

## BİR YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA KULLANILAN PATLAYICI MADDENİN AÇIĞA ÇIKARDIĞI KARBONMONOKSİT MİKTARININ VE HAVALANDIRMAYA AYRILMASI GEREKEN SÜRENİN BELİRLENMESİ

Mustafa ÖNDER<sup>1\*</sup>, Seyhan ÖNDER<sup>2</sup>, Mehmet Özgür DİNÇ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir.

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-9267-1543>

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir.

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-0396-9995>

<sup>3</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir.

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-1718-7257>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.522519>

Anahtar Kelimeler	Öz
Havalandırma, Karbonmonoksit, Patlatma.	<i>Yeraltı kömür madenlerinde patlayıcı maddelerin kullanımı oldukça yaygındır. Patlayıcı maddelerin kullanımı sonrasında açığa çıkan gazlar, çalışanların sağlığını olumsuz etkilemekte ve ocak içinde seyrelmeleri için geçecek zamanın tespit edilememesi nedeniyle de üretimde zaman kayıplarına yol açmaktadırlar. Bu çalışmada, bir yeraltı kömür madeninde patlatma yapılan bir ayakta hava debileri, kullanılan patlayıcı madde miktarları ve CO seviyeleri (ppm) belirlenmiştir. Öncelikle, işletmede kullanılan patlayıcı maddenin açığa çıkardığı CO gazı miktarı (m<sup>3</sup>/kg) hesaplanmış ve daha sonra CO gaz seviyesinin Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'ne göre 50 ppm olan sınır değerinin altına indirilebilmesi için gerekli olan süre bilimsel bir yaklaşımla belirlenmiştir. Sonuç olarak, 1 kg patlayıcı madde kullanımı sonrası havalandırmaya ayrılacak sürenin ortalama 16,12 dakika olduğu belirlenmiştir.</i>

## DETERMINATION OF THE AMOUNT OF CARBON MONOXIDE PRODUCED BY THE EXPLOSIVE USED IN AN UNDERGROUND COAL MINE AND THE NECESSARY TIME FOR VENTILATION

Keywords	Abstract
Ventilation, Carbon monoxide, Blasting.	<i>The use of explosives in underground coal mines is quite common. The gases released after the use of explosive substances negatively affect the health of employees and also lead to time losses in the production due to the inability to determine the time to dilute them. In this study, volume flow rates, amounts of explosive substances used and CO levels (ppm) were determined in an underground coal mine where explosions were realized. Firstly, the amount of CO gas (m<sup>3</sup>/kg) produced by the explosive used during the blasting operation was calculated, and then the time required for the CO gas level to be lower than the limit value of 50 ppm according to Regulation on Occupational Health and Safety at Mine Workplaces was determined by a scientific approach. As a result, the ventilation time after the use of 1 kg explosive substance was determined to be average 16,12 minutes.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 05.02.2019

Kabul Tarihi

: 22.03.2019

Research Article

Submission Date

: 05.02.2019

Accepted Date

: 22.03.2019

### 1. Giriş

Yeraltı maden işyerleri için gerekli hava miktarı hesaplanırken, çalışan sayısı, gaz konsantrasyonu, patlayıcı madde kullanımı, tozluluk, ocağın iklimsel koşulları ve dizel motorlu araçların egzoz gazları gibi

parametreler dikkate alınmaktadır (Mc Pherson, 1993; Önce ve Saraç, 2001; Hartman, 1991). Bu parametrelerin her biri ayrı bir bilimsel yaklaşımla değerlendirildikten sonra en yüksek hesaplanan hava miktarı, gerekli hava miktarı olarak belirlenmekte ve yeraltına gönderilmektedir.

\* Sorumlu yazar; e-posta : [monder@ogu.edu.tr](mailto:monder@ogu.edu.tr)

Genel olarak, gaz ve toz gibi en olumsuz koşullar, yeraltı ortamının kontrolünün zorunlu olduğu madencilik sektöründe ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu sorunun yönetilmesi için uygun bir metodolojinin uygulanması önemlidir. Aksi takdirde, toz ve gaz birikimi gibi mesleki tehlikeler ve işletme maliyetleri katlanarak artmaktadır. Böylece, sistem verimlilik, sağlık ve güvenlik konularını ele almak için tüm havalandırma parametrelerini hesaba katmak zorundadır (Bascompta Massanés, Sanmiquel Pera ve Oliva Moncunill, 2015). Delme-patlatma tekniği kullanıldığında, CO ve NO<sub>x</sub> gibi zehirli gazlar açığa çıkar (Zawadzka-Małota, 2015). Çalışma yapılan alana tekrar girilmesi, gaz konsantrasyonuna bağlıdır ve bu gazın izin verilen yasal sınır değerinin altına inmesi gerekmektedir. İspanya'nın yasal düzenlemelerine göre sınır değerler CO için 50 ppm, NO<sub>2</sub> için 10 ppm'dir (Torno, Toraño, Ulecia ve Allende, 2013). Yeraltı madenlerinde patlatma işlemlerinden kaynaklanan zehirli gazlar, yeraltında karşılaşılan en yaygın ve ciddi tehlikeler arasındadır. Genel olarak, çoğu madende patlatma operasyonları tonlarca parçalanmış kayaya ve büyük miktarlarda zehirli gazlara neden olur. Maden havalandırma sisteminde patlatmadan yayılan yüksek konsantrasyondaki zehirli gazların etkileri çok önemlidir ve çoğu durumda ölümlerle sonuçlanmıştır. Bir yeraltı maden işletmesi için ana ve yardımcı havalandırma sistemini analiz ederken ve tasarlarırken, patlayıcı madde gazları için seyreltme gereksinimleri dikkate alınmalıdır. Bir yeraltı maden işletmesinde, patlatmadan sonraki etkili kontrol önlemlerinden bir tanesi patlatma yapılan ortamın etkili havalandırılmasıdır ve patlatmadan sonra patlatma gazlarının seyrelme süreleri hesaplanmalıdır. Bunun için, kullanılan patlayıcılar tarafından üretilen zehirli gazların konsantrasyonunun doğru belirlenmesi gereklidir. De Souza ve Katsabanis (1991) yaptıkları çalışmada, patlayıcılardan meydana gelen zehirli dumanları tahmin etmek ve gaz konsantrasyonlarını yasaların gerektirdiği sınırlara indirgemek için, havalandırma gereksinimlerini belirlemek amacıyla etkili bir matematiksel model geliştirilmeye çalışmışlardır.

Patlayıcı madde kullanılarak üretim gerçekleştirilen yeraltı işletmelerinde, patlatma sonrasında çalışma yapılan alana çalışanların girmesi engellenmekte ve bir süre havalandırma ve gaz ölçümü yapıldıktan sonra çalışmaya devam edilmektedir. Burada önemli olan, patlatma sonrası havalandırmaya ayrılacak olan süredir. Bunu belirleyebilmek için, patlatma sonrası ortamdaki gaz konsantrasyonunun ölçülmesi gereklidir. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'ne göre, yeraltı ocaklarında, O<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>S gazlarının ölçülmesi zorunludur (Maden İşyerlerinde İş Sağlığı, 2013). CO gazı, patlatma sonrası açığa çıkan en kritik gaz olup, havalandırmaya ayrılacak sürenin belirlenmesinde dikkatle izlenmesi gerekir. Ancak, patlayıcı madde kullanımına göre hava miktarı

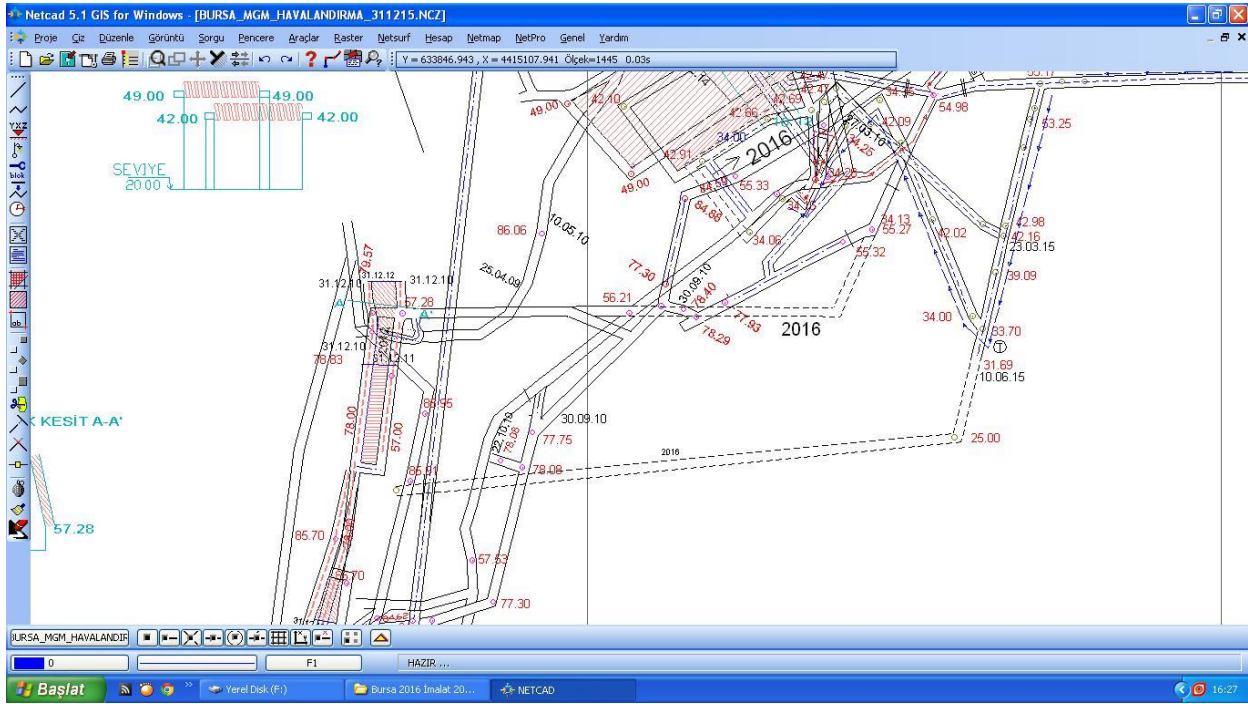
hesabında bulunması en zor parametre, patlayıcı maddenin ürettiği CO miktarıdır. Çünkü patlayıcı üreticileri, Malzeme Güvenlik Bilgi Formlarında (MSDS) bu bilgiye sayısal olarak yer vermemektedir. Bu çalışmada, bir yeraltı kömür işletmesi örnek olarak seçilerek, kullanılan patlayıcı maddenin patlatma sonrasında kaç ppm CO gazı ortaya çıkardığı ölçülmüş ve kg başına açığa çıkan CO miktarı (m<sup>3</sup>) hesaplanmıştır. Daha sonra CO gaz seviyesinin 50 ppm olan yasal sınır değerinin altına indirilebilmesi için havalandırmaya ayrılması gereken süre, bilimsel bir yaklaşımla belirlenmiştir.

## 2. Yöntem

Uygulama çalışması, Marmara bölgesinde yer alan bir yeraltı kömür ocağında yapılmıştır. İşletmede 100 çalışan ile üç vardiya üretim yapılmakta ve günlük tüvenan üretim ortalama 360 ton'dur. Ocakta her vardiyada bir maden mühendisi, daimi nezaretçi, A sınıfı iş güvenliği uzmanı, iş güvenliği uzman yardımcısı, işyeri hekimi ve işyeri sağlık personeli bulunmaktadır.

Kömür damarı, dip noktasından yeryüzüne doğru yay şeklinde kıvrılan, dip noktada 45° den yeryüzüne doğru 80° ye eğim kazanan ve dik damar sınıfına giren bir damar şeklindedir. Üretim, dönmümlü uzun ayak yöntemi ile yapılmaktadır. Kömürün kendiliğinden yanma riski ve tam mekanize üretimin sağlanamaması nedenlerinden dolayı, pano boyları ve ayak uzunlukları daha küçük boyutlara sahiptir. Açılan tavan ve taban yolları ile kömür damarında üretim panoları oluşturulmaktadır. Pano uzunlukları 40-50 m, ayak uzunlukları 10-15 m, ayak yüksekliği ise 2 m'dir. Ayak arkasından 2-4 m'lik kömür alınmaktadır. Ayakta kazı, martopikör ve delme patlatma ile yapılmaktadır. Ayakta kömür nakliyatı zincirli konveyörler ile yapılarak bantlı konveyörlere aktarılmakta ve buradan da vagonlar ile yeryüzüne iletilmektedir. Tavan ve taban yollarında tahkimat TH bağlar ile yapılırken ayakta ise arına paralel olarak kurulan sürtünmeli direk-çelik belleme kullanılmaktadır. Ocağın imalat ve havalandırma planı Şekil 1'de verilmiştir.

Patlatma sonrası açığa çıkan gaz ölçümleri, yeraltı kömür ocakları için ilgili ATEX sınıfı sertifikasına sahip, dört farklı gazı aynı anda ölçebilen MX4 Ventis çoklu gaz ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaz 103x58x30mm ebatlarında ve 182 gr ağırlığında LEL, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve CO ölçümleri yapabilmektedir. Opsiyonel olarak SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> gazları da seçilebilmektedir ("Industrial Scientific", 2018). Çoklu gaz ölçüm cihazı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Ocağın Netcad İmalat ve Havalandırma Planı



Şekil 2. Çoklu Gaz Ölçüm Cihazı

Hava hızı ölçümleri, 0-50°C aralığındaki sıcaklıklarda 0,4-25 m/sn aralığında ölçüm yapabilen LUTRON YK-80AP dijital anemometre ile yapılmış ve Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Anemometre

Patlayıcı madde kullanılan yeraltı ocaklarında patlatma sonrası havalandırma koşullarının belirlenmesinde kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir (Skochinsky ve Komarov, 1969). Maden işyerlerinde İSG yönetmeliğine göre hava içerisindeki CO oranı % 0,005’den (50 ppm) fazla olmamalıdır. Bu durumda gerekli hava miktarı;

$$Q = \frac{A \times a \times 100}{t \times 0,005} \quad (1)$$

eşitliğinden belirlenebilir. Burada;

A :Bir defada ateşlenen patlayıcı miktarı (kg)

a :1 kg patlayıcının ürettiği CO miktarı(m<sup>3</sup>)

t :Havalandırma için ayrılan zaman (dak)

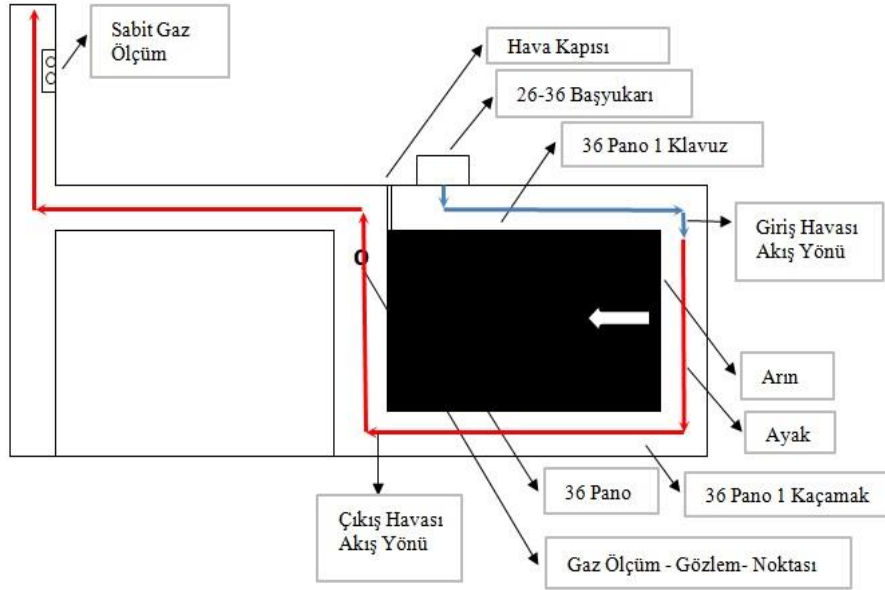
Q:Havanın debisi (m<sup>3</sup>/dak)

İşletmede yapılan ölçümlerle; bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarı, hava debisi ve ayrıca, gaz ölçümleri ile CO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve CH<sub>4</sub> miktarları belirlenmiştir. Toplanan bu verilerden hareket ederek, patlatma sonrası havalandırma için ayrılan zamanın irdelenmesi yapılmıştır.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliğinin, Sondajla Maden Çıkarılan İşlerin Yapıldığı İşyerleri İle Yeraltı Ve Yerüstü Maden İşlerinin Yapıldığı İşyerlerinde Uygulanacak Asgari Genel Hükümlerde (Ek-1), “Kapalı işyerlerinde çalışma şekline ve çalışanların yaptıkları işe göre, ihtiyaç duyacakları yeterli temiz hava bulunması sağlanır” ve “Lağım

atıldıktan sonra, elektrikli ateşlemede en az 5 dakika, fitil veya benzeri ateşlemede 1 saat geçmeden ve yetkili kişiler tarafından dikkatle muayene edilip tehlike kalmadığı bildirilmedikçe ateşleme alanına kimsenin girmesine izin verilmez” maddeleri yer almaktadır. Bu husus dikkate alınarak patlatma sonrası 1. dakika verileri ayak hava dönüş yolunda bulunan sabit gaz izleme cihazı ile ölçülmüştür. 5. dakika ve sonrasındaki ölçümler, seyyar gaz ölçüm cihazı ile patlatma yapılan ayak çıkışında yapılmıştır.

Uygulama, ocağın +36 kotunda bulunan 1 no’lu panosunda gerçekleştirilmiş olup mobil ekipmanla yapılan gaz ölçüm noktası ile sabit gaz ölçüm noktasının yeri ve giriş-çıkış havasının yönleri Şekil 4’ de gösterilmiştir. Ayak yüksekliği 2 m, ayak arkası göçük ile arın arası mesafe 3 m, pano uzunluğu 20 m ve ayak uzunluğu 10 m’dir. Patlatma yapılan ayaktan gelen çıkış havasının gözlem yapılan noktaya olan mesafesi 28 metredir.



Şekil 4. +36 Kotu Plan Görünüşü

Yönetmelik gereği, grizu tehlikesi bulunan tüm ocaklarda antigrizu patlayıcı maddeler kullanılmak zorundadır. İşletmede kapsüle duyarlı grizu güvenli emülsiyon tipi patlayıcı kullanılmaktadır. Bu patlayıcı maddelerde patlatma neticesinde çıkan gaz oranları “TNT” ve “Nitrogliserin” bazlı patlayıcılara göre düşüktür. Patlatma sonrası düşük gaz oranı, hem çalışanların sağlığının korunması hem de ocak havalandırma zamanının kısaltılması açısından oldukça önemlidir. Kullanılan elektrikli kapsüller ise gecikmesiz grizu güvenli elektrikli tipte bakır kovanlı kapsüllerdir.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda, işletmede kullanılan patlayıcı türleri için MSDS formlarında 1 kg patlayıcı maddenin ürettiği karbonmonoksit, karbondioksit ve azot oksitlerinin miktar dağılımları m<sup>3</sup> olarak bulunamamıştır. Bu nedenle, maden işyerlerinde İSG mevzuatında da geçen, ölçülmesi zorunlu olan ve yasal sınır değeri 50 ppm olarak belirtilen CO gazının, patlayıcı maddenin patlatılması sonrasında açığa çıkan

miktarlarının (ppm) zamana bağlı değişimleri ölçülmüş ve daha sonra 1 kg patlayıcı maddenin açığa çıkardığı CO miktarı m<sup>3</sup> olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Tüm patlatmalarda, ayak uzunluğu (L) 10 m ve galeri kesiti (F) 6 m<sup>2</sup>’dir. Ölçümler, her 5 dakikada bir ölçüm olmak üzere 50 dakikaya kadar tekrarlanmıştır. Toplam 9 adet patlatma değerlendirilmiştir. 1. dakikada alınan ölçüm değerleri merkezi izleme istasyonuna aittir. Diğer ölçümler ise MX4 Ventis çoklu gaz ölçüm cihazı ile hava çıkışında yapılmıştır.

Ocağa ölçüm için girilen 5. dakika Amerikan Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) ve Amerikan Hükümet Endüstri Hijyenistler Konferansı’nın (ACGIH) tavsiye ettiği kısa süreli maruziyet süresi (STEL) değerlerinin altında bulunduğu için ölçüm yapan çalışanın sağlık ve güvenliği açısından bir sorun teşkil etmediği söylenebilir. ACGIH 400 ppm ve NIOSH 200 ppm STEL değerine izin vermektedir (“Centers for Disease Control and Prevention”, 2018).

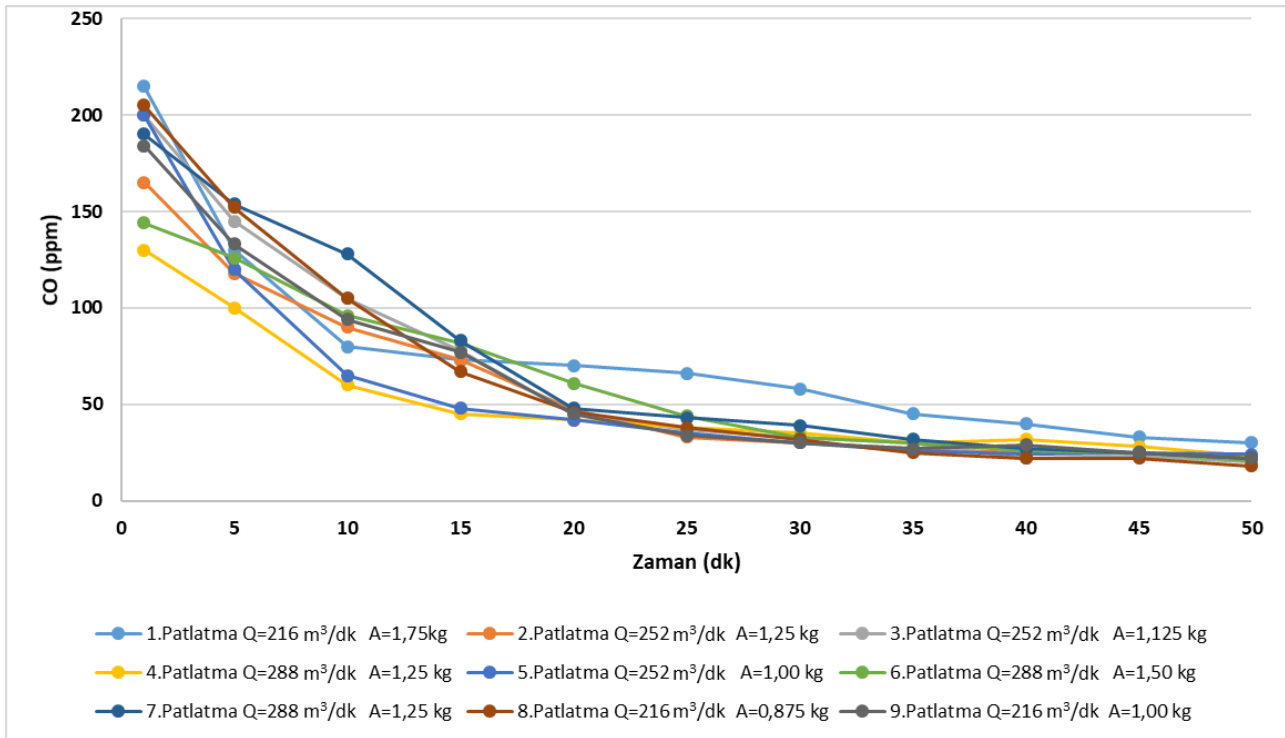
Maden işyerlerinde İSG yönetmeliğinde CO için STEL değeri bulunmadığından, uluslararası standartlara atıfta

bulunulmuştur. 1. Patlatmada 1,750 kg (A) patlayıcı madde kullanılmış olup, patlatma yapılan ortamdaki hava debisi 216 m<sup>3</sup>/dak (Q) olarak belirlenmiştir. Tablo 1’de 1. patlatmaya ait, ölçüm alınan zaman (t) ve CO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve CH<sub>4</sub> değerlerine ait ölçüm sonuçları verilmiştir. Patlatmalara ait grafikler Şekil 5’de verilmiştir.

Tablo 1

1. Patlatmaya Ait Ölçüm Değerleri

t (dak)	CO (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)	CH <sub>4</sub> (%)
1	215	20,4	1,4	0,05
5	130	20,4	1,1	0,03
10	80	20,4	0,1	0,0
15	73	20,4	0,0	0,0
20	96	20,4	0,0	0,0
25	66	20,5	0,0	0,0
30	58	20,5	0,1	0,0
35	45	20,5	0,0	0,0
40	40	20,5	0,0	0,0
45	33	20,5	0,0	0,0
50	30	20,5	0,0	0,0



Şekil 5. Patlatmalara ait Zaman-CO Değişimi

Her patlatma için ölçüm yapılan sürelerde ortaya çıkan CO gazı miktarı, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2’de sonuçlar verilmiştir. 1. dakika merkezi izleme istasyonu ölçümü olduğundan dikkate alınmamıştır.

Değerlendirme 5. dakika ile 50. dakika arasında mobil ölçüm cihazından alınan sayısal verilerle yapılmıştır. Örnek bir sayısal hesaplama aşağıda verilmiştir. 1 numaralı patlamanın 5. dakikasında ölçülen CO değeri 130 ppm olduğundan, Eşitlik 1’e göre belirlenen 1 kg patlayıcı maddenin açığa çıkardığı CO miktarı;

$$216 = \frac{1,750 \times a \times 100}{5 \times 0,013}$$

a=0,08 m<sup>3</sup>/kg’dır.

Diğer tüm zamanlar ve patlatmalar için benzer hesaplamalar yapılmış ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2

Patlayıcı Maddenin Kilogramı Başına Ürettiği Ortalama CO Miktarları (m<sup>3</sup>/kg) Hesabı

Zaman (dak)	Açığa çıkan CO miktarı (m <sup>3</sup> /kg)								
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9
5	0,080	0,119	0,162	0,115	0,151	0,121	0,177	0,188	0,144
10	0,099	0,181	0,235	0,138	0,164	0,184	0,295	0,259	0,203
15	0,135	0,221	0,262	0,156	0,181	0,236	0,287	0,248	0,249
20	0,173	0,190	0,202	0,194	0,212	0,234	0,221	0,227	0,194
25	0,204	0,166	0,207	0,219	0,221	0,211	0,248	0,235	0,184
30	0,215	0,181	0,222	0,242	0,227	0,190	0,270	0,237	0,194
35	0,194	0,191	0,235	0,242	0,229	0,202	0,258	0,216	0,204
40	0,197	0,202	0,197	0,295	0,242	0,200	0,249	0,217	0,251
45	0,183	0,227	0,232	0,290	0,284	0,216	0,259	0,244	0,243
50	0,185	0,222	0,224	0,265	0,302	0,202	0,253	0,222	0,238
<b>Ort</b>	<b>0,167</b>	<b>0,190</b>	<b>0,218</b>	<b>0,216</b>	<b>0,221</b>	<b>0,200</b>	<b>0,252</b>	<b>0,229</b>	<b>0,210</b>
<b>SS</b>	<b>0,046</b>	<b>0,032</b>	<b>0,027</b>	<b>0,063</b>	<b>0,048</b>	<b>0,032</b>	<b>0,033</b>	<b>0,02</b>	<b>0,034</b>

Tablo 2 incelendiğinde, işletmede kullanılan 1 kg patlayıcı maddenin açığa çıkardığı CO gazı miktarının yaklaşık 0,211 m<sup>3</sup>/kg olduğu belirlenmiştir. Maden işyerlerinde İSG yönetmeliğine göre ölçülmesi zorunlu olan gazlar, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO ve H<sub>2</sub>S'dir. Patlatma sonrası açığa çıkan gazlar CO, CO<sub>2</sub> ve azot oksitleridir. Mevzuatımızda CO<sub>2</sub> için %0,5'lik bir sınır değer olmakla birlikte, ölçülmesi zorunlu gazlar arasında yer almamaktadır. Azot oksitleri, hem ölçülmesi zorunlu olan gazlar arasında değildir hem de yasal bir sınır değeri mevzuatımızda yoktur. Dolayısıyla, hem ölçülmesi zorunlu hem de yasal sınır değeri olan CO gazı dikkate alındığında, işletmelerin patlatma sonrası havalandırmaya ayırmaları gereken süreyi belirlerken,

patlayıcı maddenin açığa çıkardığı CO miktarını dikkate almaları gerekir. Ancak patlayıcı maddelere ait MSDS formları incelendiğinde, bu değerlerin sayısal olarak verilmediği görülmektedir.

Patlatma sonrasında zamana bağlı olarak açığa çıkan CO ölçümlerinin regresyon analizleri yapıldığında, CO seviyesinin yasal sınır olan 50 ppm değerinin altına indiği zamanı en iyi tahmin eden modelin üssel model olduğu belirlenmiştir. Tüm patlatmalar için tahmin modeli denklemleri, R<sup>2</sup> değerleri ve bu denklemlere göre hesaplanmış tahmini seyrelme süreleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3

Tahmin Modeli Denklemleri, R<sup>2</sup> Değerleri ve Hesaplanmış Tahmini Seyrelme Süreleri

Patlatma	R <sup>2</sup>	Denklem	t (dak)	Q (m <sup>3</sup> /dak)	A (kg)	1 kg Patlayıcı Kullanımı Sonrası Havalandırmaya Ayrılacak Süre
1	0,907	CO=351,291t <sup>-0,583</sup>	28,33	216	1,750	16,19
2	0,958	CO=507,287t <sup>-0,806</sup>	17,72	252	1,250	14,18
3	0,970	CO=767,230t <sup>-0,926</sup>	19,09	252	1,125	16,97
4	0,973	CO=232,783t <sup>-0,568</sup>	15,00	288	1,250	12,00
5	0,985	CO=348,459t <sup>-0,711</sup>	15,34	252	1,000	15,34
6	0,946	CO=615,061t <sup>-0,836</sup>	20,13	288	1,500	13,42
7	0,964	CO=831,919t <sup>-0,915</sup>	21,60	288	1,250	17,28
8	0,985	CO=842,885t <sup>-0,970</sup>	18,40	216	0,875	21,03
9	0,959	CO=577,115t <sup>-0,836</sup>	18,65	216	1,000	18,65
<b>Ort</b>	<b>0,960</b>			<b>252</b>		<b>16,12</b>

Tablo 3 de verilen regresyon denklemleri, CO seviyesinin yasal sınır değeri olan 50 ppm'in altına indiği zamanı tahmin etmek için kullanılmış ve patlatma sonrası beklenmesi gereken sürenin, patlayıcı maddenin miktarına bağlı olarak 15-28,33 dakika

aralığında değiştiği belirlenmiştir. Ortalama 252 m<sup>3</sup>/dk hava debisi için, 1 kg patlayıcı madde patlatıldıktan sonra, ölçümlerle desteklenmek şartıyla, 16,12 dakikalık bir sürenin havalandırmaya ayrılması gerektiği bulunmuştur. Diğer işletmeler de, çalışmada

verilen hesaplamaları benzer bir yaklaşımla gerçekleştirdiklerinde, patlatma sonrası havalandırmaya ayıracağı süreyi bilimsel bir şekilde ortaya koyabileceklerdir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, bir yeraltı kömür ocağında kullanılan 1 kg patlayıcı maddenin açığa çıkardığı CO gazı miktarını m<sup>3</sup> olarak belirlenmeyebilmek için, 9 farklı patlamadan ölçümler alınmıştır. Daha sonra, açığa çıkan CO miktarının, iş sağlığı ve güvenliği açısından yasal sınır değeri olan 50 ppm değerinin altına indirilmesi için havalandırmaya ayrılması gereken süre belirlenmeye çalışılmıştır. Üretim yapılan ayakta, patlatma sonrasında CO değeri bu sınır değerinin altına ininceye kadar çalışanların üretim alanına girmelerine izin verilmemektedir. Dolayısıyla bu seyrelme süresinin hatalı olarak az belirlenmesi, çalışanların sağlığını olumsuz etkileyebilmekte, fazla belirlenmesi ise günlük üretim miktarının azalmasına neden olabilmektedir. Tüm sektörlerde olduğu gibi, madencilik çalışmalarında çalışan sağlığının üretimden önce gelmesi nedeniyle bu tespitlerin yapılması hayati önem taşımaktadır. Her ne kadar sürekli ölçümlerle bu değerler kontrol edilse de, kullandıkları patlayıcı türlerinin açığa çıkardıkları CO miktarlarının bilinmesi gereklidir. Ancak, üreticilerin MSDS formlarında bu bilgilerin sayısal değerlerinin paylaşmadıkları görülmektedir. Çalışma, bu belirlemenin yapılabilirliği açısından örnek bir çalışmadır ve işletmeler, benzer şekilde, kullandıkları patlayıcıların ürettikleri CO miktarını belirleyebilirler. Yine zamana bağlı olarak ölçülen CO değerlerini kullanarak, işletmelerine özgü değişkenler arası ilişkiyi belirleyerek ve patlayıcı miktarlarını da göz önüne alarak CO miktarının 50 ppm sınır değerinin altına indirilmesi için havalandırmaya ayırmaları gereken süreyi belirleyebilirler. Bu işletmede kullanılan 1 kg patlayıcının açığa çıkardığı CO miktarı ortalama 0,211 m<sup>3</sup>/kg olarak belirlenmiştir. 1 kg patlayıcının ateşlenmesi sonrasında CO miktarının yasal sınır değerinin altına indirilmesi için havalandırmaya en az 16,12 dakika ayırmaları gerektiği belirlenmiştir. Farklı işletmeler, bu çalışmada yapılan hesaplamaları uygulayarak, gerekli hava miktarını hesaplayabilecekleri gibi patlatma sonrası çalışanların patlatma yapılan alana girmemeleri gereken süreyi de doğru bir biçimde hesaplayabileceklerdir.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Bascompta Massanéa, M., Sanmiquel Pera, L., & Oliva Moncunill, J. (2015). Ventilation management system for Underground environments. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50, 516-522. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.09.001>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2018). Erişim adresi: <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/630-08.html/>
- De Souza, E. M., & Katsabanis, P. D. (1991). On the prediction of blasting toxic fumes and dilution ventilation. *Mining Science and Technology*, 13(2), 223-235. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-9031\(91\)91355-L](https://doi.org/10.1016/0167-9031(91)91355-L)
- Hartman, H.L. (1991). *Mine Ventilation and Air Conditioning*, USA: Wiley-Interscience Publication.
- Industrial Scientific. (2018). Erişim adresi: <http://www.indsci.com/products/multi-gas-detectors/ventis/>
- Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, (2013, 19 Eylül). Resmi Gazete (Sayı: 28770). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130919-3.htm>
- Mc Pherson, M.J. (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, London: Chapman&Hall.
- Önce, G. ve Saraç, S. (2001). *Madenlerde Havalandırma*, Eskişehir: ESOGÜ Yayınları.
- Skochinsky, A., & Komarov, V. (1969). *Mine Ventilation*, Moscow : MIR Publishers.
- Torno, S., Toraño, J., Ulecia, M., & Allende, C. (2013). Conventional and numerical models of blasting gas behaviour in auxiliary ventilation of mining headings. *Tunnelling and Underground Space Technology* 34, 73-81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.11.003>
- Zawadzka-Małota, I. (2015). Testing of mining explosives with regard to the content of carbon oxides and nitrogen oxides in their detonation products. *Journal of Sustainable Mining*, 14, 173-178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.12.003>