



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

YERALTI MADEN OCAKLARINDA HAVALANDIRMA KRİTERLERİ

BURAK OLGUN
SOLUTION HOME BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ

SERDAR GÜLTEK
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

HÜSEYİN BULGURCU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ



YERALTI MADEN OCAKLARINDA HAVALANDIRMA KRİTERLERİ

Burak OLGUN
Serdar GÜLTEK
Hüseyin BULGURCU

ÖZET

Yeraltı maden ocaklarının işletilmesinde havalandırma; gerek çalışan personelin sağlıklı çalışma koşullarında bulunmaları gerek de çalışan makinelerin güvenli çalışmaları için yapılan en önemli işlemdir. Ocaklarda; sağlığa uygun solunabilir hava sağlanması, ortamdaki patlama riskinin ve solunabilir toz konsantrasyonunun kontrol altında tutulması, kullanılan çalışma yöntemi açısından çalışanların fiziki faaliyetleri dikkate alınarak çalışma şartlarına uygun hava özelliklerinin sağlanması ve bu durumun sürdürülebilmesi için sürekli havalandırma yapılması zorunludur. Havalandırma işlemi yeraltında; çalışma ortamı güvenliği için ocak sıcaklığının optimum seviyeye ayarlamak, CO₂, CO, H₂, H₂S, SO₂, N_xO_y, CH₄ gibi zararlı gazların konsantrasyonunu yönetmeliklerle belirlenmiş değerler altında tutmak ve ocaktan tahliye etmek, çalışan personel ve makineler için gereken oksijeni temin etmek için yapılmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’de maden ocaklarının işletilmesi sırasında ortam havalandırması için asgari gereklilikler ve uygulamadaki duruma değinilmiş, havalandırma hesaplarına ilişkin metodoloji irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Madenlerde havalandırma, maden ocaklarında zararlı gazlar, yeraltı madenlerinde solunabilir hava

ABSTRACT

Ventilation is the most important process in mines in order to provide adequate air to employees essential for occupational health and also enable reliable operation of machinery and equipment. Continuous ventilation is required to provide breathable air, to control explosion risk and breathable dust concentration, to provide in air within the context of employees’ physical conditions. Ventilation is done in order to adjust temperature of work environment at optimum level, to adjust and dilute concentration of hazardous gases such as CO₂, CO, H₂, H₂S, SO₂, N_xO_y, CH₄ as required by regulations and discharge these gases from mine environment. It is done also provide oxygen both for employees and machinery.

In this study, minimum regulatory requirements for ventilation of mines in Türkiye and situation of practice have been mentioned and methodology for ventilation calculation is discussed.

Key Words: Ventilation network of mining, breathable air in mines, hazardous gases in mines,.



1. GİRİŞ

İnsanlığın doğuşundan bu yana önemli bir yere sahip olan 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.

Günümüzde dünya maden üretiminin yaklaşık %70'i açık işletmecilik yöntemleriyle yapılmaktadır. Açık ocak işletmeciliği, işletilmesi ekonomik olarak uygun bulunan maden yataklarının, mostra verenlerinin doğrudan kazılarak üretilmesi ya da üzerini kaplayan örtü tabakasının alınarak açılması ve sonrasında cevherin üretilmesi şeklinde yapılan işletme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Metalik cevherlerin yarısı, kömürün 1/3'ü ve metal dışı yapı malzemelerinin tamamı açık ocak işletmeciliği ile üretilmektedir. Ancak maden yapısı ve rezervi dikkate alındığında, madenin yüzeye yakınlığı da değerlendirilerek yeraltı madenciliği de uygulanan bir diğer maden çıkarma yöntemidir. Bu uygulama, yeraltında açılan tüneller zincirinde yapıldığından toprak katmanının jeolojik yapısına göre diğer yöntemlerden çok daha fazla iş gücü ve emek yoğun çalışma gerektiren bir faaliyet olup; yer altında çalışan işçilerin asgari yaşam koşullarının sağlanması da büyük önem arz etmektedir.

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.

Yeraltı maden ocaklarında bulunan kuyu, galeri, taban yolu, ayak gibi açıklıklara yeteri kadar temiz hava verilmesi ve verilen havanın kontrolünün sağlanması, patlayıcı gaz oranlarının kabul edilebilir değerlerde tutulması, hava hızını kontrol altında tutarak ocak yangınlarının önlenmesi havalandırmanın temel amacıdır. Bu amaçları yerine getirirken maliyeti en azda tutmak da gerekmektedir. Üretim ilerledikçe ocakta bulunan açıklıklar değişecek, yeni havalandırma hesaplamaları yapmak gerekecektir. Hava akış yönleri, hızı, dağılışı periyodik olarak ölçülmeli, yeni açılan açıklıklar nedeniyle oluşan hava şebekesindeki kayıplar yeniden hesap edilerek, vantilatör karakteristiklerinin kontrolü gerekli hallerde kanat ayarlarının yapılarak verimlerinin yükseltilmesi ve istenilen hava debilerinin sağlanması için havalandırma etütlerinin sürekli gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Hava kaçak miktarları, ocak havasında bulunan gaz ve toz miktarlarının gerçek değerleri sürekli kontrol edilerek gerekli düzenlemelerin yapılması gereklidir. Kömür ocaklarında kendinden yanmanın önlenmesi için de ocak havasını kontrol altında tutmak gerekir.

2. YERALTI MADENLERİNDE HAVALANDIRMA İHTİYACI

Maden havası, yer altındaki çalışma alanlarını dolduran, su buharı ve gazların karışımından oluşan çoğu her zaman tozlu olan bir havadır. Yeraltındaki havanın olumsuz yönde değişimi, genelde oksijen miktarının azalması ve karbondioksit ve diğer gazların artması olarak değerlendirilir. Bu değişim, maden havasını kirleterek ortamda yanıcı, boğucu ve zehirli gazların birikmesine yol açar. Maden havası içerisinde kirletici olarak bulunan yanıcı gazlar başında metan (CH₄) ve türevleri olmak üzere karbonmonoksit (CO) ve hidrojen (H₂) örnek olarak verilebilir. Boğucu gazları karbondioksit (CO₂), nitrojen (N₂) ve metan (CH₄); zehirli gazları ise karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve azotun tüm oksitleri (N_xO_y) oluşturur.

Yeraltı maden havasının kirlenme derecesi;

- Cevherin içerdiği gaz miktarına,
- Cevherin oksijen ile reaksiyona girme potansiyeline,
- Uygulanan maden çıkarma yöntemine,
- Çalışma alanına gelen havanın miktarına,
- Ocakta kullanılan makinelerin türüne,
- Çalışma alanının boyutlarına,

bağlıdır [1].

- **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.

2.1. Boğucu Gazlar

2.1.1. Oksijen

Boğulma, solunan havanın içerisindeki oksijen yüzdesine bağlıdır. Oksijen eksikliği veya oksijen miktarındaki azalma nefes almada zorluklar yaratır. Oksijen eksikliği madenlerde, kömürün veya madenin oksidasyon reaksiyonundan, tahkimat kerestelerinin çürümesinden, diğer gazların ortama eklenmesinden, yangınlardan, patlamalardan ve kontrollü patlatmalardan ve ortamda çalışan insanların solunumundan kaynaklanır.

Tablo 1. Solunum havasındaki oksijen miktarının insan sağlığına etkisi [2].

Solunum havasındaki oksijen (O ₂ %)	İnsan Sağlığına Etkisi
21	Normal nefes alma
19	Normale yakın nefes alma (kontrol lambasının parlaklığını %30 azaltır)
17	Nefes almada hızlanma ve zorlanma başlangıcı
15	Baş dönmesi ve bulanık görme
9	Bilinç kaybı
6	Solunumda yavaşlama ve bunu takiben solunum ve kalp durması
0	Çırpınma, kasılma ve kısa sürede ölüm

Tablo 1.'den de görüleceği üzere, yeraltı maden ocaklarında solunum havası içerisindeki oksijen miktarı %19'un altına düşmemelidir. Bu seviyenin pratikte ve sürekli izlenmesi kontrol lambası ile yapılır. Lambanın parlaklığındaki kademeli düşüş, ortam havasındaki oksijen miktarındaki azalmanın bir göstergesidir. %17'nin altında oksijen içeren ortamda kullanılan emniyet lambası söner.

2.1.2. Karbondioksit

Tam yanma reaksiyonu sonucunda ya da solunum sonrasında verilen hava içerisinde bulunur. Havadan ağır olup renksiz ve kokusuzdur. Büyük miktardaki karbondioksit oluşumuna patlama ve yangın sonrasında rastlanmakta beraber tahkimat ahşabının çürümesi de karbondioksit oluşturabilir.

Karbondioksit tespitinde; en güvenilir testlerden biri havayı kireçli su içinden geçirmektir. Sıvı yoğunlaşarak süt - tebeşir tozu rengini alır. Diğer bir tespit yöntemi de kimyasal analizlerdir. Ancak pratikte yaygın olarak kullanılan yöntem, emniyet lambasındaki parlaklığın kontrolüdür. Donuk ve duman rengi ışık, ortamda en az %2 karbondioksit olduğunu gösterir. %1'i geçen yerlerde de insanlar çalıştırılmamalıdır. Ülkemizde kabul edilebilir en düşük oksijen seviyesi %19, en fazla izin verilebilen karbondioksit miktarı da %0,5'dir.

Tablo 2. Solunum havasındaki karbondioksit miktarının insan sağlığına etkisi [2].

Karbondiyoksit (CO ₂ %) ve Solunum havası karışımı		İnsan Sağlığına Etkisi
Karbonyoksit (CO ₂ %)	Hava (%)	
1	99	Hissedilir etkisi yoktur
3	97	Nefes almada zorlanma başlangıcı
5-6	94-94	Nefes almada hızlanma ve baş ağrısı
10	90	Şiddetli acı
15	85	Kısmi bilinç kaybı
18	82	Boğulma ve ölüm
25	75	Kısa sürede ölüm

2.1.3. Azot (N₂)

Azotun ortamda oluşmasının ana nedeni organik maddelerin çürümesi ile kontrollü patlatmalardır. kontrollü patlatmalarda kullanılan patlayıcı maddeler içerisinde yer alan azot, reaksiyon sonucu N₂ olarak ortama yayılır. Renksiz, kokusuz ve zehirsiz olan azot; solunum havası içerisindeki oksijeni aşırı derecede seyrelterek boğulmaya sebep olabilmektedir.

2.2. Zehirli Gazlar

- Karbonmonoksit (CO)
- Hidrojensülfür (H₂S)
- Kükürtdiyoksit (SO₂)
- Azot Oksitler (N_xO_y)

2.3. Gaz Konsantrasyonlarının İzlenmesi

Bir yeraltı madenin farklı kısımlarındaki hava miktarı ve kalitesinin sürekli ölçülerek izlenmesi ve gerekli müdahalelerin yapılabilmesi için bilgisayarla kontrol edilen otomatik izleme sistemleri kullanılmaktadır. Günümüzde izleme ve erken uyarı sistemlerinin tüm yeraltı ocaklarında kullanılması mutlaka gereklidir. Ocak hava miktarı ve kalitesine ek olarak, erken algılama-uyarı, ölçme ve kontrol sistemleri tarafından yeraltında bulunan tüm makine ve teçhizat ile koşullar ölçülmekte ve kumanda merkezinden yönetilebilmektedir.

3. OCAKLARDA HAVALANDIRMA ŞEBEKELERİ

Yeraltı maden ocakları çeşitli kesit ve uzunluktaki birçok kuyu, körkuyu, desandre, rampa, galeri, taban yolu, başyukarı, kelebe, ayak ve diğer açıklıklardan oluşur. Bu bölümlerin isimlerinden de anlaşılacağı üzere, sektöre özel terminoloji bulunmakta olup; bu terminolojinin direkt ya da dolaylı olarak havalandırma ile ilgili kısmı aşağıda özetlemektedir:

Akrosaj: Dik ve meyilli kuyuların dip ve başları ile ara katlardaki manevra yerleri ve bunlarla ilgili diğer yerlerin tamamı.

Arın: Galeri ilerlemelerinde cevher, kömür veya taşta üretim ve ilerleme çalışmalarının yöneldiği dikey yüzey parçası.

Ayak: Yeraltı işletmelerinde, maden içerisinde iki galeri arasında cephe halinde maden üretimi yapılan yer.

Baca: Kömür ocaklarında kömürün kazılarak çıkarıldığı yer veya cevher içinde açılan boşluk veya kara tumba metodu ile çalışılan panolarda sürülen kılavuz ve başyukarılar.



Baraj: Yeraltı işletmelerinde yangın, su, zararlı gazlar veya infilakın başka damar panolara yayılmasını, galerilerden hava, gaz ve su geçirmesini önlemek için yapılan sızdırmaz engel. Barajların yapımında kum torbaları, kil, yapı malzemeleri vb. maddeler kullanılır.

Başyukarı: Yan taşta veya damar içerisinde aşağıdan yukarı doğru sürülen meyilli yol.

Çıkış Havası: Ocakta kullanılıp nefeslikten dışarı atılan kirli hava.

Degaj: Ani gaz boşalması.

Desandre: Maden ocaklarında aşağıdan yukarıya cevher veya kömür nakli yapmak amacı ile aşağıya doğru meyilli olarak yan taş, cevher veya kömür içinde sürülen galeri.

Doğal Havalandırma: Ocakta, hava yoğunluğu farkından oluşan, doğal hava ile yapılan havalandırma, tabii havalandırma.

Galeri: Yeraltında açılan geçit yolu.

Gaz Drenajı: Çevredeki formasyonlarda bulunan metan gazının, ocak havasına karışmadan önce emilmesini sağlamak amacıyla yapılan işlem.

Gaz İntişarı: Kömür veya yan kayaçtan gelen ve uzun bir süre devam eden gaz çıkışı, gaz boşalması.

Grizu: Metan gazının hava ile belirli bir oranda karışımından oluşan patlayıcı ve yanıcı (ocak gazı) gaz.

İnset: Kuyunun dibinden veya herhangi bir yerinden yapılan lağım girişi.

Kat: Maden ocaklarında üretim yapmaya esas teşkil edecek şekilde belirlenen ana üretim seviyeleri.

Kat Ağzı: Galerilerin kuyu ile birleştiği yani insan, malzeme, cevher veya kömür naklinde yatay nakliyat sistemi ile dikey nakliyat sisteminin kesiştiği yer.

Kızışma: Kömür madenlerinde, panolarda yapılan yetersiz havalandırma veya stoklardaki kömürlerde kömürün veya kömür içinde bulunan piritin yavaş yanması sonucu meydana gelen ısının dağılmaması sonucu kömür ısısının yükselmesi. Kömürün kızışmasının artması sonucu yavaş yanma, açık alevli yanmaya dönüşebilir. Buna spontane (kendiliğinden) oluşan yangın denir.

Kömür Tozu İnfilakı: Havada süspansiyon halinde bulunan (1 m³'te 40–2.000 gr) kömür tozunun infilak etmesi olayı. Genellikle grizu infilakından sonra meydana gelen ikinci patlama, grizu infilakının etkisi ile çevrede bulunan kömür tozlarının havaya karışması sonucu, kömür tozu infilakından ileri gelir.

Kuyu: Yeraltı işyerlerine ulaşmak amacıyla açılmış ve kesit boyutları derinliğine oranla sınırlı, düşey ve düşeye yakın bağlantı yolu.

Mostra: Yeryüzünde bir madenin açığa çıkmış ve çıplak göz ile görülen kısmı, yani maden yatağının yüzeyi ile yeryüzünün ara kesiti.

Nefeslik: Havalandırma bacası ve kaçamak yolu. Bir kapalı işletmede ocak içindeki havanın ocaktan çıkışını veya aspiratörle emilmesini sağlayan kuyu, galeri, vb. ile hava çıkış veya dönüş yolu.

Pano: Yeraltı işletmesi uygulanan bir damarda mostra ve muayyen bir kat veya iki kat arasında kalan işletmeye alınmış damar kısmı.

Rekup: Bir galeri boyutlarına sahip, fakat genellikle daha kısa olup, diğer tabakalara dik olarak sürülen bağlantı yolu.

Seri Havalandırma: Kapalı ocaklarda birden fazla çalışma yerinin ardı ardına, aynı hava akımı ile havalandırılması.

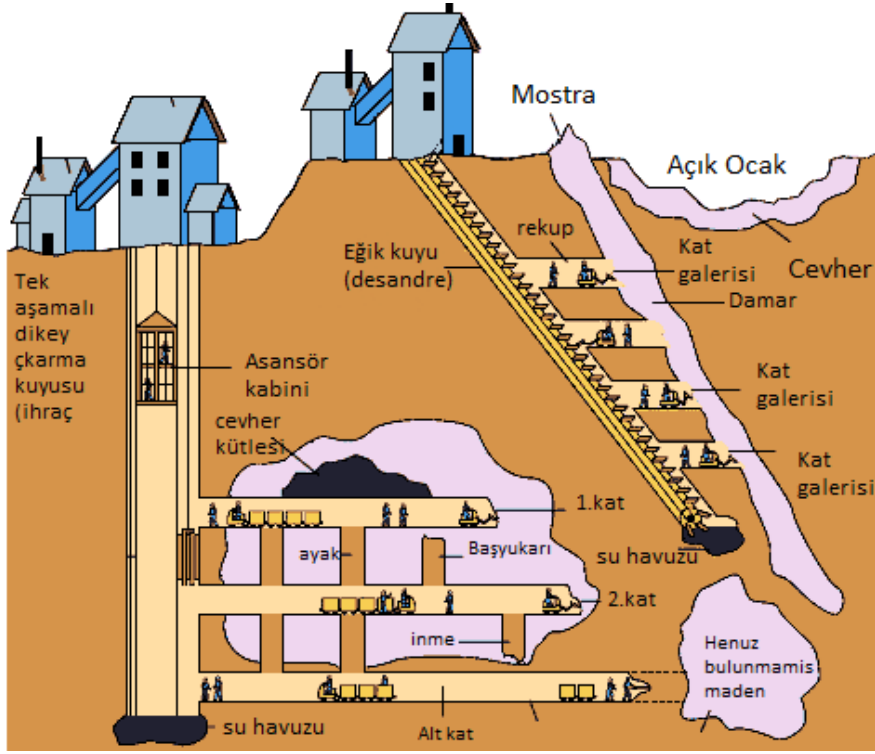
Taban: Maden ocağı içerisinde açılan boşlukların altındaki yatay veya eğimli düzlem.

Taban-Tavan Galerileri: Maden yataklarında işletme metodunu uygulamak, üretim yerinde ulaşım, havalandırma ve nakliyatı sağlamak için damar istikametinde damar tabanını (tavanını) takip ederek sürülen galeriler.

Tali Havalandırma: Kapalı işletmede ana havalandırma şebekesi dışında kalan yani normal havalandırmanın ulaşamadığı galeri, kuyu, lağım vb. yerlerin ana havalandırma ile irtibatlı olarak temiz hava tarafına kurulan ek havalandırma düzenleri ile havalandırılmasıdır. İkincil havalandırma olarak da adlandırılır. Bu tür havalandırmada tali vantilatör (ikincil vantilatör) kullanılır.

Tali Pervane: Ocaklarda ana havalandırma vantilatörüyle sağlanan hava akımı ile havalandırılması yapılamayan çalışma yerlerinin havalandırılması için kullanılan ikinci derece vantilatör.

Şekil 1.'de yer alan şemada, ocak şebekesinin kısımları gösterilmektedir.



Şekil 1. Maden ocağının bölümleri.

Yeraltı işletmeciliğinin yapılabilmesi için ocağın her noktasına gerekli temiz havanın ulaştırılması, içeride kirlenen havanın da hızlı ve en kısa yoldan dışarıya atılması gereklidir. Ayrıca işletilen madenin yapısı gereği işletme sırasında ortaya çıkan zehirli ve patlayıcı gaz ve toz seviyesinin belirli seviyeler altında tutulması da önemlidir. Bu koşulların sağlanabilmesi, yeter derecede ortam havalandırmasının sağlanması ve güveni çalışma ortamı koşullarının oluşturulabilmesi için bir ve birden fazla vantilatör kullanılabilir. Diğer taraftan vantilatörlerin çalıştırılması, ocak işletme masrafları arasında önemli bir kısım oluşturduğundan; ocağın en iyi şekilde havalandırılması için doğal havalandırma etkisinin iyi irdelenmesi ve ocağın bütün bölümlerinden geçen hava miktarının eksiksiz olarak hesaplanması gereklidir.

Havalandırma ile ilgili alınacak güvenlik önlemlerinin başında; çalışan vantilatör sistemlerinin yedekli tutulması, elektrik kesilmelerinde otomatik olarak devreye giren dizel motor tahrikli vantilatörlerin kullanılmalıdır. Bu durumda pervane şaftının hızını değiştirmeden gerekli ayarlamaları yapmak için "pitch" kontrolü adı verilen ve pervane kanatlarının eğim açısını çalışma sırasında değiştirmeye yarayan sistemler kullanılabilir. Ocak havalandırma sorunlarının anında çözümlenebilmesi ve işletme maliyetinin minimize edilmesi için vantilatörlerin verimi yüksek, kanat ayarlı ve istenildiğinde geri döndürülebilir türde olması gerekir.

Ocaklarda karşılaşılan yangınların kontrol altına alınması, yangın çıkması halinde yangın ile mücadele sırasında ve gerek iş makinelerinden çıkan egzoz ve gerekse yeraltında bulunan metan ve türevi yanıcı ve patlayıcı gazlar ile karbonmonoksitin güvenlik sınırlarının altında tutulması, yeraltı maden ocağı şebekelerinin her noktasındaki hava akış kontrolü ile mümkündür.

Günümüzde ocak havalandırma şebekelerinin tasarımı ve kontrolü bilgisayar destekli şebeke analiz programları kullanılarak yapılmaktadır. Ayrıca havalandırma problemlerinin çözümü kontrolü için kullanılan başta hava hızını ölçen anemometre ve hava basıncını ölçen monometre olmak üzere metan, oksijen, karbonmonoksit ve diğer gazları ölçmeye yarayan kullanışlı, hassas, sağlam ve asgari standart koşullarını sağlayan gaz toz ölçü cihazları kullanılmaktadır.

4. HAVALANDIRMA ŞEBEKELERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ

Bir yeraltı maden ocağının daha planlama aşamasında iken, havalandırma ile ilgili parametrelerin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi ve projelendirilmenin gerçeğe en yakın verilerle yapılması, sonraki aşamalarda karşılaşılabilecek sorunları minimize etmenin ilk adımını oluşturur. Bu aşamada yapılabilecek hatalar, üretim çalışmalarını aksatan durumların doğmasına yol açabilir. Bu nedenle, projelendirme aşamasında, geçmesi gereken hava miktarına bağlı olarak uygun galeri kesitleri, uzunlukları, desandre, bür vb. özellikleri gibi parametrelerin iyi hesaplanması gerekmektedir [3].

Yeraltı maden ocaklarına sağlanacak hava miktarı; çalışma yerlerinin sıklığına, çalışmanın yoğunluğuna, üretim yapılan panonun koduna, kayaç iletkenlik katsayısına, cevher bünyesinde bulunan zararlı gaz ve tozların içeriklerine bağlıdır [4]. Ocak çalışmaları devam ettikçe ve yeni çalışma yerlerinin açılması ile yeraltına gönderilen hava dağılımı da sürekli olarak değişmektedir [5].

Maden ocaklarında, genelde hava yolları karmaşık (seri ve paralel) olarak düzenlenmiştir. Ayrıca kaçaklar, göçükler ve kapatılan panolar vb. gibi durumların etkileri söz konusu olduğundan genellikle, cebirsel veya grafik çözümlerin olanaksız olduğu ya da çok zaman alacağı devreler ortaya çıkabilmektedir. Karmaşık bir şebekenin çözümü; özel tekniklerin uygulanmasını ve bu amaçla tasarlanmış bilgisayar programlarının kullanımını gerektirmektedir. Son derece karmaşık olabilen havalandırma hesapları, bilgisayar ortamında çok kısa sürede yapılabilmektedir. Günümüzde ocak havalandırma şebekelerinin tasarımı ve kontrolü bilgisayar destekli şebeke analiz programları kullanılarak yapılmaktadır [6]. Gerekli hava dağılımını sağlamak için kullanılan kapı, ayarlı kapı, baraj gibi ayarlayıcıların konulacağı yerlerin tespiti, yeni çalışma yerlerinin mevcut sisteme ilavesi ile gerekli olan hava miktarının hesaplanması ve ocak havalandırması ile ilgili diğer sorunlar ancak havalandırma şebeke analizi yöntemleri kullanılarak çözülebilmektedir [5].

4.1. Havalandırma Şebekelerinin Çözümünde Uygulanan Yöntemler

Havalandırma şebeke analizlerin çözümünü mümkün kılabilmek için bazı kabullerin de yapılması zorunludur. Bu kabuller aşağıda verilmiştir [7].

Ocak havası sıkışmazdır. Bu yüzden termodinamik bakımdan bir hacim değişikliği yoktur.

P: Bir kolun iki ucu arasındaki basınç düşüşü.

R: Kolun direnci.

Q: Bir koldan geçen hava miktarı (m^3/sn).

n: Sabit (1.7~2.3).

olmak üzere;

$$P = R \times Q^n \quad (1)$$

denklemini bütün şebeke kolları için geçerlidir.

Pratik uygulamalar dikkate alındığında, n-değerinin değişiminden kaynaklı hatanın en kötü etkileri bile kabul edilebilir mertebededir [8]. Bu nedenle yaygın olarak uygulamada n-değeri n=2 olarak kullanılır. Havalandırma şebekelerinin analizinde, şebekenin basit veya karmaşık olması durumlarına göre farklı çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Basit devre çözümlerinde Eşdeğer Direnç Yöntemi yeterli olmakta, karmaşık şebekelerde ise analitik çözüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır [9].

4.1.1. Eşdeğer Direnç Yöntemi

Şebekenin birbirine seri ve/veya paralel halde bağlanmış hava kollarından, basit devrelerden oluşması durumunda eşdeğer direnç yöntemi kullanılmaktadır. Eşdeğer direnç yönteminde hesaplanan toplam direnç sistemin eşdeğer direnci olmakta ve hava miktarı yardımıyla toplam basınç kaybı belirlenmektedir.

Seri bağlantı durumunda toplam direnç:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (2)$$

denklemini ile hesaplanır.

4.1.2. Analitik Çözümleme Yöntemi

Analitik çözümleme yönteminde Kirchoff yasaları kullanılarak elde edilen eşitlikler kullanılır. Kirchoff yasaları, elektrik devrelerindeki direnç hesaplamaları için kullanılmakta olup; Atkinson tarafından maden havalandırma şebekelerinin çözümüne de uyarlanmıştır. Bu yaklaşıma göre;

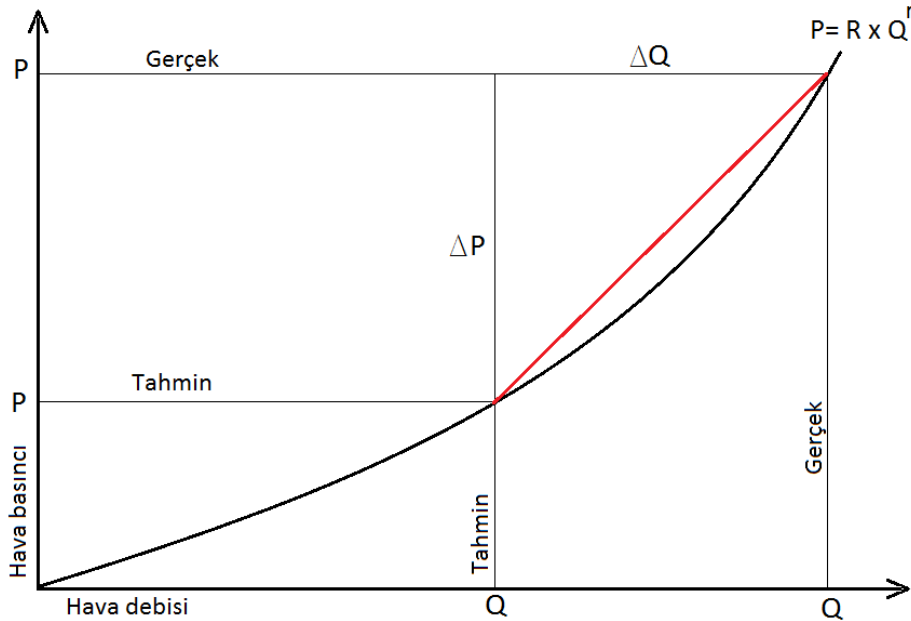
- Birinci yasaya göre bir kavşağa gelen ve bu kavşaktan giden hava miktarının cebirsel toplamı sıfırdır.
- İkinci yasaya göre, kolların oluşturduğu kapalı bir devredeki basınç düşümünün cebirsel toplamı sıfırdır.

Daha karmaşık yapıların çözümlenmesinde ise değişik iterasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden en yaygın olarak kullanılan ve yaklaşık tekrarlar yöntemi olarak adlandırılan Hardy-Cross iterasyon tekniğidir. Bu çözüm tekniği, D.R. Scott ve F.B. Hinsley tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemin üç temel noktası vardır. Bunlar:

- Atkinson Yasası : $P = R \times Q^2$ [10] (3)
- 1. Kirchoff Yasası : $\sum Q=0$ (Her kavşak için)
- 2. Kirchoff Yasası : $\sum \Delta P=0$ (Her kapalı devre için)

Her iterasyon yönteminde olduğu gibi, bu iteratif çözüm tekniğinde de her bir koldan geçen hava miktarını ($Q_{gerçek}$) bulmak için öncelikler bu değer tahmin edilerek hesaba başlanır. Tahmin değer ile hesap sonucunda bulunacak değer arasındaki fark ΔQ olmak üzere;

$$Q_{gerçek} = Q_{tahmin} + \Delta Q \quad (4)$$



Şekil 2. Hardy-Cross iterasyon tekniğinde hava basıncı-hava debisi ilişkisi.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, $Q_{gerçek}$ ile Q_{tahmin} arasında kalan eğrinin eğimi yaklaşık olarak $\Delta H / \Delta Q$ 'dur ve bunun limit değeri ise dH/dQ olmaktadır. H ile Q arasındaki ilişkiyi gösteren Denklem 3.'delki Atkinson eşitliğinin türevi alınarak, yukarıdaki grafikte de görüleceği üzere ΔP değeri hesaplanabilir.

$$\frac{dP}{dQ} = n \times R \times Q^{n-1} \quad (4)$$

ya da tahmin değeri için;

$$\frac{dP}{dQ} = n \times R \times Q_{tahmin}^{n-1} \quad (5)$$

olacaktır. Bu değer yaklaşık olarak DH/DQ olacağından, Kirchoff yasaları da dikkate alınarak gerekli düzenlemeler yapıldığında her bir kapalı devre için

$$Q_m = \frac{-\sum R_i \times Q_{tahmin,i}^n}{\sum_{i=1} n \times R_i \times Q_{tahmin,i}^{n-1}} \quad (6)$$

düzeltilme değerine ulaşılır. Eğer bu kapalı devre içerisinde doğal havalandırmanın etkisi ya da vantilatör bulunuyorsa; H_f vantilatör basıncı, S_f vantilatör karakteristik eğrisinin eğimi ve DHB de doğal havalandırma basıncı olmak üzere denklem aşağıdaki son halini alır.

$$Q_m = \frac{-\sum (R_i \times Q_{tahmin,i}^n - H_f) - (DHB)_m}{\sum_{i=1} (n \times R_i \times Q_{tahmin,i}^{n-1} - S_f)} \quad (7)$$

Bu iterasyon, DQ değeri belirli bir kabul değerinin altına düşene kadar tekrarlanarak gerçeğe en yakın değere ulaşılır.

4.1.3. Analitik Çözümleme Yöntemi

Bu yöntemde; havalandırma şebekeleri, havayollarından geçen hava akımının değişik akışkanlar veya elektrik akımı prensibi ile gösterilme esasına göre tasarlanmaktadır. Kullanımı yok denecek kadar azalmıştır.

4.2. Havalandırma Şebekelerinin Çözümünde Bilgisayar Kullanımı [9]

Günümüze, yukarıda da özetle açıklanan sayısal iterasyon teknikleri ile hesap yapan bilgisayar programları ile bu hesaplar yapılmaktadır. VnetPC, VUMA, MINEV, ClimSIM, DuctSIM gibi havalandırma hesap programlarına ek olarak ülkemizdeki kömür madenlerinde de yaygın olarak Henningsen ve Kazemaru gibi bilgisayar programları kullanılmaktadır.

SONUÇ

Yeraltı çalışma ortamında, işletme sırasında çıkan bu gazlar çalışanlar için büyük risk taşımakla birlikte, çalışanlarda kalıcı rahatsızlıklar oluşturabilmekte ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Bu yüzden 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. Denetim uygulamaları sonrasında karşılaşılmaması muhtemel olumsuzluklar, etkili yasal yaptırımlar ile minimize edilerek iş sağlığı ve iş güvenliği kültürünün gelişmesi sağlanacaktır. Unutulmamalıdır ki; yeraltı madenleri, iş sağlığı ve güvenliğini ilgilendiren konularda en yüksek risklerden birini taşımaktadır. Yapılacak zorunlu ve düzenli eğitimlerde; işverenlerin ve çalışanların yeraltındaki gazları tanıması, riskleri öğrenmesi, koruyucu/önleyici tedbirler hakkında bilgi sahibi olması; bu alanda karşılaşılmaması muhtemel risklerin olumsuz bir şekilde sonuçlanmasının mümkün mertebede önüne geçecektir.

KAYNAKLAR

- [1] YASUN, B., DURŞEN, M., “Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı”, İŞGÜM, ANKARA, 2012.
- [2] GÜYAGÜLER, P. D. T., KARAKAS A., GÜNGÖR A., “Occupational Health and Safety in Mining Industry” Ankara, 2005.
- [3] SARAÇ, S., ŞENKAL, S. “GLİ Ömerler Sahalarının Havalandırılması”, Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 123-134, 1992.
- [4] TECEN, O., “Uygulamalı Yeraltı Havalandırma Projesi”, Alüminyum İşletmesi Müessesesi, Boksit İşletmesi Müdürlüğü, Ankara, 1984.
- [5] YALÇIN, E., GÜRGEN, S., “Madenlerde Havalandırma”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları, No:251, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 1999.
- [6] DİDARİ, V., “Havalandırma, Lisans Ders Notları”, ZKÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 1991.
- [7] AYVAZOĞLU, E., “Madenlerde Havalandırma ve Emniyet”, İTÜ Maden Fakültesi, Yayın No:13, İstanbul, 1984.
- [8] SCOTT, D. R.; HUDSON, R. F., “An Automatic Analogue Computer for the Solution of Mine Ventilation Networks”, Journal of Scientific Instruments, Volume 30, Issue 6, pp. 185-188, 1953.
- [9] DİLEKÇİ, T., “TTK Kozlu Müessesesi Ocakları Havalandırma Şebekesinin Kazemaru Havalandırma Programı Kullanılarak Çözümlemesi” Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [10] ATKINSON, J J, “Gases met with in Coal Mines, and the General Principles of Ventilation Transactions of the Manchester Geological Society”, Vol. III, p. 218.

ÖZGEÇMİŞ

Burak OLGUN

1977 yılı İstanbul doğumludur. 2000 yılında YTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden termodinamik ve ısı tekniği alanında Yüksek Mühendis ve Doktor unvanlarını almış ve yine aynı üniversitede 2002-2009 yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2012-2013 yılları arasında IAU Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmış, aynı üniversitenin Makina Mühendisliği ve Mekatronik Mühendisliği bölümlerinde çok sayıda ders vermiştir. Uzmanlık ve araştırma alanları enerji yönetimi, enerji arz/talep politikaları, termodinamik, ısı transferi, akışkanlar mekaniği, H.V.A.C. sistemler, temiz oda klima uygulamaları ve sertifikasyonu, ölçme tekniği ve endüstriyel otomasyona yönelik programlama teknikleri olan Dr. Burak Olgun halen, kurucu ortağı olduğu Total Endüstriyel Plan Proje Mühendislik Ltd. Şti. ile kurucusu olduğu Solution Home Bilişim Teknolojileri ve Danışmanlık Hizm. bünyesinde; yenilenebilir enerji kaynakları ile enerjinin verimli ve etkin kullanımı başta olmak üzere kendi alanında danışmanlık hizmetleri vermekte ve endüstriyel otomasyon sistemlerinin tasarım, imalat ve uygulamaları ile otomasyona yönelik yazılım ve mobil uygulama konularında faaliyet göstermektedir. 2014 yılından beri Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Mekanik Tesisat Komisyonu ile “Klima Tesisatı” ve “Havalandırma Tesisatı” kitaplarının revizyonunu gerçekleştirmekte olan Kitap Komisyonu'nun üyesi olarak görev yapan Dr. Burak Olgun'un sektördeki çalışmalarının yanısıra 60'ın üzerinde yayınlanmış makale ve bildirisi ile enerji alanında ders kitapları bulunmaktadır.

Serdar GÜLTEK

1976 yılında İstanbul'da doğdu. 2000 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Worcester Polytechnic Institute okulundan Yangın Güvenlik Mühendisliği Yüksek Lisans derecesini aldı. Özel sektörde yaptığı çalışmalardan sonra halen İstanbul Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu “Sivil Savunma ve İtfaiyecilik” ile “Özel Güvenlik ve Koruma” programlarında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

**Hüseyin BULGURCU**

1962 yılında İzmir Kınık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012'den bu yana Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalışmalarına devam etmektedir. 2005 yılında kurduğu deney setleri üreten bir firmanın eğitim danışmanıdır. 2014 yılından beri Makina Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi bünyesinde, "Klima Tesisatı" ve "Havalandırma Tesisatı" kitaplarının revizyonunu gerçekleştirmekte olan Kitap Komisyonu'nun üyesi olarak görev yapan Doç.Dr. Hüseyin Bulgurcu, evli ve iki çocukludur.

