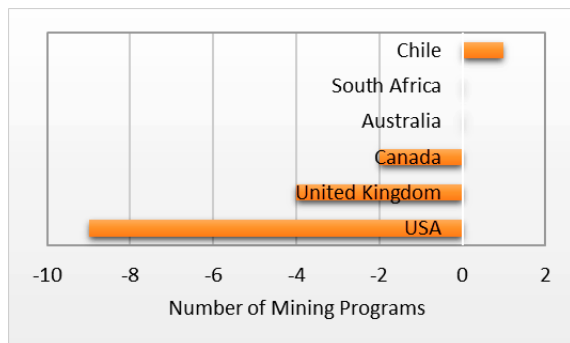


Figure 1. Change in number of mining programs between 1985 and 2003.

The Australian minerals industry’s main concern was that, new industry professionals needed to be better educated to deal with emerging challenges of the industry such as globalisation, competition, and rapidly changing technologies. The industry was seeking to ensure that there were sufficient technically capable graduates available to meet its needs, that these graduates valued continuing professional development

and that they had sufficient exposure to industry workplaces to ensure they were aware of broader issues such as safety, environmental care and commercial aspects of their work (MCA, 1998). This resulted in establishment of the Minerals Tertiary Education Council (MTEC) which is a division of the Minerals Council of Australia (MCA) in October 1999. Since this time MTEC has been a major driver in establishing three national higher education programs in Mining Engineering, Minerals Geoscience and Metallurgy across 15 Australian universities, which now produce the bulk of new, highly skilled technical professionals from those disciplines (MTEC, 2015). One of the MTEC initiatives was to support the establishment of Mining Education Australia (MEA).

## 1. MINING EDUCATION AUSTRALIA

Soon after establishing MTEC, the industry started supporting the mining schools by sponsoring two academic positions at each institution and financially supporting the key course development. While this support helped to sustain the minerals education institutions, it did not provide the kind of improvement in the education system the industry was hoping for. Therefore, the discussions for establishing a national mining school started in 2004 which resulted in the establishment of the Mining Education Australia (MEA). MEA was developed to meet the increasing demand for mining industry professionals in an environment where limited funding exists within the conventional university system and to maintain a critical mass of suitably qualified academic staff. The initiative was stimulated by support and funding from the MCA representing the Australian mining industry. The MCA remains committed to the on-going financial support of MEA to deliver a world class program of undergraduate education in mining engineering.

MEA was set up as a joint venture between three major mining education providers in Australia, namely; the University of Queensland, the University of New South Wales and Curtin University. In 2008, the University of Adelaide became a member of the MEA Program. MEA provides a common curriculum for 3rd and 4th year mining engineering, as shown in Figure 2.

The development of MEA was supported by a \$1.3 million grant from the Federal Government through the Collaboration and Structural Reform funding scheme. Funds from a government



SEM	MINING ENGINEERING UNDERGRADUATE PROGRAM 2015			
1	ENGG1100 Engineering Design	MATH1051 Calculus & Linear Algebra I OR Elective	ERTH1501 Earth Processes & Geological Materials for Engineers	ENGG1400 Engineering Mechanics: Statics and Dynamics OR Elective
2	ENGG1200 Introduction to Engineering Problem Solving	MATH1051 Calculus & Linear Algebra I OR Elective	MATH1052 Multivariate Calculus & ODEs	ENGG1400 Engineering Mechanics: Statics and Dynamics OR Elective
3	MINE2105 Introduction to Mining	MECH2410 Fundamentals of Fluid Mechanics	STAT2201 Analysis of Eng & Sci. Data	MINE2123 Structural Mechanics in Mining
4	CIVL2210 Soil Mechanics	MINE2201 Physical & Chemical Processing of Minerals	MINE2106 Resource Geology & Surveying	MATH2000 Calculus & Linear Algebra II
5	MINE3120 Resource Estimation	MINE3121 Mining Geomechanics	MINE3122 Mining Systems	ELECTIVE
6	MINE3123 Mine Planning	MINE3124 Mine Ventilation	MINE3125 Rock Breakage	ELECTIVE
7	MINE4120 Mine Geotechnical Engineering	MINE4122 Mining Research Project I	MINE4124 Hard Rock Mine Design & Feasibility	ELECTIVE
8	MINE4121 Mine Management	MINE4123 Mining Research Project II	MINE4125 Coal Mine Design & Feasibility	ELECTIVE

Figure 2. The University of Queensland's Mining Program showing common 3rd and 4th year MEA courses (*MEA electives includes: Surface Mining Systems, Underground Mining Systems, Mining Asset Management and Services, Socio-Environmental Aspects of Mining, Advanced Mine Geotech Eng, Mining in a Global Environment and Advanced Ventilation*).

grant have permitted new mining courses and resource materials to be developed to a world class standard. Advanced tools and systems are being applied to the management and delivery of the Joint Venture's teaching resources and innovative delivery and assessment techniques have been developed and are being adopted in all courses. The experience gained from these activities is being shared with others through an active dissemination program including publications. These achievements have been undertaken in a strong interactive environment that forms a model for future cross-university collaboration.

The following is a chronology of the development of MEA.

#### 2004

- Initial discussions for MEA started.
- MEA was established.
- Identified common courses.
- Established a common program structure.
- Identified course convener and local coordinators.

#### 2005

- Established a common program.
- Established new courses at local universities.
- Detailed course content.
- Developed course profiles.
- Identified course delivery mechanisms.
- Test run of some common courses.

#### 2006

- Inclusion of details in Universities' Handbooks.
- Transition run.

#### 2007

- Australian undergraduate school of mining was fully operational.

#### 2008

- MEA produced first graduates.
- Adelaide University joined MEA.

## 2. BENEFITS OF MEA

Mining Education Australia is a first and unique educational initiative in the world which standardised the mining education across the country through industry, government and university collaboration. It has provided many benefits to the universities, students and the industry, which includes (Tuckwell, 2004):

- improved quality of graduates;
- increased quantity of graduates;
- allowed sharing academic expertise;
- provided a common education standards (across universities);
- sustained viability of programs – opportunity for growth;
- increased the quality of teaching courses and materials;
- access to marketing strategies – broad and focused;
- international market; and
- new generation academics.

The major benefits MEA program provides for mining engineering students includes:

- a nationally recognized, comprehensive educational program covering all aspects of mining engineering, technical, operational and social/community issues;
- access to national group of mining academic staff with skills in all major areas;
- exciting new and innovative teaching and learning programs, including collaborative student activity across four member university nodes;
- opportunities to undertake exchange semesters among member universities; and
- a world-class degree and industry-supported national program.

Since the setup of MEA, the number of mining graduates produced by the member universities for the mining industry has more than tripled from 72 in 2007 to 250 in 2014 as shown in Figure 3. Today, MEA provides 90% of Australia's mining engineering graduates.

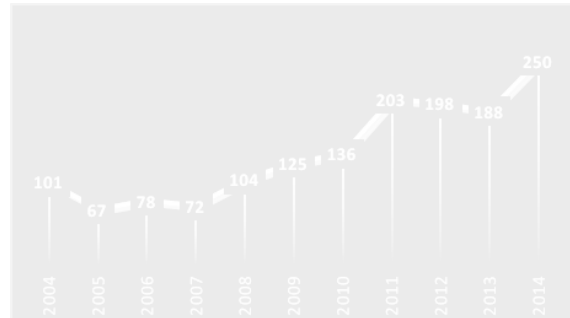


Figure 3. Total number of mining engineering graduates from the MEA members' universities.

## 3. MAJOR CHALLENGES IN SETTING UP MEA

Mining academic staff at all four member universities played a major role in preparing for and establishing the MEA joint venture, aligning curricula among the MEA universities and developing courses to be taught at all four institutions. Major challenges and obstacles were identified and addressed during the establishment of MEA included different program structures at each university, variations in teaching styles, the need for specialised courses, the number of courses offered, course weightings, pre-requisites, time table incompatibilities, lack of commonality in delivery and assessment mechanisms, electives, and laboratory facilities. In order to overcome these challenges and develop a climate of collaboration, MEA developed and implemented a range of collaborative strategies.

These include:

- a joint venture agreement between the four universities;
- collaborative course teams;
- implementation of tools to support cross university teaching and assessment;
- implementation of tools and processes for cross university student collaborative assessment, moderation and evaluation processes;
- program leaders committee, and
- twice yearly academic workshops.

## 4. MEA MANAGEMENT STRUCTURE

The management structure of MEA is shown in Figure 4. It has a governing board, executive committee, program leaders committee and course leaders and course coordinators.

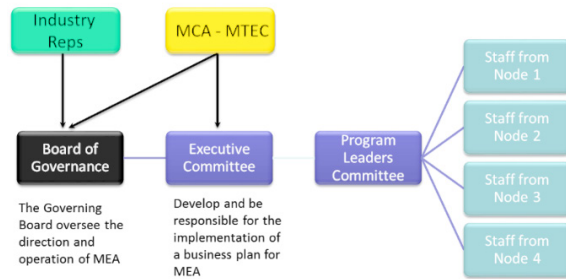


Figure 4. MEA Management Structure

## 5. GOVERNING BOARD

The MEA Governing Board has a member from each member universities, three members from the industry, the MEA Director and the director of MTEC, meets once a year and oversees the direction and operation of MEA. In particular, it:

- sets the strategic direction of MEA;
- is responsible for the financial management of MEA;
- sets goals and key performance indicators for MEA;
- approves the annual operating plan and budget;
- appoints the Director;
- approves the curriculum and the program content and structure; and
- develops and oversights student recruitment.

The Governing Board appoints a Director who is a senior academic of one of the Members. As a general rule, the appointment will rotate between academics of the Member Universities. The appointment may be on a part-time basis and is for a three year term, which may be renewed.

### 5.1. MEA Executive Committee

The Executive Committee is chaired by the Executive Director of MEA and comprises senior teaching nominees from each participating university and the Chairman of the Program Leaders' Committee. The committee meets at least four times a year and is responsible for implementing the business plan approved by the Board and pursuing the strategic objectives defined by the Board.

The MEA executive committee:

- develops and is responsible for the imple-

mentation of a business plan;

- implements the strategic directions and marketing plan;
- monitors and reports to the Board on the performance of MEA against the key performance indicators and goals set by the Governing Board; and
- Considers recommendations brought forward by the Program Leaders Committee regarding academic matters.

### 5.2. MEA Program Leaders Committee

Each university appoints a senior teaching academic as its Program Leader responsible for coordinating the undergraduate teaching program at that university. The Program Leaders are represented on the MEA Executive by their chairman and responsible for:

- designing and reviewing the program structure, content, delivery and resource requirements and allocation;
- approving course outlines, learning guides and assessment schedule;
- implementing and monitoring an assessment moderation process;
- approving the exchange of students between MEA partners;
- monitoring the level of collaboration within each of the course teams;
- reviewing and researching potential innovative teaching and learning technologies and encouraging their adoption in the MEA Program.

### 5.3. Course Leaders and Coordinators

The Program Leaders appoint Course Leaders at each university to be responsible for the development and delivery of each MEA course. For each course the Course Coordinators from each university work as a team under the leadership of the Course Leader.

### 5.4. MEA Academic Staff Workshops

Twice yearly all academic staff of MEA come together for three day workshops. This workshop is held in Sydney, Brisbane and Perth (or Kalgoorlie) in a rotating fashion. This workshop enables all participants to discuss different aspe-

cts of the project, participate in staff development workshops, assess the progress of the project, deal with any issues that might be impeding the project and build an understanding of the common goals and values of MEA. This workshop is a major change management strategy (Andrews and Lind, 2007).

### **5.5. Course Development and Improvement**

MEA currently supports 12 compulsory common courses during the final two years of mining engineering program at each member university complemented by a number of more specialised elective courses. Member universities continue to be responsible for the more general engineering education during the first two years of the degree.

MEA takes a collaborative approach to course development, delivery and assessment. Each course is developed by a team of academics consisting of a representative from each partner institution and includes a nominated course convenor and three node co-ordinators. Under the guidance of an educational consultant, a rigorous course development process ensuring alignment between course objectives, teaching and learning activities, graduate attributes and assessment was introduced and is an integral part of the development of all courses. This approach to course development was new to most of the academics in MEA and required them to build capacity to undertake the collaborative development essential for MEA's common curriculum and to design course that met industry requirements that specifically requested the development of workplace skills such as team work and communication.

In order to address regional differences and specialities, 80% of the content is core and 20% complimentary. Regular meetings occur between the course teams and the twice yearly workshops enable the course team members to work together to maintain high academic standards and implement any minor changes required. This rigorous approach to course design is now an integral part of MEA course development activities, with existing academics demonstrating high levels of expertise in the MEA curriculum design process and providing support in this regard to new academics coming into the program. This ensures the high standard of curriculum design implemented for the MEA course development process continues.

Course materials (learning guides, readers, slides, etc.) are professionally developed, reviewed by the industry and UQ's Teaching and Educational Development Institute (TEDI) and published for students. The materials are provided to students in the first week of each semester.

### **5.6. Course Evaluation and Improvement**

MEA has implemented a comprehensive course evaluation and improvement process. Feedback is received from the students for every course through end of semester evaluations. Course leaders collect the survey results from all MEA universities and analyse the results to identify any issues, develop an action plan to resolve these issues and report back to the Program Leaders Committee for implementation.

### **5.7. Collaboration Process**

MEA offers a unique opportunity for students at the partner institutions to access a much larger pool of expertise than is available through single institution programs. Academic staff who are expert in their teaching areas are called upon by other MEA universities to give a set of lectures to share their expertise with all MEA students. Using a range of technologies, including collaborative teaching tools such as Moodle, video conferencing and SparkPlus™, staff are able to teach across the institutions providing access to a rich pool of expertise and addressing shortfalls in expertise at individual institutions. The collaboration also enables cross-institutional student projects and other learning activities.

### **5.8. Quality Assurance and Moderation Process**

In order to ensure standardisation of assessment across the program, MEA developed standard criteria for projects, group work, presentations and assignments, with the ability to adapt for specific circumstances within the individual course. It was also recognised that in some cases course teams would need to develop criteria for specific assessment items not covered by the generic tools. This work was largely carried out by the program leaders committee with feedback from other staff. A moderation process for assignments and courses was also developed. It was decided that a sample of individual and group assessment items in three of the courses would be reviewed against the standardised assessment

criteria developed for each assessment item. An individual assignment, a group assignment and an individual examination made up this process.

### 5.9. Student Conference

MEA holds a student conference each year which showcases the best of high quality research projects undertaken by students enrolled in MEA mining engineering programs across Australia. The location of this conference is rotated each year between members' universities.

Up to five students selected from each university who are sponsored by MEA and their home university to attend and present their paper at the conference. In addition to each student receiving a certificate of participation and their paper published in the MEA journal, the best three presentations are awarded prizes. The judging panel comprises programme directors from each of the MEA universities for the selection of award winners.

The conference is telecast live and students at each university are encouraged to engage in the Conference. Students in Years 3 and 4 are particularly encouraged to view the telecast and participate during question time.

### 5.10. Journal of Research Projects Review

All papers presented at the MEA Student Conference are automatically eligible for inclusion in the journal of MEA Research Projects Review, following a peer review process. This journal is circulated to the industry and other stakeholders to highlight the quality of research projects undertaken by MEA undergraduate students by publishing a selection of only the best research papers.

The Course Convenor at each university may nominate up to two further papers for inclusion in the journal. Each submitted paper must be reviewed and co-authored by the student's supervisor.

### 5.11. MEA Student Exchange Program

As 3rd and 4th year curriculum of every MEA university is the same, any student from an MEA university can study at another MEA university as an exchange student for a semester or two in their 3rd or 4th year of study program. As the offered courses are the same at each institution, students have no problems with course selecti-

ons/ compatibility.

This exchange study program offers many benefits for students, including:

- spending one or two semester(s) at an MEA institution other than their home node;
- opportunity to meet and work with other student groups; and
- living and studying in different location;
- possibility to link in with summer industrial work experience.

## CONCLUSIONS

Mining Education Australia was developed to meet the increasing demand for mining industry professionals in an environment where limited funding exists within the conventional university system and to maintain a critical mass of suitably qualified academic staff. The initiative was stimulated by support and funding from the MCA representing the Australian mining industry. The MCA remains committed to the on-going financial support of MEA to deliver a world class program of undergraduate education in mining engineering.

MEA is unique from a world-wide perspective. Approximately 30 academics across four institutions develop and deliver a common curriculum. Commonly, academics develop and deliver their programs either individually or in teams within their own institutions. Developing an environment that encouraged collaboration between the different institutions and enabled the development of an agreed curriculum has been essential to the success of MEA.

MEA has become a successful initiative with superior education outcomes, including:

- a comprehensive educational program covering all aspects of mining engineering, technical, operational and social/community issues.
- improved and enhanced student experience through access to a combined national cohort of mining academics at four institutions and alternative and innovative delivery and learning methods; and
- student access to well prepared, up-to-date and quality assured teaching materials including course profiles, learning guides, reading material, slides, videos, mining industry software packages, and laboratories.

The success of the MEA was commended in the recent Accreditation Report by Engineers Australia to the School of Engineering, citing “Team skills, project management, sustainability and ethics are all well covered throughout the program, and the implementation of MEA has assisted in mapping graduate attributes well to course content”. MEA provides industry with graduates equipped with professional skills, life-long learning capabilities and exposure to a standard curriculum.

## REFERENCES

Andrews, T. and Lind, G., 2007. Enabling collaboration: Staff perceptions of a national mining engineering collaboration. Proceedings of the 2007 AAEE Conference, Melbourne.

MCA, 1998. Back from the brink, reshaping minerals tertiary education, discussion Paper. Minerals Council of Australia, national tertiary education taskforce. MCA, Braddon ACT, Australia.

MTEC, 2015. The Minerals Tertiary Education Council, <http://www.mtec.org.au/>.

Tuckwell, K., 2004. Australian Undergraduate School of Mining, AuSMin. Internal presentation, MCA-MTEC, Hobart, Tasmania.





 **25<sup>th</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey**  
IMCET 2017  
Mining is forever

11-14 April / Nisan 2017  
*Antalya*

**Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi**  
**TUMAKS 2017**

 TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey



[www.imcet.org.tr](http://www.imcet.org.tr)



**ULUSLARARASI MADENCİLİK VE ÇEVRE SEMPOZYUMU**

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINING AND ENVIRONMENT

27-29 EYLÜL 2017  
SEPTEMBER 27-29, 2017

**BODRUM, MUĞLA/TÜRKİYE**



TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey

 TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
Adana Şubesi



**ULUSLARARASI MADEN İŞLETMELERİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI ve İŞ GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU'2017**

**2-3 - KASIM 2017**  
**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ MİTHAT ÖZSAN AMFİSİ ADANA**

**İLETİŞİM**  
TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Şubesi  
web : [www.madenisg.org](http://www.madenisg.org)  
e-posta : [isg@madenisg.org](mailto:isg@madenisg.org)

Tel. : 0 322 459 97 60  
: 0 546 425 10 76  
Faks : 0 322 459 97 61

13-15 December / Aralık 2017  
*Antalya/Türkiye*

**9<sup>th</sup> International Marble & Natural Stone Congress and Exhibition of Turkey**

**Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi**  
**MERSEM2017**



 TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey

[www.mersem.org.tr](http://www.mersem.org.tr)



ISSN 2564-7024



9 772564 702003