



KÖMÜR MADENLERİNDE METAN YÖNETİMİ

Kısa teknik rapor

Prof.Dr. Bahtiyar ÜNVER

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Mustafa AKBAL

İş Müf.Yard., Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

Haziran 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	1
1 GİRİŞ.....	2
2 KÖMÜR İÇERİSİNDE METAN OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ	2
3 GRİZÜNÜN TANIMI VE HAVALANDIRMA İLİŞKİSİ	3
4 İZLEME SİSTEMİ	5
5 METAN İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ	5
6 METAN DRENAJİ VE YÖNTEMLERİ	6
7 METAN DRENAJININ MALİYET-EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ	12
8 METAN DRENAJİ VE KYOTO PROTOKOLÜ	14
9 DÜNYADA METAN DRENAJİ UYGULAMALARI	15
10 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	17
KAYNAKLAR	21

ÖZET

Ülkemizde, kömür içerisinde bulunan metan gazının kazı sırasında ocak atmosferine salınımı sonucu oluşan ve grizü olarak adlandırılan karışımın patlaması neticesinde ciddi kazalar meydana gelmektedir. Bu teknik rapor, bütünsel bir bakış açısıyla, uzmanlık alanı doğrudan madencilik olmayan kişilere metan ile ilgili tüm temel bilgileri sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Öncelikle metan gazının oluşumu, özellikleri ve kömürün metan içeriğinin nasıl tespit edileceği verilmiş, daha sonra havalandırma ile metan ilişkisi açıklanmıştır. Sorunun nihai çözümü olan metan drenajının nasıl yapıldığı açıklanmış, dünyadaki uygulamalar hakkında sayısal bilgiler verilmiş ve drenaj işlemine ait temel maliyetlerden kısaca bahsedilmiştir. Sonuç olarak, kömür madenlerinde etkin metan yönetimi, özellikle grizü ile ilgili kazaların önlenmesi, amacıyla yapılması gerekenler özet halinde sunulmuştur.

1 GİRİŞ

Ülkemiz maden sektöründe yaşanan kazalarda Avrupa'da birinci dünyada ise üçüncü sıradadır. Gerçekçi bir bakış açısı ile bu durumun rastlantı sonucu oluşmadığı yargısına varılabilir. Sadece bu verilere bakmak bile, ciddi bir sorun ile karşı karşıya olduğumuzu açıkça göstermektedir. Bu durumun neden kaynaklandığını analiz etmek ve sorunun nedenini doğru teşhis etmek gerekmektedir. Teşhisin doğru olmadığı durumlarda doğru bir çözüme ulaşmak olası değildir.

Ülkemizde en fazla maden iş kazasının görüldüğü iş kolu yeraltı kömür madenciliğidir. Özellikle grizü nedeniyle oluşan kazalarda çok sayıda kayıp yaşanmaktadır.

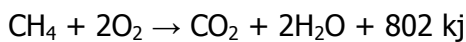
Türkiye'de yeraltı kömür madenlerinde yaşanan grizü patlamalarına bağlı iş kazalarına ait bilgiler Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Türkiye'de 1983 yılından sonra yaşanan grizü patlamaları ve kayıplar.

Tarih	İş kazasının olduğu maden	Ölü sayısı
1983	Zonguldak-Armutçuk	103
	Zonguldak-Kozlu	10
1990	Amasya-Yeniçeltik	68
	Zonldak-Amasra	5
1992	Zonguldak-Kozlu	262
1995	Yozgat-Sorgun	40
1996	Çankırı-Yapraklı	5
2003	Karaman-Ermenek	10
	Bolu-Mengen	7
2004	Çorum-Bayat	3
	Zonguldak-Karadon	5
2005	Kütahya-Gediz	18
2006	Balıkesir-Dursunbey	17
2007	Zonguldak-Elvanpazarcık	1
2009	Bursa-Mustafakemalpaşa	19
2010	Bursa-Dursunbey	14
	Zonguldak-Karadon	30
	Kütahya-Tavşanlı	2
18 yılda toplam		619

2 KÖMÜR İÇERİSİNDE METAN OLUŞUMU VE ÖZELLİKLERİ

Metan, kimyasal formülü CH₄ olan bir bileşiktir. Atmosferik koşullarda gaz halinde bulunan metan kokusuzdur. Mavi, açık mavi ve beyaz renk bir alev oluşturarak yanar. Aşağıda verilen reaksiyon uyarınca, bir mol metanın yanmasıyla bir mol karbondioksit ve iki mol su açığa çıkar:



Metan oluşumunun açıklanması amacıyla biyojenik, termojenik, abiyojenik olmak üzere üç teorik yaklaşım bulunmaktadır.

Termojenik teoriye göre, bitki ve hayvan kalıntılarının yeraltında, yüksek basınç altında, çok uzun yıllar sıkışması sonucu karbon moleküllerinin bozulması ile metan gazı oluşmaktadır.

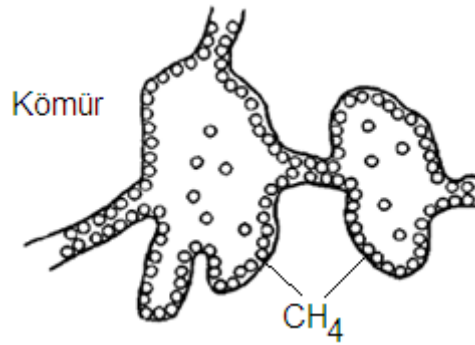
Biyojenik teoriye göre metan, bitki ve hayvan kalıntıları gibi organik materyallerin mikroorganizmalar tarafından bozunması sonucu oluşmaktadır.

Abiyojenik teoriye göre metan; yer kabuğunun çok derin bölgelerinde bulunan hidrojen ve karbon moleküllerinin yeryüzüne doğru hareketleri sırasında yüksek basınç altında başka mineraller sonucu meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ile oluşmaktadır.

Kömür ve yan kayaç içerisindeki metan temel olarak;

- i) Çatlak, kırık ve gözeneklerde serbest gaz,
- ii) Çatlaklarda veya gözeneklerde yüzeye tutunmuş veya
- iii) Kömür içerisinde çözülmüş halde

olmak üzere 3 farklı şekilde bulunur (Şekil 1). Bunlardan metanın serbest ve yüzeye tutunmuş olarak bulunduğu durum emisyon hızı açısından önemlidir (Yalçın ve Durucan, 1992).



Şekil 1. Metan moleküllerinin kömür gözeneklerindeki temsili görünüşü

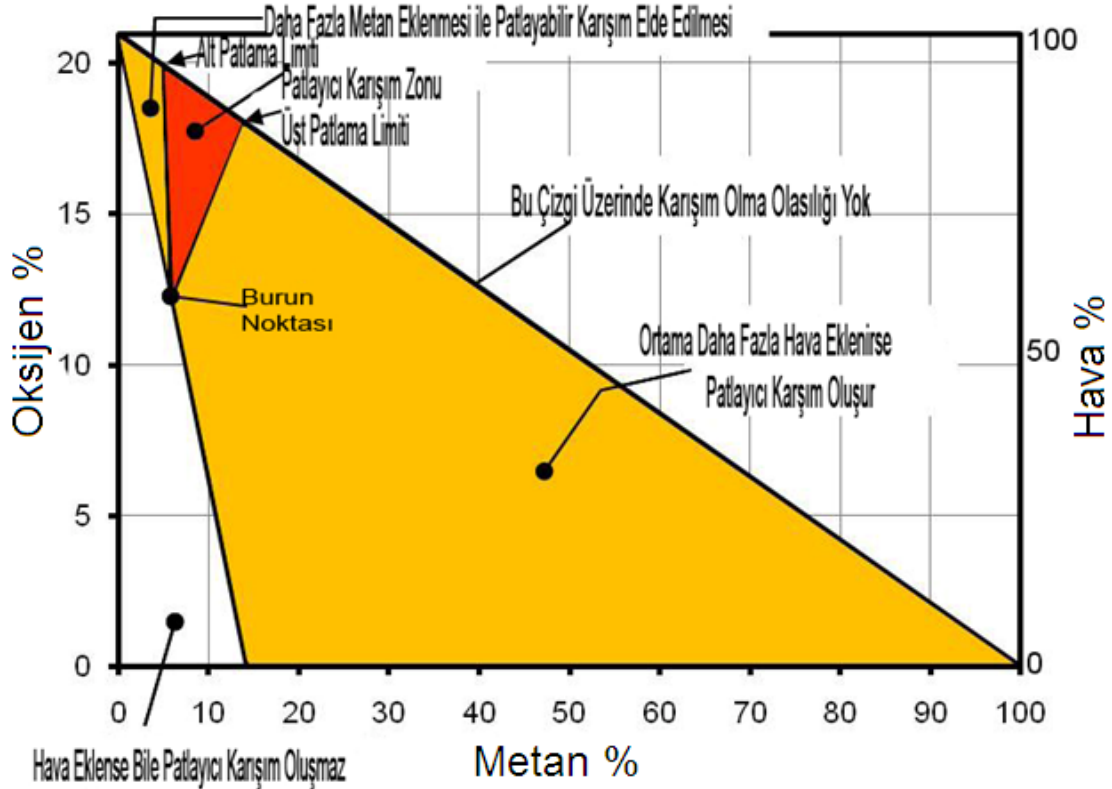
Kömüre bağlı metan gazı, kömürleşme derecesi ve yan kayaçların geçirgenliğine bağlı olarak değişmektedir (Noack, 1997).

3 GRİZÜNÜN TANIMI VE HAVALANDIRMA İLİŞKİSİ

Metan ile havanın karışımı grizü olarak tanımlanır. Grizü patlamaları havada % 4,4-16 arası metan bulunduğunda, en şiddetli patlama ise havada % 9-9,5 civarında metan bulunması halinde meydana gelmektedir (IEC60079-20-2000/BS EN61779-1:2000 standardına göre).

Basınç altında kömür ve yan kayaç içerisinde bulunan metan gazı, kazı sırasında atmosferik basınca sahip olan açıklıklara doğru hareket etmekte ve ocak havasına karışmaktadır.

Şekil 2'de farklı CH₄ ve O₂ oranlarına sahip grizünün oluşturacağı riskler Coward üçgeni üzerinde açıklanmaktadır.



Şekil 2. Havada bulunan metan ve oksijenin hacimsel olarak yüzdeleri ile patlama riski oluşturmasının Coward üçgeni üzerinde gösterilmesi.

Grizü patlamasının olabilmesi için metan gazı (CH₄), oksijen (O₂) ve karışımın patlamasına neden olan ateşleme kaynağı olmak üzere üç etkenin bir araya gelmesi gerekir. Yeraltından çalışma ortamını sağlamak için havalandırma yapılması zorunlu olduğundan ortam havasında yeterli miktarda oksijen bulunmalıdır. Kömür ve yan kayaktan açığa çıkan metan gelirini, drenaj yapılmadığı durumlarda, tam olarak kontrol edebilmek mümkün değildir. Bu nedenle, yeraltında kullanılan tüm ekipmanların grizüye karşı güvenli olması gereklidir. Buna rağmen çalışma esnasında kıvılcım oluşumunu tam olarak önlemek mümkün olmayabilir. Bu nedenle, grizü patlamalarının önlenmesinin en etkin yolu çalışma öncesi ve sırasında drenaj yapılmasıdır.

Kömür sahip olduğu koloidal yapısı gereği hacminin 1 ila 40 katı kadar metan gazı içerebilmektedir (Dallegge and Barker, 1999).

Kömür ve yan kayaç içerisinde bulunan metanın bir kısmı çalışma öncesi ve sırasında drene edilse bile ocak ortamına mutlaka metan karışacaktır. Ortamdaki metan oranını riskli seviyelerin altında tutabilmek amacıyla havalandırma etkin bir şekilde yapılmak zorundadır. Bu nedenle, metan geliri olan ocaklarda havalandırmanın titizlikle tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir.

4 İZLEME SİSTEMİ

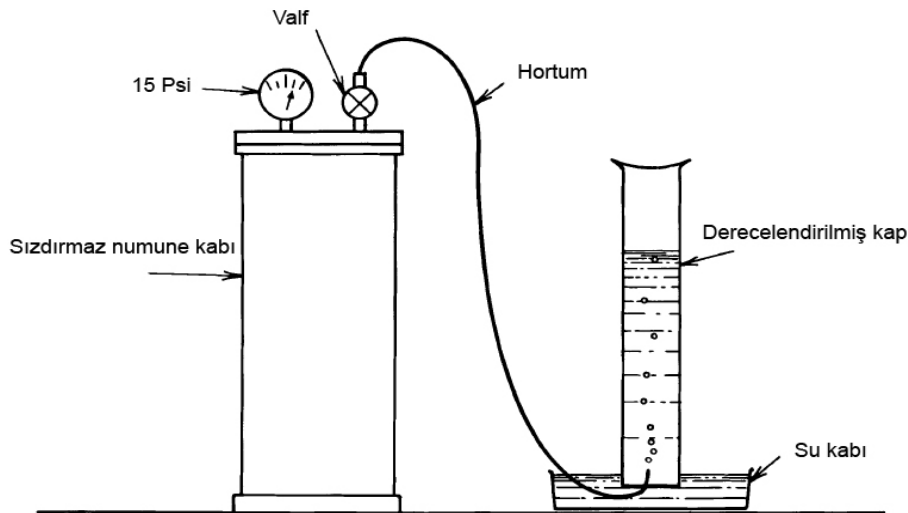
Bir yeraltı madenin farklı kısımlarındaki hava miktarı ve kalitesinin sürekli ölçülerek izlenmesi ve gerekli müdahalelerin yapılabilmesi için bilgisayarla kontrol edilen otomatik izleme sistemleri kullanılmaktadır. Günümüzde izleme ve erken uyarı sistemlerinin tüm yeraltı ocaklarında kullanılması mutlaka 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.

5 METAN İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİ

Çalışma sırasında ocak havasına karışacak olan metan miktarı doğrudan kömürün metan içeriğine ve ortamın geçirgenliğine bağlıdır. Bu nedenle, öncelikle çalışma yapılacak bölgede kömür ve yan kayacın metan içerikleri mutlaka belirlenmelidir. Kömür metan içeriğinin belirlenmesinde temelde doğrudan, dolaylı ve pratik olmak üzere 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıda özet halinde sunulmaktadır:

- i) **Doğrudan Metan İçeriği Ölçüm Yöntemi:** Doğrudan ölçüm yönteminde kömür damarının içerisine açılan bir sondajdan elde edilen kömür karot numunesi hemen sızdırmaz bir kap içerisine konulmakta ve daha sonra laboratuvar ortamında numuneden ne kadar metan salınımı olduğu ölçülmektedir (Şekil 3) (Diamond and Schatzel, 1997).



Şekil 3. Doğrudan metan ölçümü yönteminde kullanılan sızdırmaz kap ve ölçü düzeneği (Kissell vd., 1973)

- ii) **Dolaylı Metan İçeriği Ölçüm Yöntemi:** Dolaylı yöntemde ise görgül bağıntılarla, laboratuvar ortamında geliştirilmiş soğurma eşsıcaklık eğrilerine dayanılarak kömürün metan içeriği hesaplanabilmektedir (Diamond and Schatzel, 1998).

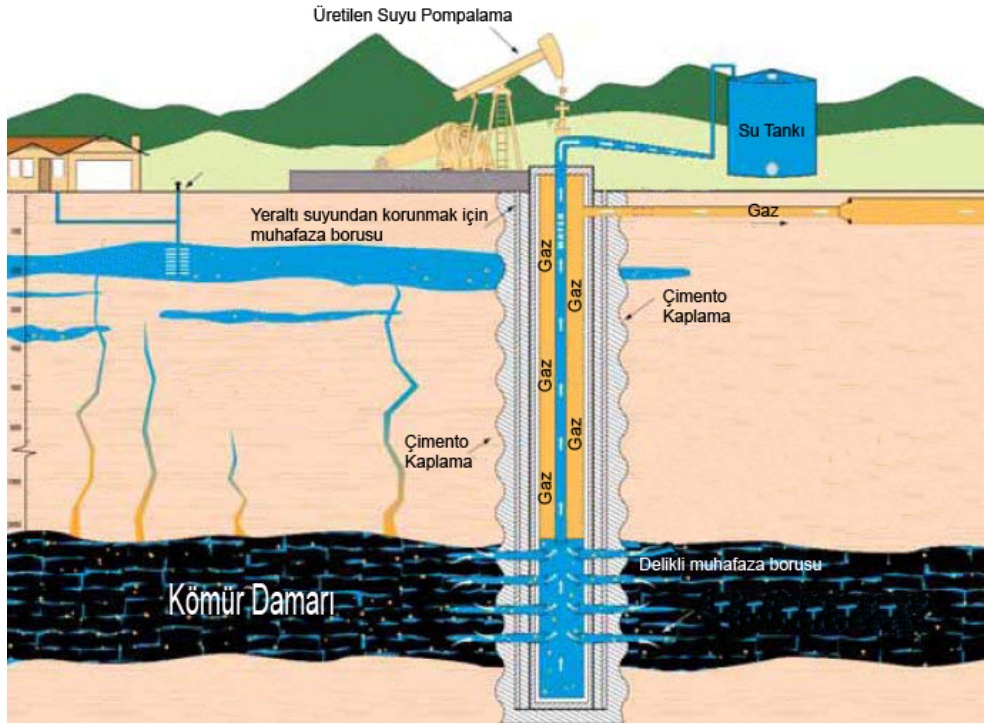
iii) Pratik Metan Geliri Belirleme Yöntemi: Bu yöntem, ocağın hava giriş ve çıkış yolları üzerinde seçilen istasyon noktalarında, hava içindeki metan yüzdesinin ve hava miktarının ölçülmesine dayanmaktadır. Seçilen süre içinde, hava miktarı ve metan oranındaki değişimleri belirleyebilmek için ya belirli aralıklarla yapılan ölçülerin ortalaması alınmakta ya da sürekli kaydedici düzeneklerden yararlanılmaktadır. Seçilen süre içinde üretilen kömür miktarı da belirlenirse, özgül gaz gelirinin hesaplanması olanaklı olmaktadır. Bu şekilde elde edilen değerler, sadece, fikir verici niteliktedir (Ökten ve Didari, 1989).

6 METAN DRENAJ VE YÖNTEMLERİ

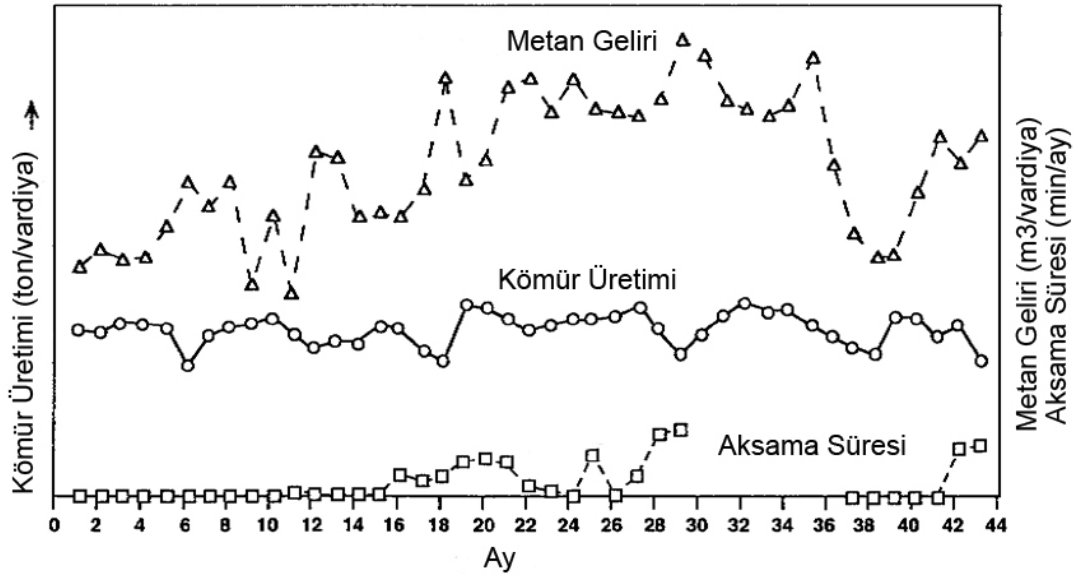
Yeraltı kömür ocaklarında öncelikle grizü tehlikesinin önlenmesi amacıyla metan drenajı yapılmaya başlanmıştır. İlk uygulama İngiltere’de yapılmış ve daha sonra tüm dünyada hem güvenlik hem de ekonomik yararlar sağlanması amacıyla uygulanır hale gelmiştir. Metan drenajının sağlayacağı yararlar 4 ana başlık altında toplanabilir:

- 1) Üretim öncesi açığa çıkabilecek metanın yaklaşık %50 ila %90’ı emilerek uzaklaştırıldığı için yeraltı çalışması sırasında tehlike yaratacak boyutta metan gelirinin olması önlenecektir (Şekil 4),
- 2) Metan geliri azaldığı için havalandırma maliyetleri azalacak ve metan nedeniyle çalışılmayan süre önemli ölçüde kısılacağı için iş verimi artacak ve maliyetler düşecektir. Ayrıca toz oluşumu azalacak ve daha rahat bir çalışma ortamı oluşacaktır,
- 3) Üretilen metandan ekonomik bir gelir sağlanacaktır. Kömür metan içeriğinin yaklaşık 10 m³/ton ‘dan fazla olduğu yerlerde üretim öncesi mutlaka metan drenajı yapılması önerilmektedir (ECEES No:31, 2010),
- 4) İmzalamış olduğumuz Kyoto Protokoluna göre 2020 yılından sonra atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) miktarları sınırlandırılacak ve her ülke için bir kota belirlenecektir. 1 birim metan salınımının neden olduğu sera etkisi 23 birim karbondioksitinkine eşittir (ECEES No:31, 2010). Bu nedenle, ocak havasıyla atmosfere verdiğimiz metan için karbon kotamızı kullanarak ceza ödemek zorunda kalacağız. Kömür üretimi sırasında açığa çıkması kesin olan metanın daha önceden drene edilmesi ile hem cezadan kurtulacak hem de ekonomik değere sahip bir ürün elde edebileceğiz. Hatta dünyada nefeslik havası içerisinde bulunan metandan dahi enerji üreten sistemler bulunmaktadır. Bu sistemlerin ülkemizde uygulanabilirliğinin vakit geçirilmeden araştırılması oldukça önemlidir.

Şekil 5’den de açık bir biçimde görüleceği üzere ocak içerisinde metan geliri ile kömür üretimi arasında çok önemli bir ilişki vardır. Ortamda yüksek metan oranı tespit edilmesi nedeniyle zorunlu olarak yaşanan üretime ara verilmesi sonucunda üretimin sekteye uğradığı ve önemli düşüşlerin olduğu açıkça görülmektedir.

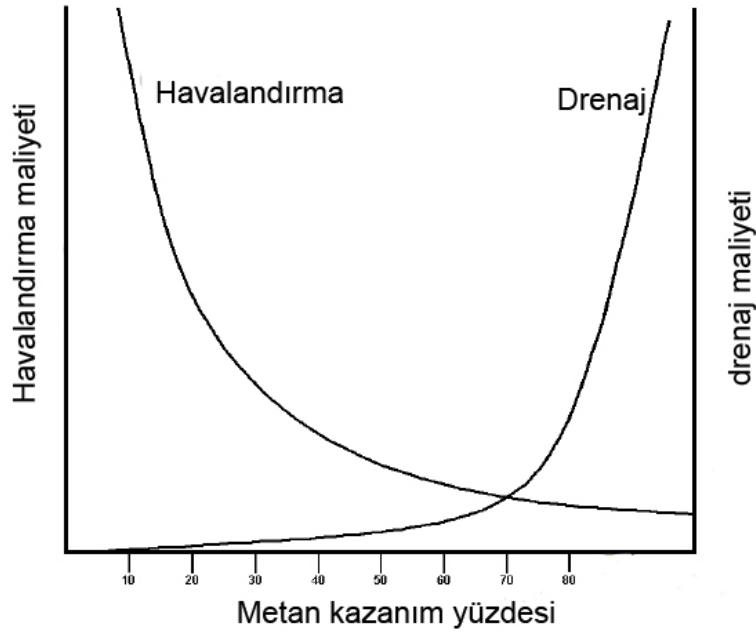


Şekil 4. Yer üstünden açılan dik kuyularla üretim öncesi metan drenajı.



Şekil 5. Havalandırma, metan geliri ve üretim ilişkisi (Mutmansky and Wang, 1998).

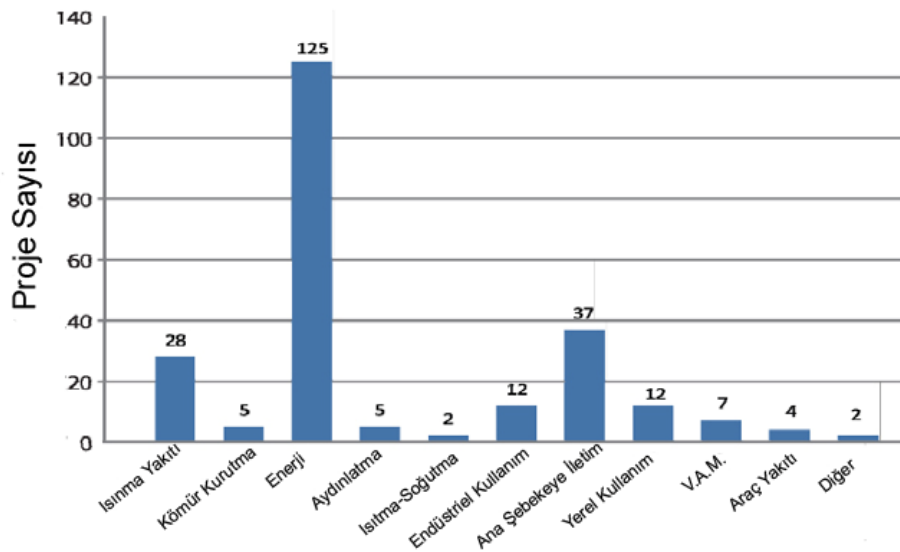
Metan drenajının uygulandığı ocaklarda havalandırma maliyetinin büyük ölçüde azaltılması sağlanmaktadır. Şekil 6'da üretim öncesi yapılan metan drenajının havalandırma maliyetlerini önemli ölçüde düşürmekte olduğu açık bir biçimde görülmektedir (Kissell, 2006).



Şekil 6. Metan drenajının havalandırma maliyeti üzerine etkisi.

Drenaj ile elde edilen metan; elektrik enerjisi üretiminde, kömür kurutmada, araçlarda yakıt olarak, ısınma ve soğutmada, endüstriyel tesislerde ve termik santrallerde yakma havasına katılarak kullanılmakta, doğal gaz boru hatlarına dahi verilmektedir. Şekil 7’de, 2009 yılı itibarıyla tüm dünyada kömür damarlarından drenaj yoluyla elde edilen metanın kullanım alanları ile ilgili proje türlerini gösterilmektedir. Sadece 2009 yılında 1,582 milyon m³ lük kömüre bağlı metan gazı üretimi yapılmıştır (ECEES No:31, 2010).

Kömür kökenli metanın doğalgaz olarak kullanılabilmesi için gazın en az % 95 oranında metan içermesi ve % 4’ den fazla non-hidrokarbon gazları içermemesi gerekmektedir. Bu koşullara uygun metan gazının bazı süreçlerden geçmesi ile doğal gaz olarak kullanılması sağlanmaktadır (Bibler and Carothers, 2001).



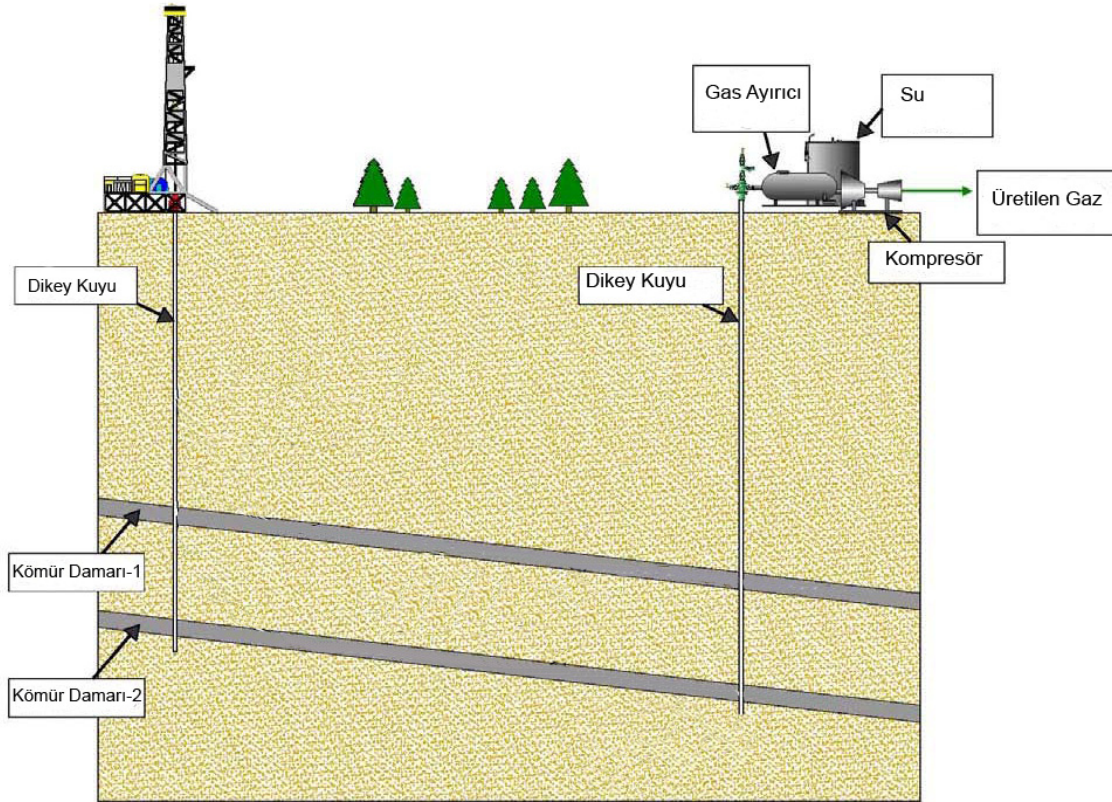
Şekil 7. 2009 yılı itibarıyla dünyada drene edilen metanın kullanım alanları.

Metan drenajı, üretim faaliyeti başlamadan önce ve üretim sırasında olmak üzere 2 farklı şekilde yapılabilmektedir. Üretim faaliyeti başlamadan önce yapılan metan drenajı uygulamasıyla kömürün içermekte olduğu metanın % 50 - % 90 arasında bir oranda emilimi sağlanmaktadır. Üretim sırasında gerçekleştirilen metan drenajı uygulamasında ise % 30 – % 60 arasında bir oranda metan gazı emilimi sağlanabilmektedir.

Emilimi yapılarak üretilecek kömür kökenli 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. Metan drenajının etkin ve verimli olarak yapılabilmesi için bu etmenlerin her saha için ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekir.

a) Üretim Faaliyeti Öncesi Metan Drenajı

Üretim faaliyeti başlamadan önce metan drenajı ile metan gazı doğrudan yer üstünden kömür damarına ulaşılan sondajlar yardımıyla yapılmaktadır (Şekil 8). Bu sayede kömürün metan içeriği azalacağından hazırlık ve üretim çalışmaları sırasında ocak havasına karışacak metan miktarı daha düşük olacak ve risk yaratma potansiyeli kabul edilebilir düzeyde olacaktır. Üretimi yapılacak olan kısımlarda üretimin başlayacağı tarihten itibaren 2 ile 7 yıl önce metan drenajının yapılması önerilmektedir (EPA, 1999^b).



Şekil 8. Üretim öncesi metan drenajı.

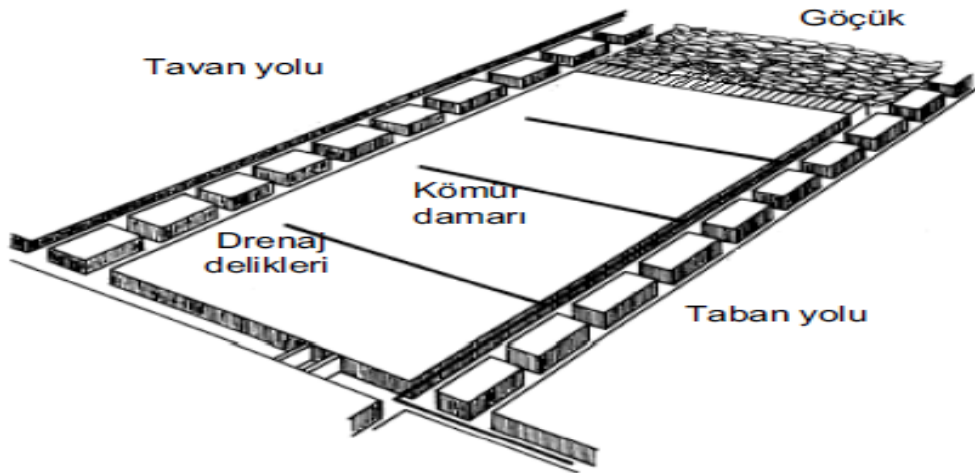
b) Üretim Sırasında Metan Drenajı

Artan üretim miktarı ve derin ve bakir alanlarda üretim yapılması nedenleriyle kömür madenlerinde metan daha önemli bir haline gelmektedir (Shinji vd., 2009).

Bir sahada üretim öncesi metan drenajı yapılmış olsa dahi üretim sırasında da metan drenajı uygulamasına devam edilmelidir. Kullanılan drenaj delik sistematiği ve mühendislik teknolojisi açısından üretim sırasında metan drenajı uygulaması temel olarak 3'e ayrılmaktadır:

- Yatay Sondaj Delikleri İle Drenaj: Taban veya tavan yollarından delinen yatay sondaj deliklerinden uygun teçhizat ile metanın emilmesi ve emilen metanın bir pompa-iletim borusu ağı ile yeraltında toplanıp, yer üstüne iletim borularıyla naklinin gerçekleştirilmesi sağlanır. (EPA, 1999^b).

Bu yöntem hazırlık çalışması adı altında yürütülen çalışmalara dahil bir uygulamadır ve panodan üretim yapılmadan önce drenaja başlanmalı ve üretim sürecinde devam edilmelidir. Taban ve tavan yollarının açılması sırasında yeni çalışılacak pano hazır hale getirilirken, bir yandan da panodaki kömürün ihtiva ettiği metan gazı emilerek, daha panoda çalışmaya başlamadan önce iş sağlığı ve güvenliği yönünden metan hususunda gerekli önlemlerin alınması sağlanır. Şekil 9'da yatay sondaj delikleri ile metan drenajı işlemi şematik olarak gösterilmektedir.

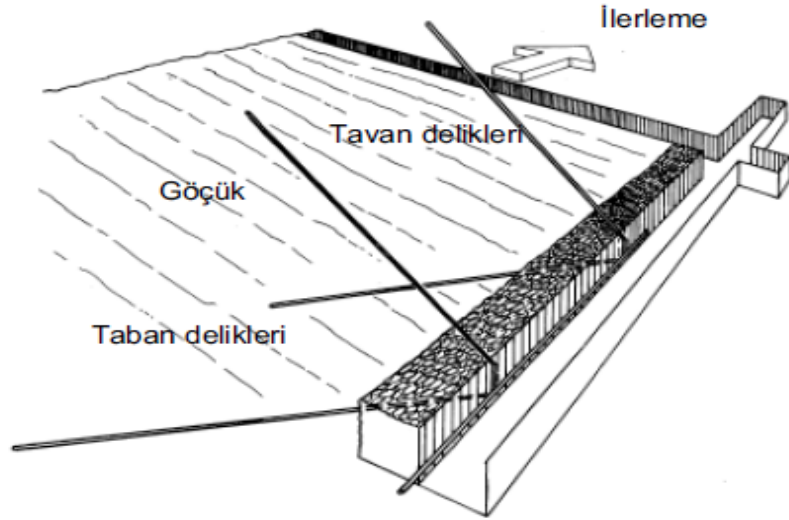


Şekil 9. Yatay sondaj delikleriyle drenaj yöntemi, (McPherson, 2004).

300 metreye kadar olan uzunluktaki delikler kısa delik olarak kabul edilmekte olup, bu deliklerden metanın emilim verimliliği yaklaşık %20 oranında gerçekleşmektedir. Uzun deliklerde verimlilik ise, örneğin yaklaşık 1200 metre uzunluğundaki bir delikte metan kazanma verimi %40'a kadar çıkabilmektedir (EPA, 1999^b).

- Çapraz Sondaj Delikleri İle Drenaj: Maden açıklıklarından açılı olarak, çapraz şekilde delinen sondaj deliklerinden de metan drenajı yapılmaktadır (Şekil 10). Bu yöntem

özellikle tavan ve taban taşından da metan gelirinin olduğu durumlarda uygulanmaktadır (ECEES No:31, 2010).

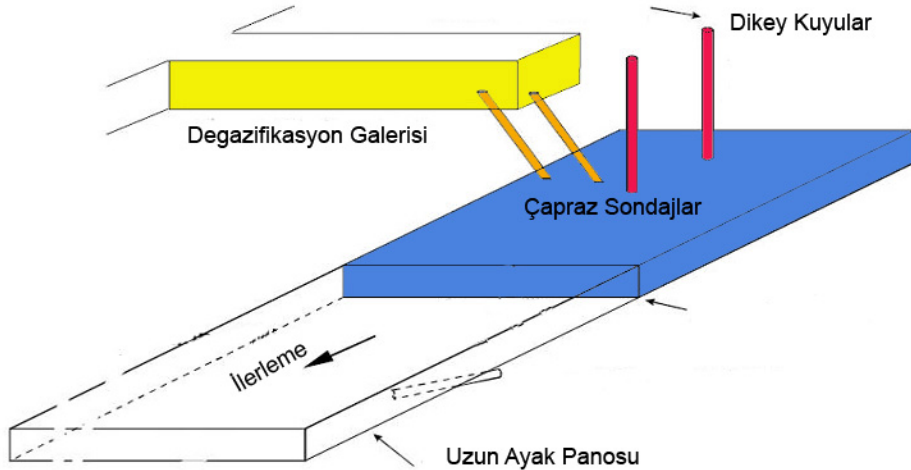


Şekil 10. Tavan ve tabana açılan çapraz deliklerle drenaj.

• Göçükten Metan Drenajı: Yeraltı kömür madenciliğinde göçüğe bırakılan kısımda da metan oluşumu gözlenebilmektedir. Üretimin tamamlanmış olduğu kısımlarda metan varlığına bağlı grizü patlaması ve/veya yangın riski bulunmaktadır. Göçüğe bırakılan alanlarda yangın/patlama oluşması durumunda müdahale edebilmek çok zordur.

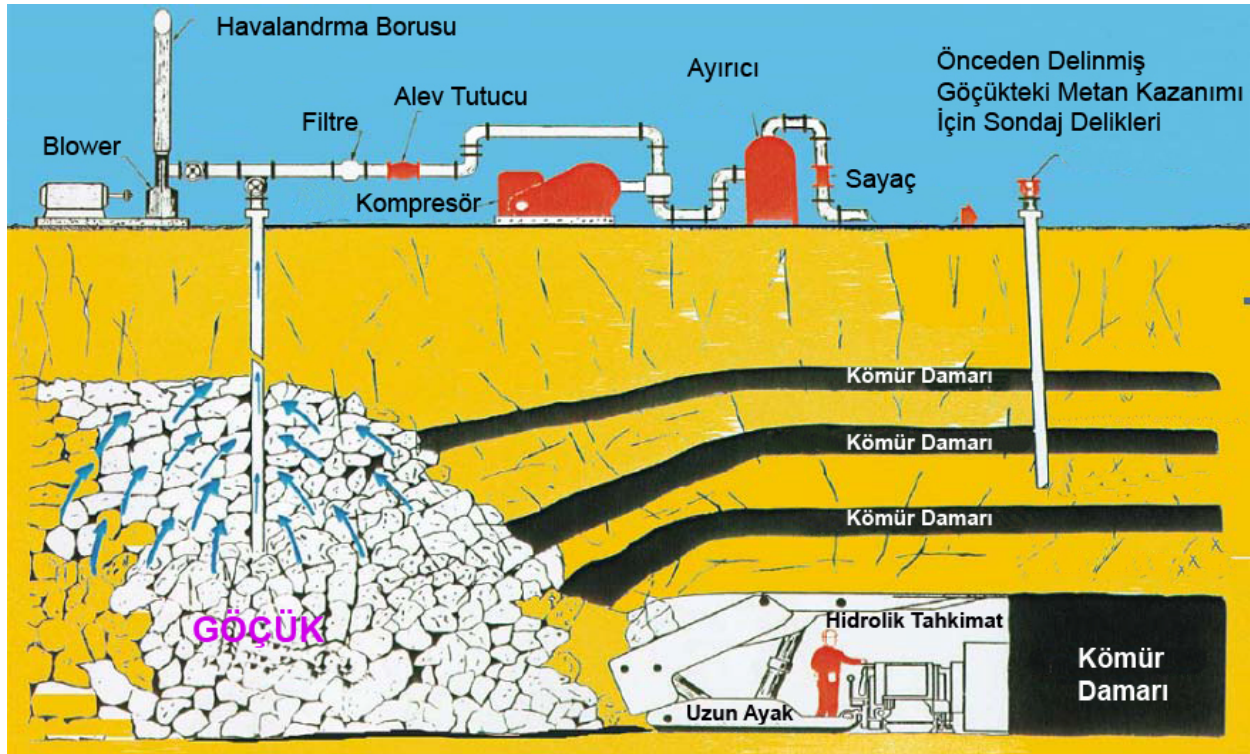
Bu bağlamda, yeryüzünden göçüğe bırakılan alanın üstüne dikey sondajlar a.ılarak veya bir degazifikasyon galerisinden göçüğe bırakılan alana dik ve/veya açılı olarak sondajlar sayesinde göçüğe terk edilmiş alandaki metanın emilimi sağlanır (Şekil 11).

Göçük içerisinde metan emilimi sırasında göçüğe hava girmemelidir. Göçük içerisinde bırakılan algılayıcılar tarafından oksijen varlığı tespit edilirse, metan iletim hattı ve sistem kapanmakta ve böylece yangın oluşumu önlenmektedir (Young , 2005).



Şekil 11. Göçükten metan drenaj yöntemi.

Şekil 12, yer üstünden yapılan sondajlarla göçükten metan üretimi gösterilmektedir. Yerüstünden sondajlarıyla göçükte metan emilimi sırasında elde edilen gazın metan içeriği %30 - %70 arasında olmaktadır (Gatnar and Tor, 2003). Drenaj sistemlerinin performansı ve elde edilen gaz içerisindeki metan oranı; sondajların lokasyonuna, kömür damarının gaz içeriğine, üretim yöntemine, kömür damarı sayısına, kömür damarının kalınlığına ve gaz üretim süresine bağlı olarak değişmektedir (Kirchgessner vd., 2002).



Şekil 12. Göçükten metan drenajı uygulamasına bir örnek, (Hartman v.d., 1997).

7 METAN DRENAJININ MALİYET-EKONOMİK DEĞERLENDİRMESİ

ABD Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH) tarafından gerçekleştirilen araştırma sonucunda; Oda-topuk sisteminde kömür üretimi gerçekleştirilen yeraltı kömür madenlerinde metan drenajının ekonomikliği 19 m³/ton metan geliri olduğu zaman oluşmaktadır. Uzun ayak sisteminde kömür üretimi gerçekleştirilen yeraltı kömür madenlerinde metan drenajının ekonomikliği 12 m³/ton metan geliri olduğu zaman oluşmaktadır (Goodman vd, 2002). Ancak dünyada çok daha düşük metan içeriğine sahip kömür damarlarından ekonomik olarak metan üretimi yapılabileceği belirtilmiş olmasına rağmen bu rapor kapsamında yapılan çalışma esnasında güvenilir kaynak bulunamadığı için burada verilmemektedir.

Metan drenajı ile ilgili olarak maliyetler hakkında literatürde bulunan bilgiler özet halinde sunulmaktadır. Drenaj işleminin ekonomisi ile ilgili olarak ayrıntılı bilgiye ulaşmak mümkün olamamıştır. Çizelge 2’de, ABD’de 3 sahada (San Juan Basın, Black Warrior Basın, Central Appalachian Basın) metan drenajı uygulamaları ile ilgili maliyetler

verilmektedir. Çizelge 2 ve Çizelge 3'te yer alan bilgiler; 6000'den fazla metan drenajı için yapılan sondaj uygulamalarından elde edilen verilere dayanmaktadır.

Çizelge 2 . ABD'de metan drenajı ile ilgili maliyetler.

Drenaj Yöntemi		Harcama Kalemleri	Maliyetler (ABD Doları)	Kaynaklar
Dikey Sondaj	İlk Yatırım Maliyeti	Jeolojik ve Jeofizik Çalışmaları	20.000-30.000	(Logan v.d. 1987) (Zuber v.d., 1990) (Fraser v.d., 1991) (Kuuskraas ve Boyer, 1993) (Rogars, 1994) (Wills, 1991) (Petzet, 1997)
		Sondaj Delgi İşlemi ve Tamamlama	110.000-300.000	
		Ekipman Kiralama	60.000-120.000	
		Su Kullanım Sistemi	40.000-50.000	
		Kuyu Geçirgenliğini Artırma	60.000-80.000	
		Mühendislik ve İdari Yönetim Hizmetleri	30.000-100.000	
	Toplam	320.000-640.000		
İşletme Maliyeti	20.000-40.000 \$/yıl			
Göçük Sondajları	İlk Yatırım Maliyeti	Proje, Planlama, Topografya Çalışmaları, Haritalama, Ruhsat	17.900-31.000	(Kline v.d. 1987) (Niederholler ve Lambert, 1987) (Baker v.d., 1988) (Lambert, 1989) (Hanby, 1991)
		Yol Yapımı	56.000-122.000	
		Sondaj Delgi İşlemi ve Tamamlama	112.000-182.000	
		Ekipman Kiralama	72.000-120.000	
		Yönetim Hizmetleri	50.000-80.000	
	Toplam	307.900-535.000		
İşletme Maliyeti	20.000-40.000 \$/yıl			
Yatay Sondaj	İlk Yatırım Maliyeti	Metre Başına Maliyet	33-66 ABD\$/m	(Baker v.d., 1988) (Kim ve Mutmansky, 1990)
		105.000-640.000 ABD\$/yıl/proje		
Çapraz Sondaj	İlk Yatırım Maliyeti	Metre Başına Maliyet	125-184 ABD\$/m	
	İşletme Maliyeti	105.000-640.000 ABD\$/yıl/proje		

Çizelge 3'de, yeryüzünden kömür damarına açılan dikey sondajlar ile göçükten metan emilimini gerçekleştirmek için açılan sondaj deliklerinin maliyetleri verilmektedir.

Yaklaşık 14 m³/t metan geliri olan bir kömür madeninde (20 yıl süreyle) yeryüzünden dikey sondaj delikleri oluşturularak yapılan metan drenajı yöntemi ile toplamda \$11.000.000 tasarruf sağlandığı araştırmalar sonucu ortaya koyulmuştur. Eğer dikey deliklerle beraber aynı zamanda yatay sondaj delikleri yöntemi ile metan drenajı uygulanırsa ek olarak \$ 3.000.000 daha tasarruf sağlanabilmektedir (Kim and Mutmansky, 1990).

Çizelge 3. Göçükten metan drenajı için yer üstünden açılan sondaj deliklerinin maliyeti.

Göçük Sondajı Başına İlk Yatırım Maliyetleri (ABD Doları)			
Saha adı	En küçük	Ortalama	En büyük
Göçük Sondajı^a			
Central Appalachian	80.000	130.000	190.000
Northern Appalachian	60.000	110.000	170.000
İllinois	50.000	100.000	160.000
Warrior	90.000	140.000	200.000
Western	100.000	150.000	210.000
Dikey Sondaj^b			
Central Appalachian	80.000	125.000	225.000
Northern Appalachian	50.000	140.000	205.000
İllinois	45.000	115.000	195.000
Warrior	90.000	190.000	290.000
Western	320.000	450.000	580.000
^a İlk Yatırım MaliyetiruhSAT, saha hazırlık, geliştirme çalışmaları, sondaj delgi işlemi ve tamamlama, kuyu teçhizatı ile ilgili tüm maliyetleri içermektedir.			
^b İlk Yatırım Maliyeti ruhsat, saha hazırlık, geliştirme çalışmaları, sondaj delgi işlemi ve tamamlama, kuyu teçhizatı, su basıncıyla çatlak oluşturma ile ilgili tüm maliyetleri içermektedir.			
Kaynaklar: (USEPA, 1993), (USEPA, 1990), (ICF Resources, 1990), (ICF Resources, 1989), (Ammonite Resources, 1991), (Hunt ve Steele, 1991), (Spears ve Associates, 1991), (Baker vd., 1998)			

Not: Bazı araştırmacılar Çizelge 2 ve Çizelge 3'de gösterilen maliyetleri geleneksel olağan maliyetlerden oldukça fazla bulmaktadırlar. Okuyucular bunu göz önünde bulundurabilirler.

8 METAN DRENAJ VE KYOTO PROTOKOLÜ

Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun, 5 Şubat 2009' da TBMM Genel Kurulu'nda kabul edilip, 17.02.2009/27144 Tarih-Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yasallaşmıştır.

Kyoto Protolölü, çevre ve iklim koşullarını olumsuz olarak etkileyen ve sera etkisine sebep olan altı gazın [Karbon dioksit (CO₂), Metan (CH₄), Diazot monoksit (N₂O), Hidroflorokarbonlar (HFC_s), Perflorokarbonlar (PFC_s), Kükürt heksaflorid (SF₆)] atmosfere olan salınımını azaltmayı amaçlamaktadır.

Protokol kapsamında 2013 yılına kadar Türkiye'ye herhangi bir kota sınırlaması öngörülmemiştir. 2013 yılında Türkiye, ülkemiz çıkarları da göz önünde bulundurularak şekillendirilecek yeni bir ek sözleşme yapacaktır.

Birleşmiş Milletler iklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü'nün 3. maddesine göre 2008-2012 dönemi için 1990 yılında gerçekleşen sera gazı etkisine

sebebe olan gazların atmosfere salınım miktarının %5 oranında azaltılması ön görülmüştür.

Dünyada insan kaynaklı (antropojenik) metandan ortaya çıkan sera gazı oranı %70'dir. Diğer bir ifadeyle, sadece %30'lık oranda metan doğal yollardan oluşturmaktadır. Metanın, insan kaynaklı sera gazları içindeki oranı da %17'dir. Antropojenik sera gazları içinde kömür madenciliği ile oluşan sera gazı etkisi %8'dir (EPA, 1999^a).

7-9 mikrometre dalga boyundaki infraruj ışınları soğurma yeteneğinin bulunması nedeniyle, metan gazının sera gazı oluşturma etkisi karbondioksit oranla yaklaşık 23 kat daha fazladır. Bu nedenle, metanın önemli derecede bir sera gazı etkisi oluşturma yeteneği bulunmaktadır (ECEES No:31, 2010).

Kirli hava dönüş yolunda bulunan metanın yakalanarak kullanılması ve drenaj sayesinde doğaya salınan metan kazanılarak bir ekonomik değere dönüştürülebilir. Metan drenajı ile elde edilen kömür kökenli metanın sera gazı etkisi azaltılabilir (Utaki, 2009).

9 DÜNYADA METAN DRENAJİ UYGULAMALARI

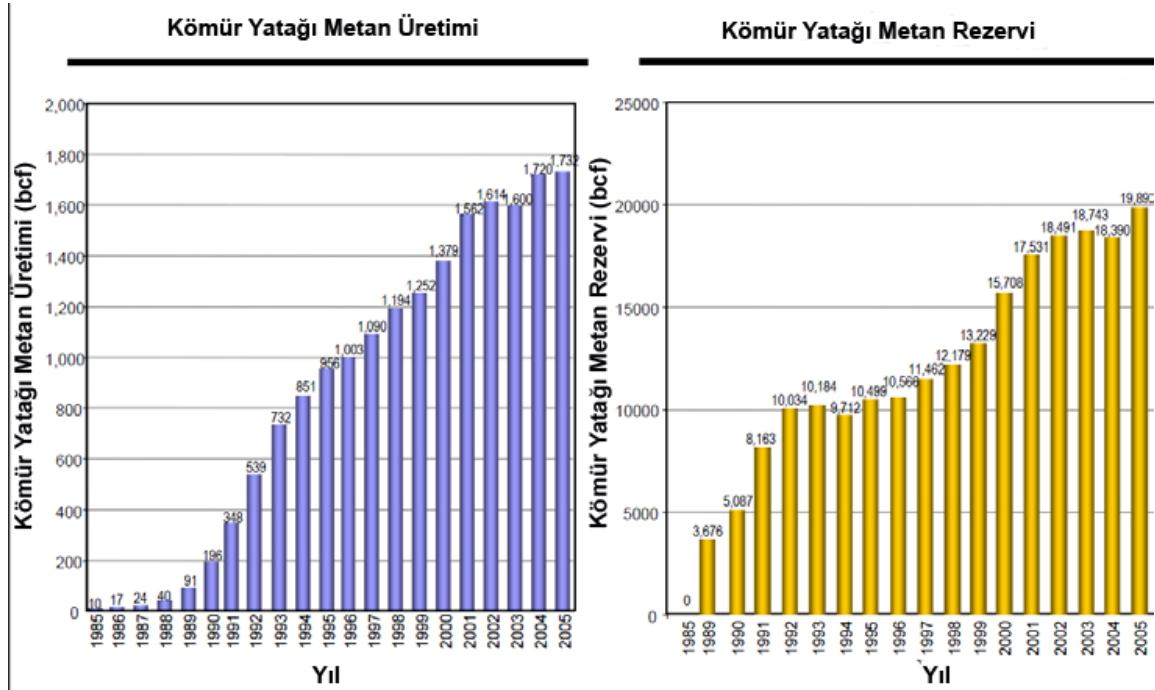
Dünyada metan drenajının geçmişi 18.yy'e kadar dayanmaktadır. İngiltere'de ilk metan drenajı 1730 tarihinde yapılmıştır. 1880'li yıllarda ilk kez kömür kökenli metan aydınlatmada kullanılmıştır. 20. yy'nin ilk yarısında Avrupa'da metan drenajı yaygın hale gelmiş ve bir çok ülkede uygulaması yapılmıştır (Upper Silesian/Polonya 1937 ve Almanya 1943). 1950'li yıllarda sistematik metan drenajı uygulaması Almanya'da geliştirilmiş ve uygulama tüm Avrupa'ya buradan yayılmıştır. 1960'lı yıllarda kömür kökenli metan önceleri endüstride kullanılmaya başlanmış sonraları enerji elde edilmesi uygulamaları gerçekleştirilmiştir (ECEES No:31, 2010).

Günümüzde dünyada yer altı kömür madenlerinden kömür kökenli metanın kazanılması ile ilgili bir çok proje yürütülmektedir. Avustralya, Çin, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Almanya, Japonya, Kazakistan, Meksika, Polonya, Rusya, Ukrayna, İngiltere ve ABD'de kömür kökenli metan drenajı ile gaz üretimi ile ilgili projeler hayattadır. Ancak, bu ülkelerde projelendirme ve faaliyet aşamasında olan kömür kökenli metan drenajı uygulamalarına ilişkin ayrıntılı bilgiye ulaşmak mümkün değildir. Bazı ülkelerde metan drenajı ile ilgili yürütülen projeler hakkında kısa bilgiler aşağıda sunulmaktadır:

A.B.D.: A.B.D.'de halen kömür kökenli metanın drene edilmesi hakkında 39 adet proje bulunmaktadır. Virjinya'da (88 MW) dünyanın ikinci büyük kömüre bağlı metandan enerji edilen enerji santrali bulunmaktadır. (Methane to Markets Projects, 2008)

A.B.D.'de bulunan kömür kökenli metan rezervi ve üretim miktarları, Şekil-10'da verilmektedir. ABD'de yürütülen kömür kökenli metan üretimi için günümüze kadar yaklaşık 40.000 adet sondaj yapılmış olduğu belirtilmektedir. 1990 yılı başından itibaren

metan üretimi önemli düzeyde artmıştır. ABD’de doğal gaz üretiminin %10’u kömür kökenli metandan elden edilen gaza dayanmaktadır (Jessen vd., 2007).



Şekil 13. ABD’de kömür kökenli metan rezervi ve üretim miktarları.

İngiltere: İngiltere’de halen kömür kökenli metanın drene edilmesi hakkında 33 adet proje bulunmaktadır. 20 m³/ton metan bulunan South Wales’de önemli sayıda ticari yatırım bulunmaktadır (Methane to Markets-UK, 2005).

Çin: Çin’de 2006 verilerine göre 300 den fazla metan drenaj sistemi kurulmuş maden bulunmaktadır. Bu sistemlerden 3,24 milyar m³ metan drene edilmiştir. Ayrıca, 2007 Ağustos itibariyle 25 ten fazla yeni proje de onaylanmıştır. (Huang, 2007).

Çin’de kömür kökenli metanın çeşitli alanlarda kullanılması amacıyla oluşturulmuş 41 adet proje bulunmaktadır (Methane to Markets Projects, 2008).

Japonya: Japonya’da halen kömür kökenli metanın drene edilmesi hakkında 2 adet proje bulunmaktadır (Methane to Markets Projects, 2008).

Japonya ile Çin arasında kömür madenlerinde iş güvenliği husunda bir araştırma-çalışma alanı oluşturulmuştur. Ayrıca iki ülke arasında; temiz kömür teknolojileri ve kömür kökenli metandan faydalanma konularında bir iş birliği bulunmaktadır (Shinji vd., 2009).

Ukrayna: Ukrayna’da 9 adet metan drenajı sistemi kurulmuş maden bulunmaktadır (Methane to Markets Projects, 2008).

Rusya: Rusya’da, halen 7 adet kömür kökenli metan drenajı ile ilgili proje bulunmaktadır. (Methane to Markets Projects, 2008). Ayrıca 2 adet kömür madeninde

göçükten metan drenaj yöntemi projelendirilmiştir (Methane to Markets Partnership, 2007).

Polonya: Polonya'da, 14 adet kömür kökenli metan drenajı ile ilgili proje bulunmaktadır. Polonya'da, 7 metan drenajı sistemi kurulmuş maden bulunmaktadır (Methane to Markets Projects, 2008).

Almanya: Almanya'da, 47 adet kömür kökenli metan drenajı uygulamasından önemli bir ekonomik gelir elde edildiği bildirilmektedir (Methane to Markets Projects, 2008).

Avustralya: Avustralya'da, 15 adet kömür kökenli metan drenajı ile ilgili proje bulunmaktadır (Methane to Markets Projects, 2008).

Dünyadaki uygulamalardan da anlaşılacağı üzere metan drenajı oldukça yaygın bir uygulama olup bir çok proje hayata geçmiş durumdadır. Bu konuda dünyada önemli bir bilgi birikimi ve deneyim bulunmaktadır. Ülkemizde de yapılması zorunlu olan uygulamalardan önce bu bilgiye doğru şekilde erişmek ve tecrübelerden etkin bir şekilde yararlanmak çok önemlidir.

10 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Madenler doğal oluşumlar olmaları itibarıyla dünya üzerinde birbirinin aynı olan iki madenin var olduğunu söylemek olanaksızdır. Her maden işletmesi kendine has jeolojik, tektonik, coğrafik özellikler ve çevresel koşullara en uygun olacak şekilde üretilmek zorundadır. Bir kimya fabrikasında veya demir-çelik tesisinde söz konusu olan yaklaşık standart süreçler maden işletmelerinde geçerli değildir. Bu nedenle, maden işletmelerinin tasarlanması ve işletilmesi sırasında çok daha titiz ve multi-disipliner bir çalışma yapılması gereklidir.

Bir maden işletmesinde uygulanan işlemler sürecine bir bütün olarak bakılmalıdır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği tedbirlerine uygun olarak yapılmayan bir çalışmanın ekonomik ve verimli bir şekilde sürdürülebilir olması mümkün değildir. Diğer taraftan madencilik bilim ve teknolojisine uygun bir çalışma yapmadan da iş güvenliğini sağlamak imkan dahilinde değildir. Kısaca, kazaların en az düzeye çekilebilmesi için işletmenin çok iyi tasarlanması, tasarımın çalışma sırasında elde edilen yerel verilerle sürekli olarak iyileştirilmesi, hazırlık ve üretim süreçlerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi ve titizlikle takip edilmesi gereklidir.

Ülkemizde madencilik faaliyetlerinin yapılandırılması ve izlenmesi sırasında yukarıda belirtilen ilkeler doğrultusunda bir çalışma yapıldığını söylemek zordur. MİGEM maden faaliyeti ile ilgili neredeyse sadece şekilsel düzenlemeleri yapabilmekte, Çalışma Bakanlığı ise bir madendeki eksiklikleri yine sadece şekilsel olarak tetkik etmektedir. Oysa, bir cevher yatağı özelliklerini dünya standartlarına uygun şekilde belirlemeden ve gerçek anlamda bir fizibilite çalışmasını takiben ayrıntılı maden projesini yapmadan

üretim başlanması kabul edilemez. Ne yazık ki ülkemizde gerçek anlamda fizibilite çalışması yapmadan geleneksel teknikler kullanılarak hemen üretime geçilmekte ve sonuç olarak hem iş güvenliği zaafiyeti yaşanmakta hem de milyonlarca yıllık bir süreç sonucunda meydana gelmiş olan cevher yatakları bir daha kullanılamaz şekilde ziyan edilmektedir. Ülkemizde madencilik sektöründe çok kaza olmasının temel nedeni budur. Kazaların önlenmesi madencilik süreçlerinin tamamının düzeltilmesiyle sağlanabilir. Sadece güvenliğin sağlanmasına yönelik yaptırımların devreye konması, kazaların azaltılması yönünde bir aspirin etkisi yaparak nispi bir iyileşmeye neden olacak, ancak uzun vadede temel sorunun ortadan kalkmasına bir katkı sağlamayacaktır.

Bizler maden işletmeleri ile ilgili olarak sadece iş kazalarını görebiliyor ve değerlendirebiliyoruz. Ancak, Allah'ın nimetlerinden olan madenlerimizin çoğunlukla, tabiri caizse, nasıl talan edildiğinin, verimsiz bir şekilde tüketilerek potansiyellerinin çok altında ülke ekonomisine kazandırıldığına farkına varamıyoruz. Madencilğin bilimsel ve teknolojik yöntemlere uygun olarak yapılması sayesinde iş güvenliği ve sonuç olarak genel anlamda işletme ekonomisinin artması sağlanacaktır.

Ülkemizde son 5 ay içerisinde 3 grizü faciasının yaşanmış olması, madenlerimizdeki çalışma sistemiği incelendiğinde, ne yazık ki, büyük bir sürpriz olarak değerlendirilmemelidir. Metan-hava karışımına grizü denmektedir. Hava içerisinde yaklaşık %4,4-16 oranında metan olması bir kıvılcım ile patlayabilir nitelikte bir karışım oluşturur. Dolayısıyla, hava içerisinde bu oranlarda metan bulunması kesinlikle önlenmelidir. Hava içerisindeki metan oranı %2 olduğu anda ocak tahliye edilmelidir. Ancak, Karadon faciasında da yaşandığı üzere ocaktaki işçileri tahliye etmek her zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle grizü facialarını yaşamamak için temel ilke asla ocak havasındaki metan oranının tehlikeli sınırlara gelmemesini sağlamaktır. Kömür ve yan kayaç içerisinde emilmiş vaziyette bulunan metan miktarının fazla olduğu durumlarda, havalandırma nizami olarak bile yapılsa, tehlikeli sınırlara yaklaşımdan çalışmak zordur. Bu nedenle sorunun nihai çözümü, hazırlık veya üretim yapılmadan önce kömür ve yan kayaç içerisinde bulunan metanın önemli bir kısmının drene edilerek çalışma sırasında gelebilecek olan metan miktarının azaltılmasıdır. Hazırlık ve üretim çalışmaları sırasında da metan drenajına devam edilmelidir. Hatta üretim sonrası oluşan göçüklerden de metan elde edilebilir.

Metan drenajının sağlayacağı yararlar 3 ana başlık altında toplanabilir:

1. Üretim öncesi açığa çıkabilecek metanın yaklaşık %50 ila %90'ı emilerek uzaklaştırıldığı için yeraltı çalışması sırasında tehlike yaratacak boyutta metan gelininin olması önlenecektir,
2. Üretilen metandan ekonomik bir gelir sağlanacaktır. Ayrıca, ocak havalandırma giderleri ve yüksek metan oranı nedeniyle çalışmanın durması en az düzeyde olacaktır. Ocak içerisine verilen havanın daha az olması nedeniyle daha az toz oluşacak ve çalışma koşulları iyileşecektir.
3. İmzalamış olduğumuz Kyoto Protokoluna göre 2020 yılından sonra atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) miktarları sınırlandırılacak ve her

ülke için bir kota belirlenecektir. 1 birim metan salınımının neden olduğu sera etkisi 23 birim karbondioksitinkine eşittir. Bu nedenle, ocak havasıyla atmosfere verdiğimiz metan için karbon kotamızı kullanarak ceza ödemek zorunda kalacağız. Kömür üretimi sırasında açığa çıkması kesin olan metanın daha önceden drene edilmesi ile hem cezadan kurtulacak hem de ekonomik değere sahip bir ürün elde edebileceğiz. Hatta dünyada nefeslik havası içerisinde bulunan metandan dahi enerji üreten sistemler bulunmaktadır. Bu sistemlerin ülkemizde uygulanabilirliğinin vakit geçirilmeden araştırılması oldukça önemlidir.

Grizü patlamalarını önlemenin ön koşulu metan drenajı yapılmasıdır. Dolayısıyla, öncelikle metan geliri olduğunu bildiğimiz sahalardaki lokasyona bağlı metan içerikleri belirlenmelidir. Kömür ve yan kayacın metan içeriklerini belirlemeden alınacak önlemlerin ne olduğunu ve nasıl bir uygulama ile tehlikelerin önlenebileceğini belirlemek rasyonel ve bilimsel olmayacaktır. Örneğin, Dursunbey ve Mustafakemalpaşa'da kömürün metan içeriği hakkında bilgi sahibi değiliz. Bu durumda sorunun nihai çözümünde nasıl bir yaklaşımda bulunacağımızı bilmemiz mümkün değildir. Bu tansiyonunu dahi ölçmeden bir kalp hastasını ameliyat etmek gibidir.

Metan geliri ve drenaj özelliklerini etkileyen en önemli etmenlerden diğeri kömür ve yan kayacın gaz geçirgenliğidir. Tektonik yapı da bu açıdan son derece önemlidir. Bütün bu ayrıntılar yerinde yapılacak tetkik ve deneylerle belirlendikten sonra bilgisayarda sayısal gaz akış modelleri oluşturulmalıdır. Bu sayede metan geliri optimizasyonu yapılabilir.

Ülkemizdeki en önemli linyit havzası olan Soma'da yeni çalışma bölgelerinde, derinliğin artmasına bağlı olarak kömürün yüksek miktarlarda metan içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Burada hata yapılması asla kabul edilemez. Gerekli olan tüm araştırmalar yapılmadan ve metan drenajı gerçekleştirilmeden burada kesinlikle üretime başlanmamalıdır. Kömür damarının kalın olması ve havzada günümüze kadar metansız ortamlarda çalışılması nedeniyle tecrübe eksikliği nedenleriyle metan drenajı yapılmadan üretim yapılması yeni bir faciaya sebep olabilir.

Grizü facialarının önlenmesi için alınması gerekli olan önlemler özet olarak verilecek olursa:

1. Genel yeraltı kömür ocağı kuralları zaten her koşulda harfiyen uygulanacaktır. Ocak içerisinde mutlaka alevsizedirmez özellikte ekipman kullanılmalıdır. Metan geliri olan taş baca ve özellikle kömür bacalarda özel tip antigrizü özellikte patlayıcı kullanılmadadır.
2. Ocak havalandırması mutlaka kurallara uygun olarak mümkünse bilgisayarlı ağ analizi kullanılarak yapılmalıdır. Her kritik noktada otomatik ölçüm cihazları bulunmalı ve bu ölçümler yer üstündeki bir kontrol istasyonundan devamlı olarak izlenmeli ve gerekli müdahaleler etkin olarak yapılabilmelidir.
3. Az miktarda dahi metan gelirinin olduğu tüm bacalarda belirli aralıklarda bindirmeli ayna kontrol sondajlarının açılması zorunlu olmalıdır.
4. Hazırlık ve üretim çalışmaları öncesinde ayrıntılı bir inceleme yapılarak kömür ve yan kayacın metan içerikleri lokasyonlara bağlı olarak belirlenmelidir. Metan

içeriğinin 10 m³/ton dan fazla olduğu kısımlarda metan drenajı projesinin hazırlanması zorunlu olmalı ve uygulama sırasında sürekli olarak kontrol edilmelidir. Bu ölçüm sonuçlarına göre hazırlık ve üretim çalışmaları sırasında sorun yaratacak düzeyde metan içeriğinin tespit edildiği bölgelerde mutlaka önceden metan drenajı yapılmalıdır. Bu çalışmaların yapılabilmesi için firmalara destek sağlanmalı ve bazı teşvikler uygulanmalıdır.

Maden kazalarının ve özellikle grizü facialarının önlenmesi için kısa ve orta vadeli planlar ortaya konmalıdır. Kısa vadede ilk olarak uzman kişilerden oluşturulan 2 kişilik ekiplerin dünyada benzer sorunların yaşandığı ve özellikle metan drenajının uygulandığı yerlere yaklaşık on günlük süreler ile görevlendirilmeleri uygun olacaktır. Bu 2 kişilik ekiplere ne yapacakları, hangi verileri toplayacakları, ne formatta bir rapor hazırlayacakları ve döndüklerinde nasıl bir sunum yapmaları gerektiği konusunu kapsayan bir şablon çalışma planı verilmelidir. Yaklaşık 8-10 ekip farklı ülke ve madenlerde çalışma yaptıktan sonra geniş katılımlı bir atölye çalışması yapılmalıdır. Bu toplantıda ekiplerin rapor ve izlenimlerini paylaşmaları sağlanmalıdır. Daha sonra yerel koşullara uygun olan dünya uygulamaları belirlenmelidir. Gerekirse profesyonel firmalardan da danışmanlık alarak konu ile ilgili bir yol haritası oluşturulmalıdır.

Taşeron kullanımı ile kazaların artması arasında bir ilişki vardır. Ancak bu sorunun çözümünü özel sektör ve devlet sektörü ayrımı yapmadan ortaya koymak gerekir düşüncesindeyim. İzleme ve kontrol mekanizmaları öyle oluşturulmalıdır ki, özel sektörün de işi kesinlikle kuralları çerçevesinde yürütmesi garanti altına alınmalıdır. Bu da devletin görevidir.

Sonuç olarak, maden proje ve uygulamalarının **madencilik bilim ve teknolojisine** uygun olarak yapılmasının sağlanması hem güvenlik hem de işletme ekonomisinin sağlanması açısından nihai çözüm olacaktır.

KAYNAKLAR

Ammonite Resources, 1991, Economics and Financing of Coalbed Methane Ventures, New Haven, CT.

Baker, E. C., Garcia, F., and Cervik, J., 1988, Cost Comparison of Gob Hole and Cross-Measure Borehole Systems to Control Methane in Gobs," Report of Investigations 9151, Bureau of Mines, U.S. Department of Interior, 23 pp.

Bibler, C. and Carothers, P., 2001, Overview of Coal Mine Gas Use Technologies, <http://www.ravenridge.com/Utilization.PDF>

Dallegge, T. and Barker, C., 1999, Coalbed 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.

Diamond, P. W. and Schatzel, S.J., 1998, Measuring the Gas Content of Coal: A Review. International Journal of Coal Geology, 35: 311-331.

ECEES No:31, 2010, Economic Commission for Europe Energy Series No.31, Best Practice Guidance for Effective Methane Drainage and Use in Coal Mines, http://www.unece.org/energy/se/pdfs/cmm/pub/BestPractGuide_MethDrain_es31.pdf

EPA, 1999^a, EPA 430-R-99-013, September 1999, U.S. Methane Emissions 1990 – 2020: Inventories, Projections, and Opportunities for Reductions, <http://www.epa.gov/methane/reports/methaneintro.pdf>

EPA, 1999^b, Guidebook on Coalbed Methane Drainage for Underground Coal Mines, <http://www.epa.gov/cmop/docs/red001.pdf>

Fraser, K., Peden, J., and Kenworthy, A., 1991, Managing Drilling Operations, Elsevier Science Publishers LTD, England, pp. 246

Kissell F. N., McCulloch, C. M. and Elder, C. H., 1973, The Direct Method of Determining Methane Content of Coalbeds for Ventilation Design, Pittsburgh Mining and Safety Research Center, US Department of Int. Library, TN23.U7 no. 7767 622.06173

Kissell F. N. 2006 Handbook for Methane Control in Mining, National Institute for Occupational Safety and Health 81 p.

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.

Goodman G.V.R., Karacan C.Ö., Schatzel S.J., Krog R.B., Taylor C.D. and Thimons E.D., 2002, NIOSH Research for Monitoring and Controlling Methane at U.S. Underground Coal Mining Operations, Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh

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

Huang, 2007, Progress and Project Opportunities of the CMM Development and Utilization in China, Huang Shengchu, presented at the Methane to Markets Partnership Expo, Beijing, China, October 30 - November 1, 2007

Hunt, A. M., and Steele, 1991, Coalbed Methane Technology Development in the Appalachian Basin, Report by Dames & Moore to the Gas Research Institute, Contract No. 5089-214-1783, January.

ICF Resources, 1989, The Coalbed Methane Resource and the Mechanisms of Gas Production, Report to the Gas Research Institute, Contract No. 5984-214-1066, November.

ICF Resources, 1990b, A Technical and Economic Assessment of Methane Recovery from Coal Seams," Report by ICF Resources to the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, September.

Jessen K, Tang Q. G. ve Kovscek R. A., 2007, Laboratory and Simulation Investigation of Enhanced Coalbed Methane Recovery by Gas Injection, Transp Porous Med (2008) 73:141–159

Kim, J., and Mutmansky, J. M., 1990, Cooperative Analysis of Ventilation Systems for a Large-Scale Longwall Mining Operation in Coal Seams with High Methane Content, Mineral Resource Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 99-117.

Kirchgessner D.A., Masemore S. S. ve Piccot D. S., 2002, Engineering and economic evaluation of gas recovery and utilization Technologies at selected US mines, Environmental Science and Policy, Volume 5, Number 5, October 2002 , pp. 397-409

Kline, R. J., Mokwa, L. P., and Blankenship, P. W., 1987, Island Creek Corporation's Experience with Methane Degasification," Proceedings of the 1987 Coalbed Methane Symposium, University of Alabama, Tuscaloosa, AL, pp. 279-284.

Kuuskraa, V. A., and Boyer, C. M., 1993, Economic and Parametric Analysis of Coalbed Methane," Hydrocarbons from Coal, AAPG Studies in Geology #38, Law, B. E., and Rice, D. D., eds., American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, pp. 373-394

Lambert, S. W., 1989, Comparison of Open Hole, Slotting and Perforating Completion Methods for Multiseam Coalbed Gas Wells, Proceedings of the 1989 Coalbed Methane Symposium, University of Alabama, Tuscaloosa, AL, pp. 253-164.

Logan, T. L., Clark, W. G., and McBane, R. A., 1987, Comparing Different Coalbed Methane Completion Techniques, Hydraulic Fracture and Openhole Cavity at the Northeast Blanco Unit, San Juan Basin," Proceedings of the 1987 Coalbed Methane Symposium, University of Alabama, Tuscaloosa, AL, pp. 265-272.

Methane to Markets Partnership, 2007, Coal Mine Projects in Mexico, Methane to Markets Partnership Expo: A Forum for Projects, Technology, Financing and Policy — Project Opportunity Posters and Flyers, Methane to Markets Partnership, October 30 to November 1, 2007, <http://www.methanetomarkets.org/events/2007/all/expoprojects.htm>

Methane to Markets Projects, 2008, Methane to Markets International Coal Mine Methane Projects Database, Methane to Markets, accessed August 2008, <http://www2.ergweb.com/cmm/index.aspx>

Methane to Markets-UK, 2005, Methane to Markets - UK Profile, Methane to Markets Partnership, 2005, http://www.methanetomarkets.org/events/2005/coal/docs/uk_profile.pdf

McPherson, M., 2004, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapter 12 Methane

Mutmansky and Wang, 1998, Patterns of Methane Emission and Their Effects on Mining Costs in Underground Mining Operations," Preprint 98-179, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 6 pp.

Niederhofer, J. D., and Lambert, S. W., 1987, Lease Operating Expenses for Multiple-Zone Completion Wells, Black Warrior Basin, Alabama,” Proceedings of the 1987 Coalbed Methane Symposium, University of Alabama, Tuscaloosa, AL, pp. 165-174.

Noack K., 1997, Control of gas emissions in underground coal mines, International Journal of Coal Geology 35_1998.57–82

Ökten G. ve Didari V., 1989, Taşkömürün İçerdiği Gaz Miktarının Ölçülmesinde Uygulanan Yöntemler, Madencilik, Mart 1989, Cilt XXVIII Sayı 1

Petzet, G. A., 1997, Powder River Coalbed Methane Output Growing Fast, Oil & Gas Journal, Vol. 95, No. 10, March 10, pp. 79-80.

Rogers, R. E., 1994, Economics of Coalbed Methane Recovery, Coalbed Methane Principles and Practice, Lake, L. W., ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 314-337.

Spears ve Associates, 1991, Market Study of Future Coalbed Methane Activity, Summary to Producers by Spears and Associates, Tulsa, OK, January 10.

Shinji T., Bingrui L. ve Hirofumi F., 2009, Journal of Coal Science & Engineering, June 20, Vol.15 No.2 pp 215–219

USEPA, 1990, Methane Emissions from Coal Mining: Issues and Opportunities for Reduction, Office of Air and Radiation, Report 9ANR-445, Washington, DC.

USEPA, 1993, Opportunities to Reduce Anthropogenic Methane Emissions in the United States, Report to Congress, Office of Air and Radiation, Report EPA430-R-93-012, October.

Utaki T, 2009, Development of coal mine methane concentration technology for reduction of green gas emissions, Volume 15, Number 2 / June, 2009 pp 215-219

Wills, C., 1995, Drilled Core Holes Key to Coalbed Methane Project, Oil & Gas Journal, Vol. 93, No. 10, March 6, pp. 73-75.

Yalçın, E. ve Durucan, Ş. 1992, Zonguldak Kömürlerinin Açığa Çıkabilen Metan İçerikleri, Türkiye 4. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını

Young L. A., 2005, Coalbed Methane: A new source of energy and environmental challenges, Volume 12, Number 6 / November, 2005, pp. 318-321

Zuber, M. D., Kuuskraa, V. A., and Sawyer, W. K., 1990, Optimizing Well Spacing and Hydraulic- Fracture Design for Economic Recovery of Coalbed Methane,” SPE Reprint No. 35, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX, pp. 223-227.