

## *Kontrollü Kısa Devre Havalandırma ve Bazı Uygulamalar*

### **Controlled Recirculation of Mine Air and Some Applications**

**Ercüment YALÇIN (\*)**

#### ÖZET

Günümüzde yeraltı çalışmaları gittikçe derinlere inmektedir. Aynı zamanda kuyu dibinden çalışma yerine olan uzaklık da oldukça artmıştır. Bu durum havalandırma açısından ciddi problemler yaratmaktadır.

Bu nedenle çalışma yerlerine yeterli miktarda hava göndermede karşılaşılan güçlükleri yenebilmek amacıyla, klasik havalandırmanın yanısıra başka teknikler de geliştirilmiştir.

Bu yazıda, bu tekniklerden birisi olan "kontrollü kısa devre havalandırma sistemi" tanıtılmakta ve uygulamalardan elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

#### ABSTRACT

Presently, mine workings are going deeper and deeper. At the same time, the distances from pit bottom to the workings at the boundary of mines have increased considerably. This fact creates serious problems as far as mine ventilation is concerned.

Therefore, to overcome the difficulties encountered in sending sufficient amount of ventilating air to such workings, other techniques beside classical ventilation were improved.

In this paper, one of these techniques called "the controlled recirculation of mine air" is described and the results obtained from some applications are discussed.

(\*) Dr., Maden Yük. Müh., Arş. Gör., ODTÜ Maden Müh. Böl., ANKARA

## 1. GİRİŞ

Yeraltındaki çalışma yerlerinde güvenli ve rahat çalışma koşullarını oluşturmak için yeterli miktardaki temiz havanın yeraltına gönderilmesi işlemi, ocak havalandırması olarak tanımlanabilir. Günümüz madencilğinde yeraltında üretim yapılan ayak sayısı, ayakların derinliği ve hava giriş-çıkış kuyularına uzaklığı gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum hava kaçaklarının artmasına, yeterli miktarda havanın çalışma yerlerine ulaşmamasına, çalışma yerlerindeki koşulların zorlaşmasına ve çıkış havasındaki gaz ve toz konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Çalışma yerlerine yeterli miktarda hava gönderebilmek için önerilen klasik çözüm yolları ise şunlardır (Mitchell, 1990):

- Yerüstündeki ana vantilatör kapasitesinin artırılması,
- Yeraltındaki kol vantilatörlerinin (booster fan) sayısının ve kapasitesinin artırılması,
- Giriş ve çıkış havayolları arasındaki hava kaçaklarının azaltılması,
- Havayolu dirençlerinin azaltılması,
- Mevcut havayollarına paralel havalandırma kuyularının açılması ve
- Çalışma yerlerine yakın ilave havalandırma kuyularının açılması.

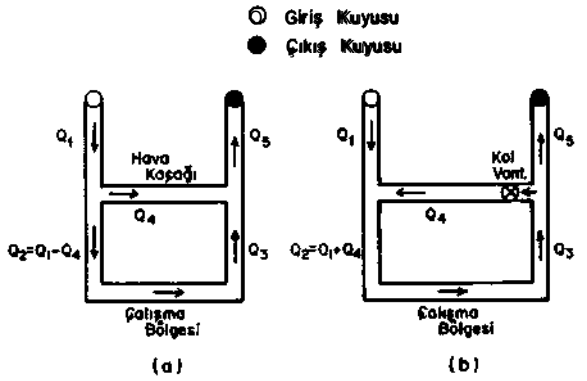
Yukarıda önerilen çözüm yollarının hepsi havalandırma maliyetinin artmasına neden olmakta ve bazılarının uygulanması pratik olarak mümkün olamamaktadır. Yerüstündeki ana vantilatör ve yeraltındaki kol vantilatörlerinin basınçlarının artırılması, yeraltında çalışanları olumsuz yönde etkilemekte ve hava kaçaklarının artmasına neden olmaktadır. İlave havayollarının açılması ise birkaç yıl almakta ve çok masraflı olmaktadır. Özellikle deniz altında yapılan çalışmalarda, ilave havalandırma kuyularının açılması pratik olarak olanaksızdır.

Derin ve hava giriş-çıkış kuyularına uzak olan çalışma yerlerinin havalandırılması amacıyla geliştirilen ve yukarıda önerilen çözüm yollarına göre oldukça ekonomik olan diğer bir yöntem ise "kontrollü kısa devre havalandırma" sistemidir (Leach ve Slack, 1969; Rabia ve Maughan,

1988; Şensöğüt ve Saraç, 1990). Bu sistemde, dönüş havasının belirli bir kısmı tekrar ocak giriş havasına karıştırılarak çalışma yerine gönderilmektedir. Böylece çalışma yerine daha fazla havanın gönderilmesi sağlanmaktadır.

## 2. KISA DEVRE HAVALANDIRMA SİSTEMİ

Klasik havalandırma sisteminde, (Şekil 1 .a), ocağa giren temiz havanın ( $Q_1$ ) bir kısmı kaçak olarak ( $Ck$ ) dönüş havayoluna geçer ve geriye kalan kısmı ( $Ck$ ) çalışma yerine ulaşır. Çalışılan ayak sayısı ve kuyu dibine olan uzaklık arttıkça, çalışma yerlerine ulaşan hava miktarı ve hava hızı



Şekil 1. Klasik (a) ve kısa devre (b) havalandırma sistemleri

azalır. Bunun sonucu olarak zararlı gaz ve tozların ortamdaki uzaklaştırılması zorlaşır ve havanın soğutma gücü düşer. Kol vantilatörlerinin kullanılması ve kaçakların en az düzeye indirilmesiyle ayaklara gönderilen hava miktarının bir miktar artırılabilmesine karşın, ortamdaki sıcaklık, nem, toz ve gazların çalışma yerinden uzaklaştırılması için gerekli hava miktarı, gönderilen hava miktarından fazla olabilir. Bu durumda, eğer dönüş havasındaki gaz ve toz konsantrasyonları çok yüksek değilse, dönüş havasının belirli bir kısmı tekrar ocak giriş havasına karıştırılabilir ve kısa devre havalandırma uygulanabilir, (Şekil 1.b).

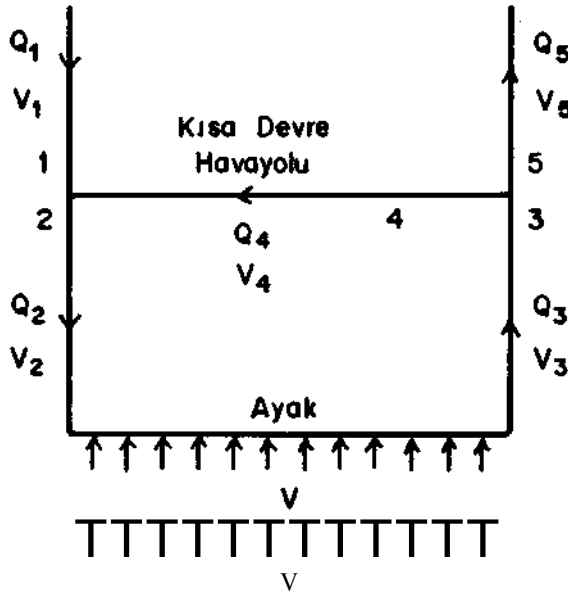
Kısa devre havalandırma için kol vantilatörü gerekmektedir ve normal olarak kaçak havayoluna konabildiği gibi, giriş ya da dönüş havayoluna da konabilir (Hardcastle ve ark., 1984). Kısa devre havalandırma oranı ( $R$ ), Şekil 1b'deki notasyonlar kullanılarak aşağıda verilen eşitlikten bulunabilir.

$$R = \frac{Q_4}{Q_1 + V_1} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Kısa devre havalandırma sisteminin kullanılması sonucu hava kaçağı ortadan kalkmakta ve çalışma yerine ulaşan temiz hava miktarı artmaktadır. Dönüş havasının temiz havaya karıştırılması sonucu giriş havasının bir miktar kirlenmesine rağmen, ayaklardan geçen hava miktarının ve hava hızının artması sonucu ortamdaki toz ve gazlar çalışma yerinden kolayca uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca, havanın soğutma gücü artmakta ve daha rahat bir çalışma ortamı sağlanmaktadır.

### 3. KISA DEVRE HAVALANDIRMA SİSTEMİNDE METAN KONSANTRELERİ

Kısa devre havalandırma sisteminin kömür ocaklarında kullanılması durumunda ayakta ve yollardaki metan konsantreleri, Şekil 2 yardımıyla aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir (Hardcastle ve ark., 1984).



Şekil 2. Kısa devre havalandırma sisteminin şeması

Kısa devre havalandırma sistemindeki metan konsantrelerini hesaplarırken, sisteme gelen metan miktarının sabit olduğu ve havaya karışan metanın dönüş havası ile tamamen atıldığı var-

sayımları yapılmıştır. Şekil 2'de verilen  $V_1$ , ocağa giren hava içinde var olduğu kabul edilen metan miktarını ( $m^3/saniye CH_4$ ),  $V$  ise ayak içinde ve yan kayalardaki metan emisyonunu ( $m^3/saniye CH_4$ ) ifade etmektedir. Giriş havasının metan konsantrisi,  $C_i$ , aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$C_1 = \frac{V_1}{Q_1 + V_1} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

Şekil 2'de,

$$(Q_1 + V_1) + V = Q_5 + V_1 + V \quad (3)$$

$$Q_1 = Q_5 \quad (4)$$

Sistemden çıkan havanın metan konsantrisi ise,

$$C_5 = \frac{V + V_1}{Q_1 + V + V_1} \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Giriş havasındaki metan ile ayakta havaya karışan metan miktarları, ocağa giren temiz hava miktarına ( $Q_1$ ) göre çok küçük ise:

$$Q_1 \ll Q_1 + V + V_1 \quad Q_1 \gg V + V_1$$

olarak alınabilir. Bu durumda eşitlik 5 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_5 = \frac{V + V_1}{Q_1} \cdot 100 P/Q \quad (6)$$

Eşitlik 6'dan görüleceği gibi dönüş havasının metan konsantrisi, havaya karışan metan miktarına ve temiz hava miktarına bağlıdır ve kısa devre havalandırma oranından bağımsızdır. Bu nedenle, kısa devre havalandırma sistemi, dönüş havasındaki metan konsantrisinin artmasına neden olmaz (Hardcastle ve ark., 1984).

Kısa devre havalandırma sisteminin dönüş havayolu kısmında metan emisyonu mevcut değilse ve hava-metan karışımı çok iyi yapılmışsa 3, 4 ve 5 nolu pozisyonlarda metan konsantreleri aynıdır.

$$C_3 = C_4 = C_{\text{«}} \frac{V+V_1}{Q_1} \cdot 100(\%) \quad (7)$$

Cs'de olduğu gibi C3 ve C4 'de kısa devre havalandırma oranına bağlı değildir.

Dönüş kısmında;

$$Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (8)$$

Eşitlik 1 ( $Q_4 = R \cdot Q_3$ ) ve Eşitlik 4'den ( $Q_1 = Q_5$ ):

$$Q_3 = \frac{Q_1}{1-R} \cdot R \cdot Q_3 + Q_1 \text{ yada } Q_3 = \frac{Q_1}{1-R} \quad (9)$$

Eşitlik 1'den,  $Q_3 = Q_4/R$  şeklinde yazılabilir. Bu durumda Eşitlik 9 aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{Q_4}{R} = Q_4 + Q_1 \text{ yada } Q_4 = \frac{R}{1-R} \cdot Q_1 \quad (10)$$

Ayağın giriş kısmında;

$$Q_2 = Q_1 + Q_4 \quad (11)$$

Eşitlik 10, yukarıdaki eşitlikte  $Q_4$  yerine kullanıldığında:

$$Q_2 = Q_1 + \frac{R}{1-R} \cdot Q_1 \text{ yada } Q_2 = \frac{Q_1}{1-R} = Q_3 \quad (12)$$

Ayağa giren havanın metan konsantrisini ( $C_2$ ) bulmak için, dönüş havasından ocak giriş havasına karıştırılan hava miktarı ve metan içeriği ile giriş havasının miktarı ve metan içeriğinin bilinmesi gerekmektedir. Kısa devre havayolunda havaya karışan metan miktarı  $V_4$  ( $m^3/\text{saniye CH}_4$ ) olarak ifade edilmektedir.

$$C = \frac{V_1}{Q_1 + V_1} \cdot 100 = \frac{V_1}{Q_1} \cdot 100(\%) \quad (13)$$

Kısa devre havayolunun metan konsantrisi:

$$C_4 = \frac{V_4}{Q_4 + V_4} \cdot 100 = \frac{V_4}{Q_4} \cdot 100(\%) \quad (14)$$

Metan emisyonları ise:

$$V_3 = \frac{C_1 \cdot Q_1}{100} \text{ ve } V_4 = \frac{C_4 \cdot Q_4}{100} \quad (15)$$

Ayağa giren toplam metan miktarı:

$$V_2 = V_3 + V_4 = \frac{C_1 \cdot Q_1}{100} + \frac{C_4 \cdot Q_4}{100} \quad (16)$$

C4 yerine Eşitlik 7 ve  $Q_4$  yerine Eşitlik 10 kullanılırsa;

$$V_2 = \frac{C_1 \cdot Q_1}{100} + \frac{R \cdot Q_3 \cdot (V+V_1) \cdot 100}{(1-R) \cdot Q_3 \cdot 100} \quad (17)$$

Eşitlik 17'nin her iki tarafı  $Q_2$ 'ye, ( $Q_2 + V_2$ ), yada Eşitlik 12'deki  $Q_1/(1-R)$  ifadesine bölünür ve 100 ile çarpılırsa, ayağa giren havanın metan konsantrisi bulunur.

$$c_2 = \frac{f C_1 \cdot Q_1}{Q_1} + \frac{R \cdot (V+V_1)}{Q_1 \cdot (1-R)} \cdot 100 \quad (18)$$

$$C_2 = (1-R) \cdot C_1 + \frac{R \cdot (V+V_1) \cdot 100}{Q_1} \quad (19)$$

Eşitlik 19'daki  $V_1$  yerine Eşitlik 13 kullanılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$C_2 = (1-R) \cdot C_1 + R \cdot C_1 \frac{R \cdot V \cdot 100}{Q_1} \quad (20)$$

$$C_2 = C_1 + \frac{R \cdot V \cdot 100}{Q_1} \quad (21)$$

Eşitlik 21'den görüleceği gibi, ayağa giren havanın metan konsantrisi, ocak giriş havasının metan konsantrisine göre yüzde  $R \cdot V \cdot 100/Q_1$  kadar artmaktadır. Bu artış kısa devre havalandırma katsayısına (R) bağlıdır.

Kısa devre havalandırma sistemindeki en yüksek metan konsantrisi olan  $C_3$ , ayak ha-

vasına karışan metan miktarına ve sisteme giren temiz hava miktarına bağlıdır.  $C_3$ , bu parametrelerin birisinde meydana gelecek değişiklik sonucu artacak ya da azalacaktır. Havaya karışan metan miktarındaki değişme fazla olmayacağından  $C_3$ 'ün değişmesine daha çok ocak giriş havasındaki azalma ya da çoğalma neden olacaktır. Eğer giriş havası artarsa  $C_3$  azalacak, azalırsa  $C_3$  artacaktır. Bu nedenle, dönüş havasındaki metan konsantrasyonunun artmasını önlemek için, kısa devre havalandırma sistemine giren temiz hava miktarının hiçbir şekilde azalmaması gerekmektedir.

#### 4.KISA DEVRE HAVALANDIRMA SİSTEMİ UYGULAMALARI

##### 4.1.Wearmouth Kömür Ocağı

İngiltere'de Wearmouth kömür ocağı -1570 katında kömür üretimi yapılan ayaklar, hava giriş-çıkış kuyularından yaklaşık olarak 10 km uzaklıktadır ve gelecekte bu uzaklığın 20 km'ye çıkarılması planlanmaktadır (Robinson ve Harrison, 1987). Ayakların kuyulardan uzaklaşması sonucu üretim yerlerine gönderilen hava yetersiz kalmış ve bu nedenle değişik çözüm yolları denenmiştir. Alınan önlemler havalandırma maliyetini artırmış ve kalıcı çözümler getirememiştir. Kuzey denizi altında yer alan bu bölgedeki ayakların havalandırılması için kısa devre havalandırma sistemi kullanılmıştır. Kısa devre havalandırma oranı % 30 olarak seçilmiş ve uygulama sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir; Ayaklara ulaşan hava miktarı % 38'lik bir artışla 70 m<sup>3</sup>/saniye'den 97,3 m<sup>3</sup>/saniye'ye çıkmıştır. Çıkış havasındaki metan konsantrasyonunda ölçülebilir bir değişme olmadığı gözlenmiştir. Kısa devre havalandırmadan dolayı ayağa giren havadaki toz konsantrasyonunda belirgin bir artış olmamıştır. Bunun sebebi, dönüş havasındaki toz konsantrasyonunun kısa devre havalandırma noktasına gelinceye kadar çökelmeler sonucu en alt düzeye inmesidir.

Aynı kömür ocağında kısa devre havalandırma sisteminden dolayı, ocak havasındaki sıcaklık değişimleri Rabia ve Maughan (1988), tarafından incelenmiştir. Bu inceleme sırasında, sıcak ve nemli dönüş havasının ocak giriş havasına karışması sonucu meydana gelen sıcaklık artışının çok küçük olduğu ve bu artışın kısa süre

sonra ortadan kalktığı gözlenmiştir. Wearmouth kömür ocağındaki kayaç sıcaklığı 24-26 °C olduğu için, havadaki yüksek ısı çevre kayaçlar tarafından soğurulmakta, hava sıcaklığı düşmekte ve böylece kısa devre havalandırmanın etkisi azalmaktadır.

Kısa devre havalandırma sisteminin kullanılması sonucu, klasik havalandırma sistemine göre 965 kW'lık güç tasarrufu sağlanmıştır.

##### 4.2.Rocanville Potasyum Madeni

Kanada'da bulunan madenlerin büyük çoğunluğu, kış mevsiminde hava sıcaklığının -40 °C nin altına düştüğü bölgelerde yer almaktadır. Bu nedenle, kuyularda donmayı ve buzlanmayı önlemek için ocağa gönderilen hava ısıtılmaktadır. Ocağa gönderilen havanın bir metreküpünün yıllık ısıtma maliyeti 2000 \$'dan fazladır (Hail ve ark., 1990). Isıtma maliyetini azaltmak için değişik çözümler önerilmiş ve bunların bir kısmının ekonomik olmadığı, bir kısmının ise asitli ortamdan ve soğuk havadan dolayı çalışmayacağı anlaşılmıştır. Sonuçta kısa devre havalandırma sisteminin ekonomik ve soruna çözüm getireceği düşünülmüş ve Rocanville potasyum madeninde uygulaması yapılmıştır.

Rocanville potasyum madeninde ocağa 142 m<sup>3</sup>/saniye hava gönderilmektedir. Gönderilen havayı 10 °C sıcaklığa ısıtmak için doğal gaz kullanılmakta ve yıllık maliyeti 194 000 \$'dır. Sıcaklık -40 °C'nin altına düştüğünde kuyularda su boruları donmakta, giriş havasının sıcaklığı düşmekte ve ocağa gönderilen hava miktarı azalmaktadır. Ekonomik olması nedeniyle dönüş havasının bir kısmı (18,5 m<sup>3</sup>/saniye) kısa devre havalandırma sistemiyle giriş havasına karıştırılmıştır. Ocağa giriş-çıkış havasında ve karışım havasında sıcaklık, nem, toz ve gaz ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 1 'de verilmiştir.

Çizelge 1'den de görüleceği gibi, kısa devre havalandırma ile çalışma yerine gönderilen karışım içindeki CO<sub>2</sub>, ocak giriş havasına göre % 22 artarak 450 den 550 ppm'e çıkmaktadır. CO ve NO<sub>2</sub> de herhangi bir artış olmamaktadır. Toz miktarındaki artış ise % 2 civarındadır. Karışım havasının sıcaklık artışı çok küçük ve herhangi bir probleme sebep olmayacak miktardadır. Göreceli nem miktarında ise biraz düşme olmak-

Çizelge 1. Giriş-Çıkış Havaasının ve Karışım Havaasının Analiz Sonuçları

	Giriş havası	Çıkış havası	Karışım havası
CO <sub>2</sub> (ppm)	450,00	800,00	550,00
CO <sub>2</sub> (ppm)	0,00	eser-1,00	0,0-eser
NO <sub>2</sub> (ppm)	0,00	0,00	0,00
Toz/Ong/m <sup>3</sup> )	3,60	3,68	3,67
Sıcaklık (°C)	6,7/26,7	18,3/28,9	17,5/27,8
Hava miktarı (m <sup>3</sup> /s)	36,52	18,50*	58,02
Göreceli nem (%)	34,00	35,00	33,50

Kısa devre havalandırma sistemine karışan miktar.

tadır. Bu sonuçlar ışığında kısa devre havalandırma sistemiyle elde edilen sonuçların olumlu ve ekonomik olduğu ve Rocanville potasyum madeninin kısa devre havalandırma sistemine uygun olduğuna karar verilmiştir (Hail ve ark., 1990).

## 5. SONUÇ

Klasik havalandırma sistemiyle çalışma yerlerine yeterli miktarda hava göndermenin zor ve masraflı olduğu durumlarda ve soğuk bölgelerde ocağa gönderilen havayı ısıtmak amacıyla, en ekonomik ve pratik çözüm yolu olarak kısa devre havalandırma sistemi düşünülebilir. Kısa devre havalandırma sistemiyle giriş havaasının bir miktar kirlenmesine karşın, dönüş havaasının içerdiği toz ve gaz konsantreleri, ocağa giren temiz hava ve üretim sırasında havaya karışan toz ve gaz miktarına bağlıdır. Bu nedenle kısa devre havalandırma, uzun vadede temiz havanın azalmasına ve dönüş havaasındaki toz ve gaz konsantrelerinin artmasına neden olmamaktadır. Kısa devre havalandırma sistemi sayesinde, ayaklara ulaşan hava miktarı artmakta ve çalışma ortamı daha rahat hale gelmektedir.

## KAYNAKLAR

- HALL, A. E., MCHAINA, D. M. ve HARDCASTLE, S., 1990, "Controlled Recirculation in Canadian Underground Potash Mines", Min. Sci. and Tech. Vol. 10, s 305-314.
- HARDCASTLE, S.G., KOLADA, R.J. ve STOKES, A. W., 1984, "Studies into the Wider Application of Controlled Recirculation in Mine Ventilation", The Min. Eng., Vol. 143, No 273, s 591-598.
- LEACH, S.J. ve SLACK, A., 1969, "Recirculation of Mine Ventilation Systems", The Min. Eng., Vol. 128, No 100, s. 227-234.
- MITCHELL, D., 1990, "Safety Considerations in the Development of Recirculation Techniques in Primary Mine Ventilation Systems", The Min. Eng., Vol. 149, No 340, s 271-274.
- RABIA, H. ve MAUGHAN, K., 1988, "The Prediction of Climatic Changes caused by Recirculation of Mine Air", The Min. Eng., Vol. 147, No 319, s 469-476.
- ROBINSON, R. ve HARRISON, T., 1987, "Controlled Recirculation of Air at Wearmouth Colliery", The Min. Eng., May, s 661-671.
- ŞENSÖĞÜT, C. ve SARAÇ, S., "Kısa Devre Havalandırma - Yeni Bir Alternatif", Türkiye 7. Kömür Kongresi, s 177-188.