

Özcan Öney
Selçuk Samanlı

Zonguldak İnce Kömürlerinin Kaba Flotasyon Parametrelerinin Cevap Yüzeyi Metodu ile Optimizasyonu
Optimization of Rougher Flotation Parameters of Zonguldak Fine Coal Using Response Surface Methodology

Can Güngören
Şafak Gökhan Özkan
Hasan Hacıfazlıoğlu

Mikrodalga Kurutmanın Linyit Kömürünün Öğütülebilirliğine Etkisi
Effect of Microwave Drying on the Grindability of Lignite Coal

Bülent Erdem
Atilla Ceylanoğlu
Zekeriya Duran

Alev Yürütmez Bant Kullanımının Yeraltı Metal Madenciliği İçin Değerlendirilmesi
Evaluation of Flame Retardant Belt Usage for Underground Metal Mining

Mehmet Suphi Ünal
Süleyman Yasin Kılıoğlu
Bahtiyar Ünver

Maden Ekipmanları Patlatmazlık (Ex-Proof) Sertifikalarının Karşılaştırılması
Comparison of Explosion Proof Certificates of Mining Equipment

Bilimsel Madencilik Dergisi'ne Makale Gönderilmesi, Yazım Kuralları ve Yayına Kabul İlkeleri

2016 Yılı Hakem Listesi



BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ

Scientific Mining Journal

Cilt / Vol: 55, Sayı / No: 4, Aralık / December, 2016

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 Editör / 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. Dergide yeraltı ve açık ocak işletmeciliği, cevher/kömür hazırlama ve zenginleştirme gibi madencilğin 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 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.

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

Makalelerin değerlendirilmesinde katkıda bulunan hakemlerin listesi her cildin son sayısında yayımlanacaktır.

The list of referees reviewing the articles will be published in the last issue of each volume.

Bilimsel
madencilik
SCIENTIFIC MINING JOURNAL
DERGİSİ

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

ARALIK
DECEMBER
2016

CİLT
VOLUME
55

SAYI
NUMBER
4

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Özcan Öney
Selçuk Samanlı
- 3**
- Zonguldak İnce Kömürlerinin Kaba Flotasyon Parametrelerinin Cevap Yüzeyi Metodu ile Optimizasyonu**
Optimization of Rougher Flotation Parameters of Zonguldak Fine Coal Using Response Surface Methodology
- Can Güngören
Şafak Gökhan Özkan
Hasan Hacıfazlıoğlu
- 15**
- Mikrodalga Kurutmanın Linyit Kömürünün Öğütülebilirliğine Etkisi**
Effect of Microwave Drying on the Grindability of Lignite Coal
- Bülent Erdem
Atilla Ceylanoğlu
Zekeriya Duran
- 23**
- Alev Yürütmez Bant Kullanımının Yeraltı Metal Madenciliği İçin Değerlendirilmesi**
Evaluation of Flame Retardant Belt Usage for Underground Metal Mining
- Mehmet Suphi Ünal
Süleyman Yasin Kılıoğlu
Bahtiyar Ünver
- 37**
- Maden Ekipmanları Patlatmazlık (Ex-Proof) Sertifikalarının Karşılaştırılması**
Comparison of Explosion Proof Certificates of Mining Equipment
- 47**
- Bilimsel Madencilik Dergisi'ne Makale Gönderilmesi, Yazım Kuralları ve Yayına Kabul İlkeleri**
- 51**
- 2016 Yılı Hakem Listesi**

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 / 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

Baskı yeri / Printed at: Korza Matbaası

Baskı Tarihi ve saati / Printing date: 16.12.2016 at 09:00

Basım adedi / Number of printed copy: 1000



Orijinal Araştırma / Original Research

ZONGULDAK İNCE KÖMÜRLERİNİN KABA FLOTASYON PARAMETRELERİNİN CEVAP YÜZEYİ METODU İLE OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF ROUGHER FLOTATION PARAMETERS OF ZONGULDAK FINE COAL USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Özcan Öney^{a,*}, Selçuk Samanlı^a

^a Uşak Üni. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., UŞAK

Geliş Tarihi / Received : 23 Temmuz / July 2016

Kabul Tarihi / Accepted : 11 Ekim / October 2016

Anahtar Sözcükler:

Kömür flotasyonu,
cevap yüzeyi metodu,
modelleme,
optimizasyon

Keywords:

Coal flotation,
response surface methodology,
modeling,
optimization

ÖZET

Bu çalışmada; Zonguldak ince kömürlerinin (tane boyutu; -0,5 mm, kül; % 46,10) kaba flotasyon parametrelerinin modellenmesi ve optimizasyonu cevap yüzeyi metodu ile araştırılmıştır. Bağımsız değişkenler; gazyağı miktarı (x_1), metilizobütilkarbinol miktarı (x_2), sodyum silikat miktarı (x_3) ve katı oranının (x_4) bağımlı değişkenler; kaba konsantré ağırlığı (y_1), kaba konsantré külü (y_2) ve yanabilir verim (y_3) üzerindeki etkisi merkezi bileşik dönersel tasarımı ile araştırılmış ve her bir bağımlı değişken için model eşitlikleri geliştirilmiştir. Sonuçlar varyans analizi ile değerlendirilmiş olup, modellerin doğruluğu ve geçerliliği tartışılmış ve üç boyutlu grafikleri çizilmiştir. Design Expert 8.0.7.1 yazılım programı ile optimum yaklaşımda; ağırlıkça % 64,54 kaba konsantré elde edileceği ve bunun kül oranının % 23,88 ve yanabilir verimin de % 91,78 değerlerinde elde edileceği hesaplanmıştır. Bu sonuçlara, 200 g/t gazyağı, 125 g/t MIBC, 1846 g/t sodyum silikat miktarlarında ve % 10 katı oranında çalışıldığında ulaşılabilecek belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this study; modeling and optimization of rougher flotation parameters of Zonguldak fine coal (particle size; -0.5 mm, ash content; 46.10 %) was investigated by using response surface method. Central composite rotatable design was employed to evaluate the influence of independent variables; kerosene dosage (x_1), methyl isobutyl carbinol (MIBC) dosage (x_2), sodium silicate dosage (x_3) and the solid ratio (x_4) on the dependent variables; the weight of the rougher concentrate (y_1), the ash content of the rougher concentrate (y_2), and the combustible yield (y_3). Model equations were developed for each dependent variables and then results were evaluated by using analysis of variance. The accuracy and validity of the models were discussed and three-dimensional graphics were plotted. The optimum conditions were calculated by using Design Expert 8.0.7.1 software program. It was determined rougher concentrate could be obtained with the weight of 64.54 %, the ash content of 23.88 % and the combustible yield of 91.78 %. These results were taken with the help of parameters; 200 g/t diesel oil, 125 g/t MIBC, 1846 g/t sodium silicate and 10 % solid ratio.

* ozcan.oney@usak.edu.tr

GİRİŞ

Köpük flotasyonu karbon içeren materyalin kül içeren mineral maddelerden ayrılmasında, ince kömürler (-0,5 mm) için en etkili yöntemdir (Naik vd., 2005). Kömürlerin flotasyon yeteneği; kömürleşme derecesine, kül içeriğine, nem taşıma ve yüzey oksidasyonu özelliklerine bağlı olarak değişir (Kemal, 1987; Kural, 1991; Bilir, 2011).

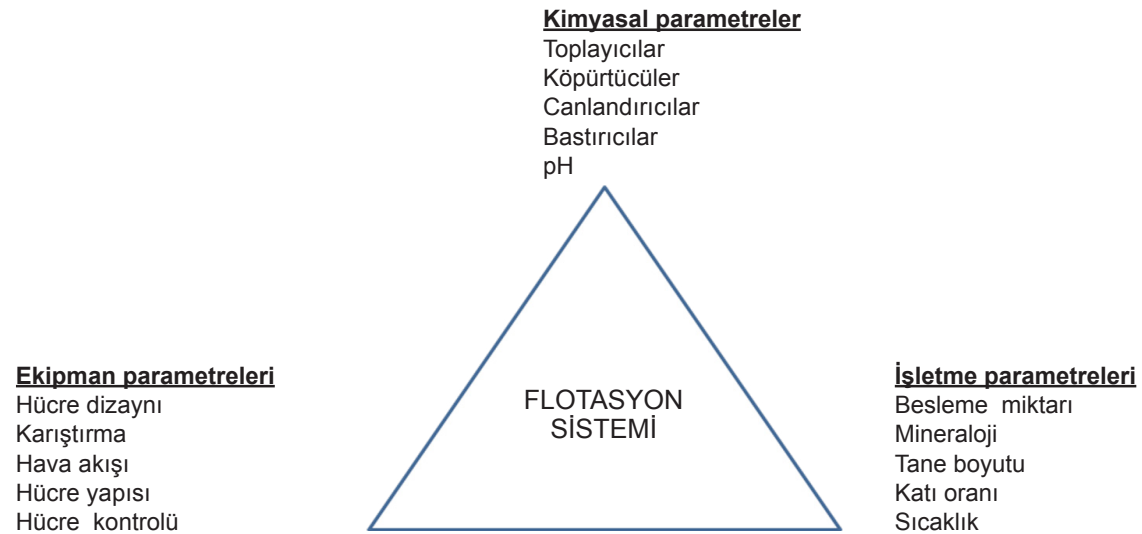
Reaktif türleri ve miktarları flotasyon işleminin en önemli parçasını oluşturmaktadır (Vazifeh vd., 2010). Yüksek dereceli kömürün reaktif tüketimi, doğal olarak su iter özelliği nedeniyle azdır (Jia vd., 2002; Laskowski vd.,1984). Kömür flotasyonunda en etkili toplayıcılar; suda düşük çözünürlüğe sahip petrol, ağaç ve kömürden türetilen yağlardır. Gazyağı, mazot ve ham petrol bu toplayıcılara örnek olarak verilebilir. Kömür flotasyonunda, mono hidrik alifatik alkoller ve monokarboksilik asitler iyi köpürtücü özelliğe sahip olarak değerlendirilirler. Hidrokarbon radikali 5 ile 8 karbon atomu içeren ve özellikle en uygunu 8 olan köpürtücüler iyi köpürtücülerdir. Köpürtücü olarak amil, heksil, heptil ve oktil alkoller sayılabilir. Metilzobütil karbinol (MIBC) de sıklıkla kullanılan bir alifatik alkol olup aynı zamanda toplayıcı özelliğe de sahiptir. Read ve Rapp (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, bu köpürtücünün ince tane boyutunda daha etkili olduğu belirtilmektedir. Yüksek kil, silikat ve özellikle kuvars içeren şlamlarda bastırıcı olarak sodyum silikat, heksametafosfat, lignin ve diğer polimerik sülfonatlar, quebrecho ve tanin kullanılır (Öney, 1993). Toplayıcı olarak gazyağı, köpürtücü olarak MIBC, bastırıcı olarak sodyum

silikatın kullanıldığı kömür flotasyon çalışması Sivrikaya 2014 tarafından yapılmıştır (Sivrikaya, 2014). Kömür flotasyon devrelerinde katı oranı hesaplanırken kömürün diğer cevherlere göre düşük olan yoğunluğu mutlaka dikkate alınmalıdır. Bunun için katı oranları diğer cevherlere göre düşük seçilmelidir. Kömür için en uygun olan katı oranı %12 olarak tespit edilmiştir. Bu orana kadar flotasyon hızı sabit kalmakta, daha yüksek katı oranlarında hız azalmaktadır (Kural,1991). Kömür flotasyon devreleri genellikle bir kaba flotasyon aşaması ve bazen de süpürme devresi içerebilir (Çilek, 2013).

Köpük flotasyonunda birçok parametre birbiri ile yüksek oranda ilişkilidir. Bu yüzden köpük flotasyonu işlemlerinde bütün faktörleri dikkate almak gereklidir. Bir parametredeki (örneğin besleme oranı) değişim otomatik olarak sistemdeki diğer parametreleri (flotasyon oranı, tane boyutu kazanımı, hava akışı, katı oranı vb.) doğrudan etkileyecektir. Sonuçta, tek bir faktörün etkilerini araştırmak zordur ve sistemde dengeleme etkileri işlemde beklenen etkileri değiştirebilir (Anon, 2016).

Ayrıca flotasyon verimine etki eden parametreler Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu parametrelerden kimyasal parametrelerin diğerlerine göre daha büyük etkisinin olduğu belirtilmektedir (Klimpel,1995).

Klasik yöntemlerle, uygun deney koşullarının bulunması için çok sayıda deney yapmak gereklidir ve deney değişkenlerinin birbirleri üzerine olan etkilerini görmek yine de mümkün olmayabilir (Erşan ve Açıklak, 2014). Cevher zenginleştirme



Şekil 1. Flotasyon sistemi ve parametresel değişim bölgeleri (Klimpel, 1995)

ve kömür hazırlama laboratuvarlarındaki deney koşulları göz önüne alındığında; bu deneyleri en aza indirmek, en verimli şekilde gerçekleştirebilmek ve sonuçları doğru yorumlayabilmek için deney tasarımı yöntemlerinin uygulaması son derece önemlidir (Bilir, 2011).

Çok sayıda parametrenin sonuç üzerinde etkili olduğu sistemler için, parametrelerin birbiri üzerine etkilerini de ortaya koymak üzere geliştirilmiş olan istatistiksel yöntemler, deney tasarımı ve değişken parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini belirlemede ve yorumlanmasında kullanılmaktadır. İstatistiksel temele dayanan kullanılabilir yöntemlerin başında cevap yüzey yöntemleri (CYY) gelmektedir (Turan ve Altundoğan, 2011).

Cevap yüzey yöntemi (CYY), "Denemelerin Optimum Koşullara Ulaşması" ismi ile 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmiş ve tanımlanmıştır. Box ve Wilson mümkün olan en az sayıda gözlem değeri ile cevap yüzeyi üzerinde bağımlı değişkenin maksimum noktaya ulaşılmasını amaçlayan deneme düzenini ortaya koymuşlardır. Bu amaçla bazı deneme düzenlerini karşılaştırmış ve kompozit denemeleri tanımlamışlardır (Mead ve Pike, 1975; Turan ve Altundoğan, 2011). Cevap yüzey yöntemi, proseslerin geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikte kullanıldığı bir yöntem olarak tanımlanmıştır (Turan ve Altundoğan, 2011). CYY yönteminde ilk adım cevap değişkeni üzerinde etkisi olduğu düşünülen etkenleri yani bağımsız değişkenleri belirlemektir. Bu adımdan sonra, cevap yüzeyi yönteminde deney tasarımı, regresyon modelleme ve optimizasyon teknikleri iç içe kullanılır (Baş, 2010). En çok kullanılan CYY tasarımları; 'CCD-Merkezi bileşik tasarımı' ve 'Box-Behnken tasarımı' dır (Erdoğan, 2007).

Bu çalışmada, dört bağımsız değişken; gazyağı miktarı (x_1), MIBC miktarı (x_2), Sodyum silikat miktarı (x_3) ve katı oranı (x_4) kullanılarak Zonguldak-Kozlu bölgesi ince kömürlerinin kaba flotasyon parametrelerinin optimizasyonu cevap yüzeyi metodu ile yapılmıştır. Bu parametrelerin kaba konsantre ağırlığı (y_1), kaba konsantre külü (y_2) ve yanabilir verim (y_3) üzerindeki etkisi merkezi bileşik dönersel tasarımı ile incelenmiş ve matematiksel modeller geliştirilmiştir. Ayrıca; üç boyutlu cevap yüzeyi şekilleri çizilerek bağımsız değişkenlerin birbirleri ve cevapları ile olan etkisi ortaya konulmuştur.

1. MALZEME VE YÖNTEM

1.1. Numune özellikleri ve flotasyon deneyleri

Deneylerde Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Kozlu Taşkömürü Müessesesi Müdürlüğü Lavvarı filtrasyon ünitesine besleme kısmından alınan şlam numunesi (-0,5 mm) numuneler kullanılmıştır. Kozlu lavvarı şlam numunesi üzerinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir. Numunenin havada kuru analizine göre nem oranı % 0,4, uçucu madde oranı % 20,01 ve sabit karbon % 33,49 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Kozlu lavvarı şlam numunesi analizi

		Havada kuru	Kuru
Nem	(%)	0,4	--
Kül	(%)	46,1	46,29
Uçucu Madde	(%)	20,01	20,09
Sabit Karbon	(%)	33,49	33,62
Toplam		100	100

1.2. Merkezi bileşik dönersel tasarımı

Merkezi bileşik dönersel tasarımı grafik oluşturmayı sağlayan, genişletilmiş merkez noktaları içeren deneysel tasarım metodudur. Her bir faktör için merkez noktadan uzaklık faktöriyel noktalar için ± 1 birim, orta noktalar için 0 ve yıldız noktalar için faktöriyel noktaların ötesinde $\pm \beta$ birimdir. Yıldız noktalar dönerselliği sağlamak amacıyla seçilir (Box ve Hunter, 1957). Merkezi bileşik dönersel tasarım için gerekli deney sayısı; k bağımsız değişken sayısı olmak üzere merkezde 2^k faktöriyel, ikinci dereceden terimleri oluşturmak amacıyla β olarak belirtilen yıldız noktalarında $2k$ faktöriyel ve merkezdeki deneylerin tekrarından oluşmaktadır. Merkezdeki deneylerin tekrarı deneysel hataların tahmin edilmesi açısından çok önemlidir. Dört değişken için merkezde yapılması önerilen test sayısı 6'dır. Böylece dört bağımsız değişken için gerekli deney sayısı $2^4 + (2 \times 4) + 6 = 30$ 'dur (Aslan vd, 2008; Obeng vd, 2005; Box ve Hunter, 1957).

Bu çalışmada; ince kömürlerin kaba flotasyonunda cevap fonksiyonları (kaba konsantre ağırlığı, kaba konsantre külü ve yanabilir verim) ve bağımsız değişkenler (gazyağı, MIBC, sodyum silikat miktarları ve katı oranı) arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek amacıyla merkezi bileşik dönersel deney tasarımı seçilmiştir. Klasik flotasyon deneyleri sonucunda belirlenen en uygun reaktif

cinsleri dikkate alınarak, bağımsız değişkenler; gazyağı miktarı (100-500 g/t), MIBC miktarı (50-150 g/t), sodyum silikat miktarı (500-2500 g/t) ve % katı oranı (8-16) olarak belirlenmiştir. Çalışılan merkezi bileşik dönersel tasarım yönteminde incelenmek üzere kodlanmış değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişki Çizelge 2'de sunulmaktadır. Flotasyon deneylerinde doğal ortam pH'ı (8) ve karıştırma hızı 1400 dev/dk sabit (kontrol değişkeni) tutulmuştur. Flotasyon deneylerinde 3 dk koşullandırma işlemi sonrası bastırıcı, toplayıcı ve köpürtücü reaktifleri ilave edilmiştir. Her bir reaktif ilave edildikten sonra 3 dakika koşullandırma yapılmış ve 3 dakika süre ile de köpük toplanmıştır.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan bağımsız değişkenler ve miktarları

Bağımsız Değişkenler	Sembol	Kodlanmış bağımsız değişkenler					
		En düşük	Düşük	Merkez	Yüksek	En yüksek	
		-2	-1	0	1	2	
Gazyağı miktarı	(g/t)	x_1	100	200	300	400	500
MIBC miktarı	(g/t)	x_2	50	75	100	125	150
Sodyum silikat miktarı	(g/t)	x_3	500	1000	1500	2000	2500
Katı oranı	(g/t)	x_3	8	10	12	14	16

DeneySEL çalışmalarından cevap verileri elde edildiğinde, cevap modelin katsayılarını standart sapmalarını ve büyüklüğünü saptamak için regresyon analizi yapılır. Bağımlı değişkenleri açıklamak için kullanılan ikinci derece polinom eşitliği aşağıda verilmektedir.

$$y_n = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 b_i x_i + \sum_{i=1}^4 b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i+1}^4 b_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots (1)$$

Burada y_n bağımlı değişkenler (kaba konsantre ağırlığı, kaba konsantre külü ve yanabilir verim) x_1, x_2, x_3 ve x_4 cinsinden kodlanmış bağımsız değişkenlerin fonksiyonudur. β_0 regresyon katsayısı, ε hata, b_i doğrusal katsayı, b_{ii} ikinci dereceden katsayılar ve b_{ij} ikili etkileşim katsayılarıdır.

İstatistiksel analizler Design Expert 8.0.7.1 yazılım programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar varyans analizi (ANOVA) ile % 95 güvenlilik oranında istatistiksel olarak test edilmiştir. Kaba konsantre ağırlığı, kaba konsantre külü ve yanabilir verimi açıklamak için bağımsız değişkenlere bağlı olarak ikinci dereceden denklemler geliştirilerek analiz edilmiştir. Ayrıca her üç bağımlı değişken için üç boyutlu grafikler çizilerek yorumlanmıştır.

2. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Merkezi bileşik dönersel tasarıma göre; 6 ade-di orta noktalarda olmak üzere toplam 30 deney yapılmıştır. Deneysel tasarımda kodlanmış ve gerçek bağımsız değişken değerleri ve deneyler sonucunda elde edilen kaba konsantre ağırlığı, kaba konsantre külü ve yanabilir verim değerleri Çizelge 3'te verilmektedir.

Elde edilen sonuçlar, Design Expert 8.0.7.1 yazılım programında çoklu regresyon analizine tabi tutulmuştur. Çizelge 4'de bağımlı değişkenler için çoklu belirtme katsayı tablosu verilmektedir. Eğer modelde pek çok değişken varsa ve örnek miktarı çok değilse ayarlamalı R^2 değeri, R^2 'den

belirgin şekilde küçük olabilir. Sonuç olarak, bu değerlerin birbirine ve 1'e yaklaşması modelin başarısını göstermektedir (Erşan ve Açıknel, 2014). Kaba konsantre ağırlığı için ikinci derece regresyon denklemi çoklu belirtme katsayısı R^2 0,9789 olarak hesaplanmıştır. Bu da eşitliğin sağ tarafındaki 4 bağımsız açıklayıcı değişkenin beraberce ağırlık oranındaki değişimin % 97,89'unu açıkladığını göstermektedir. Ayrıca; 0,8795 tahmini R^2 değeri 0,9579 ayarlamalı R^2 değeri ile uyumluluk göstermektedir. Kaba konsantre külü ve yanabilir verim için çoklu belirtme katsayıları da yaklaşık olarak benzer sonuçlar vermiştir. Bu da modellerin kullanılabilir modeller olduğunu göstermektedir.

Yeterli kesinlik, sinyal gürültü oranını gösterir. Sinyal gürültü oranının ise 4'ün üstünde olması beklenir (Erşan ve Açıknel, 2014). Bu çalışmada elde edilen verilerin Design Expert programı ile değerlendirilmesi sonucunda; kaba konsantre ağırlığı için bulunan sinyal gürültü oranı 24,405 olup yeterli sinyale işaret etmektedir. Yine, kaba konsantre külü için 28,129 ve yanabilir verim için 20,959 değerleri hesaplanmış olup, yeterli sinyal olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 3. Kodlanmış ve gerçek bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken değerleri

Deney No	Kodlanmış bağımsız değişkenler				Bağımsız değişken miktarları				Deneysel bağımlı değişken değerleri			
	x_1	x_2	x_3	x_4	Gazyağı miktarı	MIBC miktarı	Sodyum silikat miktarı	Katı oranı	Temiz kömür ağırlığı	Temiz kömür külü	Yanabilir verim	
					(g/t)	(g/t)	(g/t)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1	-1	-1	-1	1	200	75	1000	14	61,22	22,09	89,11	
2	-1	-1	1	-1	200	75	2000	10	55,81	18,72	85,15	
3	-1	1	-1	-1	200	125	1000	10	65,33	25,34	91,65	
4	-1	1	1	1	200	125	2000	14	65,85	25,40	89,81	
5	1	-1	-1	-1	400	75	1000	10	58,78	21,11	85,20	
6	1	-1	1	1	400	75	2000	14	61,60	24,78	89,87	
7	1	1	-1	1	400	125	1000	14	66,16	25,93	92,33	
8	1	1	1	-1	400	125	2000	10	65,06	25,18	91,79	
9	0	0	0	0	300	100	1500	12	63,65	24,14	91,38	
10	0	0	0	0	300	100	1500	12	64,77	24,41	91,68	
11	-1	-1	-1	-1	200	75	1000	10	56,89	19,09	86,17	
12	-1	-1	1	1	200	75	2000	14	61,47	21,66	88,38	
13	-1	1	-1	1	200	125	1000	14	65,31	24,71	92,03	
14	-1	1	1	-1	200	125	2000	10	63,64	23,08	91,30	
15	1	-1	-1	1	400	75	1000	14	62,48	22,90	90,84	
16	1	-1	1	-1	400	75	2000	10	57,57	19,00	86,75	
17	1	1	-1	-1	400	125	1000	10	63,96	24,42	90,48	
18	1	1	1	1	400	125	2000	14	65,62	28,12	91,92	
19	0	0	0	0	300	100	1500	12	64,12	24,56	92,08	
20	0	0	0	0	300	100	1500	12	63,67	23,98	90,72	
21	-2	0	0	0	100	100	1500	12	62,55	22,46	90,38	
22	2	0	0	0	500	100	1500	12	65,54	25,78	92,33	
23	0	0	0	0	300	100	1500	12	65,34	25,48	91,99	
24	0	-2	0	0	300	50	1500	12	56,03	18,15	84,94	
25	0	2	0	0	300	150	1500	12	68,31	27,58	93,11	
26	0	0	-2	0	300	100	500	12	66,37	26,14	89,46	
27	0	0	2	0	300	100	2500	12	65,29	25,01	89,24	
28	0	0	0	-2	300	100	1500	8	58,00	20,56	87,00	
29	0	0	0	2	300	100	1500	16	66,35	25,62	92,39	
30	0	0	0	0	300	100	1500	12	64,56	24,72	92,24	

Çizelge 4. Model özet istatistikleri

		Std. Sapma	Belirleme katsayısı-R ²	Ayarlamalı R ²	Tahmini R ²
Temiz kömür ağırlığı	(%)	0,69	0,9789	0,9579	0,8795
Temiz kömür külü	(%)	0,52	0,981	0,9620	0,8879
Yanabilir verim	(%)	0,51	0,9788	0,9575	0,8904

2.1. Kaba konsantre ağırlığı

Kaba konsantre ağırlığı için yapılan varyans analizi Çizelge 5'de verilmektedir. F-değeri olan 46,48 modelin önemli olduğunu göstermektedir. Probabilite değerinin 0,05'ten küçük olması model terimlerinin önemli olduğunu göstermektedir. Bu durumda, kaba konsantre ağırlığı için x_1 , x_2 , x_4 , x_2x_4 , x_1^2 , x_2^2 ve x_4^2 önemli model parametreleridir.

Uyum eksikliği, regresyonda içerilmeyen noktalarda deneysel kümedeki verileri göstermek için modelin başarısını ölçer (Erşan ve Açıknel, 2014).

Uyum eksikliği değeri 1,93 uyum eksikliğinin hataya bağlı olarak önemli olmadığını, uyum eksikliği (F-değeri) 0,2754 bu değer % 27,54 ihtimalle uyumsuzluk göstereceğini belirtmektedir.

Kaba konsantre ağırlığı (y_1) için kodlanmış değerler üzerinden ikinci dereceden polinom aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$y_1 = 64,57 + 0,49x_1 + 2,90x_2 + 1,56x_4 - 0,80x_2x_4 - 0,31x_1^2 - 0,77x_2^2 - 0,65x_4^2 \dots \dots \dots (2)$$

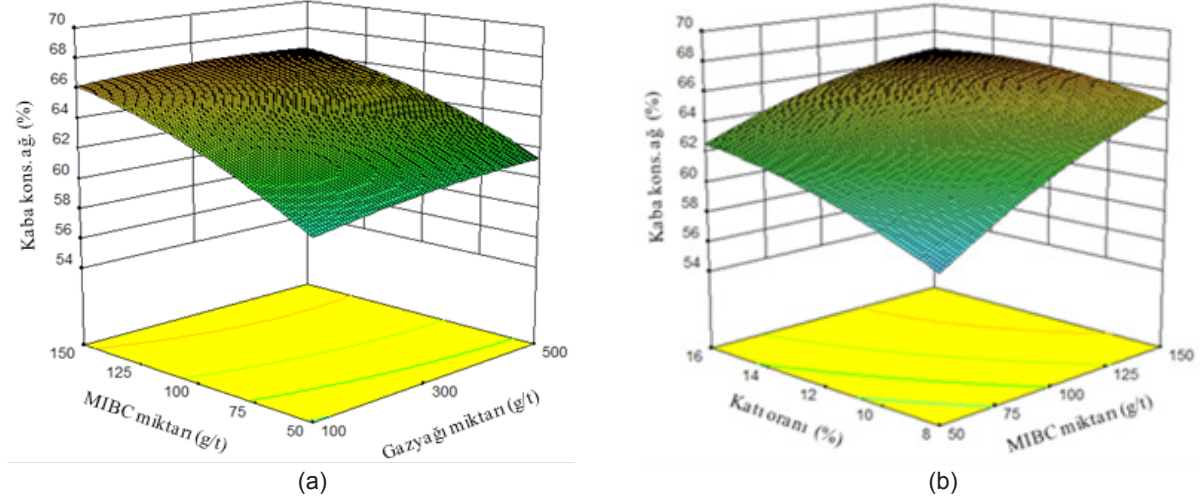
Sonuçların daha iyi anlaşılması amacıyla çizilen üç boyutlu grafikler Şekil 2'de verilmektedir. Kaba konsantre ağırlığı en düşük MIBC miktarı

Çizelge 5. Kaba konsantre ağırlığı için yapılan varyans analizi (ANOVA)

	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Ort. kareler	F Değeri	p-değeri
Model	308,08	14	22,01	46,48	< 0,0001
Gazyağı miktarı (x_1)	5,70	1	5,70	12,03	0,0038
MIBC miktarı (x_2)	202,33	1	202,33	427,39	< 0,0001
Sodyum silikat miktarı (x_3)	1,34	1	1,34	2,83	0,1145
Katı oranı (x_4)	58,20	1	58,20	122,94	< 0,0001
$x_1 x_2$	1,19	1	1,19	2,51	0,1357
$x_1 x_3$	0,01	1	0,01	0,03	0,8738
$x_1 x_4$	0,18	1	0,18	0,38	0,5474
$x_2 x_3$	0,34	1	0,34	0,72	0,4095
$x_2 x_4$	10,18	1	10,18	21,50	0,0004
$x_3 x_4$	0,32	1	0,32	0,67	0,4271
x_1^2	2,60	1	2,60	5,50	0,0343
x_2^2	16,47	1	16,47	34,80	< 0,0001
x_3^2	0,53	1	0,53	1,11	0,3094
x_4^2	11,64	1	11,64	24,58	0,0002
Artık	6,63	14	0,47		
Uyum eksikliği	5,49	10	0,55	1,93	0,2754
Hata	1,14	4	0,28		
Toplam	325,72	29			

ve en düşük gazyağı miktarında % 59,80 ile en az orandadır. MIBC miktarı ve gazyağı miktarı arttıkça kaba konsantre ağırlığı artmaktadır. Şekil 2 (a), Şekil 2 (b)'den de görüleceği üzere en az MIBC miktarında (50 g/t) ve en az katı oranında

fiklari sunulmaktadır. Şekil 3 (a)'dan görüleceği üzere; kaba konsantre külü her iki reaktif miktarı arttıkça artış göstermektedir. % 26,75 ile en yüksek kül oranına en yüksek gazyağı miktarı (500 g/t) ve en yüksek MIBC miktarında (150 g/t) ula-



Şekil 2. (a) Kaba konsantre ağırlığının MIBC miktarı ve gazyağı miktarıyla değişimini gösteren üç boyutlu grafik (Sodyum silikat miktarı ve katı oranı orta noktada sabit tutularak)

(b) Kaba konsantre ağırlığının MIBC miktarı ve katı oranıyla değişimini gösteren üç boyutlu grafik (Sodyum silikat miktarı ve gazyağı miktarı orta noktada sabit tutularak)

(% 8) kaba konsantre ağırlığı % 57,92 iken, en yüksek MIBC miktarı olan 150 g/t seviyesinde bu değer % 65,25 seviyelerindedir. Kaba konsantre ağırlığı üzerinde MIBC miktarı katı oranına göre daha fazla pozitif olarak etki etmektedir.

2.2. Kaba konsantre külü

Kaba konsantre külü için yapılan varyans analizi Çizelge 6'da verilmektedir. F-değeri olan 51,57 modelin önemli olduğunu göstermektedir. Probabilite değerinin 0,05'ten küçük olan terimleri dikkate alındığında, kaba konsantre külü için önemli bağımsız parametreler $x_1, x_2, x_4, x_1x_3, x_2x_4, x_3x_4, x_1^2, x_2^2$ ve x_4^2 dir. Uyum eksikliği değeri 2,69 uyum eksikliğinin hataya bağlı olarak önemli olmadığını belirtmektedir.

Kaba konsantre külü için (y_2) kodlanmış değerler üzerinden ikinci derece polinom aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$y_2 = 24,67 + 0,78x_1 + 2,18x_2 + 1,27x_4 + 0,36x_3 - 0,51x_2x_4 + 0,56x_3x_4 - 0,23x_1^2 - 0,54x_2^2 - 0,49x_4^2 \dots \dots \dots (3)$$

Şekil 3'te bağımsız değişkenlerin kaba konsantre külünde değişimini gösteren üç boyutlu gra-

şılmaktadır. Bastırıcı olarak kullanılan sodyum silikatın etkisi kaba konsantre külü üzerindeki etkisi oldukça azdır. 100 g/t gazyağı miktarında ve 500 g/t sodyum silikat miktarında kaba konsantre külü % 24,26 iken aynı gazyağı miktarında ve 2500 g/t olarak en yüksek sodyum silikat miktarında % 23,34 olmuştur. Benzer durumlar diğer gazyağı miktarları için de geçerlidir (Şekil 3 (b)).

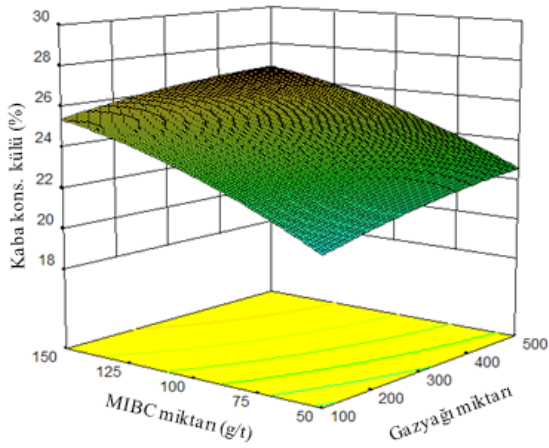
2.3. Yanabilir verim

Yanabilir verim için yapılan varyans analizi Çizelge 7'de verilmektedir. F-değeri olan 46,07 modelin önemli olduğunu göstermektedir. Probabilite değerinin 0,05'ten küçük olan terimleri dikkate alındığında, yanabilir verim için önemli bağımsız parametreler $x_1, x_2, x_4, x_1x_3, x_1x_4, x_2x_4, x_3x_4, x_2^2, x_3^2$ ve x_4^2 dir. Uyum eksikliği değeri 1,03 olarak hesaplanarak kaba konsantre ağırlığı ve kaba konsantre külü için hesaplanan değerlere göre daha azdır. Bu durumda yanabilir verim (y_3) için kodlanmış değerler üzerinden ikinci derece polinom aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

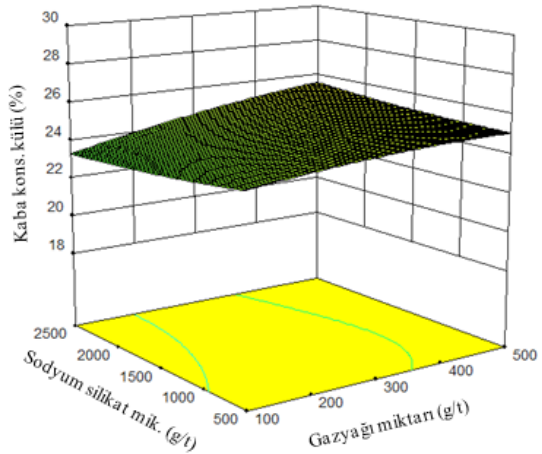
$$y_3 = 91,75 + 0,37x_1 + 1,85x_2 + 1,18x_4 + 0,47x_1x_3 + 0,47x_1x_4 - 0,84x_2x_4 - 0,40x_3x_4 - 0,72x_2^2 - 0,64x_3^2 - 0,55x_4^2 \dots \dots \dots (4)$$

Çizelge 6. Kaba konsantre külü için yapılan varyans analizi (ANOVA)

	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Ort. kareler	F Değeri	p-değeri
Model	196,05	14	14,00	51,57	< 0,0001
Gazyağı miktarı (x_1)	14,59	1	14,59	53,73	< 0,0001
MIBC miktarı (x_2)	114,34	1	114,34	421,07	< 0,0001
Sodyum silikat miktarı (x_3)	0,28	1	0,28	1,05	0,3236
Katı oranı (x_4)	38,64	1	38,64	142,30	< 0,0001
$x_1 x_2$	0,21	1	0,21	0,76	0,3988
$x_1 x_3$	2,11	1	2,11	7,77	0,0145
$x_1 x_4$	0,85	1	0,85	3,13	0,0986
$x_2 x_3$	0,61	1	0,61	2,25	0,1562
$x_2 x_4$	4,09	1	4,09	15,06	0,0017
$x_3 x_4$	5,07	1	5,07	18,67	0,0007
x_1^2	1,44	1	1,44	5,32	0,0369
x_2^2	8,12	1	8,12	29,91	< 0,0001
x_3^2	0,50	1	0,50	1,83	0,1978
x_4^2	6,50	1	6,50	23,96	0,0002
Artık	3,80	14	0,27		
Uyum eksikliği	3,31	10	0,33	2,69	0,1764
Hata	0,49	4	0,12		
Toplam	203,66	29			



(a)



(b)

Şekil 3. (a) Kaba konsantre külünün MIBC miktarı ve gazyağı miktarıyla değişimini gösteren üç boyutlu grafik (Sodyum silikat miktarı ve katı oranı orta noktada sabit tutularak)

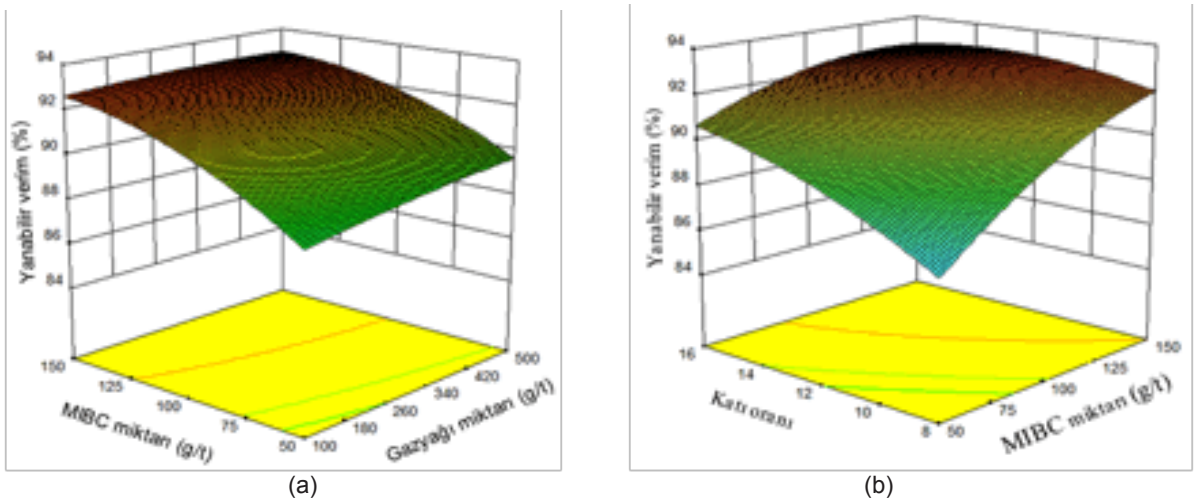
(b) Kaba konsantre külünün sodyum silikat miktarı ve gazyağı miktarıyla değişimini gösteren üç boyutlu grafik (katı oranı ve MIBC miktarı orta noktada sabit tutularak)

Şekil 4'de bağımsız değişkenlerin yanabilir verim üzerindeki etkisini gösteren üç boyutlu grafikler verilmektedir. MIBC miktarı ve gazyağı miktarı arttıkça yanabilir verimde belirgin bir artış görülmektedir. Şekil 4 (a)'dan anlaşılacağı üzere,

gazyağı miktarının yanabilir verim üzerindeki pozitif etkisi MIBC miktarına göre daha fazladır. Aynı şekilde, MIBC miktarı katı oranı ile karşılaştırıldığında yanabilir verim üzerinde oldukça etkilidir. En düşük MIBC miktarında (50 g/t) ve

Çizelge 7. Yanabilir verim için varyans analizi (ANOVA)

	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Ort. kareler	F Değeri	p-değeri
Model	167,85	14	11,99	46,07	< 0,0001
Gazyağı miktarı (x_1)	3,34	1	3,34	12,82	0,003
MIBC miktarı (x_2)	82,26	1	82,26	316,05	< 0,0001
Sodyum silikat miktarı (x_3)	0,10	1	0,10	0,37	0,5539
Katı oranı (x_4)	33,51	1	33,51	128,74	< 0,0001
$x_1 x_2$	0,94	1	0,94	3,62	0,0779
$x_1 x_3$	3,60	1	3,60	13,82	0,0023
$x_1 x_4$	3,47	1	3,47	13,32	0,0026
$x_2 x_3$	0,00	1	0,00	0,00	0,987
$x_2 x_4$	11,41	1	11,41	43,83	< 0,0001
$x_3 x_4$	2,55	1	2,55	9,78	0,0074
x_1^2	0,53	1	0,53	2,03	0,1763
x_2^2	14,30	1	14,30	54,92	< 0,0001
x_3^2	11,24	1	11,24	43,19	< 0,0001
x_4^2	8,39	1	8,39	32,22	< 0,0001
Artık	3,64	14	0,26		
Uyum eksikliği	2,63	10	0,26	1,03	0,5329
Hata	1,02	4	0,25		
Toplam	172,59	29			



Şekil 4. (a) Yanabilir verimin MIBC miktarı ve gazyağı miktarıyla değişimini gösteren üç boyutlu grafik (Sodyum silikat miktarı ve katı oranı orta noktada sabit tutularak)
 (b) Yanabilir verimin MIBC miktarı ve katı oranıyla değişimini gösteren üç boyutlu grafik (Sodyum silikat miktarı ve gazyağı miktarı orta noktada sabit tutularak)

en düşük katı oranında (% 8) yanabilir verim % 86,65'dir. MIBC sabit tutularak katı oranı en yüksek seviyeye ulaştığında yanabilir verim oranı da % 90,65'e ulaşmaktadır. Benzer şekilde katı oranı sabit tutularak MIBC miktarı artırıldığında (150 g/t) yanabilir verim % 92 ye ulaşmaktadır.

Bu çalışmanın başlıca amaçlarından birisi de, en yüksek ağırlıkta ve yanabilir verimde ve en düşük kül içeriğine sahip kaba konsantre elde etmek için en uygun proses parametrelerini tespit etmektir. Bu amaçla Design Expert 8.7.0.1 paket programı kullanılarak yapılan optimizasyon sonucuna göre % 64,54 kaba konsantre ağırlığında, % 23,88 kaba konsantre kül oranında ve % 91,78 oranında yanabilir verim değerlerine 200 g/t gazyağı, 125 g/t MIBC, 1846 g/t sodyum silikat miktarlarında ve % 10 katı oranında ulaşılmaktadır.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada; üç bağımlı değişken (kaba konsantre ağırlığı, külü ve yanabilir verim) için yüksek korelasyonda ikinci derece regresyon denklemini çoklu belirtme katsayısı (R^2) hesaplanmıştır.

Kaba konsantre ağırlığı için R^2 0,9789 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca; 0,8795 tahmini R^2 değeri 0,9579 ayarlamalı R^2 değeri ile uyumluluk göstermektedir. Kaba konsantre külü ve yanabilir verim için çoklu belirtme katsayıları da yaklaşık olarak benzer sonuçlar vermiştir. Bu da modellerin kullanılabilir modeller olduğunu göstermektedir.

Kaba konsantre ağırlığı için bulunan sinyal gü-rültü oranı 24,405 yeterli sinyale işaret etmektedir. Yine, kaba konsantre külü için 28,129 ve yanabilir verim için 20,959 değerleri yeterli sinyal olduğunu belirtmektedir.

Kaba konsantre ağırlığı için F-değeri, 46,48 modelin önemli olduğunu göstermektedir. Uyum eksikliği değeri 1,93 uyum eksikliğinin hataya bağlı olarak önemli olmadığını belirtmektedir. Kaba konsantre külü ve yanabilir verim için benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrıca; en yüksek ağırlıkta ve yanabilir verimde ve en düşük külde kaba konsantre elde etmek için en uygun proses parametreleri tespit edilmiş olup, optimizasyon sonucuna göre % 64,54 kaba konsantre ağırlığında, % 23,88 kaba konsantre kül oranında ve % 91,78 oranında yanabilir verim değerlerine 200 g/t gazyağı, 125 g/t MIBC,

1846 g/t sodyum silikat miktarlarında ve % 10 katı oranında ulaşılmaktadır.

Bu çalışmadaki sonuçlar; ince kömürlerin kaba flotasyon parametrelerinin modellenmesinde ve optimizasyonunda cevap yüzeyi metodunun uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Anon, 2016. https://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/Flotation_Fundamentals.pdf.

Aslan, N., Çifçi, F., Yan, D., 2008. Optimization of process parameters for producing graphite concentrate using response surface methodology. Separation and Purification Technology, 59, 9–16.

Baş, C., 2010. Cevap Yüzeyi Tasarımları ve Sınır Ağları Yaklaşımı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Bilir, K., 2011. Kömür flotasyonunda kullanılan gazyağı miktarının oranların farkı testi ile optimizasyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: XXIV, No: 1.

Box, G.E.P., Hunter, J.S., 1957. Multi-factor experimental design for exploring response surfaces. Ann. Math. Stat., 28, 195–241.

Çilek, E.C., 2013. Mineral Flotasyonu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, yayın no: 59, Isparta.

Obeng, D.P., Morrell, S., Napier, T.J.N., 2005. Application of central composite rotatable design to modeling the effect of some operating variables on the performance of the three-product cyclone. Int. J. Miner. Process., 76, 181-192.

Erdoğan, F., 2007. Yükseltmiş D-Optimal Dizayn Yöntemi Kullanılarak Mühendislik Dizaynlarında Etkinliğin Geliştirilmesi: 'Sentetik Jet' Dizayn Optimizasyon Çalışması. Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3(1), 51-61.

Erşan, M., Açikel, Ü., 2014. R. Deleamar 'In Asit Fosfataz Üretimi Ve Zn(II) Biyobirikiminin Cevap Yüzey Yöntemi Kullanarak Optimize Edilmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 29 (2), 321-329.

Jia, R., Harris, G.H., Fuerstenau, D.W., 2002 Chemical Reagents for Enhanced Coal Flotation. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 22:3, 123-149.

Kemal, M., 1987. Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/MAD-87 EY 033, İzmir.

Klimpel, R. R., 1995. The Influence of Frother Structure on Industrial Coal Flotation, High-Efficiency Coal Preparation (Kawatra, ed.). Society for Mining,

Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO, s. 141-151.

Kural, O., 1991. Kömür, 975 sayfa, Kurtiş Matbaası, İstanbul.

Laskowski, J.S., Miller, J.D., 1984. New Reagents in Coal Flotation, Reagents in the Mineral Industry (M. J. Jones and R. Oblatt, Eds.) The Institute of Mining and Metallurgy, s. 145-154.

Mead, R., Pike, D.J., 1975. A biometrics invited paper. A review of response surface methodology from a biometric viewpoint, *Biometrics*, 31(4). 803-851.

Naik, P.K., Reddy P.S.R., Misra, V.N., 2005. Interpretation of interaction effects and optimization of reagent dosages for fine coal flotation. *Int. J. Miner. Process.* 75, 83-90.

Öney, Ö., 1993. The enrichment of Zonguldak fine coal by flotation. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Read, R.B, Rapp, D.M., 1989 The influence of reagent type on the kinetics of ultrafine coal flotation. *Powder Technology*, 59(3), 153-162.

Sivrikaya O., 2014. *Fuel*, 119, s. 252–258.

Turan, M.D., Altundoğan H.S., 2011. Hidrometalurjik araştırmalarda yanıt yüzeyi yöntemlerinin (yyy) kullanımı. *Madencilik*, 50 (3), 11-23.

Vazifeh, Y., Jorjani E., Bagherian, A., 2010. Optimization of reagent dosages for copper flotation using statistical technique. *Trans. nonferrous Met. Soc. China*, (20). 2371-2378.



Orijinal Araştırma / Original Research

MİKRODALGA KURUTMANIN LİNYİT KÖMÜRÜNÜN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON THE GRINDABILITY OF LIGNITE COAL

Can Güngören^a, Şafak Gökhan Özkan^a, Hasan Hacıfazlıoğlu^{a*}

^a İstanbul Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Böl., İSTANBUL

Geliş Tarihi / Received : 1 Kasım / November 2016

Kabul Tarihi / Accepted : 9 Aralık / December 2016

ÖZET

Anahtar Sözcükler:

Linyit,
Mikrodalga Kurutma,
Öğütme,
Hargrove Öğütülebilirlik İndeksi
(HGI)

Bu çalışmada Kastamonu-Tosya bölgesinden temsili olarak temin edilen linyit kömürü numuneleri etüvde ve mikrodalga fırında ayrı ayrı kurutulmuş ve ardından laboratuvar tipi çubuklu değirmende öğütülmüştür. Çeşitli sürelerde (10, 20, 30 ve 60 dakika) öğütülmüş numunelerin tane boyut analizi gerçekleştirilerek, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, etüvde kurutulan numunelerin, 10, 20, 30 ve 60 dakika öğütme sonunda, d80 tane boyutları sırasıyla 350, 183, 180 ve 100 µm olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan aynı sürelerde mikrodalga kurutma uygulanan numunelerin d80 tane boyutları sırasıyla 240, 175, 160 ve 97 µm olarak bulunmuştur. Ayrıca, iki farklı mekanizma ile kurutulduktan sonra öğütülen linyit numunelerinin Hardgrove öğütülebilirlik indeksi değerleri de hesaplanarak, birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

Keywords:

Lignite,
Microwave Drying,
Grinding,
Hargrove Grindability Index
(HGI)

In this study, the representative lignite coal samples supplied from Kastamonu-Tosya region were dried in a conventional drying oven and a microwave oven, and then they were ground by a laboratory rod mill. The particle size analyses of the ground samples at various grinding times (10, 20, 30, and 60 minutes) were carried out, and the results were compared. As a result, the d80 particle sizes of the samples, dried in the conventional drying oven, were determined as 350, 183, 180, and 100 µm after grinding for 10, 20, 30, and 60 minutes, respectively. On the other hand, the d80 particle sizes of the samples, dried in the microwave oven for the same drying times, were found as 240, 175, 160, and 97 µm, respectively. Besides, Hardgrove grindability index (HGI) values of ground lignite samples after drying with two different mechanisms were also calculated and compared to each other.

* hasanh@istanbul.edu.tr

GİRİŞ

Elektromanyetik dalgalar frekans aralıklarına göre çeşitli şekillerde isimlendirilmişlerdir. Mikrodalgalar frekansı 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalgalar, diğer elektromanyetik dalga türleri gibi ışık hızında yayılırlar, yayılmak için maddesel bir ortama ihtiyaç duymazlar ve birbirine dik elektrik ve manyetik bileşenlerden oluşurlar (Uslu vd., 2003; Kutbay ve Kuşkonmaz, 2004; Eskibalci, 2007; Güngören, 2009; Özkan vd., 2009; Sayın, 2010; Guo vd., 2011; Eskibalci ve Özkan, 2012).

Mikrodalga ısıtma, mikrodalgaları absorbe edici malzemelerin içlerindeki asimetrik bir yük dağılımına sahip dipol moleküller sayesinde gerçekleşir. Bu moleküllerin başında su gelir. Malzeme içinde bulunan dipol moleküller bir elektrik alanına maruz bırakıldıklarında elektrik alanının doğrultusu boyunca dizilirler. Elektriksel alan ortadan kalktığında ise bu dizilim bozulur. Bu sebeple art arda oluşturulup ortadan kalkan elektriksel alan dipol moleküllerin hareket etmesine yol açar. Bu hareket ile meydana gelen iç sürtünme sonucunda bir ısı açığa çıkar. Sonuç olarak absorbe olan enerji sürtünmeye harcanmakta ve malzeme hızla hacimsel olarak ısınmaktadır (Vorster, 2001; Al-Harashsheh ve Kingman, 2004).

Bu ısınma mekanizmasından dolayı konvansiyonel sistemlerde ısınma dıştan içe doğru gerçekleşirken, mikrodalga ısıtma sistemlerinde içten dışa doğru gerçekleşir ve malzeme içerisinde bir termal gerilim ve iç basınç oluşur. Bu durum sonucunda malzeme içerisinde çatlaklar oluşmaktadır. Mikrodalga ısıtmanın bu özelliğinden faydalanmak üzere mikrodalgaların madencilik alanında kullanımı son yıllarda yapılan çalışmalar ile hızla artmakta, ısıtma, ergitme, kurutma, kömür desülfürizasyonu, liç, kavurma gibi işlemlerde uygulanabilmektedir (Marland vd., 2000; Uslu ve Atalay, 2003; Can ve Bayraktar, 2007; Eskibalci, 2007; Özbayoğlu vd., 2009; Sayın, 2010; Hacıfazlıoğlu, 2014; Tosun, 2015).

Kingman ve Rowson (1998) mikrodalgaların mineraller üzerinde kullanımı hakkında yapılan çalışmaları derlemiş ve bu konuda yapılan çalışmaların enerji minimizasyonu, frekans optimizasyonu ve ölçek büyütme üzerine yoğunlaşmasını önermişlerdir.

Jones vd. (2005) teorik bir kalsit numunesi üzerinde yaptıkları modelleme çalışmalarında mikrodalga ısıtmada mineral tanesinin içerisinde basma gerilimi baskınken, dış kısımlarında ma-

kaslama ve çekme gerilimlerinin baskın olduğunu ve ısıtılan tanenin boyutu küçüldükçe çatlak oluşturmak için daha fazla enerji gerektiğini bildirmişlerdir.

Ali ve Bradshaw (2010, 2011) mikrodalga uygulaması ile cevher üzerinde oluşan çatlakları matematiksel olarak modellemişler, çatlak boyut ve örüntüsünün uygulanan mikrodalganın gücüne ve absorbanın tane boyutuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Charikinya vd. (2015) sfalerit cevherine mikrodalga uygulamış ve cevher bünyesinde meydana gelen çatlakları bilgisayarlı X ışını tomografisi (XCT) ve taramalı elektron mikroskopu (QEM-SCAN) ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda mikrodalgaların oluşturduğu çatlakların sadece mineral tane sınırlarında oluşmadığına, farklı minerallerin içinden geçebildiğine değinmişlerdir.

Mikrodalgaların madencilik sektöründe en önemli kullanım alanlarından biri de öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmaktır. Bunun yanında değirmen kapasitesinin arttırılabildiği, ton cevher başına aşınmanın azaldığı, değirmen ürün boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, şlam üretiminin azaltılabildiği gibi faydaları da bildirilmektedir (Kingman vd., 2000; Eskibalci, 2014).

Termik santrallere beslenen pülverize kömür tane boyutunun genellikle 75 µm altı olması istenmektedir. Çünkü bu tane boyutundan iri kömürler yakma esnasında sorunlara sebep olmaktadır. Bu amaçla kömür öğütme işlemlerine yüksek miktarlarda enerji harcanmaktadır. Kömürün mineralojik ve kimyasal yapısı, kalitesi ve sertliği öğütülebilirliğini ve dolayısıyla da öğütmedeki enerji tüketimini etkilemektedir (Marland vd., 2000; Lester ve Kingman, 2004; Demir, 2016).

Bu çalışmada, konvansiyonel bir etüvde ve mikrodalga fırında ayrı ayrı kurutulan ve farklı sürelerde öğütme deneyleri gerçekleştirilen linyitlerin Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) değerleri temel alınarak öğütülebilirlikleri araştırılmıştır.

1. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Kastamonu - Tosya'da bulunan, özel bir maden işletmesinin kömür hazırlama tesisinden temin edilen %19,41 nem içeriğine sahip linyit kömürleri kullanılmıştır. Kömür numunesinin kuru bazda kısa analizi Leco marka analiz cihazı ile ASTM D 4239 (toplam kükürt),

ASTM D 5865 (üst ısıl değer), ASTM D 7582 (sabit karbon), ASTM D3175 (uçucu madde), ASTM D3174 (kül) standartlarına, kimyasal analizi ise ASTM D 5373 standardına uygun olarak yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1’de görülmektedir.

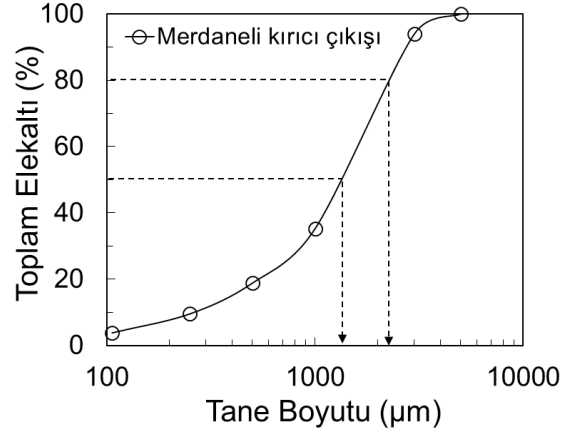
Çizelge 1. Kömür numunesinin analiz sonuçları

ANALİZ	DEĞER
Kül	%17,80
Uçucu Madde	%36,85
Sabit Karbon	%42,35
Toplam Kükürt	%8,77
Üst Isıl Değer	6200 (kcal/kg)
ELEMENTEL ANALİZ	
Karbon C)	%60,53
Hidrojen (H)	%4,84
Azot (N)	%1,15

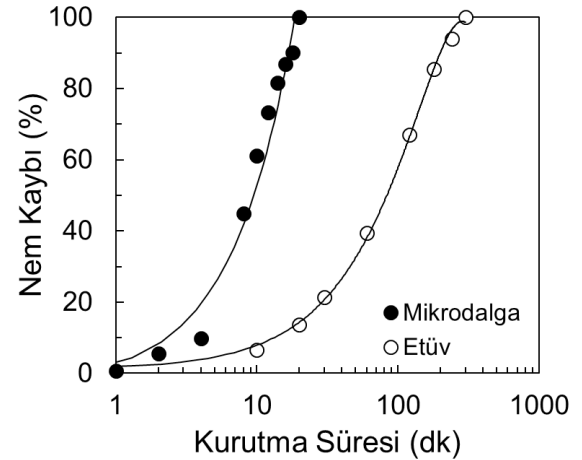
Kömür, bir çekiç vasıtasıyla -20 mm tane boyutuna kırılarak, laboratuvar tipi çeneli kırıcıya beslenmiştir. Çeneli kırıcıdan çıkan numune merdaneler arası mesafesi 3 mm olan merdaneli kırıcı yardımıyla öğütme deneylerine kullanılacak tane boyutuna indirilmiştir. Merdaneli kırıcı çıkışı numunenin tane boyut dağılımı Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü üzere merdaneli kırıcı çıkışı numunenin d_{50} tane boyutu 1450 μm , d_{80} tane boyutu ise 2400 μm ’dir.

Merdaneli kırıcı çıkışı numuneden 1000 g alınarak numune bölücü yardımıyla ikiye ayrılmıştır. Elde edilen 500 g’lık numunelerden biri etüvde 105 °C’de diğeri ise mikrodalga fırında kuru hale gelene kadar kurutulmuştur.

Mikrodalga kurutma uygulanan deneyler Moulinex Compact marka ev tipi mikrodalga fırın ile gerçekleştirilmiştir. 500 g kömür numunesi fırına dairesel kesitli ve ısıya dayanıklı cam kap içerisinde beslenmiştir. Mikrodalga fırın 700 W güçte çalıştırılmıştır. Nem kaybı değerleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Merdaneli kırıcı çıkışı numunenin tane boyut dağılımı



Şekil 2. Etüv ve mikrodalga kurutma ile nem analiz sonuçları

Şekil 2’deki nem analiz sonuçlarından görüldüğü üzere kömür etüv ile 300 dk’da kuru hale gelirken, bu işlem mikrodalga ile 20 dk sürmektedir.

Mikrodalga kurutma öncesinde ve sonrasında kömür numunesinin mikroskop fotoğrafları, polarize optik mikroskop ile “10×” büyütme oranında çekilerek kömür yüzeyinde meydana gelen değişimler gözlenmiştir.

Öğütme deneylerinde kullanılacak kömürler etüvde ve mikrodalga fırında belirlenen şartlarda ayrı ayrı kurutulduktan sonra, kurutulan her numunenin -3+1 mm boyutlu kısmından 600 g’lık numuneler alınarak 10, 20, 30 ve 60 dk’lık sürelerde laboratuvar tipi çubuklu çelik değirmende öğütülmüştür. Öğütülen numuneler, 75, 106, 212, 300, 500, 1000 ve 3000 μm ’luk ASTM standart elekler ile elenerek, tane boyut dağılım analizleri yapılmıştır. Öğütme koşulları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Öğütme koşulları

Parametre	Koşul
Değirmen Boyu/Çapı	26,5 / 20,5 cm
Çubuk Boyu/Çapı	26,2 / 1 cm
Çubuk Sayısı	78 adet
Çubuk Hacmi	20,57 cm ³
Değirmen Hacmi	8746,68 cm ³
Öğütücü Ortam Hacmi	1604,46 cm ³
Kritik Hız	93,42 dev/dk
Değirmen Dönüş Hızı	60 dev/dk

Kömürün öğütülebilirliğinin saptanmasında kullanılan en yaygın yöntemlerden bir tanesi Hardgrove öğütülebilirlik testidir. Çalışma kapsamında numunelere Hardgrove öğütülebilirlik testi de uygulanmıştır. Bu kapsamda, besleme tane boyutu -1,18+0,6 mm (18x30 mesh) olan 50 g havada kurutulmuş kömür örneği standart Hardgrove değirmeninde öğütülmüştür. Öğütme işlemi değirmenin 60 devir yapması ile sonlandırılmıştır. Daha sonra öğütülmüş malzeme 75 µm'luk elekten elenmiş ve elek altına geçen kömür tartılmıştır. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır (Hardgrove, 1932; Tichanek, 2008; Kemal ve Arslan, 2009).

$$HGI = 13,6 + 6,93 \times M \quad (1)$$

Burada "M" 75 µm altı kömür ağırlığıdır (g).

Bulunan HGI değerine göre aşağıdaki yorumlar yapılabilmektedir:

HGI>70 ise kömür kolay öğütülebilir,

HGI=50-70 ise orta derecede öğütülebilirliğe sahip bir kömürdür,

HGI=30-50 ise zor öğütülebilir bir kömürdür.

Hardgrove testinden bulunan HGI değerleri Bond (1954)'e göre Bond iş indeksi (W_i) değerlerine dönüştürülebilmektedir (Denklem 2).

$$W_i = 88 / HGI^{0,5} \quad (2)$$

2. BULGULAR

Foto 1'de mikrodalga kurutma öncesinde ve sonrasında çekilen mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada mikrodalga kurutma sırasında kömür yüzeyinde meydana gelen çatlak oluşumu net olarak görülmektedir.

Ürünlerin tane boyut analizi sonucunda belirlenen malzemenin %80'inin elek altına geçtiği (d_{80}) ve

%50'sinin elek altına geçtiği (d_{50}) boyutları ise Şekil 3'te görülmektedir. Mikrodalga kurutmada, etüvde kurutmaya kıyasla her öğütme süresinde daha küçük d_{50} ve d_{80} tane boyutları elde edilmiştir. Düşük öğütme sürelerinde bu fark daha yüksek olmakta, öğütme süresi uzadıkça fark azalmaktadır. Düşük öğütme sürelerinde mikrodalga kurutma ile malzemede oluşan çatlakların öğünmeyi kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Etüvde kurutulan malzemenin aynı tane boyutlara ulaşabilmesi için daha uzun öğütme sürelerine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

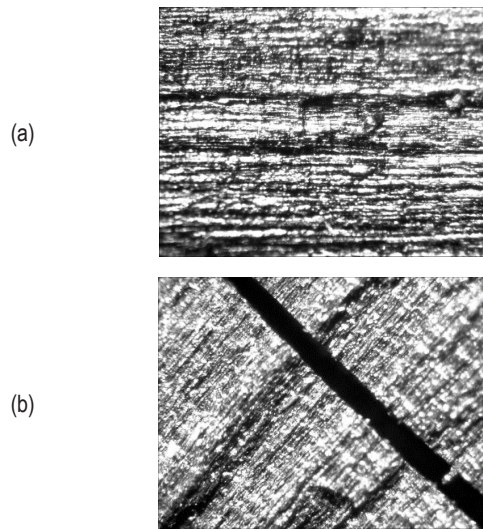
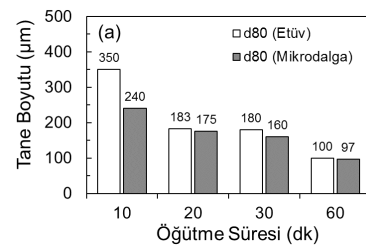
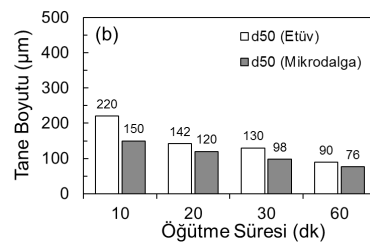
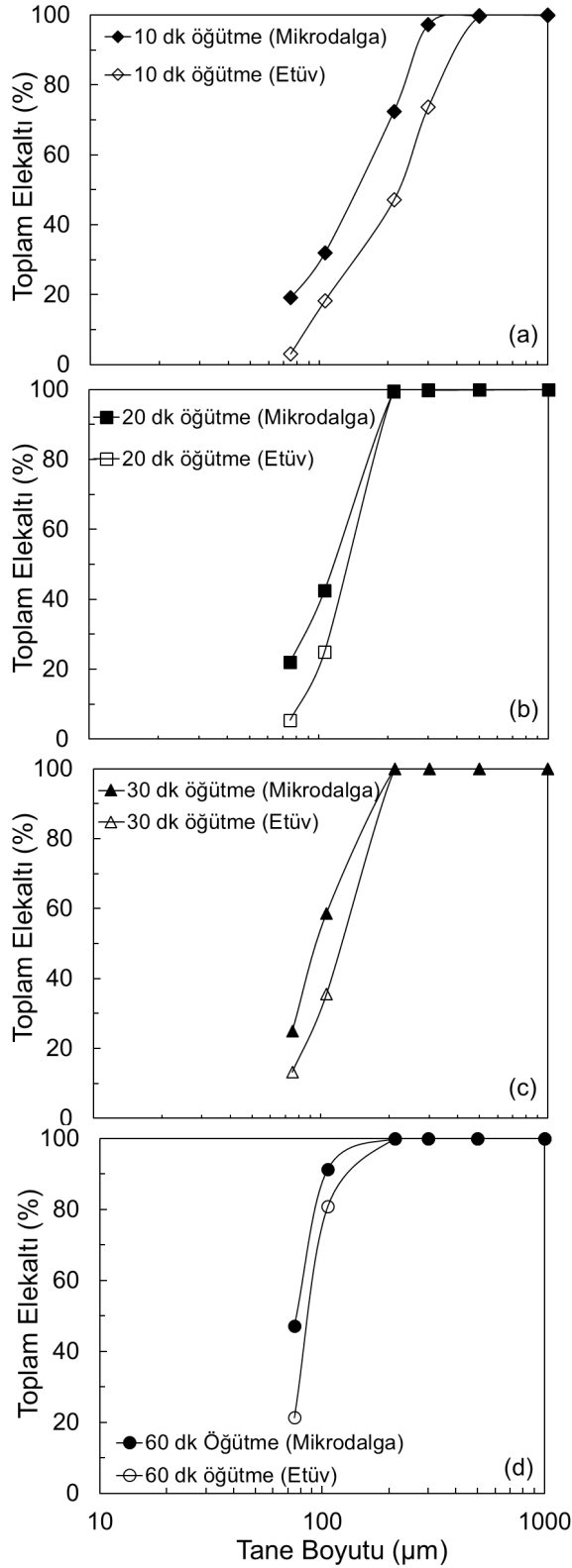


Foto 1. Kömür numunelerinin mikrodalga işlem öncesi (a) ve sonrası (b) mikroskop görüntüleri ("10x" büyütme)

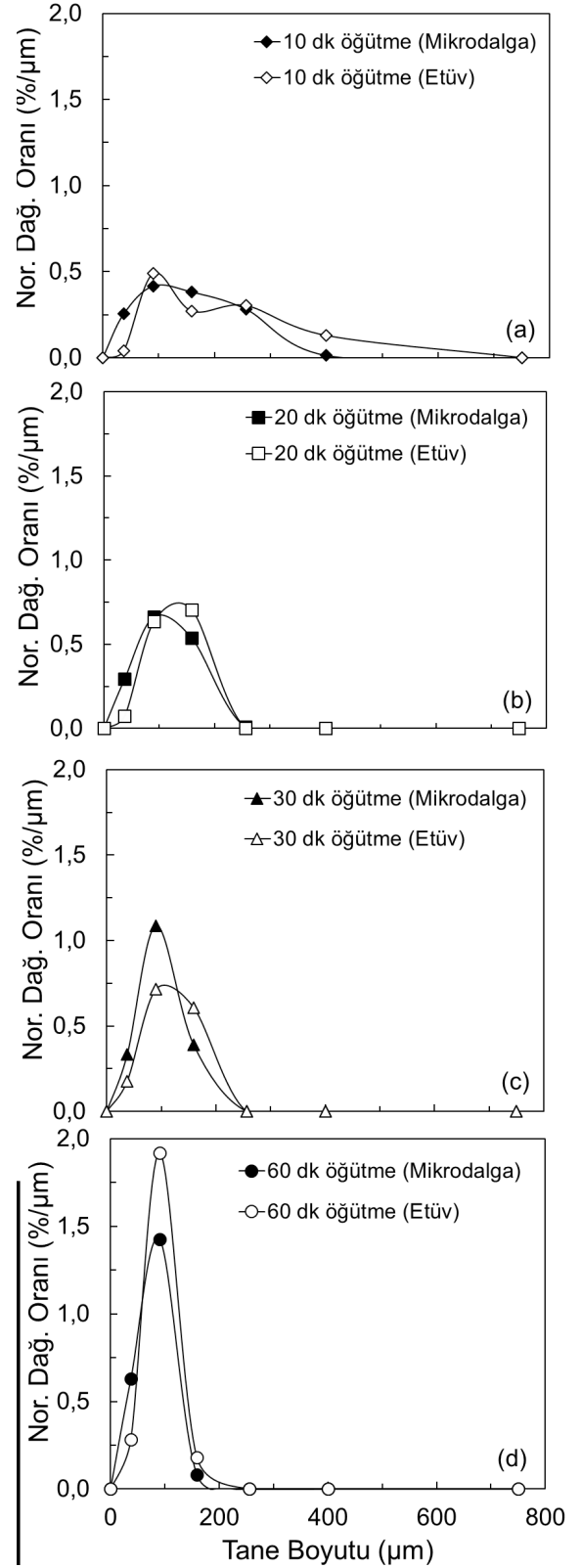


Şekil 3. Öğütme ürünlerinin (a) d_{80} ve (b) d_{50} boyutları Farklı sürelerde öğütme sonucunda elde edilen ürünlerin tane boyut dağılımları Şekil 4'te, normal dağılım grafikleri ise Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere 10 dk öğütme sonu-



Şekil 4. (a) 10 dk, (b) 20 dk, (c) 30 dk ve (d) 60 dk öğütme için öğütme ürünlerinin tane boyut dağılımı



Şekil 5. (a) 10 dk, (b) 20 dk, (c) 30 dk ve (d) 60 dk öğütme için öğütme ürünleri tane boyutunun normal dağılım oranı

cunda etüvde ve mikrodalgada kurutulan numunelerin tamamına yakını 500 µm tane boyutunun altına inmektedir. 300 µm'un altına inen malzeme miktarı etüvde %73,72 olurken, malzeme mikrodalga ile kurutulduğunda bu oran %97,30'a çıkmaktadır. Mikrodalga kurutma uygulanan malzemenin %19,10'u 75 µm'un altına inerken, etüvde kurutulan malzemede bu oran %3,10'da kalmaktadır.

Etüvde ve mikrodalgada kurutulan numunelerin maksimum tane boyutu öğütme süresi ile azalmakta, 60 dk öğütmede öğütme ürünlerinin tamamı 212 µm altına inmektedir. Doğal olarak ince malzeme oranları artmaktadır. Etüvde ve mikrodalga fırında kurutulan malzemelerin 75 µm altı oranları 20 dk öğütmede sırasıyla %5,46, %22, 30 dk öğütmede %13,23, %24,9, 60 dk öğütmede ise %21,32, %47,2 olmaktadır.

Şekil 5 incelendiğinde etüvde kurutulan ve 10 dk öğütülen kömürün geniş bir tane boyut dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Oysa mikrodalga ile kurutulan kömürün maksimum boyutu düşmektedir. Öğütme süresi uzadıkça mikrodalga uygulaması etkisini yitirmekte, etüv ve mikrodalga ile kurutulan malzemenin maksimum boyutları aynı olmaktadır. 20 dk öğütmede malzeme 150 µm'da yoğunlaşmaktadır. Aynı öğütme süresinde mikrodalga ile kurutulmuş malzemenin biriktiği tane boyutu 90 µm'dur. Mikrodalga ön işlem her ne kadar 75 µm altı malzeme miktarını arttırsa da kömürün biriktiği tane boyutunu 90 µm'un altına indirmede yetersiz kalmaktadır. Ancak daha iri tanelerin ufalanmasını halen kolaylaştırmaya devam etmektedir. Etüvde kurutulan kömür numunelerine 60 dk öğütme uygulandığında iri boyuttaki taneler ufalanarak 1,92 %/µm normal dağılım oranı ile 90 µm civarında birikmektedir. Bu öğütme süresinde mikrodalga ile kurutulmuş kömür numunesi yine 90 µm'da birikmekle birlikte bu boyuttaki normal dağılım oranı etüvde kurutulan malzemeye oranla daha azdır. Bunun sebebi mikrodalga ile kurutulmuş malzemenin daha da ufalanarak 75 µm altına geçmesidir. 37,5 µm boyutunda etüvde kurutulan malzemenin normal dağılım oranı 0,28 %/µm iken mikrodalga kurutma ile bu oran 0,63 %/µm olmaktadır.

Hardgrove değirmeninde mikrodalga ve etüvde kurutulmuş olan kömür örnekleri ile yapılan testler sonucunda, mikrodalga ile kurutulan kömürün HGI değeri 41,20 bulunurken, etüvde kurutulan kömür örneğinin HGI değeri 38,40 bulunmuştur. Bu değerler Denklem 2'de yerine konulduğunda;

mikrodalga fırında kurutulan kömürün W_i değeri 13,70 kwh/t iken, etüvde kurutulan kömürün W_i değeri 14,21 kwh/t olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan da görülebileceği gibi mikrodalga kurutma sonunda yapılan öğütme işlemlerinde daha az enerji harcandığı açıkça görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mikrodalga kurutmanın öğütme üzerindeki olumlu etkisini mikrodalga sırasında malzeme üzerinde meydana gelen çatlaklara bağlamak mümkündür.

Mikrodalga ısıtma sistemlerinde, elektromanyetik enerji etkisi ile madde içerisindeki dipolar minerallerin hareketi sonucunda malzeme içerisinde oluşan termal gerilim ve iç basınç neticesinde mineral içerisinde çatlaklar meydana gelmektedir (Marland vd., 2000; Sayın, 2010). Konvansiyonel kurutma sistemlerinde ise malzeme dıştan içe doğru ısındığı için bu çatlaklar görülmez.

Ayrıca mikrodalga ile ısıtılan malzemenin içi daha sıcak olduğundan suyun içten dışa buharlaşması ve difüzyonu daha kolay olmaktadır (Lester ve Kingman, 2004; Sayın, 2010; Toraman, 2010; Samanlı, 2011).

Kömürün petrografik yapısının mikrodalga absorplama kabiliyetini değiştirdiği bilinmektedir. Kömürün organik bileşenleri görece zayıf mikrodalga absorbanlarıdır, ancak kömür içinde bulunan nem yani su molekülleri dipol moleküller olduklarından mikrodalga ile ısıtmada başlıca rolü oynarlar (Marland vd., 2000; Toraman ve Depçi, 2007).

Sonuçta; mikrodalga uygulanan kömürlerin öğütülmesi konvansiyonel öğütmeye göre daha kolay olabilmektedir. Burada, kömürün petrografik ve kimyasal bileşimi birinci derecede önemli rol oynarken, mikrodalga işlemin gücü ve süresi de etken parametrelerdir. Mikrodalgalar kömür ve cevher öğütülmesine kullanıldığında ekonomikliğinin sağlanabilmesi için fizik, elektrik-elektronik, cevher hazırlama, makine mühendisliği gibi farklı disiplinlerle ortak çalışmalar yapılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmaya 51401 No'lu proje kapsamında verdiği desteklerden dolayı İstanbul Üniversitesi BAP Birimine ve ayrıca çalışmalar sırasındaki katkılarından dolayı Maden Mühendisi Cengiz ÖZDAĞ'a ve Ali GEZER'e teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Al-Harabsheh, M., Kingman, S.W., 2004. Microwave-assisted leaching-a review. *Hydrometallurgy*, 73 (3-4), 189-203.
- Ali, A.Y., Bradshaw, S.M., 2010. Bonded-particle modelling of microwave-induced damage in ore particles. *Minerals Engineering*, 23 (10), 780-790.
- Ali, A.Y., Bradshaw, S.M., 2011. Confined particle bed breakage of microwave treated and untreated ores. *Minerals Engineering*, 24 (14), 1625-1630.
- Bond, F.C., 1954. Crushing and grinding calculations. *CIM Bulletin*, 47, 466-472.
- Can, N.M., Bayraktar, I., 2007. Effect of microwave treatment on the flotation and magnetic separation properties of pyrite, chalcopyrite, galena and sphalerite. *Minerals and Metallurgical Processing*, 24 (3), 185-192.
- Charikinya, E., Bradshaw, S., Becker, M., 2015. Characterising and quantifying microwave induced damage in coarse sphalerite ore particles. *Minerals Engineering*, 82, 14-24.
- Demir, İ., 2016. Güneş enerjisiyle çalışan bir sistem tasarlanarak kömürlerin kurutulması ve kalitelerinin artırılması. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, s. 256.
- Eskibalci, M.F., 2007. Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, s. 174.
- Eskibalci, M.F., 2014. Konvansiyonel ve mikrodalga ısıtma işleminin kuvarsitin öğütülebilirliğine etkisinin incelenmesi. *EÜFBED*, 7 (2), 169-190.
- Eskibalci, M.F., Özkan, Ş.G., 2012. An investigation of effect of microwave energy on electrostatic separation of colemanite and ulexite. *Minerals Engineering*, 31, 90-97.
- Güngören, C., 2009. Ultrasonik ve mikrodalga enerjilerinin kolemanit flotasyonunda ön işlem olarak kullanıma olanaklarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, s. 112.
- Guo, S.-H., Chen, G., Peng, J.-H., Chen, J., Li, D.-B., Liu, L.-J., 2011. Microwave assisted grinding of ilmenite ore. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21 (9), 2122-2126.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2014. Zonguldak şlam kömürünün kurutulmasında mikrodalga ve konvansiyonel fırının verimliliklerinin karşılaştırılması Türkiye 19. Kömür Kongresi,, Zonguldak, Türkiye, 291-301.
- Hardgrove, R.M., 1932. Grindability of coal. *ASME Transactions*, 54, 37-46.
- Jones, D.A., Kingman, S.W., Whittles, D.N., Lowndes, I.S., 2005. Understanding microwave assisted breakage. *Minerals Engineering*, 18 (7), 659-669.
- Kemal, M., Arslan, V., 2009. Kömür hazırlama teknolojisi. DEÜ Yayını, s. 53.
- Kingman, S.W., Rowson, N.A., 1998. Microwave treatment of minerals - a review. *Minerals Engineering*, 11 (11), 1081-1087.
- Kingman, S.W., Vorster, W., Rowson, N.A., 2000. The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. *Minerals Engineering*, 13 (3), 313-327.
- Kutbay, I., Kuşkonmaz, N., 2004. Mikrodalga ısıtmanın seramik üretiminde kullanımı. *Metallurji Dergisi*, 137, 52-56.
- Lester, E., Kingman, S., 2004. The effect of microwave pre-heating on five different coals. *Fuel*, 83 (14-15), 1941-1947.
- Marland, S., Han, B., Merchant, A., Rowson, N., 2000. The effect of microwave radiation on coal grindability. *Fuel*, 79, 1283-1288.
- Özbayoğlu, G., Depci, T., Ataman, N., 2009. Effect of microwave radiation on coal flotation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31 (6), 492-499.
- Özkan, Ş.G., Eskibalci, M.F., Güngören, C., 2009. Mikrodalga enerjisinin kolemanit ve ulexitin sudaki çözünürlüğüne etkisinin araştırılması. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 22, (1), 85-93.
- Samanli, S., 2011. A comparison of the results obtained from grinding in a stirred media mill lignite coal samples treated with microwave and untreated samples. *Fuel*, 90 (2), 659-664.
- Sayın, Z.E., 2010. Altın konsntresinden doğrudan liç ile altın eldesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, s. 175.
- Tichanek, F., 2008. Contribution to determination of coal grindability using hardgrove method. *GeoScience Engineering* 54 (1), 27-32.
- Toraman, O.Y., 2010. The effect of high power microwave energy on the grindability of Turkish cayirhan lignite. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32 (19), 1794-1800.
- Toraman, O.Y., Depçi, T., 2007. Kömürde mikrodalga ile önışlem uygulamaları. *Madencilik*, 46 (3), 43-53.
- Tosun, Y.İ., 2015. Microwave activated crushing and grinding of Turkish coals and shale for cleaning and desulfurization. XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrad, 622-629.
- Uslu, T., Atalay, Ü., 2003. Microwave heating of coal for enhanced magnetic removal of pyrite. *Fuel Processing Technology*, 85 (1), 21-29.
- Uslu, T., Atalay, Ü., Arol, A.I., 2003. Effect of microwave heating on magnetic separation of pyrite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering*

Aspects, 225 (1-3), 161-167.

Vorster, W., 2001. The effect of microwave radiation on mineral processing. The University of Birmingham, Birmingham, p. 256.



Derleme / Review

ALEV YÜRÜTMEZ BANT KULLANIMININ YERALTI METAL MADENCİLİĞİ İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF FLAME RETARDANT BELT USAGE FOR UNDERGROUND METAL MINING

Bülent Erdem^{a,*}, Atilla Ceylanoğlu^a, Zekeriya Duran^b

^a Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, SİVAS

^b Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, SİVAS

Geliş Tarihi / Received : 9 Ağustos / August 2016

Kabul Tarihi / Accepted : 14 Kasım / November 2016

Anahtar Sözcükler:

Konveyör bandı,
alev yürütmez,
yangın algılama,
yangın söndürme.

Keywords:

Conveyor belt,
flame retardant,
fire detection,
firefighting.

ÖZET

Günümüzde birçok yeraltı maden işletmesi cevher nakliyatının tümünü ya da belirli bir bölümünü bantlı konveyör sistemleri ile gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada, yeraltı işletme yöntemleri ile metalik cevher çıkaran ocaklarda bantlı konveyör sistemleri kullanılması durumunda konveyör bandının alev yürütmez özelliğinin gerekliliği, iş güvenliği açısından incelenmiş ve altı değişik ölçüt dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

Today, many underground mines are realizing all or a certain portion of the ore transportation by belt conveyor systems. In this study, the requirement to deploy flame-retardant conveyor belts in the case of operating belt conveyor haulage systems in underground metallic mines is investigated from the occupational safety point of view and evaluated taking into account six different criteria.

* bulent@cumhuriyet.edu.tr

GİRİŞ

19.09.2013 tarih ve 28770 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 10.3.2015 tarih ve 29291 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik ile değişikliğe uğramıştır. Buna göre Yönetmelik Ek-1'inin 2.1.8 inci bendinden sonra gelmek üzere aşağıda verilen 2.1.9 uncu bent eklenmiştir: "2.1.9. Bant konveyörler antistatik ve alev yürütmez özellikte olmalı; ısınmayı veya tutuşmayı tespit etmek üzere sensörler ve ortaya çıkabilecek herhangi bir yangının ilerlemesini durduracak sıklıkta soğutma/söndürme sistemi ile donatılmalıdır."

Birçok yeraltı maden işletmesi cevher nakliyatının tümünü ya da belirli bir bölümünü bantlı konveyör sistemleri ile gerçekleştirmektedir. Mart 2015 tarihli Yönetmelik değişikliğinden sonra yeraltı işletme yöntemleri ile kömür çıkaran ocaklar haricindekiler, bu uygulamanın kendilerini kapsamaması hususunda görüşler oluşturmuşlardır. Bu nedenle bu çalışma, yeraltı işletme yöntemleri ile metalik cevher çıkaran ocaklarda bantlı konveyör sistemleri kullanılması durumunda konveyör bandının alev yürütmez özellikte olmasının iş güvenliği açısından değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

1. ÖLÇÜTLER VE DEĞERLENDİRMELER

1.1. Değerlendirme Ölçütleri

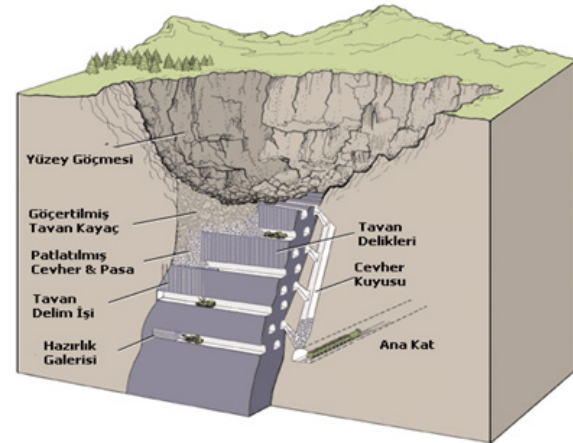
- Bu çalışma kapsamında, yeraltı metalik cevher ocaklarında halen işletmede olan ve aleve dayanıksız konveyör bandı kullanılan bantlı konveyör ile taşıma sistemlerinin çalışma emniyeti uygunluğunun değerlendirilmesi aşağıdaki maddelerde verilen ölçütler gözetilerek yapılmıştır.
- Yeraltındaki üretim bölgeleri ile nakliye sistemi arasında etkileşim ve bağlantının olup olmadığının değerlendirilmesi,
- Yeraltı işletmelerinin bulunduğu formasyonların yanıcı ve yakıcı gaz içeren kayaç yapısına sahip olup olmadığının değerlendirilmesi,
- İşletmelerde uygulanmakta olan iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının herhangi bir yangın durumuna ilişkin yeterliliğinin değerlendirilmesi,

- Konveyör bantlarının özelliklerinin, yanma olasılığı ve ilintili risklerin değerlendirilmesi,
- Yeraltı işletmelerinde kurulu olan gaz izleme sistemi, nakliye galerilerinde kurulu olan yangın algılama ve söndürme sisteminin değerlendirilmesi,

Alev alabilir bantların 10.03.2015 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nde değişiklik yapan Yönetmeliğin Ek-1 2.1.9. maddesi hükmüne göre anti-statik ve alev yürütmez özellikteki bantlar ile değiştirilmesinin çalışma emniyeti bakımından gerekli olup olmadığının değerlendirilmesi.

1.2. Yeraltı Üretim Yönteminin Değerlendirilmesi

Özellikle masif yatakların ve orta kalınlıktaki dik damarların kazanılmasında ülkemizde ve dünyada birçok yeraltı metal işletmesinde başarıyla uygulanan arakatlı göçertme yöntemi, tavan patlatması ile alınan cevher boşluğuna tavantaşının dolmasıyla alt kotlara inilmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 1). Cevherin ekonomik biçimde üretilebilmesi için ana hazırlık işlerinin tamamı taban kayaçta yapılmaktadır.



Şekil 1. Arakatlı göçertme yöntemi (Hustrulid, 1982)

Bu yöntemde belirli bir tavan kotundan aşağıya doğru düzenli aralıklarda imalat katları oluşturmakta, katlar arası ana ulaşım galerisi (spiral rampa) üzerinden belirli kotlarda cevhere bağlantı galerileri, cevher sınırlarına paralel yöreng izleyen hazırlık galerileri ve cevher gövdesi içinde üretim galerileri açılmaktadır. Üretilen cevher, ocak içinde bantlı konveyör ile nakliyat tercih edildiğinde, katlar arası ana ulaşım galerisi ile

üretim kuyusuna taşınarak buradan taban kotuna kurulmuş olan kırıcı dairesine nakledilmekte ve birincil kırma işlemine tabi tutulmaktadır. Boyutu küçültülen cevher yeraltı nakliye galerisi şebekesinde kurulu bantlı konveyör sistemi ile yeryüzüne ya da kuyu ihraç sistemine taşınmaktadır.

Arakatlı göçertme yöntemi mekanize olup işletme yönteminin doğası gereği her ekipman türü, genellikle ocağın belirli katlarında kullanılacak biçimde izole edilmektedir. Yüksek düzeyli mekanizasyon sayesinde bu yöntem ile üretim yapılan ocaklarda aynı anda üretim ve tahkimat yapılması durumuna göre bir vardiyada yeraltında <50 kişi bulunmaktadır. Cevherin kırıcıya iletimi; üretim galerileri, taban yolları, üretim kuyusu irtibat galerileri ve yantaşa açılıp, güçlü tahkimat unsurları ile desteklenmiş olan katlar arası ana ulaşım galerisi üzerinde yeraltı kamyonları ile yapılmakta ve üretim kuyusuna boşaltılan cevher, aşağı yönlü düşey bir yol izleyerek kırıcı bunkerine depolanmaktadır. Boyutu küçültülen cevher yalnızca nakliyat amaçlı olarak kullanılan bant galerilerine kurulu bulunan bantlı konveyör sistemi ile yeryüzüne ulaştırılmaktadır. Oda-topuk ve ülkemizde de yaygın biçimde uygulanan uzunayak yöntemlerinde üretim ve nakliyat, kısmen örtüşecek biçimde işletme sisteminin bütünleşik bileşenleridir. Nakliyat, üretimin yapıldığı noktada başlamakta ve cevherin, üretimden nakliyata aktarım bölgelerinde yoğun personel gereksinimi bulunmaktadır. Bu husus, bu bölgelerde karşılaşılabilecek tehlikeli durumlardan etkilenilecek personel sayısının büyüklüğü nedeniyle kaygı verici olup, çalışma emniyetinden hiçbir koşul altında taviz verilmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Arakatlı göçertme yönteminde ise cevher üretim katları, ana nakliyat galerilerinin bulunduğu taban kotundan oldukça yukarıda konumlandırılmaktadır. Üretim ve bantlı konveyörler arasında üretim galerileri, taban galerileri, katlar arası ana ulaşım galerisi ve derin bir üretim kuyusu bulunmaktadır. Bu husus göz önüne alındığında, üretim bölgeleri ve üretim kuyusunun altında bulunan yeraltı kırıcısından sonra kullanılan bantlı konveyör arasında etkileşim ve bağlantı olmadığı ve ayrıca üretim bölgelerinin birinde oluşabilecek göçük vb. durumların olumsuz etkilerinin, dışarıya sirayet edmeden o bölgede izole edilebilme fırsatı bulunduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Yeraltı metalik cevher ocaklarının havalandırması, temiz havanın taban kotundan ocağa girişi,

katlar arası ana ulaşım galerisini takip ederek üretim katlarını dolaşması ve yeryüzüne bağlanan nefeslik ya da en üst kottaki galeri ağzına kurulu emici fanlarla dışarı çekilmesi ile yapılabilmektedir. Böylece yukarıdaki üretim katlarında meydana gelebilecek bir yangın ya da zamanlanmamış bir patlatma operasyonu sonucu personeli olumsuz biçimde etkileyebilecek gaz ya da duman içeren kirli hava, taban kotundaki kırıcı ve nakliyat galerilerine ulaşmak için havalandırma yönünün tersine, oldukça uzun yol şebekesini kat etmek zorunda kalacak ve bu bölgeye ulaşmadan, havalandırma aracılığıyla üst kotlara çekilecek ve dışarı boşaltılabilecektir. Diğer yandan, taban kotundaki kırıcı dairesi veya bant yollarında meydana gelebilecek bir yangın sonucunda oluşacak kirli hava, üst katlara doğru ilerleyeceğinden çalışanlar açısından tehlike oluşturacaktır. Böyle durumlarda Yönetmelik Ek-3 Yeraltı Maden İşlerinin Yapıldığı İşyerlerinde Uygulanacak Asgari Özel Hükümler Madde 10. Grizulu Maden Ocakları (10.03.2015; 29291) Fıkra 22 "*Havalandırma sistemi acil hallerde ve ihtiyaç halinde kullanılabilmesi için hava yönünü ters çevirebilecek özellikte olur.*" hükmünden yararlanılabilir. Her ne kadar Yönetmelikte değişiklik yapan 10.03.2015 tarihli Yönetmelik maddesi grizulu ocaklar için geçerli olsa da havalandırma yönünü ters çevirecek düzenlemelerin yapılması sayesinde ocakların taban kotundaki bant galerilerinde oluşabilecek yangın kaynaklı boğucu ve zehirleyici hava, ocağa girmeden dışarı atılabilir. Ancak bu durumda da bu yol üzerinde çalıştırılan personelin hızlı ve emniyetli biçimde temiz havalı ortamlara nakledilmesi hayati önem taşımaktadır. Bant yollarında meydana gelebilecek bir yangın durumunda kirli havanın dışarı çekilmesi için bant galerisinin yeryüzü çıkış ağzına emici bir vantilatör sistemi kurulması seçeneği de dikkate alınmalıdır.

1.3. Yeraltı İşletmelerinin Bulunduğu Formasyonların Yanıcı ve Yakıcı Gaz İçeren Kayaç Yapısına Sahip Olup Olmadığının Değerlendirilmesi

Yeraltı madencilğinde en önemli tehlikeler arasında özellikle yangın, su baskını, göçük, ortam atmosferini kirleticisi özellikteki zehirleyici gazlar ile toz veya gaz patlaması bulunmaktadır. Bu listeye, kapalı ortam ve kısıtlı işyeri düzenlemesi ile karakterize olan yeraltı koşulları nedeniyle sonuçları daha da şiddetli olabilen patlatma kaynaklı tehlikelerin de eklenmesi gerekir. Kazalar her zaman, tehlikeler ile nedenlerin bir bileşkesi

olarak tanımlanmaktadır. Yeraltı ocağında meydana gelen bir göçük ya da su baskını, toz ya da gaz patlamasının sonucunda oluşabilir. Benzer şekilde yangın da toz patlaması ve zehirleyici partiküllerin ortama yayılmasını tetikleyebilir. Yeraltı ocaklarında genel yangın kaynakları aşağıda verilmiştir (HSE, 2015).

- a) Sürtünme,
 - i. kusurlu yataklar - konveyör ruloları, tamburlar, tekerlekler/akslar
 - ii. tahkimata, döktüğü yığın içinde dön-mekten buradaki malzemeye ya da kuy-ruk ucundaki bir yapıya veya sabit bir nesneye sürtünen konveyör bantları
 - iii. araçların takılı frenleri
- b) İçten yanmalı motorlar – egzoz sistemleri, hava girişleri, sıcak yüzeyler,
- c) Göçük bölgesinde kalan ya da içinde ta-ban yolları açılan ve gerilme dengesi bo-zulduğundan dolayı kırıklı yapıya bürünen kendiliğinden yanmaya yatkın kömür da-marları,
- d) Kesici makine uçlarından kaynaklanan kı-vılcıklar,
- e) Elektrikli ve mekanik makine ve ekipman,
- f) Elektrikli ekipman ya da dağıtım şebeke-sindeki kıvılcım ve sıcak yüzeyler,
- g) Kısa devreler ve elektrikli ekipman ile da-ğı-tım sistemlerinde topraklama hataları,
- h) Elektrostatik boşalmalar,
- i) Patlayıcılar ve ateşleyiciler,
- j) Hava veya gazların sıkıştırılması,
- k) Hafif alaşımlar ile demir/çelik arasındaki ter-mik reaksiyon,
- l) Sıcak işler - kaynaklama, yakma ve aşın-dırma,
- m) Sigara içenlerin kullandığı çakmak ve kibrit gibi malzemeler.

Çoğu yanma reaksiyonu karbon ve hidrojen (hidrokarbon) içeren organik maddelerin yanmasını içermektedir. Yanıcı ve patlayıcı gazlar oksijenle karışıp, ateşlendiklerinde alev alan gazlardır. Bu gazlar tipik olarak C_nH_{2n+2} formülü ile temsil edilmekte olup örnekler arasında metan (CH_4), propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}), pentan (C_5H_{12}) ve hidrojen (H_2) bulunmaktadır.

Bir yeraltı maden ocağında yanıcı gazların birikmesi nedeniyle yaşamsal tehlike olasılığı olduğunda, yanıcı gaz detektörlerinin kullanılması gerekmektedir. Yukarıda verilen tüm gazlar için aynı terimler altında dikkate alınması gereken ancak gaz türüne göre değişiklik gösteren önemli yoğunlaşma aralıkları bulunmaktadır. Yanıcı gaz yoğunlaşması, yanma alt sınırı olarak ta bilinen patlama alt sınırı (lower explosive limit, LEL) altında, yanma için çok düşüktür. Bu aralık, aynı zamanda yanıcı gaz detektörlerinin de çalışma aralığıdır. Patlama üst sınırı (upper explosive limit, UEL) ya da yanma üst sınırı gaz yoğunlaşmasının yanma için çok zengin ya da oksijen düzeyinin yanmayı desteklemek için çok düşük olduğu noktayı göstermektedir. Patlayıcı gazlar, ortam atmosferinde patlama alt ve üst sınırları arasındaki bir yoğunlaşma düzeyinde (hacimsel olarak) iken bir ateşleme kaynağına maruz kalmaları durumunda ise yanma meydana gelme olasılığı çok yükselmektedir. Birçok gazın yanabilirlik yoğunlaşması oldukça sınırlı bir aralıkta bulunmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çeşitli gazların yanma/patlama yoğunlaşmaları (ÇSGB, 2015)

Gaz	LEL (%)	UEL (%)
Metan	5,0	15,0
Propan	2,1	9,5
Bütan	1,8	8,4
Pentan	1,5	7,8
Hidrojen	4,0	75,0

Metan, yukarıda verilen gazlardan yeraltı madenlerinde en sıklıkla karşılaşılan tür olup kömür katmanları içinde sıkışmış son derece patlayıcı bir gaz olarak tanımlanmaktadır. Ekipmanların uygun olmayan kullanımı ya da arızalı ekipman kullanımı sonucunda oluşan mekanik hatalar ile yeraltı ocaklarına uygun olmayan patlayıcı türlerinin kullanımı sonucunda grizu patlaması tetiklenebilmekte ve ardışık kömür tozu patlamaları başlanabilmektedir.

Yeraltı ocaklarında metan düzeylerini etkileyen faktörler arasında kömür üretim oranları, haf-tanın kaçınıcı üretim günü olduğu, aktif olarak üretim yapılan bölgeye yakın tabakaların gaz taşıma özellikleri, çalışma bölgesine en yakın düşey metan deşarj sondajına olan mesafe, yakın zamanda havalandırma sisteminde yapılan değişiklikler ile barometrik basınç düzeyindeki

değişiklikler sayılabilir (Kissell, 2006). Üretilen kömür damarlarına bitişik paleokanal kumtaşı yatakları ile diğer merceksi kumtaşı yatakları uzun yıllar boyunca gaz rezervuarı olarak belgelenmiştir. Kömür havzalarındaki gaz barındıran bu kumtaşları genellikle diğer formasyonlardan daha yüksek geçirgenliğe sahiptir. Metan, organik şeyller içinde adsorpsiyon yoluyla tutulabilmekte ya da düşük geçirgenliğe sahip siltaşları içinde de hapsedilebilmektedir. Gaz, gerek üretim faaliyetleri nedeniyle oluşan çatlaklardan gerekse faylar, kırıklar, kil bantları gibi doğal süresizliklerden ocağa sızabilmekte ve etkisi önemli boyutlara varabilmektedir. Bu nedenle ocak içi ya da ocak dışından sondajlar açılarak, gazın deşarj edilmesi çok önemli olmaktadır.

Gaz halindeki hidrokarbonlar genellikle kömür ve tortul kayaçlar içinde bulunmaktadır. Yeraltı metalik cevher ocaklarının bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı ve sahanın stratigrafik kesiti incelenerek, istiftteki formasyonlardaki kayaç türlerinin yanıcı/patlayıcı gaz üretme/barındırma/hapsetme potansiyeline sahip olmadığı ortaya çıkarıldığında, nakliye galerilerinde formasyona bağlı yangın riskinin bulunmayacağı sonucuna varılabilir.

1.4. İşletmelerde Uygulanmakta Olan İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarının Herhangi Bir Yangın Durumuna İlişkin Yeterliliğinin Değerlendirilmesi

Yeraltı metalik cevher ocaklarında olası bir yangına karşı alınabilecek önlemler aşağıda verilmiştir.

- i. Telsiz haberleşme sistemi: Yerüstü tesisleri ile haberleşme yapılan telefon sistemi yanında, yeraltı ocaklarında acil bir durum yaşanması halinde bu bilginin veya acil yardım çağrısının tüm birimlere hızla ulaştırılabilmesi ve müdahale edilebilmesi amacıyla telsiz iletişim sistemi kullanılabilir. Böylece Yönetmeliğin ilgili hükümleri sağlanmaktadır.
- ii. Sığınma odaları: Türkiye Cumhuriyet Devleti 1995 yılında Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından üye Devletlerce yürürlüğe konulması önerilen 176 No'lu Madenlerde Güvenlik Ve Sağlık Sözleşmesi'ni, 12 Aralık 2014 tarih ve 29203 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 176 Sayılı Maden İşyerlerinde Güvenlik Ve Sağlık Sözleşmesinin Onaylanmasının Uygun Bulduğuna Dair Kanun

ile kabul etmiştir. Yeraltı işletmesinde uygun noktalarda sığınma odalarının bulundurulması ile bu Sözleşmenin Bölüm III. Madende engelleyici ve koruyucu önlemler, a. İşverenlerin sorumlulukları başlığı altında aşağıdaki hüküm sağlanmaktadır.

- a. MADDE 7 (i) İşçilerin güvenliği ve sağlığı açısından ciddi bir tehlike ortaya çıktığında faaliyetlerin durdurulması ve işçilerin güvenli bir yere tahliyesinin sağlanması

Diğer yandan, Yönetmelik'in aşağıda verilen hükmü de sağlanmaktadır.

- b. MADDE 8 - (1) İşveren, bir tehlike anında çalışanların çalışma yerlerini en kısa zamanda ve güvenli bir şekilde terk edebilmeleri için uygun kaçış ve kurtarma araçlarını sağlar ve kullanıma hazır bulundurur.
- iii. Çalışma bölgeleri ve ulaşım galerilerinde oksijen maskesi değişim istasyonları ile temiz hava solunum istasyonları: Yeraltı ocaklarında çalışan personele ferdi solunum maskelerinin verilmesi ile acil durumlarda solunum amaçlı ilave temiz hava kaynakları sağlanmakta olup Yönetmeliğin ilgili hükümleri sağlanmaktadır.
- iv. Gaz izleme sistemi: Yeraltı ocaklarında ortam atmosferini izleyen ve acil durumlarda uyarı mekanizmasını devreye sokan bir merkezi gaz izleme sisteminin devreye alınması ile Yönetmelik hükümleri sağlanmaktadır.
- v. Yeraltı personel takip sistemi: Yeraltı ocaklarında istihdam edilen tüm personelin emniyetli biçimde çalışmasını sağlamak amacıyla merkezi bilgisayar sistemine bütünleşik bir personel takip sisteminin kurulması ve devreye alınması ile Yönetmeliğin ilgili hükmü sağlanmaktadır.
- vi. İş makinelerinin otomatik yangın bastırma sistemi: Yeraltı ocaklarında hazırlık, üretim, ara nakliye ve tahkimat işlemlerinde kullanılan iş makinelerinin otomatik yangın bastırma/söndürme sistemleri ile donatılması ile Yönetmeliğin ilgili hükümleri sağlanmaktadır.
- vii. Tahlisiye ve acil durum tatbikatları ile İSG eğitimleri: Yeraltı ocaklarında istihdam edilen tüm personelin emniyetli biçimde çalışmasını sağlamak amacıyla tahlisiye ve acil durum tatbikatlarının yapılması ve düzenli

İSG eğitimlerinin verilmesi ile Yönetmeliğin ilgili hükümleri sağlanmaktadır.

- viii. Çalışma izni: Yeraltı ocakları ile tüm tesislerinde rutin olmayan ve belirli bir tehlike düzeyinin üzerindeki işlerde çalışma izni uygulamasına başvurulması ile Yönetmeliğin ilgili hükümleri sağlanmaktadır.
- ix. Yazılı talimatlar: Yeraltı ocakları ile tüm tesislerinde sürdürülen faaliyetler için yazılı talimatların yayımlanması ve bunlarla ilgili uygulama eğitimi verilmesi ile Yönetmeliğin ilgili hükümleri sağlanmaktadır.
- x. Risk analizi: Yeraltı ocakları ve ilintili tüm tesisler için risk analizi yapılması ile Yönetmelik'in aşağıda verilen hükmü sağlanmaktadır.

Madde 5 (2) b) 1) Çalışanların işyerinde maruz kalabilecekleri psikososyal riskler dâhil olmak üzere risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi.

2. BANT ÖZELLİKLERİNİN, YANMA OLASILIĞININ VE İLİNTİLİ RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bantlı konveyör işletmeciliğinde ortaya çıkmasından endişe edilen tehlikeli durumlardan birisi yangın olup birçok nedenden ötürü yangın çıkabilmektedir. Temel bantlı konveyör yangın nedenleri arasında aşırı sürtünme ya da biriken statik elektriğin boşalması nedeniyle alevlenme ön sırada gelmektedir. Yanı sıra, tambur ya da makara yataklarında oluşabilen yenilmeler yangına neden olabilmektedir. Makara yataklarının bozulmasına neden olan çoğu durumda da bunların, uzun süreler boyunca, emniyetli çalışmayı sağlayacak anma yüklerine kıyasla aşırı sayılabilecek yüklere maruz kaldıkları tespit edilmiştir (HSE, 2015). Bu nedenle yangın olasılığını azaltmak amacıyla aşağıdaki önlemler düşünülmelidir.

- Aleve dayanıklı konveyör bandı kullanımı,
- Konveyörün, beklenen en büyük yükü taşıyabilecek kapasitede olması,
- Konveyör sistemini, makara ve rulolar üzerine gelecek yüklerin, bunların taşıma kapasitesini aşmayacağı biçimde işletmek,
- Standartlara uygun biçimde imal edilen tambur, makara ve ruloları kullanmak,
- Hidrolik sistemler, kavramalar vb. yerlerde aleve dayanıklı sıvılar kullanmak,
- Makara yataklarında aleve dayanıklı gres kullanmak,

- Sıkışma olasılığı düşük olan, toza hassasiyeti olmayan fren tertibatları kullanmak ve fren düzeneği civarında pislik birikmesini önlemek,
- Hassas parçaların anormal çalışması ya da bozulmalarını algılayabilecek bir izleme sistemi kurulması,
- Toz ve dökülmeyi en aza indirecek yükleme ve aktarım noktalarının tasarlanması ve kurulması, bunlar örtülü olsa da inceleme ve temizleme amaçlı işlemlere izin verecek durumda olmalıdır,
- Bant sıyrıcılarının altı gibi gerekli yerlere, dökülmeyi engellemek amacıyla çamur konveyörleri yerleştirmek,
- Bantlı konveyör sisteminin bütün parçalarının incelenebileceği ve temizlenebileceği biçimde yapı oluşturmak,
- Galerilerdeki yükleme ve aktarma noktalarında aleve dayanıklı malzeme kullanmak.

Aleve dayanıksız ve antistatik özellikte olmayan bantlar yanmaya ve yangını daha hızlı iletmeye yatkın olup yandıklarında çok yoğun duman ve gaz çıkarmakta ve ortam atmosferini hızla bozmaktadırlar. Yangın, konveyör yapısından ya da dışarıdan bir nedenden ötürü başlayabilirken, konveyör çalışırken taşınan malzemenin de özelliklerinden ötürü mekanizma üzerinde statik elektrik birikebilmekte, bir kıvılcım ile alev parlayabilmekte ya da ortam atmosferine dağılı tozları ya da gazları patlatılabilir olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle yeraltında kullanılan konveyör bantlarının hiçbir şekilde yangına sebebiyet vermemesi, çok güç tutuşması ve harici bir kaynaktan gelen alevi yürütmemesi istenmektedir (HSE, 2015).

Konveyör bandını, karkas yapısını korumak ve bandın hizmet ömrünü uzatmak için karkasın alt ve üst yüzeyleri, bandın kullanım amacı ve çalışma gücüne dikkate alınarak uygun bir lastik türü ile kaplanmaktadır. Bant kaplamaları elastomer (doğal veya yapay kauçuk), plastomer (PVC vb.) ve diğer malzemeden olabilmektedir. Çizelge 2'de farklı kaplama malzemelerinin kullanım koşullarına uygunluğu verilmiştir (Aşık, 1988). Konveyör bantları yanmaya kaplamalarından başlamaktadır. Karkas, kullanılan yapı elemanlarına göre yanabilir ya da yanmaz özellikte olabilmektedir. Sözelimi çelik halatlı karkasın yanmazlık özelliği bulunurken naylon, polyester, polyamid, pamuk ve suni ipek türü karkas malzemeleri yanabilmektedir (Şekil 2).

Çizelge 2. Çeşitli kaplama malzemelerinin özellikleri (Aşık, 1988)

Direnç parametreleri	MALZEME					Yumuşak PVC
	NR	SBR	NBR	CR	BR	
Aşınma direnci	B	A	B	B	C	A
Yağa karşı direnç	D	D	A	B	D	B
Hava ve güneş ışığına direnç	D	C	D	A	A	A
Isıya karşı direnç	B	B	B	B	A	C
Aleve karşı direnç	D	D	D	B	D	B
Kalıcı deformasyon	B	B	B	B	C	D
Soğuğa karşı direnç	A	A	B	B	D	D
Oksijene karşı direnç	C	B	B	B	A	A
Ozona karşı direnç	D	C	D	A	A	A
Elastikiyet	B	C	C	B	D	D

A: Mükemmel
B: İyi
C: Uygun
D: Az uygun

NR: Tabii kauçuk
SBR: Styrol - Butadien kauçuğu
NBR: Nitril - Butadien kauçuğu
CR: Kloropren kauçuğu
BR: Butil kauçuğu

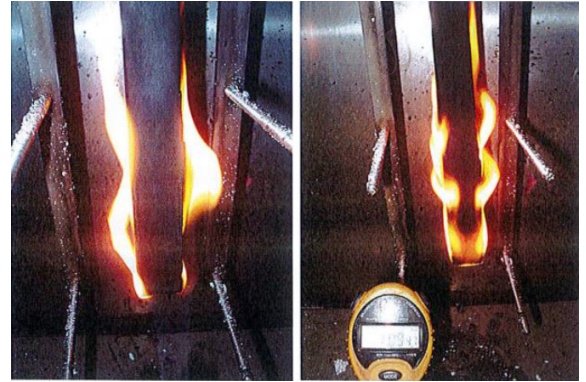


Şekil 2. Metal darbe atkılı çelik halat örgülü karkas (IWR) (üstte). Çözügüde polyester, atkıda da polyamid (nylon) iplikler kullanılan dokuma örgülü EP karkas (altta) (Anon(a), 2016)

Yeraltı kömür ocakları için yangın çok büyük bir tehdit unsuru olduğundan ülkemizde ve dünyada faaliyet gösteren kömür işletmeleri yeraltında

bantlı konveyör ile kömür taşıma için antistatik ve alev dayanıklı 'K' ve 'F' sınıfı bant kullanmak durumundadır (Kauçuk, 2014). Bu durumda alev dayanıklı bantlar aşağıdaki testleri başarıyla geçmek zorundadır (TSE, 2015). Buna göre;

- a. TS EN ISO 340 Alev alma karakteristiğini belirleme deneyi: Ortam sıcaklığı 10 °C - 30 °C ve ortamdaki bağıl nem miktarı %15 - %85 aralığında 2 dakika ön ısıtma yapılmış bek (ısıtıcı) ile 1000 °C (±20) sıcaklık bant konveyör üzerine uygulanmakta ve 45 saniye sonunda alevden alınan numune alevlenme durumu izlenmektedir. Numune yanmıyorsa 60 s (±5) boyunca 1,5 m/s hızla üflenen hava ile tutuşturulmaya çalışılmakta ve sonuç gözlemlenmektedir (Şekil 3).



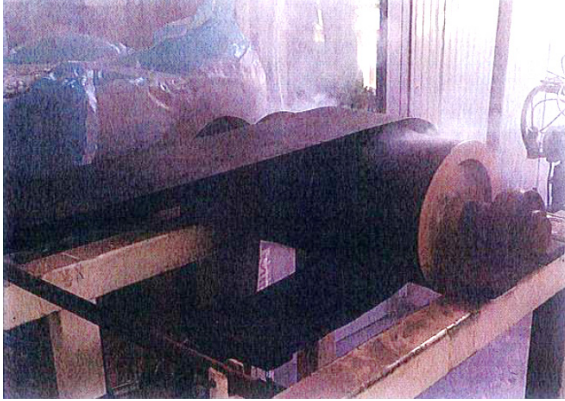
Şekil 3. Alev alma karakteristiğini belirleme deneyi (TS EN ISO 340)

- b. TS EN ISO 284 Elektrik iletkenliğini belirleme deneyi: 300 mm x 300 mm boyutlarında 5 deneme numunesi üzerinde 8 mm üst kauçuk ve 4 mm alt kauçuk kalınlığı üzerinde 300 MOhm altında direnç göstermesi istenmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Elektrik iletkenliğini belirleme deneyi (TS EN ISO 284)

- c. TS EN 1554 Tambur sürtünme deneyi: Uygun biçimde sarlm ve gerdirilm konveyör bandı, elik tahrik tamburunun yarısına kadar 180° sarlmakta ve deney numunesi 343 N g ile gerdirilmektedir. Tambur 2 ($\pm 0,1$) m/s hava hızında 200 (± 5) devir/dakika hızla döndürülmektedir (ekil 5). 60 dk boyunca bandın kopmaması durumunda deney tamamlanarak tambur yüzey sıcaklığı ölçülmektedir.

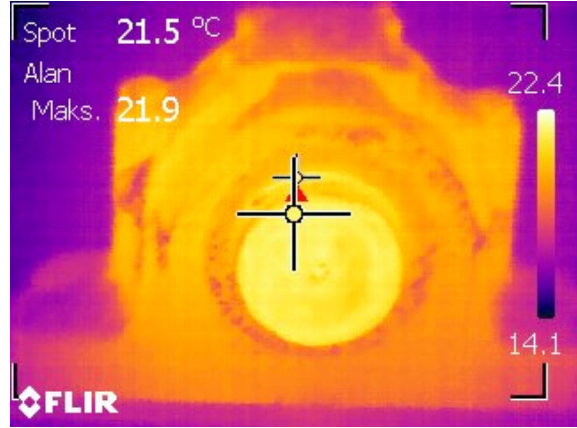


Şekil 5. Tambur sürtünme deneyi (TS EN 1554)

Yönetmelik'in değiştirilmesi sonrasında yangın algılama ve söndürme sistemlerinin teknik ve yasal açıdan incelenmesi sonucunda ülkemiz mevzuatında, maden işletmelerinde yangın algılama ve söndürme sistemlerine ilişkin bir düzenleme bulunmadığı görülmüştür. Ancak Amerika Birleşik Devletleri (ABD) National Fire Protection Association (NFPA) tarafından yayımlanan NFPA 122 "Fire Prevention and Control in Metal/Nonmetal Mining and Metal Mineral Processing Facilities" standardında yeraltı metal ocaklarına ilişkin düzenlemeler bulunmaktadır.

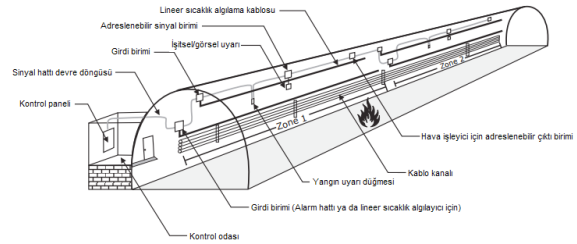
Yangın algılama sistemleri arasında NFPA standardını karşılayan ve yasal olarak uygun  seçenek bulunmaktadır. Bunlar;

- a. Termal kamera ile algılama: Algılama izlemesi için oldukça etkili ve görsel destek sağladığı için verimliliği yüksek bir çözümdür (ekil 6). Ancak sistemin handikabı termal kameraların maliyetinin oldukça yüksek olması ve bir kamera ile yalnızca bir noktanın izlenebilmesidir. Tüm bant galerilerini termal kameralar ile izlenmenin maliyeti ekonomik olarak yapılabılır olmayabilir. Maliyeti azaltmak için bant yollarındaki bazı bölgeleri izleme kapsamı dışında bırakmak da uygulanabilir değildir.



Şekil 6. Termal görüntüleme kamerası ile sıcaklık izleme

- b. Lineer kablo ile algılama: Lineer kablo ile sıcaklık algılama yöntemi düşük maliyetli olması nedeni ile oldukça yaygın kullanıma sahip ancak hassasiyeti düşük bir algılama sistemidir (ekil 7). Bu sistemde ortam sıcaklığı, önceden belirlenen eik değerinin altında olduğu sürece algılama uyarısı yayımlanmamakta, izlenen ortamda beklenmedik bir sıcaklık artıı meydana geldiğinde ise yer bildirim yaklaşık olarak verilebilmektedir (Kidde-Fenwal, 2016). Sistemin handikabı, yangının oluştuğu bölümün tam olarak belirlenmesinin özellikle yeraltı galerilerinde çalışanların güvenli şekilde kurtarılabilmesi adına büyük önem arz etmesi, algılanan sıcaklığın eik değerine ulaşana kadar yangının birçok noktaya sirayet edebilmesi ve uyarı alındığında durumun kontrol altına alınamayabilmesi ya da müdahalenin oldukça zorlaabilmesidir.



Şekil 7. Lineer kablo ile sıcaklık izleme (Kidde-Fenwal, 2016)

- c. Fibrolaser sistemi ile algılama: Nispeten yeni bir teknolojiye sahip sistemde sıcaklık artıı için bir eşik değeri belirlenmeksizin, fiber optik kablunun yüksek hassasiyet avantajı ile galeri sürekli kontrol edilebilmekte ve açık alevli bir yangın 3 m doğruluk ile bir dakikadan daha kısa sürede algılanarak, ana kumanda operatörüne bildirilebilmektedir (ekil 8). Sistem

dünyada oldukça yaygın olarak kullanılmakta olup birçok otoyol ve tren galerileri bu sistem ile kontrol edilmektedir (Siemens, 2015).



Şekil 8. Fibrolaser ile sıcaklık izleme (Siemens, 2015)

Diğer yandan, NFPA uyumlu yangın söndürme sistemleri arasında iki seçenek bulunmaktadır. Bunlar;

- Fiskiye (sprinkler) sistemi ile söndürme: Algılama sistemi tarafından gelen uyarı neticesinde yangının bulunduğu bölgede bulunan fiskiyelerden gelen basınçlı su yardımı ile yangının söndürülmesi prensibine dayanmakta olup etkin biçimde söndürme sağlamaktadır (Şekil 9). Bu sistemde büyük miktarda su ihtiyacı nedeniyle hem büyük çaplı borulara hem de büyük su tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan, yangına müdahale sonrasında galerilere basılan suyun tahliyesi de sorun oluşturabilmektedir.
- Su sisi sistemi ile söndürme: Algılanan yangını, püskürtme ağızlığı (nozzle) üzerinden çok yüksek basınçlı (~200 bar) su sisi oluşturarak boğan, söndürme ve soğutma sistemleridir (Şekil 10). Su sisi, fiskiye göre çok daha az suya, çok daha küçük pompa tertibatı ile küçük çaplı borulamaya ihtiyaç duymaktadır. Fiskiye göre hem daha iyi söndürme etkisine hem de daha yüksek soğutma kapasitesine sahiptir. Kullanılan soğutma suyu miktarının az olması, söndürme sonrası galerilerde mevcut suyun da kolaylıkla tahliye edilebilmesine olanak sağlamaktadır (Minimax, 2015). Ayrıca bu yöntem ile bantlı konveyör taşıma sistemindeki ekipmanlara fiskiye göre çok daha az zarar verilmektedir.



Şekil 9. Fiskiye sistemi ile söndürme/bastırma (Anon(b), 2016)



Şekil 10. Su sisi ile söndürme/bastırma (Anon(c), 2016).

NFPA 122 standardı uyarınca konveyör yangınlarını söndürmede kullanılan iki asal araç, su ve köpüktür. Bu sistemler uluslararası tanınırlığa sahip NFPA standartları 15 ve 16 aracılığıyla düzenlenmiştir. NFPA 15 standardında düzenlenen su bazlı söndürme sistemi uyarınca 30 dakikalık bir süre boyunca sürekli olarak 10,2 lt/dak/m²_konveyör_bandı su akımı gerekmektedir. Diğer yandan köpük bazlı söndürme sistemi ise 10 dakika boyunca 6,5 lt/dak/m²_konveyör_bandı akış gerektirmektedir (Su bazlı sistemin %22 kadarı hacim). Köpük bazlı sistem %97 su ve %3 köpükten oluşan bir karışım olup en yaygın köpük oluşturucu ajan, AFFF'dir (Aqueous Film Forming Foam). Bazı düzeneklerde AFFF konsantrisi bir kaptaki tutulmakta ve suyun akışıyla birlikte özel bir pompa aracılığıyla uygun mik-

tarda köpük çekilerek, su ile karıştığında doğru yoğunluğa ulaşacak su-köpük karışımı elde edilmektedir.

Yeraltı ocağının her bölümünde su ve enerji mevcudiyetinin güvenilir olmayabileceği durumlarda başvurulabilen bir seçenek ise azot silindri ile 1800 kPa basınç altında özel bir konteynerde tutulan su-köpük karışımından faydalanmaktır (Şekil 11). Bu sistem CAF (Compressed Air Foam) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 11. Yeraltında kurulu konteyner sistemi (Güler, 2016).

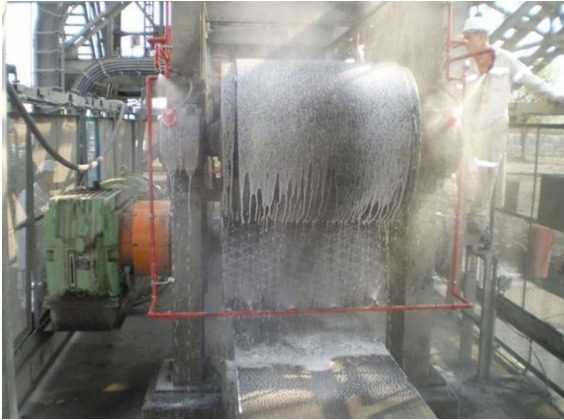
Dünyada, özellikle bantlı konveyörler ile kömür taşıma işlerinde aleve dayanıklı kaplamaya sahip bant kullanmak zorunludur. Hatta kömür taşınmayan bazı yeraltı galerilerindeki bantlar, cevher yatağı karbon içeren tabakalardan geçtiğinde, yine aleve dayanıklı kaplamaya sahip olmak durumundadır. Yeraltı galerilerinde ortam atmosferinin kendiliğinden yanabilir hale gelmediği ve taşınan malzemenin de tutuşmaya yatkınlığının bulunmadığı durumlarda aleve dayanıklı bant kullanmanın, çalışma emniyetine katkısı hususunda tartışmalar yapılmaktadır. Bu hususta 56 yıllık saha deneyimine sahip Lawrence Nordell, böyle durumlarda aleve dayanıklı bant kullanmanın yangına karşı alınabilecek önlem seçeneklerinden yalnızca birisini oluşturduğunu, işletmelerin genellikle sıcaklık ya da duman detektörleri ile birlikte çalışan su fiskiyesi seçeneğine yöneldiğini ifade etmektedir (www.conveyordynamics.com). İşletmeler, makara yataklarında oluşan bir yenileme ya da bozulma sonucu gres yağının alev almasının, yangını tetikleyen en önemli neden olduğunu düşünmektedirler. Dolayısıyla, galeride bulunan bir sıcaklık algılayıcısıyla makara konumu

belirlenmekte ve oluşabilecek yangını söndürme amacıyla fiskiyeler devreye alınmaktadır. Nordell, Avustralya'da denizaltına demir cevheri taşımak amacıyla kurulan bir konveyör sistemine benzer bir algılama-söndürme sistemi monte ettiklerini ifade etmiştir. Ayrıca, Güney Afrika'da faaliyet gösteren yeraltı ocaklarında da sıcaklık ve duman algılayıcı sistemlerin tetiklediği su fiskiyesi sistemi kurulmuş durumdadır. Nordell'e göre aleve dayanıklı bantlar, kaplamada kullanılan kauçuk malzemesinin doğal yoldan bozulmasından ötürü çok daha kısa hizmet ömrü beklentisine sahiptir. Ortam atmosferindeki ozon düzeyinin düşük olduğu durumlarda hizmet ömrü 15 – 20 yıldan fazla olurken, bu bantlarda beklenti 8 – 10 yıla düşmektedir. Konveyör bandının sert kayaların taşınmasında kullanımında bu süre daha da düşebileceğinden, kısa bant hizmet ömründen kaynaklanan maliyet, böyle uygulamalar için caydırıcı etki yapmaktadır.

Bu hususta görüş bildiren diğer bir uzman, 46 yıl saha deneyimi olan Ishwar Mulani'dir (www.ishwarmulani.com). Mulani (2016), aleve dayanıklı bantların aşınma direncinin normal bantlara kıyasla %25 - %35 arasında önemli ölçüde düşük olduğunu, aynı zamanda bu bantların yatırım ve işletme maliyetinin de normal bantlardan daha yüksek olduğuna işaret etmekte ve bu iki faktörün bileşik etkisinin büyük olacağı için ancak işletme koşullarının bu bantları gerçekten zorunlu hale getirdiğinde kullanılmaları gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca yangın olasılığı ya da hasarının öznel bir husus olduğunu, tesisin iyi bakılıp, işletilmesi durumunda yangın olasılığının da düşük olacağını ifade etmiştir. Ancak tesis bileşenlerinin düşük kaliteli ve çalışan personelin eğitimsiz ya da dikkatsiz olduğu durumlarda kaza ya da yangın olasılığının artacağına işaret etmiştir. Mulani, kömür ocakları gibi yanıcı maddelerin ortamda bulunduğu yerlerde aleve dayanıklı konveyör bandı kullanmanın bir zorunluluk olduğunu söylemektedir. Ancak demir cevheri gibi asal ve etkileşime girmeyen maddelerin ortam atmosferinde yanıcı/parlayıcı/patlayıcı gaz bulunmayan galerilerde taşınması durumunda aleve dayanıklı bant kullanmak için, bir noktaya kadar, galeri uzunluğuna bakılarak karar verilebileceğine işaret etmektedir. Kapalı bir ortamda yangın oluştuğunda atmosfer boğucu olacaktır. Bu durumda mevcut kaçış yollarının varlığı ve konumları değerlendirilmelidir. Mulani, yanıcı olmayan maddelerin yanıcı gazların bulunmadığı ortamlarda bantlı konveyörler ile taşınmasında aleve dayanıklı konveyör bandı kullanmak için

bir gerek olmadığı görüşündedir. Ancak bu hususun öznel bir konu olduğuna ve işletmenin bu hususa çok hassas olması durumunda, aleve dayanıklı bant kullanabileceğini ifade etmektedir. Diğer yandan, karar vericilerin bu durum ile ilgili yasal düzenlemeler ile sigorta koşullarını da dikkate almasını önermektedir.

Nordell, kaplama ile ek yerlerinin dayanımının zaman içinde düşeceğini belirtmekte ve yangınla mücadele için uygulanabilecek diğer bir eylemin belirli bir bölgede yangın geciktirici köpük kullanmak olduğunu ifade etmektedir. Su spreyine benzer şekilde köpük, önemli sıcaklık artışı ve duman tespit edilen bölgeye deşarj edilmektedir (Şekil 12). Köpük, oksijeni kesme amacıyla, giriş



Şekil 12. Köpük ile bant yangınlarını söndürme/bastırma (Güler, 2016).

kapısı gibi bölgesel bir noktaya uygulanmakta ve yangın, oksijen yetersizliğinden sönmektedir. Kimya sanayisinde sıklıkla başvurulmuş çok sayıda HAZOP "Tehlike Ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi (Hazard And Operability Studies)" risk değerlendirmesi çalışmasında yer aldığını belirten Nordell de Mulani gibi, tünel ortamında bantlı konveyör ile metal cevheri taşınmasında doğal standart lastik kaplamalı bantların, aleve dayanıklı bantlardan daha üstün performans göstereceği konusunda hemfikirdir. Nordell, bantlı konveyör sistemlerinde çok sayıda risk bulunduğunu ve yangının bunlardan yalnızca birisi olduğunu ifade etmektedir. Nordell, işletme yöneticilerine ocağın tasarım aşamasında aleve dayanıklı bant kullanma seçeneği sunulduğunu ancak HAZOP çalışmaları sonucunda yanabilir malzemeden imal edilen ve 15 yıldan fazla hizmet ömrü sunabilen bir bantın, bu süre boyunca birkaç kere değiştirilmesi gereken ve buna özgü riskler taşıyan aleve dayanıklı banda göre çok daha üstün olacağı görüşündedir. Nordell'e

göre yangın önleme, tespit ve müdahale aleve dayanıklı bant kullanmaktan başka seçeneklerle ele alınmaktadır. HAZOP risk değerlendirmesi sonucunda aleve dayanıklı bantlarla ilintili başka sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Bunlar arasında hızlı aşınma sonucu incelleme ve böylece ek yerlerinde beklenmedik kopmalar sayılabilir. Nordell, diğer yandan, aleve dayanıklı bantların yandığında kanserojen ürünler ortaya çıkardığını ve yangınların, bant türünden bağımsız olarak oluştuğuna dikkat çekmektedir.

Demir cevheri üretiminde dünyada önemli payı olan Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB) firması İsveç'te artık daire içinde yer alan Kiruna ve MalMBERGET yeraltı ocaklarında arakatlı göçertme yöntemini uygulayarak hematit ve manyetit üretimi yapmaktadır. LKAB, ürettiği manyetit cevheri için malzeme güvenlik bilgi formu (Material safety data sheet, MSDS) formatına uygun bir veri tablosu yayımlamıştır (LKAB, 2015). Bu dokümanın 5. Bölümü, yangınla mücadele yöntemlerine ayrılmıştır.

- a. 5.1 Kullanılabilen söndürme araçları başlığı altında "Bu ürün yanıcı değildir. Civardaki diğer maddeler için uygun bir yangın söndürme aracı kullanın." ifadesi bulunmaktadır.
- b. 5.2 Madde veya karışımdan kaynaklanan özel tehlikeler başlığı altında "Tehlikeli yanma ürünleri: Normal koşullar altında yok" ifadesi yer almaktadır.
- c. 5.3 Yangınla mücadele ekibine tavsiyeler bölümünde ise "Özel bir yangın söndürme süreci bulunmamaktadır" denilmektedir.

Veri tablosu Bölüm 14 Nakliyat ilintili hususlara ayrılmıştır.

- a. Karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu ile taşıma ilintili özel bir sınıflandırma bulunmamaktadır.
- b. Birleşmiş Milletler (UN) numarası: UN, bu ürünün tehlikeli maddelerin taşınması ile ilgili uluslararası düzenlemelere (IMDG, IATA, ADR/RID) dâhil olmadığını bildirmiştir.
- c. UN nakliye adı: taşıma için sınıflandırılmamıştır.
- d. Taşıma ve tehlike sınıf(lar): taşıma için sınıflandırılmamıştır.
- e. Paketleme grubu: taşıma için sınıflandırılmamıştır.

- f. Kullanıcıya özel önlemler: taşıma için sınıflandırılmamıştır.
- g. MARPOL73/78 kodu Ek II ve IBC koduna göre yığın malzeme nakliyatı: Uygulanabilir değil.

LKAB, demir cevherini tehlikeli bir materyal olarak tanımlamamakta ve taşıma için özel bir önlem öngörmemektedir. Manyetit cevheri satış yöneticisi Marina Hellsten, LKAB yeraltı demir ocaklarında alev dayanıklı bant kullanmanın standart uygulama olduğunu belirtmekle birlikte nihai kararın, yapılan risk değerlendirmesi çalışmalarını sonucunda verildiğini bildirmiştir (Hellsten, 2016).

Güney Afrika Cumhuriyeti Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yasasının bantlı konveyör nakliyatını düzenleyen bölümü uyarınca konveyör tesisatının tutuşarak kişilere zarar vermesini önlemek amacıyla konveyör bandı yapımında kullanılan malzemelerin, kurulum ya da işletme sırasında tutuşma ve yanıcı gaz ya da toz ateşleme riskini en aza indirecek biçimde olması gerekmektedir. Alınacak önlemler bir konveyör tesisi yandığı zaman kişilerin, serbest kalan kimyasallara maruziyetini önleyecek tedbirleri de içermelidir. İşveren; önleme, tespit ve bu yangınlarla mücadele önlemleri de dâhil olmak üzere kişilerin, tutuşan bir konveyör tesisinden ortama yayılan alev ve dumana maruziyetini önlemek amacıyla uygulanabilir tüm makul önlemleri alacaktır. Bununla birlikte bantlı konveyör tesislerinin tasarımı ve donanım seçimi amacıyla gaz ve toz patlama tehlikesi bulunan maden işletmelerinde kullanılmak üzere alev yürütmez özellikli tekstil takviyeli konveyör bant seçimini düzenleyen ulusal standardın izlenmesi önerilmektedir (Anon(d), 2016). Uygulamada, Ülkede faaliyet gösteren yeraltı metal cevheri ocaklarında bant yangınlarına karşı önleyici müdahale ilkesi benimsendiği, sıcaklık ve duman algılayıcıları ile ortam atmosferinin izlendiği, NFPA standardına uygun yangın bastırma/söndürme sistemlerinin kurulu olduğu, bant hızını izleyen ve hızda %20 civarında düşme meydana geldiğinde sistemi otomatik olarak durduran devre kesiciler kullanıldığı bildirilmiştir (Güler, 2016).

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 29 Aralık 2012 gün ve 28512 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK DEĞERLENDİRMESİ YÖNETMELİĞİ'nde aşağıdaki tanımlar yapılmıştır.

MADDE 4 – (1) Bu Yönetmelikte geçen;

- a. Kabul edilebilir risk seviyesi: Yasal yükümlülükler ve işyerinin önleme politikasına uygun, kayıp veya yaralanma oluşturmayacak risk seviyesini,
- b. Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalini,
- c. Risk değerlendirmesi: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları,
- d. Tehlike: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelini, tanımlar.

Yeraltında birkaç kilometre uzunluğa ulaşabilen bir bantlı konveyör hattında konveyör bandı yanmaya başladığında, acilen müdahale yapılmadığında yangının tüm hattaki bandın tutuşmasına neden olma ihtimali yüksektir. Bu durumda yangının etkisinin ocağa yayılacağını kabul etmek gerekir. Yukarıdaki tanımlar gereği yeraltı metalik cevher ocaklarında bantlı konveyör taşıma sistemi veya diğer unsurlardan kaynaklanabilecek yangın tehlikesi mevcuttur. Bu tehlikeden kaynaklanabilecek risk ise personelin yaşamını yitirmesi ve işyeri eklentilerinin hasar görmesi sonucunda üretimin durması veya kesintiye uğraması olarak tanımlanabilir.

Aleve dayanıklı bantların yanmaz olmayıp, alevin yayılmasını belirli bir süre için geciktirdikleri dikkate alındığında bu tür bant kullanımı, konveyör tesisi üzerinde büyüyen bir yangının neden olacağı kayıp/hasar riskini belirli ölçüde azaltacak ancak kabul edilebilir düzeye indirebileceği hususundaki kaygıları tamamen gideremeyecektir. Üretim bölgeleri ile nakliye sistemi arasında etkileşim ve bağlantı olmayan, işletmelerin bulunduğu formasyonların yanıcı ve yakıcı gaz ve yanıcı toz içeren kayaç yapısına sahip olmadığı ve yanıcı ürün oluşturmayan özellikte cevherlerin üretildiği yeraltı metalik cevher işletmelerinde Yönetmelik uyarınca alınması zorunlu iş sağlığı ve güvenliği önlemleri yanında grizulu kömür ocaklarında alınması zorunlu olan önlemlerin de gönüllülük esasına bağlı olarak devreye

alınması, çalışma emniyetini artırmakta ve yukarıda değinilen riski azaltmaktadır. Diğer yandan, konveyör bantlarının alev yürütmez özelliğe haiz olması kadar bant galerisi atmosferinin sıcaklık ve duman gibi yangın işaretçisi faktörler bakımından sürekli izlenmesi ve oluşabilecek yangın türüne göre acil müdahale sağlayabilecek otomatik soğutma-söndürme sistemlerinin temin edilerek bu sistemin hiçbir koşulda devreden çıkmayacak şekilde izleme yapmasının sağlanması, riskleri kabul edilebilir düzeye indirgeme bakımından daha akılcı bir önlem olarak belirmektedir. Bant yangınlarının en önemli nedenleri arasında aşırı tambur/makara-bant sürtünmesi kaynaklı sıcaklık artışı ve kaplamanın tutuşması gösterilebilir. Bu nedenle özellikle motor ve redüktör ile tahrik, dönüş, gerdirme, saptırma vb. tamburların sıcaklıklarını termal kameralar ya da konstrüksiyon üzerine monte edilen algılayıcılar ile izleyen ve eşik değer aşıldığında sistemi otomatik olarak durduran bilgisayar kontrollü bir izleme sisteminin kurulması, yangını oluşturma aşamasında önleme fırsatı sunmaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, yeraltı işletme yöntemleri ile metalik cevher üretilen maden ocaklarında kullanılan bantlı konveyör sisteminin çalışma emniyeti üzerine bir değerlendirme yapılmıştır.

Yönetmelik gereğince yeraltı işletmelerinde mevcut alev alabilir bantların anti-statik ve alev yürütmez özellikteki bantlar ile değiştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, Bölüm 3'teki değerlendirmeler ışığında, yeraltı metalik cevher işletmelerinde alev yürütmez özellikte konveyör bantı kullanmanın yangın ilintili riskleri kabul edilebilir düzeye indirgemesi ile ilgili nihai kararın, aşağıdaki maddelerde verilen hususların gerçekçi bir risk analizi ile değerlendirmesi sonucunda verilmesinde yarar görülmektedir.

- Yeraltındaki üretim bölgeleri ile ana nakliye sistemi arasındaki etkileşim ve bağlantı,
- Yeraltı işletmelerinin bulunduğu formasyonların yanıcı ve yakıcı gaz içeren kayaç yapısına sahip olup olmadığı,
- İşletmelerde uygulanmakta olan iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının herhangi bir yangın durumuna ilişkin yeterliliği,
- Mevcut ve değiştirilmesi önerilen konveyör bantlarının özellikleri, alev almaya ve alevi

iletmeye yatkınlıkları ve kullanımda ortaya çıkan ilintili riskler,

- Yeraltı işletmelerinde kurulu olan gaz izleme sistemi, nakliye galerilerinde kurulu olan yangın algılama ve söndürme sistemi.

KAYNAKLAR

- Anon(a), 2016. Çelik halat ve dokuma örgülü karkas yapıları. <http://www.ozerband.com>, alındığı tarih: 04.01.2016.
- Anon(b), 2016. <http://www.sorenge.com.br/wp-content/uploads/2013/07/sprinkler.jpg>, alındığı tarih: 04.01.2016.
- Anon(c), 2016. <http://www.solit.info/solit1/galerie/tests/7.jpg>, alındığı tarihi: 04.01.2016.
- Anon(d), 2016. Annex B, Guideline for the compilation of a mandatory code of practice for the safe use of conveyor belt installations for the transportation of mineral, material or personnel. Mine Health & Safety Inspectorate, Department of Mineral Resources, South Africa.
- Aşık, E., 1988. Bantlı konveyörler – hesap ve konstrüksiyon esasları. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın no: 98, Ankara.
- ÇSGB, 2015. Yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği rehberi. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Yayın no: 43, Ankara, 140 s.
- Güler, G., 2016. Kişisel görüşme. Anglo American Platinum Joint Ventures, Johannesburg, South Africa.
- Hellsten, M., 2016. Kişisel görüşme. LKAB Minerals AB, Luleå, Sweden.
- HSE, 2015. The prevention and control of fire and explosion in mines. Health and Safety Executive, Deep Mined Coal Industry Advisory Committee, England.
- Hustrulid, W.A., 1982. Underground mining methods handbook. Society of Mining Engineers, USA.
- Kauçuk Derneği, 2014. Basın açıklaması. Kauçuk Derneği İktisadi İşletmesi, Mart, Sayı: 52, ISSN: 2146-1821.
- Kidde-Fenwal, 2016. Intelligent linear heat detection systems fire alarm zone identification and output control, application guide for tunnels. <https://www.kidde-fenwal.com>, alındığı tarih: 01.09.2016.
- Kissell, F.N., 2006. Handbook for methane control in mining. Information circular 9486, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Pittsburg, USA, 184 pp.

LKAB, 2015. Non-hazardous material safety data sheet for magnetite. LKAB, <http://www.lkabminerals.com/Documents/Product%20SDS/Magnetite%20SDS,%2012-01INT,13-09.pdf>, alındığı tarih: 17.12.2015.

Minimax, 2015. Minifog procon low-pressure water mist system. www.minimax.de, alındığı tarih: 17.12.2015.

Mulani, I., 2016. Kişisel görüşme Pune, India.

Siemens, 2015. FibroLaser III – reliable fire protection for long and widespread systems. www.siemens.com/fibrolaser, alındığı tarih: 17.12.2015.

TSE, 2015. Muayene ve deney hizmetleri raporu. Türk Standartları Enstitüsü, Ege Bölge Laboratuvarı, İzmir.



Derleme / Review

MADEN EKİPMANLARI PATLATMAZLIK (Ex-Proof) SERTİFİKALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF EXPLOSION PROOF CERTIFICATES OF MINING EQUIPMENT

Mehmet Suphi Ünal^{a,*}, Süleyman Yasin Kılıoğlu^a, Bahtiyar Ünver^a

^a Hacettepe Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Geliş Tarihi / Received : 26 Ekim / October 2016

Kabul Tarihi / Accepted : 28 Kasım / November 2016

Anahtar Sözcükler:

Patlatmazlık, maden ekipmanları, sertifika, uluslararası uyumluluk

ÖZET

Patlatmazlık, yeraltı madenleri, rafineriler ve yakıt istasyonları gibi patlayıcı ortamların bulunduğu alanlarda güvenli bir şekilde çalışabilmek adına bu ortamlarda kullanılan ekipmanların sahip olması gereken en önemli özellik olarak tanımlanabilir. Bu özellik sayesinde olası bir patlayıcı ortamda ark veya alev üretmesi muhtemel ekipmanlar farklı koruma tipleri kullanılarak ortamdaki patlatılmaktadır. Dünya genelinde kullanılan patlatmazlık standartları temel olarak aynı olsa da, farklı ülkelerin kendilerine has sertifikalandırma sistemleri bulunmaktadır. Bunların en bilinenleri uluslararası alanda IECEx (ve Avrupa genelinde ATEX sertifikalarıdır. Dünyada farklı ülkelerde kullanılan sertifikaların hepsi genel anlamda IECEx standardına dayanmakta olup aralarında konunun özünü değiştirmeyecek nitelikte küçük farklar bulunmaktadır. Bu makalenin amacı farklı ülkelerde geçerli olan, tehlikeli ortamlarda ve özellikle madenlerde kullanılacak olan ekipmanların sahip olmaları zorunlu sertifikaların tanıtılarak karşılaştırılmasıdır. Bu konuda ülkemiz madencilik sektörünün bilgilendirilerek güvenli madencilik yapılmasına olanak tanıyacak ekipman seçimine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

ABSTRACT

Being explosion proof may be defined as the most important feature for the equipments used in explosive atmospheres such as underground mines, refineries and fuel stations to have a safe working environment. With this feature, equipments that have the potential to produce an arc or a fire are isolated from the explosive atmosphere. While the globally used explosion proof standards are basically the same, different countries have their own certification schemes, IECEx (internationally) and ATEX (Europe) being the most known ones. Certificates used in different countries in the world are all based on the IECEx standard in general terms and there are minor differences. The aim of this article is to introduce and compare compulsory certifications for equipment that used in hazardous environments, especially in mines, in different countries. It is aimed to contribute to the selection of equipment that will allow our country's mining industry to be informed and to make safe mining.

Keywords:

Explosion proof, mining equipment, certificates, international conformity

* msunal@hacettepe.edu.tr

GİRİŞ

Yeraltı madenlerinde farklı gaz ve tozların açığa çıkması nedeniyle patlatma veya yanma özelliğine sahip ortamlar oluşabilmektedir. Öncelikle patlama ve yanma özelliğine sahip atmosferin oluşmasının önlenmesi temel prensiptir. Fakat her türlü önleme rağmen yeraltı ocaklarında patlayıcı ve yanıcı ortam kontrolsüz bir şekilde meydana gelebilir. Bu nedenle özellikle yeraltı kömür ocaklarında kullanılacak olan tüm ekipmanların böylesi riskli bir ortamda herhangi bir patlama veya yanmaya neden olmayacak şekilde tasarlanması zorunludur. Yeraltında kullanılmasına izin verilen ekipmanların patlatmazlık özelliğine sahip olmasının sertifikalandırılarak garanti altına alınması gerekmektedir.

Ülkemizdeki yasal durum makale içerisinde açıklanmaktadır. Madenlerde kullanılması zorunlu olan ekipmanların sahip olması gereken patlatmazlık sertifikaları konusunda bazı sıkıntılar mevcuttur. Bu makalenin temel amacı literatür ve mevzuatlarda belirtilen patlatmazlık ile ilgili genel tanımların ve ayrıntıların kavram kargaşasını gidermek açısından kısaca verilmesidir. Gerçek anlamda dünyada konu ile ilgili kullanılan bütün mevzuat ve standartlar birbirleriyle uyumludur. Bu standartlar arasında patlayıcı ortamların sınıflandırılması ve isimlendirilmesi dışında kavramsal bir değişikliğe neden olacak nitelikte farklılıklar bulunmamaktadır. Makalede öncelikle patlayıcı ortam oluşum ve tanımları verilmekte daha sonra farklı patlatmazlık kategorileri karşılaştırmalı olarak açıklanmaktadır. Ayrıca tüm dünyada kullanılan standartların kökeni olan IECEx (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu Patlatmazlık Standardı) sertifika ve standartlarının diğer standartlarla olan uygunluğu açıklanmaktadır.

Çalışmada ayrıca farklı sertifika sistemlerinde kullanılan etiketler de çeşitli örneklerle verilmektedir.

1. PATLAYICI ORTAM OLUŞUMLARI

Bir ortamda patlamanın meydana gelebilmesi için, Şekil 1'de gösterildiği üzere, 3 temel ögenin birlikte bulunması gerekir.



Şekil 1. Patlama oluşumu için gerekli unsurları gösteren patlama üçgeni (Anon (a))

Yanabilir sıvı, buhar, gaz veya patlayıcı tozların herhangi bir yangın veya patlamaya yol açabilecek miktarda bulunduğu ortamlar tehlikeli bölge/alan ve patlayıcı ortamlar gibi farklı şekillerde isimlendirilmektedir (Paonessa, 2016). Günümüz modern endüstri koşullarında böylesi ortamlarda patlatmazlık özelliği bulunan ekipmanların kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu ekipmanların kullanıldığı başlıca çalışma alanları aşağıda verilmektedir:

- Yeraltı madenleri,
- Yakıt istasyonları,
- Gaz taşıma boruları ve dağıtım merkezleri,
- Şeker rafineleri, Tahıl ambarları
- Petrol rafinerileri, kuyuları ve işleme tesisleri,
- Kimyasal işleme tesisleri,
- Ahşap işleme tesisleri,
- Matbaa, kağıt ve tekstil endüstrileri,
- Metal yüzeyi işleme tesisleri,
- Kanalizasyon arıtım tesisleri (McManama, 2012),

Mevzuata göre, patlamaların önlenmesi ve bunlardan korunmanın sağlanması amacıyla, yapılan maden çalışmalarının doğasına uygun olan teknik ve organizasyona yönelik önlemlerin alınması zorunludur (Anon(a), 2013). Aksi takdirde Şekil 1'de gösterilen üç unsur bir araya geldiğinde patlama için uygun ortam oluşacaktır. Patlamanın önlenmesi ile ilgili teknik ve organizasyona yönelik önlemler aşağıda belirtilen öncelik sırası dikkate alınarak uygulanmalıdır:

1. Patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi,
2. Yapılan işlemlerin doğası gereği patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi mümkün değilse patlayıcı ortamın tutuşmasının önlenmesi,
3. Alınan tüm önlemlere rağmen patlamanın gerçekleşmesi durumunda, patlamanın zararlı etkilerini azaltacak önlemlerin alınmasıyla, çalışanların sağlık ve güvenliklerinin sağlanması (Karabakal, 2013)

2. PATLAYICI ORTAMLAR İÇİN KORUMA TİPLERİ

Bir ekipmanın yanma veya patlama riski taşıyan bir ortamda güvenli bir şekilde çalışabilmesi ve herhangi bir tehlikeye sebep olmaması özelliği patlatmazlık (Ex-proof) olarak adlandırılmaktadır. Patlatmazlık kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için patlayıcı ortamlarda kullanılan başlıca koruma tipleri aşağıda özet halinde açıklanmıştır:

- Alev Sızmaz Koruma / d-tipi koruma (Flameproof): En çok kullanılan ve geniş bir tatbikat alanı olan bir koruma yöntemidir. Bu yöntemde ark veya ısı üreten alet basınca dayanıklı bir muhafaza (kap) içerisine yerleştirilir. D-tipi bir muhafazada, muhafazanın içerisinde patlayan gaz, dış kısımda hazır bekleyen ve patlama kıvamında olan gazı ateşleyemez. Yani içerdeki alev dışarı sızmaz.
- Artırılmış Emniyet / e-tipi koruma (Increased safety): Normal çalışma koşulları altında ark üretilmemesine rağmen patlayıcı ortamda tehlike yaratılmaması için ilave önlemlerin alındığı bir uygulamadır. Kısaca aygıtın emniyeti bir miktar daha artırılır.
- Basınçlı tip koruma / p-tipi koruma (Pressurized safety): Bu koruma tipi, patlayıcı ortamın ateşleme kaynağından uzak tutulması veya uzaklaştırılması prensibine dayanır. Bu maksatla, patlayıcı gaz veya buharın girmesi istenmeyen bölge dışarıya karşı, izole edilerek basınç altında tutulup, patlayıcı ortamın ateşleme kaynağı içeren bölgeye sızması önlenir.
- Kumlu koruma / q-tipi koruma (Sand Filling): Ekipmanın gaz girmesi istenmeyen bölmeleri kuvars kumu veya tozu ile doldurularak patlayıcı gaz veya buharın bu bölmelere girmesi önlenir.
- Yağlı koruma / o-tipi koruma (Oil Immersion):

Ark çıkaran veya tehlikeli derecede ısınan cihazların yağ içine batırılması yoluyla patlayıcı ortamdaki izole edilmesidir.

- Kendinden emniyetlilik / i-tipi koruma (Intrinsic Safety): Ekipmanın bağlı olduğu devredeki enerjinin kısıtlanarak, dışarıya etki edecek derecede yüksek sıcaklık, kıvılcım ve arkların oluşmasının engellenmesidir.
- Kapsüllü koruma / m-tipi koruma (Encapsulation): Isı veya ark üreten alet veya parçaların epoksi reçine gibi katı maddeler içine gömülerek patlayıcı ortamdaki izole edilmesi yöntemidir (Anon(b), 2014).

3. PATLATMAZLIK (EX-PROOF) STANDARTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Patlatmazlık mevzuatı açısından dünyada farklı standart ve yönergeler bulunmaktadır. Bu standart ve yönergelerin ilk bakışta farklı oldukları düşünülse bile, temel itibarıyla çok benzer oldukları görülmektedir. Sözü edilen bu temel, birçok ülke için Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun (IEC) ortaya koymuş olduğu IECEx patlatmazlık standardıdır (IEC 60079) (Anon(j), 2016). Bu standart; patlayıcı ortamda bulunan ekipmanların koruma tiplerini, bu ekipmanların kurulumlarının ve bakımlarının nasıl yapılacağını ve buldukları patlayıcı ortamların sınıflandırılması konularını açıklamaktadır. IEC 60079 standardının yürürlükte olduğu ülkelerde standart numarası aynı kalmakta ve sadece ilgili ülkenin kısaltma kodu ile birlikte kullanılmaktadır. Örneğin Avrupa için EN 60079, IEC 60079'a karşılık gelmektedir. Rusya'da geçerli olan GOST-R [5], Çin'de geçerli olan GB3836 (Xu, 2013) ve ABD'de kullanılan FM patlatmazlık standartları ise IEC'nin uluslararası standartları ile uyumlu halde olup farklı kod numaralarına sahiptir (Stahl, 2011).

IEC 60079 standardına ve bununla uyumlu olan diğer standartlara bağlı olarak dünyada farklı ülkelerde farklı patlatmazlık sertifikalandırma sistemleri bulunmaktadır. IECEx Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun oluşturduğu sertifikalandırma sistemi iken, Avrupa Birliği'nde bunun için ATEX yönergeleri kullanılmaktadır.

Dünyadaki patlatmazlık sertifikalandırma sistemlerinin başlıcaları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Dünyada kullanılan başlıca patlatmazlık sertifikalandırma sistemleri

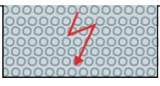
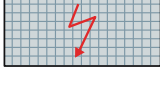


Sertifika Adı	Kullanıldığı Ülke
IECEX	Uluslararası
ATEX	Avrupa Birliği
KGS, KTL, KOSHA	Güney Kore
INMETRO/CGCRE	Brezilya
TIIS	Japonya
FM, QPS, UL, ANSI, ISA	Kuzey Amerika
CSA	Kanada
CNEEx/MA	Çin
GOST	Rusya (GOST-R), Ukrayna, Kazakistan (GOST- K)
ANZEx	Avustralya, Yeni Zelanda

Avrupa'da "tehlikeli" bölgelerde elektronik ve mekanik aygıtlar kurulurken ve bu aygıtların bakımı yapılırken ATEX 2014/34/EU yönergesine uyulması zorunludur (Anon(b), 2014). 20 Nisan 2016 tarihi itibarıyla geçerli olan bu yönerge önceki ATEX 94/9/EC yönergesinin yerini almıştır (Anon(c), 1994). Her ne kadar yeni çıkarılan yönerge hacimsel olarak daha büyük olsa da iki yönerge arasındaki farklar sadece kuralların başka kelimelerle ifade edilmesi, farklı biçimlerde yazılması, maddelerin yeniden sıralandırılması ve maddelerin daha açık bir şekilde ifade edilmesi şeklindedir. Ayrıca eski yönerge kapsamındaki EC tipi inceleme sertifikaları yeni yönerge çerçevesinde de geçerlidir.

Patlayıcı gaz ve toz ortamlarında bulunan ekipmanlar için koruma tipleri ve farklı ülkelerdeki bağlı buldukları standartların isimleri Çizelge 2'de bir bütün olarak sıralanmaktadır. Koruma tiplerinin temel prensipleri ilgili kolonda özet halinde bulunmaktadır.

Çizelge 2. Patlayıcı gaz ve toz ortamlarında bulunan ekipmanlar için koruma tipleri ve farklı ülkelerdeki bağlı buldukları standartlar (Anon (k), 2010)

Patlayıcı gaz ortamlarında bulunan elektrikli ekipmanlar için koruma tipleri ve farklı ülkelerde bağlı oldukları standartlar						Kullanılacak Bölge/ Ekipman Koruma Seviyesi		
Koruma Tipi	İşaret	Şematik Diagram	Temel Prensip	Standart*	Örnek	0 Ga	1 Gb	2 Gc
Genel Gereksinimler (General Requirements)			Patlayıcı ortamlarda kullanılan elektrikli ekipmanların genel gereksinimleri çeşitleri ve test edilmesi	EN 60079-0 IEC 60079-0 ANSI/UL 60079-0 FM 3600 GOST R 51330.0 GB3836.1				
Artırılmış Emniyet (Increased Safety)	e		Normal şartlar altında kıvılcım veya ark oluşturmayan, tehlikeli sıcaklıklara çıkmayan ve 1 kV üzerine çıkmayan ekipman ve parçalar	EN 60079-7 IEC 60079-7 ANSI/ISA/ UL 60079-7 GOST R 51330.8 GB3836.7	Terminal, elektrik kutuları		■	■
Alev sızdırmaz mahfaza (Flameproof Enclosure)	d		İçerisinde gerçekleşecek olası patlamaya mahfazanın dayanacak mukavemette olması ve dışarıya patlama etkilerinin sirayet ettirilmemesi	EN 60079-1 IEC 60079-1 ANSI/ISA/ UL 60079-1 FM 3615 GOST R 51330.1 GB3836.2	Şalter, trafo		■	■
Basıncılı mahfaza (Pressurized Enclosure)	p		Ateşleyici kaynağın basınçlı (min. 0.5 mbar) koruyucu bir gazla çevrili olması – dış ortam içeriye etki edemez	EN 60079-2 IEC 60079-2 FM 3620 NFPA 496 GOST R 51330.3 GB3836.5	Kontrol kutusu, şalter kutusu		■	■
Kendinden emniyetli (Intrinsic safety)	i		Devredeki enerjinin kısıtlanarak, dışarıya etki edecek derecede yüksek sıcaklıkların, kıvılcımların ve arkların oluşmasının engellenmesi	EN 60079-11 IEC 60079-11 ANSI/ISA/ UL 60079-11 FM 3610 GOST R 51330.10 GB3836.4	Tahrik düzeneği, sensörler	■	■	■
Yağlı Koruma (Oil immersion)	o		Ekipmanın ve/veya parçalarının yağa batırılarak patlayıcı ortamdan ayrılması	EN 60079-6 IEC 60079-6 ANSI/ISA/ UL 60079-6 GOST R 51330.7 GB3836.6	Trafo ve şalter cihazları		■	■

Kumlu Koruma (Sand filling)	q		Ateşleyici kaynağın gömülü olması - Mahfaza etrafındaki patlayıcı ortam bir ark tarafından ateşlenemez	EN 60079-5 IEC 60079-5 ANSI/ISA/ UL 60079-5 GOST R 51330.6 GB3836.7	Radyatör ve kapasitör	■	■	
Kapsüllü Koruma (Encapsulation)	m		Ateşleyici kaynağın bir kalıba konularak kapsüllemesi sayesinde patlayıcı ortamı ateşleyememesi	EN 60079-18 IEC 60079-18 ANSI/ISA/ UL 60079-18 GOST R 51330.17 GB3836.9	Sensörler, şalterler	■	■	■
Diğer Koruma Tipleri (Types of Protection)	n		Diğer koruma tiplerinin basitleştirilmiş uygulamaları – “n” “ateşleyici olmayan (non-igniting)” manasına gelmektedir	EN 60079-15/2/18/11 IEC 60079-15/2/18/11 ANSI/ISA/ UL 60079-15 FM 3611 GB3836.8	Programlanabilir kontrol cihazları			■
Optik radyasyon (Optical Radiation)	op		Uygun önlemler aracılığıyla tehlikeli ortamların optik radyasyon tarafından ateşlenmesinin engellenmesi	EN 60079-28 IEC 60079-28	Fiber-optik iletkenler	■	■	■
Patlayıcı toz ortamlarında bulunan elektrikli ekipmanlar için koruma tipleri						Kullanılacak Bölge/ Ekipman Koruma Seviyesi		
Koruma Tipi	İşaretleme/ etiketleme	Temel Prensiptir		Standart*	Örnek	20 Da	21 Db	22 Dc
Genel gereksinimler (General requirements)		Elektrikli ekipmanların patlayıcı ortamlarda kullanılmaları ve test edilmeleri için genel gereksinimler		EN 61241-0 ¹⁾ IEC 61241-0 ¹⁾ EN 60079-0 IEC 60079-0 GB12476.1				
Basıncılı mahfaza (Pressurized enclosure)	pD	Mahfaza içerisinde çevreleyen ortamdaki daha yüksek basınca sahip koruyucu bir gaz (hava, atıl veya diğer uygun gazlar) kullanılarak elektrikli ekipman mahfazasının içerisine çevreleyen ortamın işlememesinin sağlanması		EN 61241-4 IEC 61241-4 GB12476.7	Normal çalışma koşullarında ark, kıvılcım oluşumuna ve parçaların ısınmasına sebep olabilecek ekipman		■	■
Kapsülleme (Encapsulation)	mD	Potansiyel patlayıcı ortamları kıvılcımlar veya ısı yoluyla ateşleyebilecek parçaların kapsüllemeye bir şekilde kaplanması yoluyla ateşlemenin engellenmesi. Bu parçaların fiziksel (özellikle elektriksel, ısıl ve mekanik) ve kimyasal etkilere dayanıklı alaçımlarla tamamen kaplanmaları şeklinde gerçekleştirilir.		EN 61241-18 IEC 61241-18 GB12476.6	Büyük makineler, kontak halkası veya kollektör motorları, laşter ve kontrol kutuları		■	■
Mahfazayla koruma (Protection by enclosure)	tD	Mahfaza herhangi bir yanıcı tozun içine giremeyeceği şekilde yalıtılır. Mahfaza dışının yüzey sıcaklığı sınırlıdır.		EN 61241-1 IEC 61241-1 EN 60079-31 IEC 60079-31 GOST R IEC 61241-1 GB12476.5	Ölçme ve izleme sistemleri	■	■	■
Kendinden emniyetli (Intrinsic safety)	iaD, ibD, icD	Akım ve voltaj kendinden emniyet koşulu garantilenecek şekilde sınırlanır. Herhangi bir kıvılcım ve ısıl etki toz/hava karışımını		EN 61241-11 IEC 61241-11 GB12476.5	Sensörler ve tahrik düzenekleri	■	■	■

*EN: Avrupa, IEC: Uluslararası, GOST-R: Rusya, ANSI/ISA/UL/FM/NFPA: ABD, GB: Çin

3.1. Tehlikeli Bölge Sınıflandırması

Yanıcı gaz, buhar, sıvı ve toz varlığından ötürü oluşabilecek yangın ve patlama tehlikelerinin bulunduğu bölgeler tehlikeli bölge olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel patlayıcı atmosferlerin oluşma sıklığına bağlı olarak tehlikeli bölgelerin sınıflandırılması amacıyla dünyada farklı standartlar kullanılmaktadır.

Tehlikeli bölge sınıflandırılmasında IEC, Avrupa ve Avustralya, tehlikeli bölgeleri Zon (Zone) olarak isimlendirip üçe ayırmaktadır. Bunlar;

Zon 0: Sürekli veya uzun süre, daimi olarak bulunan potansiyel patlayıcı ortamlar,

Zon 1: Tesisin normal operasyonu sırasında ortaya çıkabilecek potansiyel patlayıcı ortam,

Zon 2: Normal operasyon sırasında veya devamında ortamda bulunmayan ancak sadece kaza anında oluşan patlayıcı ortam,

Kuzey Amerika'da ise sınıflandırma sistemi NEC (Ulusal Elektrik Kodu) ve CEC (Kanada Elektrik Kodu) içerisinde belirlenmiştir. Buna göre patlayıcı ortamlar iki bölüme (division) ayrılmaktadır.

Çizelge 3. Farklı ülkelerde kullanılan tehlikeli bölge sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması (Sarı,2011)

Zon (Zone) ve Bölüm (Division) karşılaştırma tablosu			
NORMAL ÇALIŞMA ŞARTLARINDA			
	Sürekli veya uzun süreli tehlikeli ortamlar	Orta tehlikeli, arada bir ve kısa süreli tehlike ortamlar	Tehlikeye girmeyen ve ihtimali zayıf olan ortamlar
Kuzey Amerika (NEC ve CEC)	Bölüm 1		Bölüm 2 veya Zon 2
	Zon 0	Zon 1	
IEC ve EN (Uluslararası ve Avrupa)	Zon 0	Zon 1	Zon 2

Ayrıca 2001 yılı itibariyle ABD'de de Zon sisteminin kullanılmasına izin verilmeye başlanmıştır. Buna ek olarak bölüm sistemi de hala kullanılmaktadır (Sarı, 2011).

Çizelge 3'te tehlikeli bölge sınıflandırmasında kullanılan Zon ve Bölüm sistemlerinin karşılaştırılması verilmektedir.

3.2. Patlama Grupları

Patlayıcı ortamda bulunan gaz türüne bağlı olarak patlama grupları tanımlanmaktadır. Farklı ülkelerde tanımlanmakta olan patlatma grupları Çizelge 4'de verilmektedir.

3.3. Sıcaklık Sınıflandırmaları

Tehlikeli bölgelerde bulunma olasılığı olan gaz ve buhar ortamında çalışılabilecek güvenli sıcaklık limit değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5). Tehlikeli alanlarda kullanılacak olan tüm teçhizatın yüzey sıcaklıkları, o bölgede bulunan gaz ve buharın tutuşma sıcaklığını geçmemelidir.

Geleneksel Kuzey Amerika sınıf/bölüm sistemi sıcaklık sınıflandırmalarında da farklılıklara yol açmıştır. Kuzey Amerika dışındaki diğer bölgelerde standart bir sistem kullanılmaktadır.

Çizelge 4. Patlama Grupları (Sarı, 2011)

EN, IEC ve NEC gaz gruplarının karşılaştırılması		
PATLAYICI GAZ ÖRNEĞİ	KUZEY AMERIKA NEC ARTICLE 500, CEC SECTION 18	CENELEC/IEC EN 50014, IEC 79-0
ASETİLEN	A veya IIC	IIC
HİDROJEN	B veya IIC	IIC
ETİLEN	C veya IIB	IIB
PROPAN	D veya IIA	IIA
METAN	D veya I	I

Çizelge 5. Sıcaklık Grupları ve Güvenli Çalışma Limit Değerleri (Sarı, 2011)

NEC, IEC ve EN ye göre kabul gören sıcaklık grupları				
SICAKLIK GRUBU IEC ve EN	Aletin maksimum yüzey sıcaklığı	Patlayıcı ortamın Patlama sıcaklığı	SICAKLIK GRUBU NEC	
T1	450 °C	>450°C	T1	450 °C
T2	300 °C	>300 <450 °C	T2	300 °C
			T2A	280 °C
			T2B	260 °C
			T2C	230 °C
			T2D	215 °C
T3	200 °C	>200 <300 °C	T3	200 °C
			T3A	180 °C
			T3B	165 °C
			T3C	160 °C
T4	135 °C	>135 <200 °C	T4	135 °C
	120 °C		T4A	120 °C
T5	100 °C	>100 <135 °C	T5	100 °C
T6	85 °C	> 85 <100 °C	T6	85 °C

3.4. Patlatmazlık Korunmalı Aletlerin Testleri

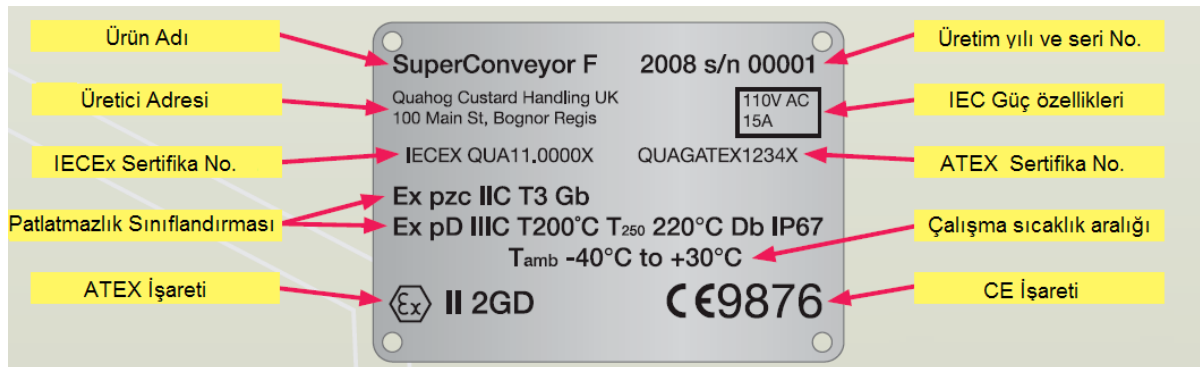
Patlatmaz ekipmanlar üretildikleri koruma tiplerine bağlı olarak IEC 60079 standardında belirtilen temel testlerden geçirilmelidir. Ekipman örneğinin tasarım ve koruma standartlarına uygunluğunun saptanması için yapılan testler, temel testler olarak adlandırılmaktadır. Temel testleri geçip sertifikasını almış ekipmanların belirli aralıklarda tabi tutuldukları testlere ise kontrol testleri denilmektedir (Karabakal, 2013).

Bu testlerin belirtilen standartlara göre sıralanması şu şekildedir:

- IEC 60079-0 (Genel gereklilikler)
 - En büyük yüzey sıcaklığı saptaması
 - Isıl şok testi
 - Mekanik darbeye dayanıklılık testi
 - Metalik olmayan malzemelerin yüzey direnci testi
- IEC 60079-1 (Alev Sızdırmaz Muhafaza)
 - En büyük patlama basıncının belirlenmesi
 - Bir iç tutuşmanın dışarıya iletilmemesi testi
 - Hidrostatik basınç testi
- IEC 60079-7 (Artırılmış Emniyetlilik)
 - Sıcaklık yükselme testi
 - IP (Sıvı ve katı malzeme giricilik) testleri
 - Katı yalıtkanların yüzeysel kaçak yolu (CTI) testleri
- IEC 60079-11 (Kendinden Emniyetlilik)
 - Kıvılcım testi
- IEC60079-31 (Toz patlamasına karşı koruma)
 - Ek muhafazalar için darbe testi
 - Pozitif basınç testi

3.5. Ekipman Etiketleme

Patlatmazlık koruması bulunan ekipmanın tehlikeli bölgelerde kullanılmaya uygun olduğunu gösterir şekilde sertifikalandırılmış olması gerekmektedir. Ekipman üzerinde bulunan etiketler açıkça işaretlenmiş, ekipmanın boyutlarını gösteren bir şekilde sunulmalıdır. Dünya genelinden çeşitli örnekler Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 2. ATEX etiketi örneği (Anon(h), 2016)'dan değiştirilerek.

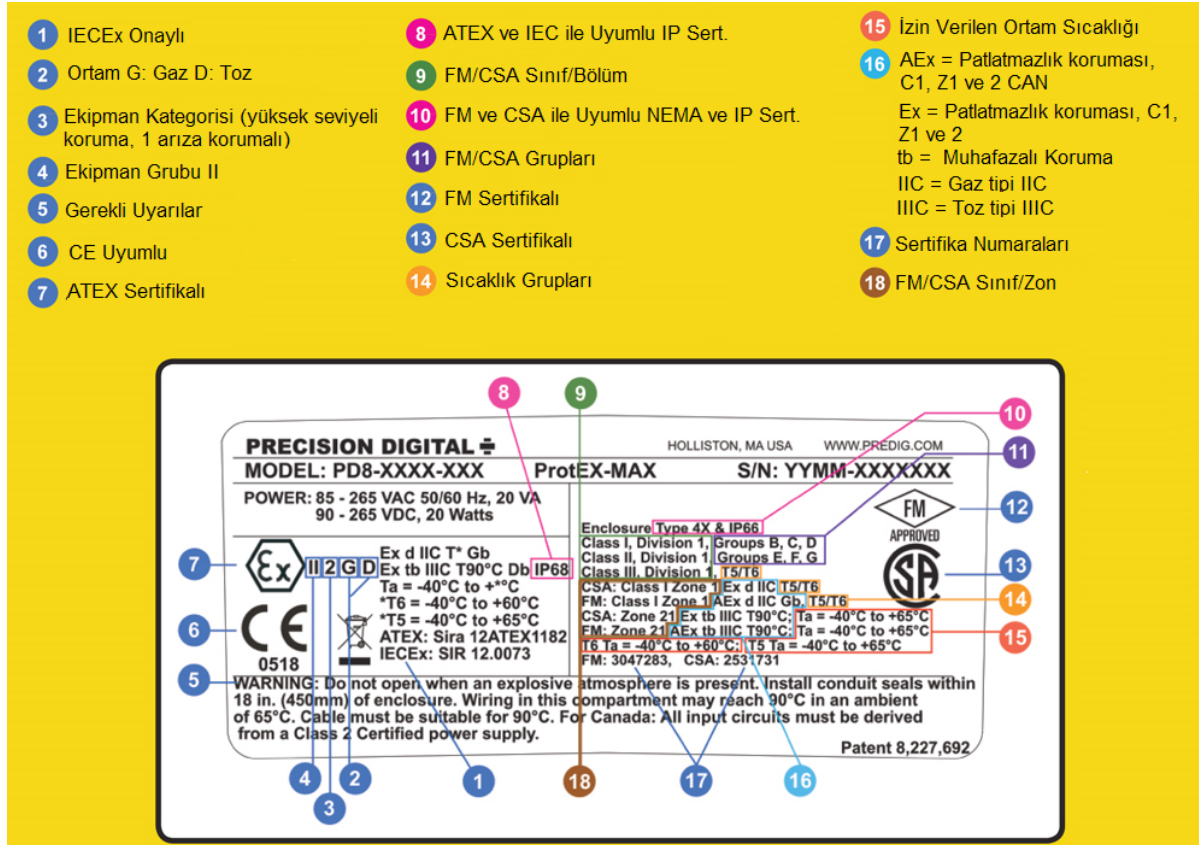
4. TÜRKİYE'DEKİ DURUM VE DEĞERLENDİRME

2012 yılında yayınlanan 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'ndan önceki dönemde, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından o tarihlerde Avrupa'da kullanımda olan ve işyeri güvenliği ve işçi sağlığı konularında düzenlemeleri bulunduran ATEX 137 yönergesi aynen tercüme edilerek 26 Aralık 2003 tarih ve 25328 sayılı Resmi Gazete'de "Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik" adı altında yayınlanmış ve yürürlüğe koyulmuştur (Anon(g), 2003).

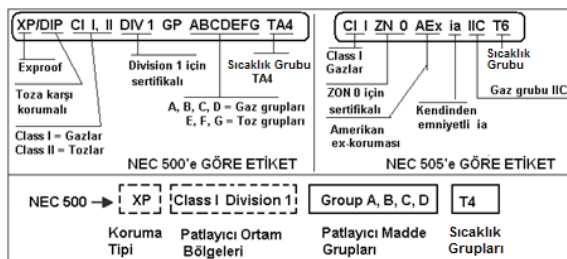
Aynı şekilde Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından ekipmanların üretimlerini ve özelliklerini düzenleyen ATEX 100a (Directive 94/9 EC) tercüme edilerek, 26.10.2002 tarih ve 24919 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmış yürürlüğe girmiştir Anon(d), 2002). ATEX 100a "Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT)" adı altında yayınlanmıştır. Bazı ufak hata ve eksiklikler görüldüğü için, aynı yönetmelik 2006 yılında tekrar ele alınarak 31.12.2006 tarih ve 26392 sayılı resmi gazetede yeniden yayınlanmıştır (Anon(e), 2006).

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'ndan sonra 30 Nisan 2013 tarihinden yayınlanan "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" Avrupa'da kullanılan 99/92/EC esas alınarak düzenlenmiştir. Yine 30 Haziran 2016 tarihinde yayınlanan "Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat Ve Koruyucu Sistemler İle İlgili Yönetmelik (2014/34/AB)" ile kullanılacak teçhizatların taşıyacağı özellikler belirlenmiştir (Anon(f), 2016).

Bu yönetmeliğe göre patlayıcı ortamlarda kullanılacak teçhizatlar iki ana gruba ayrılmaktadır.



Şekil 3. Tehlikeli alanlar için uygulanabilir bütün onay bilgilerinin bulunduğu etiket örneği (Paonessa, 2016)'dan değiştirilerek



Şekil 4. Amerikan patlatmazlık etiketleme örnekleri NEC 500 (Bölüm) ve NEC 505 (Zon) sistemleri (Sarı, 2011)



Şekil 5. Çin'de kullanılan bir Elektrik Panosuna ait MA logolu etiket örneği

I. Grup teçhizatlar M1 ve M2 isimli iki kategoriye sahip olup madenlerde kullanılacak ekipmanları kapsamaktadır. M1 kategorisi çok yüksek gü-

venlik seviyesini belirtirken, M2 kategorisi yüksek güvenlik seviyesine sahip teçhizatları belirtmektedir.

II. Grup teçhizatlar ise hava ve gaz, buhar veya sis ya da hava/toz karışımlarından kaynaklanan patlayıcı ortamlarının oluşma sıklığına bağlı olarak üç kategoriye ayrılmaktadır.

Bu yönetmelikler dünyada geçerli olan diğer patlatmazlık yönergeleriyle paralel bir şekilde hazırlanmış olduğu için IECEx ve ATEX kapsamında yer alan bütün standartlar ülkemizde de geçerlidir. 2009 yılından itibaren Türk Standartları Enstitüsü (TSE) IECEx'e üye durumundadır.

SONUÇLAR

Dünya genelinde farklı ülkeler tarafından yayınlanan ve kullanılmakta olan farklı isimli ve kod numaralı patlatmazlık standartları ve yönergeleri, uzun bir süredir birbirleriyle uyumlu haldedirler. Uluslararası olarak kullanılan IEC 60079, Avrupa'da kullanılan EN 60079, Rusya'da kullanılan GOST-R 51330, ABD'de kulla-

nılan ANSI/UL 60079 ve FM 3600 ve Çin'de kullanılan GB3836 patlatmazlık standartları küçük farklılıklar dışında özdeş standartlardır. Yani bu patlatmazlık standartlarına uygun olarak üretilmiş ve sertifikalandırılmış olan ekipmanlar, teknik olarak diğer ülkelerdeki patlatmazlık gereksinimlerini karşılayacak durumdadır. Diğer bir ifadeyle, bu standartlar temel alınarak oluşturulan IECEx, ATEX, GOST, CNEEx/MA, CSA, FM/ANSI/UL ve ANZEx gibi sertifika sistemleri farklı ülkelerde kullanılmalarına rağmen aslında aynı özellikleri taşımaktadır. Dünya çapında patlatmazlık sertifikalandırması yapabilen akredite laboratuvarlar da, bu sebepten dolayı, birbirlerinin özdeşi olan birçok patlatmazlık sertifikasını verme yetkisine sahiptir.

Görüldüğü üzere ülkemizde bu konuda yasal alt yapı ve yönergeler açısından herhangi bir eksiklik bulunmamaktadır. Yönergelerin taviz verilmeden uygulanması ve teftişlerin eksiksiz şekilde yerine getirilmesi özellikle yeraltı madenlerinde yaşanması muhtemel ölümlü ve hatta felaket seviyesindeki kazaların önüne geçilmesi açısından elzemdir. Bu konuda işverenlerin, iş müfettişlerinin ve maden personelinin ortaklaşa çalışması en önemli kontrol mekanizmalarından birisi olacaktır.

Ülkemizde madenlerde kullanılmasına izin verilen ekipmanların mutlaka Avrupa Birliği'nde geçerli olan ATEX sertifikasına sahip olması gerekmektedir. Bu durumda diğer ülkelerden sağlanabilecek ekipmanlar üretildikleri ülkelerin standartlarını taşıdıkları için ülkemizde kullanılmasına izin verilmemektedir. Oysa genel anlamda farklı ülkelerde geçerli olan patlatmazlık sertifikalarının da ATEX ile eşdeğer olduğu söylenebilir. Bu itibarla mevzuatın gözden geçirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anon(a), 2013. Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 28633.
- Anon(b), 2014. Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union.
- Anon(c), 1994. Directive 94/9/EC of the European Parliament and of the Council.
- Anon(d), 2002. Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 24919.

Anon(e), 2006. Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT). T.C. Resmi Gazete, Sayı: 26392.

Anon(f), 2016. Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (2014/34/Ab). T.C. Resmi Gazete, Sayı: 29758.

Anon(g), 2003. Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 25328.

Anon(h), 2016. Understanding ATEX and IECEx Labels. <http://www.healthandsafetyatwork.com/files/ATEX-handout.pdf>.

Anon(j), 2016. <http://www.iecex.com/standards.htm>.

Anon(k), 2010. Industrial Automation and Drive Technologies Products and Systems for Use in Hazardous Areas. https://w3.siemens.com/mcmsg/topics/en/application-consulting/atex/Documents/brochure_explosion_protection_en.pdf.

Karabakal, N., 2013. ATEX Direktifi ve ExProof Koruma Tip Testleri. 2. ATEX (Patlayıcı ve Patlayıcı Ortamlarda Güvenlik) Sempozyumu Bildirileri.

McManama, K., 2012. Harmonization of Hazardous Locations – A Success Story. United States National Committee of the IEC News and Notes, Volume 7 Number 2.

Paonessa, S., 2016. Hazardous Area Classification What to Need to Know. <https://www.predig.com/indicatorpage/hazardous-area-classifications-what-you-need-know>.

Sarı, M.K., 2011. Patlayıcı Ortamlar ve Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Elektrik Aygıtları Hakkında Genel Bilgi. İkinci Baskı EMO Yayın No: GY/2011/12, Ankara.

Stahl, R., 2011. The Basics of Explosion Protection. http://www.stahl.com.au/fileadmin/Dateien/download/publikationen/grundlagen_explosionsschutz_eng_web.pdf.

Xu, J., 2013. Overview of Ex Regulation in China IECEx-UNECE Workshop, Brazil.

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ'NE MAKALE GÖNDERİLMESİ, YAZIM KURALLARI VE YAYINA KABUL İLKELERİ

1. DERGİNİN AMACI VE KAPSAMI

Bilimsel Madencilik Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın bir yayını olup, 1960 yılından bu yana yayımlanmaktadır.

Dergide; yeraltı ve açık ocak işletmeciliği, cevher/kömür hazırlama ve zenginleştirme gibi madenciliğin tüm alanlarında yapılan özgün çalışmalar, eleştirel derlemeler, kısa teknik notlar ve dergide yayımlanmış yazılara ilişkin tartışmalar yer almaktadır.

Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizcedir. Yılda dört kez (Mart, Haziran, Eylül ve Aralık) yayımlanır.

Derginin amacı, maden mühendisliği mesleğinin ulusal ve uluslararası düzeyde gelişimine katkı sağlamaktır.

2. MAKALELERİN GÖNDERİLMESİ

Bilimsel Madencilik Dergisi'ne makale gönderilmesi ve/veya gönderilen makalelerin takibi sadece elektronik ortamda, <http://www.madencilik.org.tr> URL adresinden erişebileceğiniz internet sitesindeki "Makale Gönder" sekmesi üzerinden yapılmaktadır. Makale göndermeden önce yeni bir hesap açmanız ya da zaten üyeyeniz var olan hesap bilgilerinizle sisteme yazar olarak giriş yapmanız gerekmektedir.

Aşağıda tanımlanan yazım kurallarına uygun olarak hazırladığınız makalenizi "Makale Yönetim Sistemi" üzerinden "doc" ya da "docx" uzantılı Microsoft Word dokümanı olarak göndermelisiniz.

Bilimsel Madencilik Dergisi'nde yayımlanması istemiyle gönderilecek olan makalelerin; **başka bir yerde daha** önce yayımlanmamış ve eş zamanlı olarak başka bir yerde sunulmak veya yayımlanmak üzere **gönderilmemiş olması gerekmekte** olup, aşağıda sıralanan yazı kategorilerinden birinde yer almalıdır.

Özgün Yazılar: Madenciliğin herhangi bir alanında ilk kez yazarı tarafından açıklanan kuramsal ve/veya uygulamalı araştırmaları ortaya koyan yazılardır.

Derleme Yazılar: Madenciliğin herhangi bir alanında daha önce yapılmış çalışmalarını eleştirel bir yaklaşımla derleyip o konuda yeni bir görüş ortaya koyan yazılardır.

Teknik Notlar: Madencilik alanında devam eden ya da planlanan bir çalışmaya ilişkin ve araştırmacılar için yararlı olabilecek tanıtıcı notlardır.

Tartışma Yazıları: Dergide daha önce yayımlanan yazılara ilişkin eleştirileri, katkıları ya da bu eleştirilere yazar tarafından verilen yanıtları içeren yazılardır.

3. YAZIM KURALLARI

Makalenizi; **aşağıda tanımlanan yazım kurallarına** uygun olarak kendiniz oluşturabileceğiniz gibi, <http://www.madencilik.org.tr> URL adresindeki "Yazarlar için rehber" sekmesinin altında yer alan "**Örnek Şablon**"dan da yararlanabilirsiniz.

3.1. Yazı Karakteri

Yazılar bilgisayar ortamında Microsoft Word Programı kullanılarak **Arial 10** yazıtipi ile ve tek aralıklı yazılmalıdır. Makalenin başlığında ise **Arial 12** yazıtipi kullanılmalıdır. Başlıklar hariç koyu karakter kullanılmamalıdır.

3.2. Sayfa Düzeni

A4 kağıdı boyutlarına (21,0x29,7 cm) ayarlanmış Microsoft Word sayfası üzerindeki yazı alanı; üstten

3,5 cm, alttan 3,2 cm, soldan 2,5 cm ve sağdan 2,4 cm boşluk bırakılarak düzenlenmelidir.

Makalenin ön sayfası tek sütun olarak düzenlenmelidir. Ön sayfada, makalenin büyük harflerle yazılmış Türkçe ve İngilizce başlıkları, yazar adları ve adresleri, iletişime geçilecek yazarın e-posta adresi, Türkçe ve İngilizce özet bölümleri yer almalı, Türkçe ve İngilizce anahtar sözcükler yazılmalıdır. Yazının başlığı, kısa (en fazla 2 satır) ve konuyu en iyi yansıtacak şekilde seçilmelidir. Yazarların hepsi aynı kurum/kuruluştan ise adresleri yazar adlarının altına tek bir satır halinde yazılabilir. Eğer yazarlar farklı kurum/kuruluştan ise yazar adları a, b, c gibi üst simgelerle ayrılıp ilgili adres bilgileri verilmelidir. Yazar adresleri sadece kurum/kuruluş ismi, şehir ve ülke olarak verilmeli, cadde/sokak ismi ya da numarası gibi bilgiler yer almamalıdır. İlgili yazar mutlaka “*” üst simgesiyle tanımlanmalıdır.

Türkçe özet, uzunluğu 150 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazının amacını, içeriğini ve sonuçlarını kısa ve özlü olarak aktarmalıdır. Özet içinde kaynak bilgisi verilmemelidir. İngilizce özet, Türkçe özet ile uyum içerisinde olmalıdır. Anahtar kelime sayısı 5’ten fazla olmamalıdır.

Yazının ana metni iki sütun olarak, sütun genişlikleri 77 mm, sütunlar arası 7 mm olacak şekilde yazılmalıdır. Yazıda yer alan bölüm başlıklarından önce iki satır ve sonrasında ise bir satır boşluk, ayrıca paragraf araları ile alt başlıklarda da bir satır boşluk bırakılmalıdır. Paragraf başları sayfa kullanım alanlarının en solundan başlamalıdır. Çizelgeler ve şekiller, yazıdan 1 satır boşlukla ayrılmalıdır. Yazının toplam uzunluğu 14 sayfayı geçmemelidir. Başlangıç sayfası da dâhil olmak üzere tüm sayfalar numaralandırılmalıdır.

3.2.1. Bölüm Başlıkları

Tamamı büyük harflerle, sayfa kullanım alanının en solundan başlayarak koyu karakterler ile yazılmalıdır. Bölüm başlıkları sayısal sisteme göre numaralandırılmalıdır. Örneğin; **1.**, **2.**, ..gibi

3.2.2. Alt Başlıklar

Yazı alanının en solundan başlayarak sözcüklerin ilk harfleri büyük olmak üzere küçük harflerle koyu olarak yazılmalıdır. Alt başlıklar da sayısal sisteme göre numaralandırılmalıdır. Örneğin; **1.1.**, **1.2.**, **3.1.1.**, **3.1.2.**, ..gibi. Üçüncü derece alt başlık numaralandırılmadan italik ve koyu yazılmalıdır.

3.3. Eşitlikler

Yazının içinde eşitlik verilmek isteniyorsa Microsoft Word programında tanımlanan Ekle/Eşitlik adımlarıyla gerçekleştirilmelidir. Eşitliklerde geçen simgeler, birimleri ile birlikte açıklanmalıdır. Ayrıca, her eşitliğe yazı alanının en sağ kenarında gösterilecek bir numara verilmeli ve yazı içinde eşitliğe bu numara ile değinilmelidir. Bağıntılar, paragraf başlangıç çizgisinden başlamalıdır. Örneğin;

$$W = 10 \times W_i \times \left(\frac{1}{F_{M0}} - \frac{1}{F_{R0}} \right) \dots \dots \dots (3.6) \text{ gibi}$$

3.4. Çizelge, Şekil ve Fotoğraflar

Şekil ve fotoğraflar renkli konulabilir ancak çözünürlüğü en az 300 dpi olacak şekilde ayarlanmalı, çizelgeler de resim olarak eklenmemelidir. Çizelgede sadece yatay çizgiler kullanılmalıdır. Çizelgeler belirtilen yazı alanın dışına taşmayacak büyüklükte olmalı ve çizelgede yer alan değerlerin birimleri (kg, m, C° gibi) verilmelidir. Çizelge, şekil ve fotoğraflar makalede verilmeden hemen önce metin içinde atıfta bulunulmalıdır. Çizelge üst yazılarının sadece baş harfi büyük olmalı ve çizelge numarası verilmelidir. Şekil ve fotoğraf alt yazıları da aynı şekilde ilk harfi büyük yazılmalıdır. Çizelge, şekil ve fotoğraf yazılarının sonuna noktalama işareti konulmamalıdır. Başka bir kaynaktan olduğu gibi alınan çizelge, şekil ya da fotoğraf varsa, alıntının yapıldığı kaynak, ilgili çizelge veya şeklin üst ya da alt yazısının sonunda parantez içinde belirtilmelidir. Çizelge, şekil veya fotoğraf tek sütuna sığmayacak büyüklükte ise sayfayı ortalarak ve sayfanın başında ya da sonunda verilmesi tercih edilmelidir.

3.5. Birimler ve Kısaltmalar

Yazılarda Uluslararası Birimler (SI) kullanılmalıdır. Kısaltmalar ilk kullanımda parantez içinde büyük karakterle yazılmalı ve karakterlerin arasına nokta konulmamalıdır.

Örneğin; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) gibi.

Yazı içindeki ya da çizelgelerdeki ondalık sayılarda “,” , bin hanelerini ayırmada ise “.” kullanılmalıdır.

3.6. Kaynaklar

Yazıda değinilen bütün kaynaklar yazının sonunda “KAYNAKLAR” başlığı altında verilmelidir. Yazı tipi olarak Arial 9 kullanılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadlarına göre alfabetik sırada yazılmalıdır. Yazı içinde kaynaklara değinme, soyad ve yıl biçiminde yapılmalıdır. Ancak kaynak internet ortamından alınmışsa ve/veya yazarı verilmemişse Anon ve yıl şeklinde olmalıdır. Birden fazla yazarı belli olmayan kaynak varsa Anon (a), Anon (b), Anon (c), ...olarak verilmelidir. Yazı içinde kaynaklara gönderme örnekleri ise şunlardır: (Garner, 1980), (Pekin ve Konuk, 1999), (Gaudin ve Fuerstenau, 1955), (Watson vd, 1997), (Madrigal, 1998), (Watson vd, 1997; Madrigal, 1998), (Anon (a), 1999).

Kaynaklar aşağıdaki örneklere uygun biçimde yazılmalıdır.

Pekin, A., Konuk, A., 1999. Jeostatistiksel Tahmin İçin Uygun Tenör Dağılım Modelinin Belirlenmesi. Madencilik, 38 (4), 21-28.

Gaudin, A. M., Fuerstenau, D. W., 1955. Quartz Flotation with Anionic Collectors. Trans. AIME, 202, 958-964.

Watson, R. T., Kelly, G. G. , Galliers, R. D., Branncheau, J. C., 1997. Key Issues in Information Systems Management: An International Perspective. Journal of Management Information Systems, 13 (4), 91-116.

Yersel, K., 1970. Türk Madenciliğinin Sorunları. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, s. 69.

4. YAZILARIN YAYIMA KABUL EDİLMESİ

Yazarlar tarafından <http://www.madencilik.org.tr> adresinden girişi yapılan makaleler, değerlendirilmek üzere Yayın Kurulu'nca belirlenen ve o konuda uzman en az iki hakeme gönderilir. Hakem değerlendirmeleri doğrultusunda yazının doğrudan ya da bazı düzeltmeler yapılarak yayımlanmasına ya da yayımlanmamasına Yayın Kurulu'nca karar verilir. Sonuç e-posta ile yazara bildirilir. Düzeltme sürecindeki yazar-editör-hakem döngüsü, yazı içerik ve biçim olarak dergide yayımlanabilir hale gelinceye kadar tekrar ettirilebilir.

2016 YILI HAKEM LİSTESİ
List of Reviewers in 2016

Dr. İlker ACAR	Atatürk Üniversitesi
Dr. Nuri Ali AKÇIN	Bülent Ecevit Üniversitesi
Dr. Hürriyet AKDAŞ	Osmangazi Üniversitesi
Dr. Ufuk Gökhan AKKAYA	İstanbul Üniversitesi
Dr. Vedat ARSLAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Volkan BOZKURT	Osmangazi Üniversitesi
Dr. Tayfun ÇİÇEK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Ramazan ÇOMAKLI	Ömer Halisdemir Üniversitesi
Dr. Ahmet DAĞ	Çukurova Üniversitesi
Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Göktay EDİZ	Dumlupınar Üniversitesi
Dr. Alper GÖNEN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Taki GÜLER	Sıtkı Koçman Üniversitesi
Dr. Osman Zeki HEKİMOĞLU	Sıtkı Koçman Üniversitesi
Dr. Çetin HOŞTEN	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Dr. Doğan KARAKUŞ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Erol KAYA	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Muammer KAYA	Osmangazi Üniversitesi
Dr. Erdoğan KAYMAKÇI	Bülent Ecevit Üniversitesi
Dr. Ayhan KESİMAL	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Dr. Sabiha KOCA	Osmangazi Üniversitesi
Dr. Eren Caner ORHAN	Hacettepe Üniversitesi
Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU	Atılım Üniversitesi
Dr. Ümit ÖZER	İstanbul Üniversitesi
Dr. M. Kemal ÖZFIRAT	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Osman SİVRİKAYA	Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Dr. Eyüp SABAH	Kocatepe Üniversitesi
Dr. Sezai ŞEN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Çelik TATAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Mehmet TÜRKMENÖĞLU	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Suphi URAL	Çukurova Üniversitesi
Dr. Tayfun UYGUNOĞLU	Kocatepe Üniversitesi
Dr. Bahtiyar ÜNVER	Hacettepe Üniversitesi
Dr. Ercüment YALÇIN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Meftuni YEKELER	Cumhuriyet Üniversitesi
Dr. Hayati YENİCE	Dokuz Eylül Üniversitesi



Mining is forever

25th International Mining Congress and Exhibition of Turkey IMCET 2017

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



Madenin Değeri Herkesin Gözünde Olmalı

www.imcet.org.tr

© 2017 TMMOB Maden Mühendisleri Odası



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
e-posta : isg@madenisg.org

Tel. : 0 322 459 97 60
web : 0.546 425 10 76
Faks : 0 322 459 97 61

13-15 December / Aralık 2017
Antalya/Türkiye

9th 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

