



YERALTI MADEN İŞLETMECİLİĞİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMİ

Ventilation System In Underground Mining

Ali Ozan Kılıçarslan
Ahmet Murat Tunç

ÖZET

Yer altı madencilik teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile önlemlerin paralel ilerlemesi, erken uyarı sistemlerinin doğru uygulanması ve havalandırma sistemlerinin doğru tasarlanması gerekmektedir. Dünya genelinde yer altı madenlerinde yaşanan kazaların sebepleri araştırıldığında, havalandırmanın yetersizliğinden ve uygulama hatalarının başı çektiği görülmektedir.

Yeraltı madenlerinde bulunan, aşırı nem, yüksek sıcaklıklar, yetersiz oksijen ve aşırı konsantrasyonda tehlikeli gazlar, çalışma verimini azaltır, hastalık ve ölüme sebebiyet verir. Isı stresini en aza indirmek ve kirleticileri uzaklaştırmak için havalandırmaya ihtiyaç vardır. Havalandırma ihtiyacını sağlamak için tasarlanan sistemde hava hız sınırları ve gaz sınıflarına dikkat edilerek yeraltı madeninden bertaraf edilmelidir. Kullanılan ekipmanların korozif ve patlayıcı ortam sınıfları bu şartlara uygun seçilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Maden Havalandırma, Yeraltı madenleri.

ABSTRACT

The developments in underground tunneling technology and the parallel progress of the measures, the correct application of early warning systems and the correct design of ventilation systems are required. When the causes of accidents in underground mines around the world are investigated, it is seen that inadequate ventilation and application errors take the lead.

Excessive humidity, high temperatures, insufficient oxygen and dangerous gases in excessive concentrations in underground mines reduce working efficiency and cause sickness and death. Ventilation is needed to minimize heat stress and remove pollutants. In the system designed to provide the ventilation need, it should be disposed of from the underground mine by paying attention to the air speed limits and gas classes. The corrosive and explosive atmosphere classes of the equipment used should be selected in accordance with these conditions.

Key Words: Mine Ventilation, Underground mines.

1. GİRİŞ

Madencilik; toplumların endüstriyel anlamda gelişmişliğinin de bir göstergesidir. Günümüzde de; enerjinin politik bir güç olarak ortaya çıktığı dünya politikasında petrol, doğal gaz, kömür gibi doğal kaynaklar ve bu kaynakların kullanıma sunulması büyük önem taşımaktadır. Yeraltı kömür işletmelerinde geçmişte de olan ve son yıllarda üst üste meydana gelen grizu patlamaları birçok işçinin



hayatını kaybetmesiyle sonuçlanmış ve madenlerde iş sağlığı ve güvenliğinde havalandırmaya verilmesi gereken önemi hatırlatmıştır [1].

Havalandırma, yeraltı kazılarında üzerinde titizlikle durulması gereken ve vazgeçilmez bir konudur. Havalandırmanın amacı, kısaca gerekli hava miktarının temin olunmasıyla güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarının elde edilmesi şeklinde açıklanabilir. Diğer bir deyişle sevk edilen havadan beklenen:

- İşçilere temiz hava temin etmek,
- Yayılan veya oluşan patlayıcı ve zararlı gazların ve tozların hava içindeki oranlarını azaltmak veya dışarıya sevk etmek.
- Çok ender de olsa işyeri havasını iklim şartları bakımından iyileştirmektir.

Genel olarak, tünel havalandırılma maliyeti yüksek değildir. Dolayısıyla, ilk bakışta, havalandırmanın önemli bir faaliyet olmadığı düşünülebilir. Fakat maliyetin dışında, yukarıda sayılan amaçlar göz önüne alındığında, işletmecilik yönünden havalandırmanın yaşamsal önemde yan etkilerinin olduğu kolayca görülür. [2] Şöyle ki;

- Yeraltı boşluklarında hava hızı ve tehlikeli gazların, ayrıca oluşan tozun hava içindeki oranları kısıtlanmıştır,
- Yeterli miktarda hava verilmemesi nedeniyle kazı faaliyetlerinin kısıtlanması, hatta tamamen durması olağandır.

Örneğin karbondioksit, karbonmonoksit, azot oksitler ve hatta bazı durumlarda metan vd. bazı tehlikeli gazların işyeri havası içindeki izin verilebilir. Maksimum konsantrasyonları ve oksijenin minimum oranı kısıtlanmış olup, bu değerlere ulaşılmadığı zaman kazı faaliyetlerinin sürdürülmesi mümkün değildir. Ayrıca, hava yetersizliği işçinin çalışma gücünü etkilediğinden verim düşebilir ve maliyet artmaktadır.

Yukarıda sayılan sorunlar nedeniyle tünel havalandırılması, kazının başlangıcından sonuna kadar, büyük sorumluluklar doğurur

- İlik ve devamlı sorumluluk, "Hava Kontrolü" dur. Bu kontrol, işyerine gerekli miktarda hava verildiğini, hava hızının, sıcaklığının ve rutubetinin istenilen sınırlar içinde bulunduğunu, tehlikeli gazların ve tozun tehlike sınırları altında kaldığını saptamak için yapılır.
- Havalandırma sistemindeki kaçakların ve vantilatör karakteristiklerinin kontrolü gereklidir.

2. MADEN HAVA KALİTESİ

Yeraltı madenlerinde işçi sağlığı ve güvenliğinde ana amaç, hava kirlenici maddelere maruz kalma seviyesini güvenli sınırlar içinde tutabilmektir. Bu için, sadece çalışma yüzeyine sağlanan havanın miktarı üzerinde değil, aynı zamanda sağlanan hava akışının kalitesi üzerinde de durulması gerekir. Kişilerin çalıştıkları ya da hareket halinde oldukları alanlardaki havanın en az %19.5 oksijen ve en fazla %0.5 karbondioksit içermesi ve bu alanlardaki hava debisi ve hızının her türlü yanıcı, patlayıcı, zehirli ve zararlı gazları, toz ve dumanı seyretmeye, zararsız hale getirmeye ve taşıyıp götürmeye yeterli olmalıdır[x]. İşçilerin tahliye edildikleri, çalıştıkları ya da hareket halinde oldukları çalışması bitmiş alanlardaki havanın karbondioksit seviyesinin zaman ağırlıklı ortalamasının %0.5'inden ve kısa süreli maruz kalma sınırının %3.0'ından fazla olmaması gereklidir.

Metan dışındaki gazlardan kaynaklanabilecek olan patlamaların önlenmesi amacıyla, aşağıda belirtilen gazların konsantrasyonların belirtilen oranları geçmesine izin verilmemelidir [2].

- Karbonmonoksit (CO), % 2.5
- Hidrojen (H₂), % 0.80
- Hidrojen sülfür (H₂S), %0.80
- Asetilen (C₂H₂), % 0.40

- Propan (C₃H₈), % 0.40
- MAPP metil-asetilen-propilen-propodiyen, % 0.30

Karbonmonoksit ya da dumanın yangının başlangıç noktasından, dedektörün bulunduğu noktaya gelmesi için geçen süre; yangının başlangıç noktasının dedektöre olan uzaklığına ve hava hızına bağlıdır, süre mesafenin hava hızına bölünmesiyle bulunur. Düşük hava hızlarında bu süre uzun olabilir ve alarm anını önemli ölçüde etkileyebilir. Hava akışı arttıkça dedektöre ulaşılma süresi kısaltmakta fakat karbonmonoksit ve duman seviyelerinin yoğunluğu azalmaktadır.

- **CH₄ + Hava** → Patlayıcı ve boğucu son derece tehlikeli grizu gazını oluşturur.
- **CO + Hava** → Zehirli bir gaz olan karbondioksit, daha çok kömür madenlerinde görülmektedir. Aynı zamanda patlayıcı özelliği de vardır.
- **H₂S + Hava** → Son derece zehirli bir gaz olan hidrojen sülfürün, çürümüş yumurtaya benzeyen sert bir kokusu vardır. Tehlikeli miktarlarda nadiren görülen hidrojen sülfürün patlayıcı özelliği de bulunmaktadır.
- **CO₂ + N₂** → Madencilik sektöründe kör nefes olarak bilinen boğucu bir gaz olup, maden içerisinde %100 emisyonu ulaşması mümkündür.
- **CO + CH₄ + CO₂ + H₂ + N₂** → Grizu patlamasından sonra ortam içerisinde bulunan bu karışım; boğucu, zehirli ve patlayıcı bir ortam oluşturur.

İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ	KARBONDİOKSİT ve SOLUNUM HAVASI KARIŞIMI	
	HAVA	KARBONDİOKSİT
Hissedilir etkisi yoktur	% 99	% 1
Nefes almada zorlanma başlangıcı	% 97	% 3
Nefes almada hızlanma ve baş ağrısı	% 94	% 6
Şiddetli acı	% 90	% 10
Kısmi bilinç kaybı	% 85	% 15
Boğulma ve ölüm	% 82	% 18
Kısa sürede ölüm	% 75	% 25

Tablo 1. Solunum Havasındaki Karbondioksit Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi [3]

İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ	SOLUNUM HAVASINDAKİ OKSİJEN MİKTARI
Normal nefes alma	% 21
Normale yakın nefes alma (kontrol lambasının parlaklığını %30 azaltır)	% 19
Nefes almada hızlanma ve zorlanma başlangıcı	% 17
Baş dönmesi ve bulanık görme	% 15
Bilinç kaybı	% 9
Solunumda yavaşlama ve bunu takiben solunum ve kalp durması	% 6
Çırpınma, kasılma ve kısa sürede ölüm	% 0

Tablo 2. Solunum Havasındaki Oksijen Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi [3]

2.1. Maden Havasındaki Gaz Çeşitleri

2.1.1. Azot (N₂)

Atıl bir gazdır. Alevi söndürür. Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Yoğunluğu 1.2505 kg/m³tür. Oksijen azlığı nedeniyle tehlikelidir ve boğucu özelliğe sahiptir. Azot kaynakları şunlardır:

- Organik maddelerin bozuşması,
- Patlayıcı madde ateşlemeleri,
- Sedimentasyon sırasında oluşur ve zamanla kayalarındaki çatlaklardan, bazen metanla beraber yayılabilir.

2.1.2. Karbondioksit (CO₂)

Renksiz, hafif asit kokusunda ve tadında olan bir gazdır. Yoğunluğu 1.977 kg/m³tür ve dolayısıyla kazı boşluğunun tabanında toplanır. Temiz havada % 0.03 - 0.04 civarında CO₂ vardır. % 1 konsantrasyonda soluk alma sıklaşır. Soluk alma % 3 konsantrasyonda iki ve % 5 konsantrasyonda üç kat artar ve zorlaşır. % 10 CO₂ konsantrasyonunda komaya girilir, ve %20-25' te ölüm kaçınılmazdır. Müsaade edilen maksimum CO₂ konsantrasyonu % 0.5' tir.

2.1.3. Karbonmonoksit (CO)

Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Yoğunluğunun (1.255 kg/m³) havanıninkine çok yakın olması nedeniyle tünel atmosferi içinde, yalnız taban veya tavanda değil, her tarafta yayılmış şekilde bulunur. Çok düşük konsantrasyonlarda dahi zehirleyici olması nedeniyle yeraltı kazısı ile uğraşanların korkulu rüyası olan bir gazdır. CO yüksek konsantrasyonlarda patlama özelliğine sahiptir. Patlama sınırları % 13 - 75 arasında olup, en tehlikeli patlama konsantrasyonu % 30 'dun CO 'in, esas tehlikesi zehirli olmasıdır. Çünkü kanın hemoglobininin CO'ye olan hassaslığı, oksijene olandan 250 - 300 defa daha fazladır. Bu nedenle solunan havada çok az karbonmonoksit ve yeterli oksijen bulursa dahi kan, karbonmonoksiti absorbe eder ve oksihemoglobin yerine karboksihemoglobinin oluşur ve kan dolaşımında yer alır. Normal bir insanın kanında absorbe edilebilecek karbonmonoksit miktarı yaklaşık 300 cm³tür. Karbonmonoksit içeren havanın solunması halinde önce baş ağrısı, baş dönmesi, giderek bulantı ve halsizlik görülür. Daha ileri durumda (yüksek CO konsantrasyonu veya uzun solunma süresi) kendini kaybetme görülür ve komaya girilir. Sonuç felç ve ölümdür. Yapay solunum ve benzer çareler faydasızdır.

Karbonmonoksit zehirlenmesinin derecesi ve hızı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Hava içindeki CO konsantrasyonu,
- Birim zamanda solunan havanın miktarı,
- Kan dolaşım hızı (dinlenme veya çalışma halinde bulunmadaki farklılık),
- Zehirli özellikteki havanın devamlı veya aralıklı solunuyor olması.

Örneğin sigara dumanı % 5 - 7 oranında CO içerebilir. Ancak dumanın aralıklı solunması nedeniyle önemli zehirlenme olmaz. Karbonmonoksitin müsaade edilebilir tehlikesiz maksimum konsantrasyonu % 0.005 'tir.

2.1.4. Kükürtdioksit (SO₂)

Renksiz, keskin ve özel kokulu bir gazdır. Çok düşük konsantrasyonlarda (% 0.002) bile hissedilir ve gözleri tahriş eder. Çok zehirlidir ve % 0.05 konsantrasyonda çok kısa sürede ölüme neden olur. Müsaade edilebilir maksimum konsantrasyonu % 0.0007 'dir. Sülfürlü cevherleri içeren kayaların kazısı sırasında yangınlar ve ateşlemeler sonucu oluşur. Bu nedenle ateşleme yapılan kazı aynasında aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- Etkili bir havalandırma sağlanır,
- Ateşlemelerden önce arın ve yan taşlar su spreji ile ıslatılır,
- Lağım delikleri ıslak kil ile iyice sıkılır,
- Ateşlemeler vardiya sonuna kaydırılır,
- Ateşçilere gaz maskesi verilir.

2.1.5. Metan (CH₄)

Esas olarak C_nH_{2n} + 2 genel formülüyle bilinen hidrokarbonların gaz elemanlarının (metan, etan, propan ve bütan) birlikte düşünülmesi gerekir. Ancak çoğunlukla rastlanması ve diğerlerine yakın özellikler metandan daha çok söz edilmesine neden olmuştur. Bu gazların bir tanesinin veya birkaçının hava ile karışımına " GRİZU " denir. Sedimentasyon sırasında selülozun (bitki artıklarının) parçalanması sonucu bol miktarda oluşur ve kayaç içinde saklı kalır. Metan sadece kömürde değil, kaya tuzu, potas, kükürt ve demir madenlerinde de görülebilir. Dolayısıyla sedimanter kayaçlarda ve / veya kömür vb. yataklara yakın yerlerde yapılacak tünel kazılarında metanla karşılaşılabilir Metan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Yoğunluğu 0.716 kg/m³'tür. Hafif olduğu için yeraltı boşluklarının tavanında toplanır. Zehirli değildir. Oksijen azlığı nedeniyle boğucu olabilir. Esas tehlikesi yanıcı ve patlayıcı olmasından ileri gelir Metan konsantrasyonu % 5 'in altında ise patlama olmaz, yanar. % 14'ün üzerindeki konsantrasyonlarda yüksek özgül ısı ve oksijen azlığı nedeniyle patlama özelliği yok olur. Tehlikesiz sayılabilecek konsantrasyonu % 1' dir [4].

3. HAVALANDIRMA ÇEŞİTLERİ

Maden sistemlerinde kullanılan havalandırma çeşitleri :

- Doğal Havalandırma
- Mekanik Havalandırma
- Tali Havalandırma şeklindedir.

3.1. Doğal Havalandırma

Doğal havalandırma; yer altı maden ocaklarında, hava giriş-çıkış noktaları arasındaki kot farkı ve yoğunluk farkından dolayı pervane, vantilatör gibi herhangi bir mekanik teçhizat olmadan, içeride hava akımı yaratılarak yapılan havalandırma yöntemidir.

3.2. Mekanik Havalandırma

Mekanik havalandırma; yer altı maden ocaklarında, vantilatörler yardımıyla yapılan havalandırma yöntemidir. Bu işlem aksiyal ve radyal vantilatörler yardımıyla gerçekleştirilir. Bunlar emici, üfleyici, hem emici hem üfleyici olarak çalıştırılabilirler [5].

3.3. Tali Havalandırma

Henüz hava dönüş bağlantıları sağlanmamış tünellerin havalandırılmasını "Tali Havalandırma" olarak tariflemek mümkündür. Tali havalandırma, emici veya üfleyici vantilatörler ve borular (genellikle vantüp veya demir) yardımı ile sağlanır. Uzun tünellerde, kaçakları azaltmak bakımından, aralıklı ve seri bağlantılı vantilatörler kullanılabilir. Tünel havalandırmasının büyük bir şansı, yeryüzünden temiz hava sağlanmasının bir güçlük göstermemesidir. Temiz havadan faydalanmak ve kirli havayı doğrudan doğruya yeryüzüne vermek mümkündür. Kısa devre oluşmaması için, vantilatörlerin havalandırılacak tünel ağzına mesafeleri en az 5 m. olmalıdır. Temiz hava yeryüzü atmosferinden sağlandığı için, tünele ulaştırılacak hava miktarının kısıtlanması söz konusu değildir, bu da tünel havalandırmasının başka bir avantajıdır.

4. Maden Havalandırmasındaki Fan Kriterleri

4.3 Atex Fanlar

Atex; Parlayıcı, patlayıcı ortamlarda kullanılan aletler ve teçhizatlar ile bu ortamlarda çalışanların iş sağlığı ve iş güvenliği hususlarında gereken koşulları kapsayan yönetmeliklerin kısa adıdır. Patlayıcı ortam kelimesinin Fransızca karşılığı olan “ ATmospheres EXplosives” sözcüklerinden kısaltılmıştır [6]. Atex yeraltı maden havalandırmasında bir diğer önemli unsurdur. Kullanılacak olan fanlar patlamaya karşı muhafaza (Explosion-Proof) özelliğe sahip olması gerekmektedir.. 2014/34/EU direktifi muhtemel patlayıcı atmosferlerde kullanılmak amacıyla üretilen ekipman direktifidir. Muhtemel patlayıcı ortamlarda kullanılması amaçlanan ekipman tedarikçileri direktife göre ürünlerinin güvenli olmasını sağlar.

Madde	Patlayıcı Maddenin Ortamdaki Bulunma Süresi	Bölge (Zone)	Minimum Ekipman Gereklilikleri				Koruma Seviyesi
			Direktif 2014/34/EU	Ekipman Grubu	Ekipman Kategorisi	Standart IEC/EN/CSA 60079-0	
			Grup	Ekipman Koruma Düzeyi (EPL)			
Gaz ve Buhar	Sürekli, uzun süreli ve sıklıkla	Zone 0	II	1G	II	Ga	çok yüksek
	Ara sıra meydana gelme	Zone 1	II	2G	II	Gb	yüksek
	Olası değil, gerçekleşmesi ise nadiren veya çok kısa süreli	Zone 2	II	3G	II	Gc	arttırılmış
Toz	Sürekli, uzun süreli ve sıklıkla	Zone 20	II	1D	III	Da	çok yüksek
	Ara sıra meydana gelme	Zone 21	II	2D	III	Db	yüksek
	Olası değil, gerçekleşmesi ise nadiren veya çok kısa süreli	Zone 22	II	3D	III	Dc	arttırılmış
Metan, Kömür Tozu	Sürekli	Maden	I	M1	I	Ma	çok yüksek
	Sıklıkla	Maden	I	M2	I	Mb	yüksek

Tablo 3. Patlayıcı ortam Sınıflandırması

Kömür madenleri içerisinde kullanılacak olan fanlar içerisinde barındırdıkları kömür tozu ve metandan dolayı sabit risk grubuna girmekte olup, grup I kategori M1 sınıfında ekipman kullanımı gerektirmektedirler. Grup I fanlar en yüksek sınıf patlama korumasında özel bir yapıya sahiptirler. Kullanılacak olan fan pervanesi ile gövde arasında sürtünme ihtimaline karşı yeterli boşluk olması, pervane çevresinin bakır halkayla kaplanması, özel ex-proof motor kullanılması alınan önlemler arasında sayılabilir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yeraltı madenlerinde çalışanlar için uygun şartların en temel ilkesi havalandırmadır. Havalandırma doğru bir şekilde ve yöntemde yapılması doğrultusunda çalışanların sağlığı ve ortamı uygun olacağından çalışmadan ortamında havalandırma kaynaklı dikkat dağınıklığı ortadan kalkacaktır. Havalandırmanın yanlış ve eksik yapıldığı ortamlarda çalışan işçilerde oksijen yetersizliği veya karbondioksit miktarındaki artış nefes almada güçlükler, baş dönmesine ve bilinç kaybına sebebiyet vererek iş kazasına sebebiyet verebilmektedir. Bu ve bunun gibi kazalara sebebiyet verebilecek ortamların ortadan kaldırılması için maden proje ve uygulamalarının, bir mühendislik dalı olarak maden bilim ve teknolojisine uygun şekilde yapılmasına ek olarak ulusal ve uluslararası asgari



standart şartlarına uygunluğun sağlanması, uygulamada bu şartların temin edilmesine yönelik gerekli işletme faaliyetlerinin doğru ve yerinde yapıldığının tespiti amacı ile de etkili bir denetim mekanizması ile kontrolü, hem güvenlik hem de işletme ekonomisinin sağlanması açısından gerçek bir çözüm olacaktır. Bunlara ilave olarak çalışanların doğru ve düzenli bir şekilde eğitime tabi tutarak oluşması muhtemel kazalarda önceden aldığı eğitimler ışığında, kaza anında veya hemen öncesinde yapacağı doğru hamleler ile kazanın oluşmasına engel veya oluşabilecek kazaları en asgari seviyede atlatılmasına yardımcı olur.

KAYNAKLAR

- [1] Olgun, B., Gültek, S., Bulgurcu, H., “Yeraltı Maden Ocaklarında Havalandırma Kriterleri”, Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, s. 357-370, 2015.
- [2] Conti Ronald S., Linda L. Chasko, Charles P. Lazzara, Gary Braselton ; “An Underground Coal Mine Fire Preparedness and Response Checklist: The Instrument”, U.S. Department Of Health And Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Research Laboratory Pittsburgh, PA, August 2000.
- [3] Güyagüler, P. D. T., Karakas, A., Güngör, A., “Occupational Health and Safety in Mining Industry”, Ankara, 2005.
- [4] Ayvazoğlu, E., “Madenlerde Havalandırma ve Emniyet”, İTÜ Maden Fakültesi, Yayın No:13, İstanbul, 1984.
- [5] https://tr.wikipedia.org/wiki/Madenlerde_havalandırma
- [6] Sarı, M. K. “ Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan aletler Hakkında Genel Bilgi “

ÖZGEÇMİŞLER

Ali Ozan KILIÇARSLAN

1994 İstanbul doğumludur. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2018 yılında Ar-Ge Mühendisi olarak başlamış olduğu iklimlendirme ve havalandırması sektöründe 2022 yılı itibari ile Systemair HSK firmasında Ar-Ge Uzman mühendis olarak devam etmektedir.

Ahmet Murat TUNÇ

1989 yılı Amasya doğumludur. 2015 yılında Doğu Üniversitesi Makine Mühendisliği'nden mezun olmuştur. 2019 yılında çalışmaya başladığı Systemair HSK firmasında Kıdemli Ar-Ge Mühendisi olarak katıldığı Ar-Ge departmanındaki görevine Ar-Ge Proses ve Laboratuvar Takım Lideri olarak devam etmektedir. Havuz nem alma santralleri, entegre soğutmalı klima santral çözümleri ve veri merkezi iklimlendirmesi üzerine Ar-Ge projelerini yürütmektedir. Ahmet Murat TUNÇ, iyi derecede İngilizce bilmektedir.