

## KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE METAN DRENAJININ UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

### Investigating the Applicability of Methane Drainage in Coal Mining

Gökhan AYDIN(\*)  
Ayhan KESİMAL(\*\*)

#### ÖZET

Geçtiğimiz yıllarda, madencilik sektöründeki ilerlemelere bağlı olarak verimliliğin artması ve daha derin damarlara ulaşılmasıyla açığa çıkan metan miktarında da önemli bir artış gözlenmiştir. Artan kömür üretimi ve derinlikle birlikte, geleneksel havalandırma sistemleri metanla başa çıkmakta ekonomik olmamaktadır. Drenaj sistemleriyle eş zamanlı olarak yürütülen maden havalandırma çalışmaları, çoğu madende metan konsantrasyonunu düşük tutmanın en ekonomik yöntemi olabilmektedir. Bu makalede, metan drenajı yöntemleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve drenaj kararı aşamasında neler yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Metan Drenajı

#### ABSTRACT

Over the past few decades, emissions of methane from coal mines have increased significantly because of higher productivity and the trend towards recovery from deeper coal seams. With increasing coal production and depth of coal mines, traditional ventilation methods are not always the most economical methods of handling methane in the coal seam. The degasification methods, coupled with mine ventilation, may be the most economical method of keeping methane concentrations low in many mines. In this article, methane drainage methods are examined in detail and it is emphasized what should be done at methane drainage decision phase.

**Keywords:** Methane Drainage

\* Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, TRABZON, gaydin@ktu.edu.tr

\*\* Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, TRABZON

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda artan hammadde gereksinimi ve yüzeye yakın madenlerin tüketilmesi, özellikle kömür madenciliğinde daha derinlere inme ve daha fazla ilerleme hızıyla, fazla üretim yapma (mekanize sistemle) zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle de metan emisyon oranında artışlar meydana gelmiştir.

Hazırlık ve üretim çalışmaları esnasında damarlarda oluşturulan boşluklara metan akışı gerçekleşmektedir. Çalışmaların verimli bir şekilde sürdürülebilmesi için boşluklara sızan bu gazın zararsız bir şekilde çalışma bölgelerinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlemler genellikle iyi şekilde tasarlanmış havalandırma sistemleri ile yapılmaktadır. Ancak metan gelişinin yüksek olduğu bölgelerde ocağı havalandırmak için sadece havalandırma sistemlerinin kullanılması yetersiz kalmakta ve tehlikeli çalışma koşullarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu koşulların oluştuğu bir işletmede çalışma güvenliği iki şekilde sağlanabilmektedir.

- Metan gelişi azalınca kadar uzun bir süre (haftalarca, aylarca) çalışmayı durdurmak,
- Metan drenajı uygulamak.

Birinci önlem uzun zaman gerektirdiğinden ve üretim aksamalarına yol açmasından ötürü önerilmemektedir. Kömür üreten gelişmiş ülkelerde devamlı ve güvenli üretimin metan drenajı ile sağlanacağı kanısı yerleşmiş bulunmaktadır (Ergin, 1977).

Çalışılan damarın veya çevre kayaların geçirgenlik özelliklerinin ve gaz basınçlarının bilinmesi, bunların gaz iletme kabiliyetlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesinde önemlidir. Bunun bilinmesi metan emisyonu tahmini ile havalandırma koşullarının düzenlenmesinde drenaj olayının tasarımında temel oluşturacaktır.

Geçtiğimiz yıllarda, madencilik sektöründeki ilerlemelere bağlı olarak verimliliğin artması ve daha derin damarlara ulaşılmasıyla açığa çıkan metan miktarında önemli derecede bir artış gözlenmiştir. Mevcut yasalara göre, metan konsantrasyonu ayakta ve ocak içerisindeki diğer bölgelerde kontrol edilmelidir. Bu işlem genellikle iyi bir şekilde planlanmış havalandırma sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Büyük işletmeler kömürün her bir tonu için 5- 20

ton havayı yeraltına göndermektedir. Bu işlem çoğu durumda hava çıkış kuyularında metan konsantrasyonunun izin verilebilir maksimum seviye olan %1'in altında tutulması için yeterli olmaktadır. Ancak, geleneksel havalandırma sistemlerinin modern kömür madenlerinde tek başına kullanılmasının yeterli olmadığı görülmüştür (Hartman vd, 1997).

Madencilikte güvenlik koşullarını geliştirmek ve maden açıklıklarındaki metan gazının oluşturabileceği aksama sürelerini azaltmak için, birçok madencilik şirketi madencilik öncesi veya madenin ömrü boyunca damarın bünyesinde bulunan metanı kazanmak için bir drenaj sistemi kullanmaktadır.

## 2. KÖMÜR KÖKENLİ METAN (KKM)

KKM, kömür yataklarında oluşan ve depolanan metan gazıdır.

Kömürleşme olayı sırasında başlıca metan, karbondioksit, azot ve su oluşmaktadır. Metan oluşumunda iki temel mekanizma söz konusudur. Bunlar biyojenik ve termojenik metan oluşumudur (Dallege ve Barker, 1998). Bitkisel kökenli organik maddelerin kömürleşme sürecinin ilk aşamalarında, genellikle 50 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda, mikrobiyolojik ayrışma sonucunda biyojenik metan oluşumu gözlenir. Gerek miktarının azlığı, gerekse oluşan metanın birikebileceği bir rezervuar kayacının böyle bir ortamda bulunmayışı nedeniyle fosil biyojenik metan birikimleri çok ender olup, ancak çok hızlı çöken az sayıda havzaya özgüdürler. Artan gömülmenin sonucu olarak ulaşılan yüksek sıcaklık değerleri kömürleşme derecesinin artması ve termojenik gaz oluşumunun başlamasına neden olur. Gaz oluşumunun kinetiğine bağlı olmakla birlikte yaklaşık 55 °C den itibaren karbondioksit, 100°C den itibaren de metan ve azot gazları oluşmaya başlar. Artan kömürleşmeyle birlikte oluşan metan miktarı da artar (Yalçın ve Durucan, 1984).

Kömürün koloidal yapısı, bir kömürün hacminin 1 ile 40 misli kadar metan gazını içinde tutmasına imkân verir (Dallege ve Barker, 1999). Yeraltında, katı kömürle beraberindeki metan gazı bir basınç altında denge durumundadır. Bu basıncın miktarı kömürleşme derecesi (rank), damar derinliği ve kömürün gözenekliliği ile bağıntılıdır. Kömür damarları içerisinde depolanmış olan metan;

- çatlaklarda, kırıklarda ve gözenek içinde serbest gaz olarak,
- çatlaklarda ve gözeneklerde kömür yüzeyine tutunmuş olarak ve
- su içerisinde çözünmüş olarak bulunur.

Bunlar arasında yalnızca ilk ikisi metan emisyonu açısından önemlidir. Kömürde oluşan gaz önce adsorpsiyon yoluyla tutulmaktadır. Adsorplama kapasitesinin üzerine çıktığı durumlarda gaz, formasyon suyu içerisinde çözünmekte ve/veya serbest gaz olarak gözenek ve çatlaklarda birikmektedir (Gürdal ve Yalçın, 1992).

### 3. KKM ÜRETİMİNİN ÖNEMİ

Maden işletmelerinde, kömür kökenli metan üretimi madenlerdeki patlamaları önleyerek güvenilir çalışma koşullarını muhafaza etmek amacıyla başlatılmıştır. Gazın üretilmesi bunun yanı sıra bir dizi avantaj da sunmaktadır. Bunlar;

- Metanın yol açtığı üretim aksamaları azalır: Yüksek metan içeriğinden kaynaklanan üretim aksamalarını önler. Drenajın yapılmadığı, havalandırmanın klasik havalandırma sistemleriyle sağlandığı ocaklarda belirli bölgelerde metan birikimi olduğu zaman üretim yavaşlamakta veya durmakta ve gazın bölgeden uzaklaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu işlemler çok zaman almaktadır ve istenmeyen durumlardır. Belirtilen aksaklıkların önüne geçilmesi için drenaj sistemlerinin uygulanması yeterli olacaktır.
- Havalandırma maliyetleri düşer: Çoğumadende kesintisiz üretimi sağlamak için kullanılan geleneksel havalandırma sistemleri oldukça pahalıdır. Drenaj maliyetleri havalandırma maliyetlerinden düşük olduğundan, metan drenajını artan havalandırma gereksinimleri yerine kullanmak daha karlı olacaktır. Yapılan çalışmalarda drenaj sistemlerinin havalandırma gereksinimlerini yarıya kadar azalttığı gözlenmiştir (Anon, 1999).
- Hazırlık maliyetleri düşer: Gaz yayılımının azalmasının bir sonucu olarak pano boyutlarının seçiminde daha serbest kalınacaktır. Dolayısıyla daha büyük pano boyutları seçilmesinde daha rahat hareket edilecektir.

Pano boyutlarının yüksek seçilmesi madenin üretilmesi için gerekli hazırlık galerilerinin sayısını azaltacaktır

- Toz oluşumu azalır: Maden, drenaj sistemleri kullanılmadan geleneksel havalandırma sistemleriyle havalandırılacaksa, ortamda bulunan gazın drenajı için yüksek hızlar gerekecektir (Güyagüler 1991). Havalandırma ile drenaj eş zamanlı olarak uygulanırsa gazın büyük bir çoğunluğu üretileceğinden gazı seyreltmek için ortama gönderilecek hava miktarı düşecektir. Bu olay toz oluşumunu büyük bir oranda azaltacaktır.
- Su problemi ortadan kalkar: Drenajın uygulandığı durumlarda gazla birlikte su da üretileceğinden, ortamda bulunan su alınmış ve çalışmalar için daha elverişli bir ortam hazırlanmış olacaktır.
- İşçilerin çalışma koşulları iyileşir: Drenaj sistemlerinin uygulandığı işletmelerde hava hızının azalmasının bir sonucu olarak toz oluşumu azalacak ve işçilerin tozdan zarar görmesi engellenmiş olacaktır. Ayrıca drenajın işçi psikolojisi üzerine pozitif etkileri vardır. İşçiler kendilerini daha güvenilir bir ortamda hissedeceklerinden, daha verimli bir şekilde çalışmalarını sürdüreceklerdir.
- İşletilebilecek olan rezervi artırır: Metanlı damarlarda ki çalışmalar yüksek metan içeriğinin söz konusu olduğu durumlarda sınırlandırılmaktadır. Metan gelirinin yüksek olduğu ve metan drenajının yapılmadığı damarlar, yüksek gaz içeriği yüzünden işletilememektedirler. Drenajın yapıldığı durumlarda ise bu durum ortadan kalkacak ve rezervden mümkün olduğunca faydalanılacaktır.
- Kömür tozu patlamalarına metanın etkisi ortadan kalkar: Kömür tozunun patlaması, özellikle büyük boyutlu kazaların başta gelen nedenleri arasında yer almaktadır. Bugünkü bilgi birikimi, havasında % 1-2 oranında metan içeren bütün taşkömürü ocaklarında, tozluluk, nemlilik vb. koşullar nedeniyle olumlu olursa olsun, toz patlaması tehlikesinin tartışılmayacak bir olgu olduğunu göstermektedir (Didari, 1985).

Bünyelerinde metan içeren damarlarda metan drenajının uygulanması, metanın kömür

tozu patlaması üzerine olan etkisini ortadan kaldıracaktır.

- Ani metan ve kömür püskürmelerinin olasılığı azalmış olur: Drenaj uygulandığı takdirde damar içerisindeki boşluklarda yüksek basınç altında bulunan gaz ortamdan uzaklaştırılacağından, bu ve benzeri olayların meydana gelme olasılığı dikkate değer bir şekilde azalacaktır (Kocal, 1985).
- Satılabilir bir gaz ürününün elde edilmesi: Batı Avrupa ocaklarında üretilen metan çeşitli yollarla demir çelik endüstrisi, kok fırınları, tuğla fırınları, cam fabrikaları, plastik üreten kimya endüstrisi gibi yerlerde yakıt olarak kullanılmaktadır (Flores, 1997). Gaz ayrıca elektrik üretiminde kullanılabilir. (Yerebasmaz, 1987). Gazın pazarlanması, gazın küresel ısınma üzerindeki etkisini azaltacağı gibi kömür işletmelerine ek kazanç da sağlayacaktır.

#### 4. METAN DRENAJ YÖNTEMLERİ

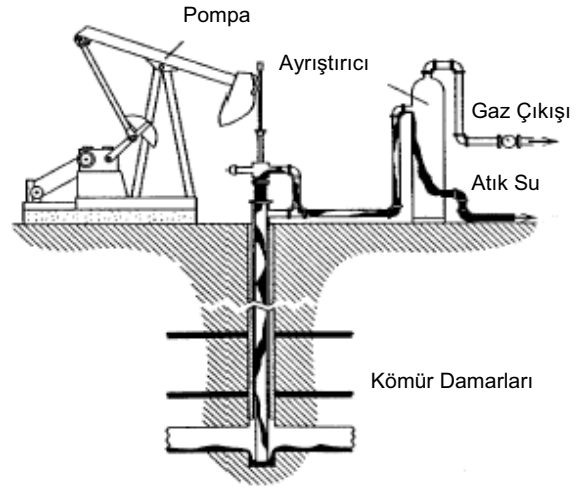
Genel olarak, üretim faaliyetleri sonucu uzun ayak gerisinde sondaj delikleri vasıtasıyla grizu birikinti veya kaynağı ile temasa geçilmesi ve gazın emilmesi metan drenajı terimi ile tarif edilir. Drenaj işlemi, metanın bir boru sistemine dahil edilmesi, emici bir tulumbadan geçirilmesi ve atmosfere bırakılması veya kullanılmak üzere endüstriyel tesislere ulaştırılması ile tamamlanır. Böylece, ortalama % 50- 60 oranında ve bazı hallerde % 90'a kadar saf metan yeraltı işyerlerine erişmeden önce ocak dışına atılmış olur. Metan gazının kaynağından emilerek saf dışı bırakılması, nispeten gazlı sınıfa dahil edilen kömür ocaklarının kartiye, pano ve uzun ayak havalandırma sistemlerinin verimini hissedilir derecede artırır (Güney, 1971).

Drenaj sistemleri madencilik öncesinde, madencilik döneminde ve madencilik sonrasında kömür damarı içerisinde bulunan metan gazını üretirler. Drenaj sistemleriyle eş zamanlı olarak yürütülen havalandırma, çoğu madende metan konsantrasyonunu düşük tutmanın en ekonomik yöntemi olabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan drenaj yöntemleri, yüzeyden damara delinen düşey kuyular, yüzeyden göçük bölgesine delinen düşey kuyular, hazırlık galerilerinden arın önüne delinen yatay delikler ve çevreleyen tabakaya

doğru delinen çapraz deliklerden oluşmaktadır (Anon, 1999).

#### 4.1. Yüzeyden delinen düşey kuyularla drenaj

Bu yöntemde tek bir kömür damarı ya da birkaç damar boyunca delinen kuyular vasıtasıyla metanın madencilik işlemleri öncesinde drenajı sağlanır. Üretilen gaz bir pompayla ya da pompa kullanılmaksızın yeryüzüne alınır ve bir ayrıştırıcıya gönderilir. Düşey kuyular genellikle madencilik işlemleri başlamadan 2- 7 yıl önce açılırlar ve damar işletilmeye başlamadan önce damardaki gazı üretirler. Yöntemde, kömür damarı gaz içeriğinin %50- 90' ı üretilir (Hartman vd, 1997).



Şekil 1. Düşey bir drenaj kuyusu (Hartman vd, 1999).

Kömür damarında bulunan su çeşitli problemlere yol açmaktadır ve iyi bir gaz akışının sağlanması için ortamdaki uzaklaştırılmalıdır. Şekil 1 bir düşey bir kuyu boyunca yapılan drenajı ve suyun ortamdaki uzaklaştırılmasını göstermektedir. Uzaklaştırılan su ayrıştırılıp işlenmeli ya da çevresel açıdan kabul edilebilir bir seviyede imha edilmelidir. Yöntemde ayrıca gaz akışının artırılması için bir dizi tamamlayıcı metot kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan kömür damarının hidrolik olarak çatlaklandırılması ve bu çatlaklardan gaz akışının sağlanması için katı taneciklerin kullanılmasıdır. Yaygın olarak kullanılan diğer bir yöntem ise her bir kömür damarında boşlukların oluşturulması ve gazın bu boşluklara akışının sağlanmasıdır. Düşey kuyular, kömür damarı ve çevreleyen tabakadan yüksek kaliteli gazı bünyelerine alırlar.

Üretilen toplam metan miktarı kömür damarı ve çevreleyen tabakanın gaz içeriği, tabakaların geçirgenliği, drenaj süresi, pompa tarafından uygulanan negatif basıncın büyüklüğü, üretim sistemi ve diğer jeolojik değişkenlere bağlı olarak değişmektedir (Xue ve Guo, 2003).

Yöntemin birçok kömür damarına eş zamanlı olarak uygulanabilmesi, özellikle damarların üst üste bulunduğu durumlarda işletmeye büyük avantajlar sağlamaktadır. Yöntemle madende gaz potansiyelinin azaltılmasının yanı sıra ticari açıdan ekonomik değere sahip kaliteli gaz ürün elde edilir. Yaygın olarak kullanılan drenaj yöntemlerine oranla daha yüksek kalitede gaz elde edilir. Gazın kalorifik değeri genellikle  $8.426 \text{ kcal/m}^3$  değerinden daha büyüktür (Anon, 1999). Dolayısıyla doğal gaz olarak kullanılabilir. (Hartman vd, 1999).

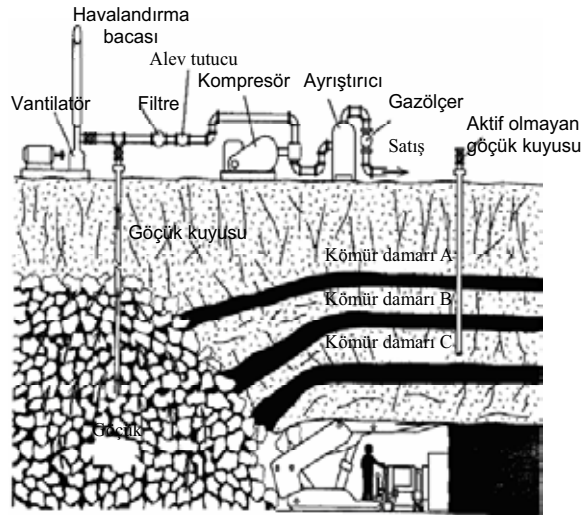
Yöntemle ilgili problemler; ortamdan uzaklaştırılması gereken suyun varlığı ve/ veya gazın izin verilebilir sınır üzerinde azot ya da karbondioksit içermesidir. Bu problemlerin her biri mevcut teknoloji kullanılarak bertaraf edilebilir, ancak bu masraflar metanın drenaj maliyetini artıracaktır. Damarın metan içeriği yüksek ve metanın pazarlanması sonucu elde edilen gelirin yeterli olduğu düşünülürse bu problemler önemsiz olarak değerlendirilebilir. Metodun en büyük dezavantajları yüzey girişi gerektirmesi ve madencilik öncesinde zamana ihtiyaç duyulmasıdır.

#### 4.2. Yüzeyden göçük bölgesine delinen kuyularla drenaj

Yöntemle, kömür kazılıp göçertme işlemi gerçekleştirildikten kısa bir süre sonra göçük bölgesinde bulunan metan gazı üretilir. Kuyular madencilik öncesinde, çalışılacak olan damardan 3- 15 m daha yukarıdaki bir seviyeye kadar delinirler ve sadece göçertme işlemi gerçekleştirildikten sonra faaliyete geçirilirler. Bu bakımdan düşey kuyulardan farklıdır.

Yöntemde metan göçük bölgesinden kuyulara emilir ve kuyu boyunca hareket ederek yüzeye ulaşır. Akış oranları yüzeye yerleştirilen bir pompa sayesinde ya da düşük yoğunluklu metan gazı tarafından yaratılan doğal basıncın etkisiyle kontrol edilir (Anon, 1999).

Şekil 2 bir madenin göçük bölgesinden metanı



Şekil 2. Bir uzun ayaktaki göçük kuyularının tasarımı (Hartman vd, 1999).

üretmek için kullanılan aktif bir göçük kuyusunu ve uzun ayak altına doğru ilerlediğinde çalıştırılacak olan bir kuyuyu göstermektedir. Bir uzun ayaktaki göçük kuyularının sayısı üretim oranı ve çevreleyen tabakanın gaz içeriğinin bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

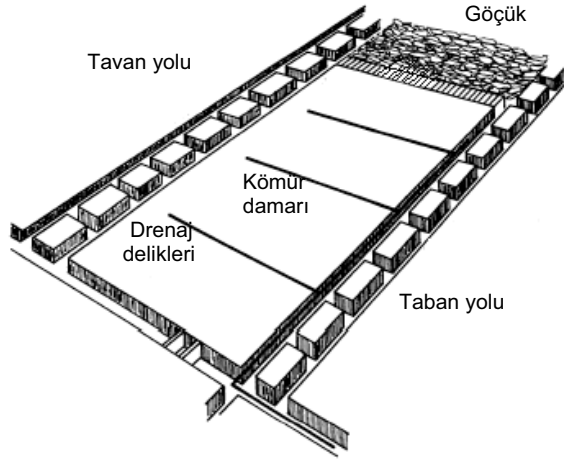
Yüzeyden göçük bölgesine delinen delikler, panel içerisindeki kuyu sayısına ve jeolojik koşullara bağlı olarak metan emisyonunun %30-70' ini kazanabilirler. Yöntemde elde edilen gaz, kömür temizleme işlemlerinde, kömürün kurutulmasında, binaların ısıtılmasında, elektrik üretiminde, gaz tribünlerinde ve içten yanmalı motorlarda kullanılabilir (Gatnar ve Tor, 2003).

Yöntem hızlı ilerleyen uzun ayak aynalarında metan içeriğinin azaltılması için en etkili seçenektir. Yöntem düşey kuyularla karşılaştırıldığı zaman bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar; yüksek gaz içeriğinden yoksun olmaları, nispeten kısa üretim yaşamı ve üretimin sadece çevreleyen tabakalardan gerçekleştirilmesidir.

#### 4.3. Tavan ve taban galerilerinden arın önüne delinen yatay deliklerle drenaj

Yatay delikler metan gazını üretmek için hazırlık galerilerinden damar içerisine doğru delinirler. Şekil 3 damar boyunca delinen yatay delikleri göstermektedir. Yöntemde, arının kazılmasından kısa bir süre önce arın gerisinde bulunan

metan gazı üretilir ve çalışılan bölgeye sızması muhtemel metan gazı potansiyeli azaltılır. Metan drenajı bu yöntem kullanılarak gerçekleştirileceği zaman deliklerden elde edilen gazı ocak içerisinde belirli bir bölgede toplamak için bir iletim hattı ve gazın yüzeye çıkarılması için bir düşey kuyuya ihtiyaç duyulacaktır.



Şekil 3. Bir kömür damarına, tavan ve taban yolundan delinen delikler vasıtasıyla drenaj (McPherson, 2004).

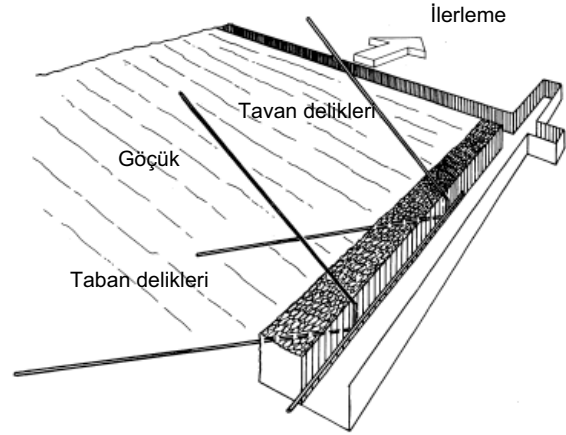
Yatay delikler kısa ve uzun olarak delinmektedir. Kısa delikler, boyları 300 m' den daha küçük olan deliklerdir ve drenaj verimleri genellikle % 20' den daha azdır. Kısa delikler, metan konsantrasyonu yüksek ve damar geçirgenliğinin düşük olduğu ayaklarda uygulanır (Anon, 1999). Uzun deliklerin boyları 300 m' den daha büyüktür ve drenaj verimleri % 40' a kadar ulaşabilmektedir.

Metan drenajı sadece kazılmamış kömür damarından yapıldığından ve drenaj zamanı kısa olduğundan dolayı yöntemin drenaj verimi düşüktür. Ele geçirilen metan miktarı az olmasına karşın gazın kalitesi yüksektir.

#### 4.4. Çevreleyen tabakaya doğru delinen çapraz deliklerle drenaj

Çapraz delikler maden açıklıklarından kömür damarını çevreleyen tabakalara doğru delinen deliklerdir. Bu delikler göçük bölgesinde bulunan gazı boşaltmak ve çevreleyen tabakanın ön drenajı amacı ile kazılacak olan bölgelere yerleştirilirler. Yatay delikler gibi her bir delik gazı yüzeye aktaran ana bir boru ile birleştirilir

(Schwoebel, 2001). Drenaj verimi genellikle %20' den düşüktür ve metan saf değildir. Şekil 4 bir uzun ayakta çapraz deliklerle gerçekleştirilen metan drenajını göstermektedir.



Şekil 4. Bir uzun ayakta çapraz deliklerle metan drenajı (McPherson, 2004).

## 5. DRENAJ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çizelge 1' de drenaj yöntemlerinin tanımları yapılmış ve yöntemler drenaj verimi ve gaz kalitesi açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çizelge 2' den de anlaşılacağı gibi en verimli yöntem düşey kuyularla drenaj yöntemidir ve yöntemde elde edilen gazın kalitesi çok yüksektir.

## 6. DRENAJIN HAVALANDIRMA MALİYETİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Çoğu madende kesintisiz üretimi sağlamak için kullanılan geleneksel havalandırma sistemleri oldukça pahalıdır. Drenaj maliyetleri havalandırma maliyetlerinden düşük olduğundan dolayı metan drenajını artan havalandırma gereksinimleri yerine kullanmak daha karlı olacaktır. Yapılan çalışmalarda metan drenajının havalandırma maliyetleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve maliyetlerin drenajla birlikte düştüğü gözlenmiştir (Anon, 1999).

Metan gazı miktarı arttıkça, gazı seyreltmek için gerekli hava miktarı da artmaktadır. Artan hava gereksinimlerini karşılayabilmek için daha büyük boyutlu fanların seçilmesine ve tali havalandırmanın uygulanmasına gerek

duyulacağından enerji sarfiyatı artacaktır. Bir maden için 20 yıllık maden ömrü boyunca, birkaç durum için havalandırma maliyet analizi yapılmıştır. Sonuçlardan biri 11 m<sup>3</sup>/ ton' luk gaz içeriğine sahip bir kömür damarında yüzeyden delinen düşey kuyularla drenajda, enerji maliyetlerinin yirmi yıllık zaman diliminde 11.000.000 \$ civarında azalmasıdır. Yüzeyden delinen kuyulara ek olarak tavan ve taban galerilerinden arın önüne delinen deliklerin metan üretimi için uygulandığı durumda ise 3.000.000 \$' lık bir tasarrufun sağlandığı gözlenmiştir (Anon, 1999).

Başka bir çalışmada ise çeşitli parametreler kullanılarak birkaç durum için drenajın havalandırma maliyetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 2' de belirtilen değerlerden de anlaşılacağı gibi drenajın uygulandığı durumda havalandırma maliyetleri yarı yarıya azalmıştır. Drenaja ek olarak, metandan kaynaklanan üretim kesilmelerinde %5 azalmanın söz konusu olduğu durumda ise maden ömrü iki üç yıl azalmaktadır.

Gerçek maliyetler maden açıklıklarının boyutlarının, enerji maliyetlerinin ve gerekli hava miktarının bir fonksiyonu olarak değişecektir.

## 7. KKM' NİN DRENE EDİLMESİNE KARAR VERİLMESİ

Yeraltı kömür madenlerinde metan emisyonunun kontrol altına alınabilmesi amacıyla uygulanan, metan drenaj yöntemlerinin tasarımında karar verme aşamasında oluşacak metan emisyonunun tahmini önemli bir yer tutmaktadır. Metan emisyonunun tahmininde başlıca veriler, kömür damarlarının geçirgenliği ve metan içeriğidir. İlk olarak bu özelliklerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Metan içeriğinin 2,8 m<sup>3</sup>/ ton' dan daha küçük değerde olduğu durumlarda, gaz klasik havalandırma sistemleri kullanılarak seyreltilir (Anon, 1999).

Damarın gaz içeriği belirtilen değerden büyükse gecikmeler hesaplanmalıdır. Burada bahsedilen gecikme drenaj yapılmadığı durumlarda metanın

Çizelge 1. Drenaj Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Hartman vd, 1999)

Drenaj yöntemi	Yöntem tanımı	Drenaj verimi	Gaz kalitesi
Düşey kuyularla drenaj	Yüzeyden damara doğru delinirler ve damar işletilmeden gazı drene ederler	≤70	Oldukça saf metan
Göçük kuyuları	Madencilik öncesinde, çalışılacak olan damardan 3- 15 m daha yukarıdaki bir seviyeye kadar delinirler ve sadece göçertme işlemi gerçekleştirildikten sonra faaliyete geçirilirler	≤50	Maden havasıyla kirletilmiş metan
Yatay delikler	Hazırlık galerilerinden damar içerisine doğru delinirler	≤20	Saf metan
Çapraz delikler	Maden açıklıklarından kömür damarını çevreleyen tabakalara doğru delinen deliklerdir	≤20	Maden havasıyla kirletilmiş metan

Çizelge 2. Metan drenajının havalandırma maliyetine etkisi (Anon, 1999)

Durum	İşçi üretimi (ton)	Uzun ayak üretimi (ton)	Havalandırma Maliyetleri (\$)	Hazırlık Maliyetleri (\$)	Drenaj maliyetleri (\$)
Drenaj yok	12,463,200	36,333,500	26,863,400	12,071,200	-
%60 Drenaj	7,321,900	51,729,800	14,561,100	7,076,200	32,528,000
%60 Drenaj ve üretim aksamalarında %5 azalma	7,321,900	51,729,800	15,688,000	7,076,200	32,528,000

ortamdan uzaklaştırılıp ortamın çalışmaya elverişli koşullara erişinceye kadar geçen süredir. Gecikme süreleri mümkünse hesaplanarak, aksi halde tahmin edilerek üretim yapılmayan bu günler için bir kar-zarar durumu belirlenmelidir.

Drenaj yapılması durumunda kömür üretim veriminde, rezervde, havalandırmada, toz kontrolünde ve güvenlikte birçok ekonomik kazanç sağlayacaktır. Örneğin, daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi bir bölgede drenaj işlemleri yapılmaksızın klasik havalandırma sistemleri ile havalandırma sağlanıyorsa, metan konsantrasyonlarını yasal limitin altında tutabilmek için ortama fazla miktarda hava gönderilmesi gerekmektedir. Fazla miktarda havanın yeraltına gönderilmesi enerji tüketimini artıracığından havalandırma maliyetlerinde bir artma söz konusu olacaktır. Aynı zamanda fazla miktarda toz oluşacak ve tozların bastırılması için sistemler kurulacaktır. Bu bölümde drenajın sağlayacağı yararlar belirlenecektir.

Daha sonra en verimli yöntem olan düşey kuyu yöntemi için zaman mevcut olup olmamasına bakılmalıdır. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi düşey kuyular madencilik çalışmaları öncesinde uygulandıklarından dolayı 2-7 yıl arası zamana ihtiyaç duymaktadırlar. İşletmenin hemen üretime başlaması söz konusu değilse düşey kuyu yönteminin uygulanması işletmenin yararına olacaktır. Şayet düşey kuyular için zaman mevcutsa düşey kuyu maliyeti ve drene edebilecekleri gaz miktarı hesaplanmalıdır.

Sonraki aşamada göçük kuyularının gerekli olup olmadığına karar verilmelidir. Bu kararın verilmesindeki en büyük etken çevrede başka kömür damarlarının bulunmasıdır. Göçük işlemleri gerçekleştirildikten sonra tavanda bulunan bu damarlardan gaz akışı sağlanabilmektedir. Bu damarların sayısı ve gaz içeriğine bağlı olarak gerek duyulursa göçük kuyuları açılabilir. Göçük kuyularının uygulanmasına karar verilmişse yöntem maliyetinin ve yöntemle drene edilecek gaz miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Hazırlık galerilerinden damar içerisine delinen yatay deliklerin ve çevreleyen tabakaya doğru delinen çapraz deliklerin gerekli olup olmadığı araştırılmalıdır. Şayet gerekli ise bunlar için de yukarıdaki işlemler tekrarlanmalıdır.

Sonraki aşamada metanın satılabilirlik durumunun incelenmesine ihtiyaç vardır. Metan zenginleştirilmeden veya zenginleştirilerek pazarlanabiliyorsa bu seçenekler ayrı ayrı değerlendirilip iyi bir analiz yapılmalıdır. Metanın doğal gaz olarak kullanımının yanı sıra diğer bazı seçenekler mevcut ise bunlar değerlendirilmelidir. Yukarıdaki işlemler tamamlandıktan sonra toplam bir maliyet analizi yapıp drene edilen metanın kullanılıp kullanılmamasına karar verilmelidir.

## 8. SONUÇ

Geçtiğimiz yıllarda, madencilik sektöründeki ilerlemelere bağlı olarak verimliliğin artması



ve daha derin damarlara ulaşılmasıyla açığa çıkan metan miktarında önemli derecede bir artış gözlenmiştir. Geleneksel havalandırma sistemlerinin modern kömür madenlerinde tek başına kullanılmasının yeterli olmadığı ve işletme maliyetlerinin artmasına yol açtığı gözlenmiştir. Drenaj sistemleriyle eş zamanlı olarak yürütülen maden havalandırma, çoğu madende metan konsantrasyonunu düşük tutmanın en ekonomik yolu olabilmektedir.

Yapılan çalışmalarda drenajın havalandırma gereksinimlerini yarıya kadar azalttığı, dolayısıyla havalandırma maliyetlerinin azalmasına imkan verdiği gözlenmiştir. Ayrıca drenajla birlikte metanın büyük bir yüzdesi üretildiğinden çalışmalar esnasında ortama sızması muhtemel gaz potansiyeli azalmış olacaktır. Gaz yayılımının azalmasının bir sonucu olarak pano boyutlarının seçiminde daha serbest kalacaktır. Pano boyutlarının yüksek seçilmesi madenin üretilmesi için gerekli hazırlık galerilerinin sayısını azaltacaktır. Hazırlık galerilerinin sayısının azalması hazırlık maliyetlerinde bir düşüşe neden olacaktır.

Üretilen kömürün her bir tonu başına 2,8 m<sup>3</sup> ve üzerinde metan gazının serbest kaldığı kömür damarlarında metan drenajının uygulanması söz konusu olmaktadır. Metan drenajına karar vermek için iyi bir analiz yapılması gerekmektedir. Yapılacak analizde uygulanacak yöntemin avantajları, dezavantajları ve ekonomisi açık bir şekilde ortaya konulmalı ve işletme için en uygun drenaj yöntemi seçilmelidir.

## KAYNAKLAR

Anon, 1999 ; "Guidebook on Coalbed Methane Drainage for Underground Coal Mines" [www.epa.gov/cmop/pdf/red\\_001.pdf](http://www.epa.gov/cmop/pdf/red_001.pdf).

Dallegge, T. ve Barker, C., 1999; "Coal-Bed Methane Gas-In-Place Resource Estimates Using Sorption Isotherms and Burial History Reconstruction: An Example from the Ferron Sandstone Member of the Mancos Shale, Utah", U.S. Geological Survey Professional Paper 1625-B.

Didari, V., 1985; "Kömür Tozu Patlaması", Madencilik, **24**, (4), 23-29.

Ergin, Z., 1977; "Kömür Ocaklarındaki Patlamalar", [www.maden.org.tr/resimler/ekler/0ece1e1e0931919\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/0ece1e1e0931919_ek.pdf).

Flores, R.M., 1997; "Coalbed Methane: From Hazard to Resource", International Journal of Coal Geology, **35**, 3-26.

Gatnar, K. ve Tor, A., 2003; "Drainage and economic utilization of methane from coal seams in the Jastrzebie mining-field", Applied Energy, **74**, 331-341.

Güney, M., 1971; "Metan Drenajı ve Zonguldak Kömür Ocaklarında Uygulanma İmkanları", Türkiye 2. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası yayını, 222-235.

Gürdal, G. ve Yalçın, M.N., 1992; "Kömürde Gaz Birikmesini Kontrol Eden Parametreler-Genel Bakış", Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası yayını, 307-318.

Güyağüler, T., 1991; "Ocak Havalandırması", TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Hartman, H., Mutmansky, J.M., Ramani, R.V., Wang, Y.J., 1997; "Mine Ventilation and Air Conditioning", 3. Baskı, John Wiley & Sons, New York.

Kocal, K.,1985; "Ani metan ve Kömür Püskürmeleri" [www.maden.org.tr/resimler/ekler/7d98119037c5b8a\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/7d98119037c5b8a_ek.pdf).

McPherson, M., 2004; "Subsurface Ventilation and Environmental Engineering" [www.mvsengineering.com/chapter12.pdf](http://www.mvsengineering.com/chapter12.pdf)

Schwoebel, J., 2001; "Learning from Past Experiences in Ukraine" [www.epa.gov/cmop/pdf/learning.pdf](http://www.epa.gov/cmop/pdf/learning.pdf).

Xue, S. ve Guo H., 2003; "Control Drainage Gas Quality And Quantity From Underground Coal Mines To Enhance Its Utilisation Options" [www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/coal-mining/CM009.pdf](http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/coal-mining/CM009.pdf).

Yalçın, E. ve Durucan, Ş.,1984; "Zonguldak Kömürlerinin Açığa Çıkabilen Metan İçerikleri", Türkiye 4. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası yayını, 319-331.

Yerebasmaz, G., 1987; "Metan Drenajı", TTK yayını, 55.