

# Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı



**Mert DURŞEN<sup>a</sup> ; Burak YASUN<sup>b</sup>**

*<sup>a</sup> : İSG Uzm. Yrd. Maden Mühendisi*

*<sup>b</sup> : İSG Uzm. Maden Yüksek Mühendisi*

İSGÜM,  
ANKARA,2012

# İçerik

<b>A.Giriş.....</b>	<b>3</b>
<b>B.Boğucu gazlar.....</b>	<b>4</b>
<b>B.1. Karbondioksit(CO<sub>2</sub>).....</b>	<b>5</b>
<b>B.2. Azot(N<sub>2</sub>).....</b>	<b>6</b>
<b>C.Zehirli Gazlar.....</b>	<b>6</b>
<b>C.1. Karbonmonoksit(CO).....</b>	<b>6</b>
<b>C.2. Hidrojen sülfür(H<sub>2</sub>S).....</b>	<b>8</b>
<b>C.3.Kükürt dioksit.....</b>	<b>8</b>
<b>C.4.Azot Oksitler.....</b>	<b>9</b>
<b>D.Patlayıcı Gazlar.....</b>	<b>10</b>
<b>D.1.Metan.....</b>	<b>10</b>
<b>D.2. Metan Drenajı.....</b>	<b>13</b>
<b>D.3. Metan Drenajının Maliyet-Ekonomik     Değerlendirmesi.....</b>	<b>16</b>
<b>D.4. Metan Drenajının Avantajları.....</b>	<b>18</b>
<b>E.Sonuç.....</b>	<b>19</b>
<b>F.Kaynaklar.....</b>	<b>20</b>

## A.Giriş

Maden havası, yer altındaki çalışma alanlarını dolduran, su buharı ve gazların karışımından oluşan neredeyse her zaman tozlu olan bir havadır.Yeraltındaki havanın olumsuz yönde değişimi, genelde oksijen miktarının azalması ve karbondioksit ve diğer gazların artması olarak görülür. Bu değişim, maden havasını kirleterek ortamda yanıcı, boğucu ve zehirli gazların birikmesine yol açar. Yanıcı gazlara, metan ( $CH_4$ ), karbonmonoksit (CO) ve hidrojen ( $H_2$ )örnek verilebilirken ; boğucu gazlara karbondioksit ( $CO_2$ ), nitrojen ( $N_2$ ) ve metan ( $CH_4$ ) örnek verilebilir. Zehirli gazlar ise karbonmonoksit (CO), azotun(N) tüm oksitleri, hidrojen sülfür ( $H_2S$ ), kükürtdioksit( $SO_2$ ) vb. gazlardan oluşmaktadır.

Maden havasının kirlenmesinin derecesi;

- Cevherin veya kömürün içerdiği gaz miktarına,
- Cevherin veya kömürün oksijen ile birleşme eğilimine,
- Çalışma alanının boyutlarına,
- Uygulanan maden yöntemine,
- Çalışma alanına gelen havanın miktarına,
- Makineleşme derecesine ve kullanılan makinelerin türüne

bağlıdır.

Madenden dışarı çıkan gaz yorgun, kullanılmış hava olarak adlandırılır. Maden havasında bulunan herhangi zehirli veya patlamaya hazır gaz “aktif gaz” olarak adlandırılır.

Havanın tehlikeli gazlarla karışması( metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür vb.) grizu, kör nefes gibi gazların oluşmasına neden olur. Bunlar çalışan sağlığı ve işletmeler için son derece tehlikeli gazlardır.

$CH_4$  + Hava → Çabuk tutuşabilen metan bataklık gazı olarak da bilinir. Patlayıcı ve boğucu son derece tehlikeli grizu gazı oluşur.

CO + Hava → Hafif ve son derece zehirli bir gaz olan karbonmonoksitin patlayıcı özelliği de vardır.Daha çok kömür madenlerinde görülür.

$H_2S + \text{Hava} \rightarrow$  Kükürtlü hidrojen veya hidrojen sülfür son derece zehirli bir gazdır. Çürümüş yumurtaya benzeyen sert bir kokusu vardır. Tehlikeli miktarlarda nadiren görülen hidrojen sülfürün patlayıcı özelliği de vardır.

$CO + CH_4 + CO_2 + H_2 + N_2 \rightarrow$  Zehirli , boğucu ve patlayıcı ortam oluşturur. Grizu patlamasından sonra ortaya çıkan zehirli gazlar olarak bilinir.

$CO_2 + N_2 \rightarrow$  kör nefes veya kör soluk olarak bilinir. Boğucu bir gazdır ve madende %100 emisyonu mümkündür.

## B.Boğucu gazlar

Boğulma direkt olarak havanın içindeki oksijen miktarı ile alakalıdır. Oksijen havanın ana bileşenlerinden bir tanesidir.

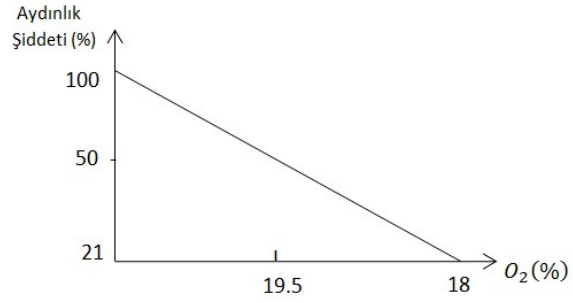
Hayatın sürdürülebilirliği için gerekli olan oksijen normal sıcaklıkta kokusuz, renksiz ve tatsızdır. Olağan yanma içinde oksijene ihtiyaç vardır.Oksijen eksikliği veya oksijen miktarındaki azalma nefes almada zorluklar yaratır. Oksijen eksikliği madenlerde, kömürün veya madenin oksitlenmesinden , kerestenin çürümesinden , diğer gazların ortama eklenmesinden, yangınlardan, patlamalardan ve patlatmalardan ve nefes almadan kaynaklanır.

**Tablo 1: Oksijen miktarının insan sağlığına etkisi<sup>1</sup>**

$O_2(\%)$	Etki
21	Normal nefes alma
19	Neredeyse normal nefes alma( Lamba parlaklığının %30 u azalır)
17	Nefes almada hızlanma ve zorlanma
15	Baş dönmesi, sersemleme, bulanık görme
9	Baygınlık veya bilinç kaybı
6	Nefes almada yavaşlama ve durma,ardından kalpte durma
0	Çırpınma, kasılma ve kısa sürede ölüm

Bu tablodan anlaşılacağı gibi oksijen miktarı yer altı madenlerinde yollarda ve çalışma alanlarında %19'dan az olmamalıdır. Oksijeni ölçmek için emniyet lambası kullanılır. Lambanın aydınlık şiddeti havadaki oksijen miktarı ile orantılıdır. %17-%18  $O_2$  altında

lamba söner.  $O_2$  miktarındaki her % 0.1 azalma, ışık şiddetinin %3.5 azalmasına neden olur.



**Şekil 1:** Emniyet lambası ile Oksijen ölçümü

### B.1.Karbondioksit( $CO_2$ )

Karbondioksit, renksiz ve kokusuz bir gazdır fakat asidimsi bir tadı vardır. Havadan ağırdır( $1.52g/cm^3$ ). Yanıcı bir gaz değildir. Yanma reaksiyonuna katkıda bulunmaz. Nefes alışverişinden ve karbon içeren herhangi bir maddenin(ağaç,kömür,petrol vb.) yanmasından oluşur. Ağabın çürümesi, patlamalar ve yangınlar karbondioksitin ana kaynaklarıdır.

**Tablo 2 : Karbondioksit miktarının insan sağlığına etkisi<sup>1</sup>**

Karbondioksit (%)	Atmosfer havası(%)	İnsanlar Üzerindeki Etkisi
1	99	Hissedilir bir etkisi yoktur
3	97	Nefes almak hafiften daha zorlaşır
5-6	95-94	Sık ve zorlu soluk alma ve başağrısı
10	90	Şiddetli acı
15	85	Narkotik etki yüzünden kısmi bilinç kaybı
18	82	Boğulma ve ölüm
25	75	Kısa sürede ölüm

### Karbondioksitin Tespiti

Karbondioksit emniyet lambasındaki parlaklığa göre tespit edilebilir. Donuk ve duman rengi ışık, ortamda en az %2 karbondioksit olduğunu gösterir. %1'i geçen yerlerde de insanlar çalıştırılmamalıdır.

Karbondioksit tespitinde; güvenilir testlerden biri de havayı kireçli su içinden geçirmektir. Sıvı yoğunlaşarak süt - tebeşir tozu rengini alır. Diğer bir tespit yöntemi de kimyasal analizlerdir.

Ülkemizde ve diğer ülkelerde oksijen ve karbondioksit için uygulanan standartlar aşağıdaki tablodaki gibidir.

**Tablo 3:** Uygulanan Karbondioksit ve oksijen standartları<sup>1</sup>

	<b>Kabul edilebilir en düşük <math>O_2</math>(%)</b>	<b>En fazla izin verilebilen <math>CO_2</math>(%)</b>
<b>Türkiye</b>	19.0	0.5
<b>Amerika</b>	19.5	0.5
<b>Rusya</b>	20	0.5

## **B.2.Azot( $N_2$ )**

Azot atmosferin yaklaşık %80'nini oluşturan gazdır. Renksiz, kokusuz, tatsızdır ve suda çözünmez. Patlayıcı ve zehirli bir gaz değildir. Yanma reaksiyonuna ve nefes alışverişine herhangi bir katkısı ya da zararı yoktur.

Havadaki azotun önemi onun oksijeni seyreltmesidir. Eğer atmosferde saf oksijen varsa , yangınlar kontrol edilemez olur. Bu yüzden azot ekleyerek oksijeni seyreltmek ve oksijen miktarını azaltmak boğulmaya neden olabilir.

Ana kaynakları; organik maddelerin çürümesi , kaya veya kömür çatlaklarından yayılma ve patlatmalardır. Patlatmalarda 1 kg nitro-gliserin, 135 litre azot(  $N_2$ ) açığa çıkarır.

## **C.Zehirli Gazlar**

### **C.1.Karbonmonoksit(CO)**

Son derece zehirli bir gaz olan karbonmonoksit insan sağlığı açısından çok tehlikelidir. Havadan biraz daha hafiftir, özgül ağırlığı  $0.96(g/cm^3)$ 'dir. Renksiz, kokusuz ve tatsız bir

gazdır. Yanıcı bir gaz olan karbonmonoksit mavi alev çıkararak yanar fakat yanma reaksiyonunu başlatmaz ve sürdürmez. Bunun nedeni hiçbir zaman yangını başlatacak veya patlamaya sebep olacak kadar yeterli konsantrasyonda olmamasıdır.

Kanda bulunan hemoglobin havadaki oksijeni akciğerlere oradan da vücuttaki diğer dokulara taşır. Eğer havada karbonmonoksit mevcutsa hemoglobin oksijen yerine karbonmonoksit ile birleşir çünkü karbonmonoksitin hemoglobine bağlanma yeteneği oksijenden 200-300 kat fazladır. Böyleceoksi-hemoglobin yerine karboksi-hemoglobin oluşur ve bu yüzden dokulara kan taşıyan oksijen sayısı azalır. Ciğerler çok çabuk etkilendiği için nefes alma daha hızlı ve derin olur, nabız yükselir ve sonuç olarak karbonmonoksit normalden daha çabuk vücuda girer. Karbonmonoksit ile zehirlenmiş bir kişinin rengi pembeleşir. Karbonmonoksitin 8 saatlik çalışma süresi içinde geçmemesi gereken (esd) % 0.005(50 ppm) dir.

**Tablo 4 :Karbonmonoksit miktarının insan üzerindeki süreye bağlı etkisi<sup>1</sup>**

<b>Konsantrasyon(%)</b>	<b>İzin verilebilir maruziyet süresi</b>
0.01	Birkaç saat maruz kalınabilir
0.04-0.06	Farkedilmeden 1 saat normal nefes alınabilir
0.06-0.07	1 saatten sonra farkedilebilir etki gösterir
0.07-0.12	1 saatten sonra rahatsız eden fakat tehlikeli olmayan etki gösterir
0.12-0.20	1 saat maruziyet tehlikelidir
0.20-0.40	1 saatten az maruziyet tehlikelidir
≥0.40	1 saatten az sürede ölüme yol açar

**Tablo 5: Kan CO düzeyine göre klinik bulgular <sup>2</sup>**

<b>Kan CO düzeyi(%)*</b>	<b>Klinik Bulgular</b>
%10-20	Bulantı, yorgunluk, taşipne, duygusal dengesizlik,konfüzyon,sakarlık
%21-30	Baş ağrısı,efor dispnesi, angina, görme duyusunda değişiklikler, çevreye uyumda hafif yetersizlik, tehlikeye karşı tepki vermede zayıflık, hafif güç kaybı, duylarda zayıflama
%31-40	Baş dönmesi,sersemlik, bulantı, kusma, görme bozuklukları, karar almada yetersizlik
%41-50	Bayılma, bilinç değişiklikleri, unutkanlık, taşikardi, taşipne
%51-60	Nöbetler , koma, belirgin asidoz, ölüme sonuçlanabilir
%60 üzeri	ölüm

Karbonmonoksit zehirlenmesinde,kişiy e oksijen verilmeli ve mümkün olan en kısa sürede ciğerlere oksijen gitmesi sağlanmalıdır. Eğer oksijen vermek mümkün değilse kişinin temiz hava alması sağlanmalıdır. Eğer kişinin bilinci kapalıysa temiz hava veya oksijen verilene kadar suni tenefüs yapılmalıdır. Kişi sıcak tutulmalı ve uyarıcı verilmelidir ve kişi gözetim altında tutulmalıdır

Karbonmonoksit tespit teknikleri; laboratuarda kimyasal analizler, renk ölçüm detektörü, termal ve dijital detektörlerdir.Ayrıca karbonmonoksitin tespitinde diğer pratik yol; ketenkuşu, kanarya ya da fare gibi sıcak kanlı hayvanları kullanmaktır. Bu hayvanlar insanlardan daha çabuk etkilendikleri için tehlikeli atmosferden uzaklaşmak için erken uyarı verebilirler.

### **C.2.Hidrojen sülfür ( $H_2S$ )**

Son derece zehirli olan hidrojen sülfür; renksiz bir gazdır. Koku duyusuna zarar verir.Çürümüş yumurtaya benzer bir kokusu vardır. Özgül ağırlığı  $1.19(g/cm^3)$ ' dur ve %4-%44.5 konsantrasyon arasında patlayıcı bir gazdır.

Hidrojen sülfür gazı, kara barutun yanması sonucu, sülfürlü cevherlerin patlatılması sonucu ve su basmış yerlerin suyunu alma işlemi sırasında açığa çıkar.

**Tablo 6: Hidrojen sülfür miktarının insan sağlığına etkisi<sup>1</sup>**

Konsantrasyon(ppm)	Etki
50-150	Belirgin göz tahrişi, boğazda tahriş
150-400	Belirgin göz tahrişi ve solunumda zorlanma
400-900	Bilinçsizlik ve baygınlık
900-2000 veya $\geq 2000$	Şiddetli zehirlenme , 1 dakikadan kısa sürede ölüm

### **C.3. Kükürt dioksit( $H_2S$ )**

Kükürt dioksitin sert kükürtsü bir kokusu vardır. Çok zehirlidir fakat yanıcı bir gaz değildir. Özgül ağırlığı  $2.26(g/cm^3)$ 'dır. Yanmış demir piriti ve kükürtlü cevherlerin patlatılması ana kaynaklarıdır. Gözü,burnu ve boğazı tahriş eder. Tenefüs edilen havadaki yoğun miktarda kükürt dioksit akciğerlere zarar verir.



**Tablo 7:Kükürt dioksit miktarının insan sağlığına etkisi<sup>1</sup>**

Konsantrasyon(ppm)	Etki
20	Öksürme;gözde,burunda ve boğazda tahriş
150	Belki 1 dakika dayanılabilir
400	Nefes almak imkansızdır

#### **C.4.Azot Oksitler**

Nitrik oksit(NO), azot dioksit( $NO_2$ ), azot trioksit( $NO_3$ ), azot tetraoksit( $N_2O_4$ ) ve nitroz oksit( $N_2O$ ) azot oksitlerdir. Azot patlamalarında ve dizel motorların egzoz çıkışlarında görülürler. 30 dakikadan fazla %0.1 nitroz dumanı içeren havaya maruz kalmak tehlikelidir. 8 saatlikçalışma süresi içerisinde geçmemesi gereken konsantrasyonu 25 ppm'dir. Azot oksitler, patlatmalardan sonra barut tozu kokusu ile anlaşılabilir.

**Tablo 8: Nitrik oksit miktarının insan sağlığına etkisi<sup>1</sup>**

Konsantrasyon(ppm)*	Etki
25	Uzun süre maruziyet için en fazla izin verilebilen konsantrasyondur
25-60	Kısa sürede boğaz tahrişi
60-100	Öksürük
100-200	Kısa süreli maruziyet için bile tehlikelidir
≥200	Kısa sürede ölüm

\*Bu konsantrasyon değerleri azot dioksit( $NO_2$ ) için 5 ile bölünmelidir.

Azot dioksit, havanın içinde bulunan nem ile birleşerek nitrat asidine dönüşür ve bu asidin de canlıların sağlığı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Azot oksit emisyonları atmosferde nitrik asit ( $HNO_3$ ) oluştururlar ve bu gazlara, çok az miktarda teneffüs etmek ölüme sebep olabilir.Azot dioksit( $NO_2$ ) için eşik sınır değeri (esd) 5 ppm'dir.

Aşağıdaki tablo yeraltında bulunan zehirli gazlar ve bu gazların eşik değeri ve patlama limitlerini göstermektedir.

**Tablo 9:** Başlıca zararlı gazlar <sup>1</sup>

Gazlar	Formül	Eşik Sınır Değerleri(esd)(ppm)	Patlama Limitleri(%)
Karbon monoksit	CO	50	12.5-74
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	5000	Yanıcı olmayan madde
Nitrik oksit	NO	25	-
Azot dioksit	NO <sub>2</sub>	5	-
Metan	CH <sub>4</sub>	-	5.0-15.0
Hidrojen sülfür	H <sub>2</sub> S	10	4.0-44.0
Kükürt dioksit	SO <sub>2</sub>	5	Yanıcı olmayan madde
Hidrojen	H <sub>2</sub>	-	4.0-75.0

## D.Patlayıcı Gazlar

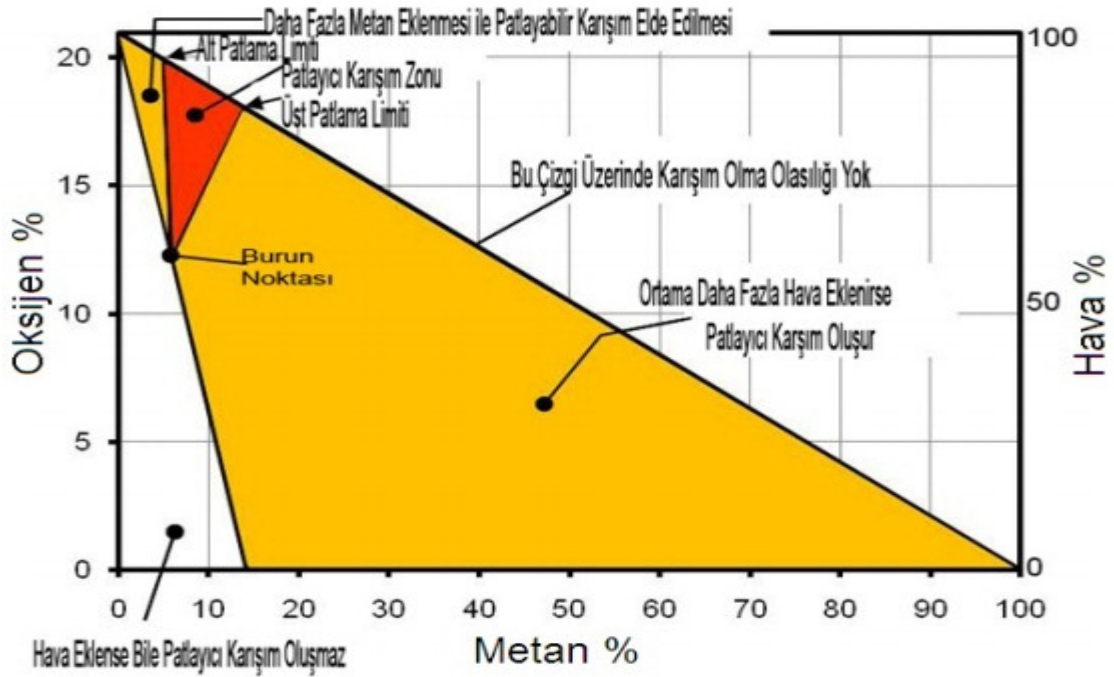
### D.1.Metan

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

**Tablo 10: Türkiye'de 1983 yılından sonra yaşanan grizu patlamaları ve bu patlamalarda ölen kişi sayısı<sup>3</sup>**

Tarih	İş kazasının olduğu maden	Ölü Sayısı
1983	Zonguldak-Armutçuk	103
	Zonguldak-Kozlu	10
1990	Amasya-Yeniçeltik	68
	Bartın-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
	<b>18 Yılda TOPLAM</b>	<b>619</b>

Metan renksiz, kokusuz patlayıcı bir gazdır. Özgül ağırlığı  $0.55 (g/cm^3)$ 'dir. Aslında zehirli olmayan metan, eğer maden havasında oksijen oranını %12' nin altına düşürecek kadar mevcut ise boğucu özellik göstermektedir. Metan patlaması, maden havasında % 4 – 15 metan bulunduğu durumlarda gerçekleşebilir; en güçlü patlama ortam havasında %9,5 metan oluşumu ile meydana gelir. Metanın yanma ısısı, ısı kaynağına bağlı olarak 650-750 °C arasında değişmekte, patlamadan sonra çevrede ısı 1800-2500 °C'ye çıkmaktadır. Patlamadan sonra ortamın basıncı 9 kat artış göstermektedir. Yanan 1 kg  $CH_4$ , 13300 Kcal ısı açığa çıkarmaktadır ki bu oran 1 kg barutta 580 Kcal'dir.<sup>4</sup>



**Şekil 2:** Havada bulunan metan ve oksijenin hacimsel olarak yüzdeleri ile patlama riski oluşturmasının Coward üçgeni üzerinde gösterilmesi<sup>5</sup>

Şekilde farklı  $CH_4$  ve  $O_2$  oranlarına sahip grizunun oluşturacağı riskler Coward üçgeni üzerinde açıklanmaktadır. Grizu patlamasının olabilmesi için metan gazı ( $CH_4$ ), oksijen ( $O_2$ ) ve karışımın patlamasına neden olan ateşleme kaynağı olmak üzere üç etkenin bir araya gelmesi gerekir.  $O_2$  miktarı havada %12-20 arasındaysa, metan miktarı %7-15 arasındaysa patlama gerçekleşebilir.  $O_2$  %12'den az ise metan miktarı %15'den fazla ise patlama gerçekleşmez.

Metan, kapalı ocak maden işletmelerinde üç şekilde maden havasına karışabilir;

- Metan emisyonu
- Metan üflenmesi
- Ani metan çıkışı

Metan; kısa aynalarda, dar alanlarda, jeolojik olarak kalınlığı sabit olmayan alanlarda, kömür madeninin kuru alanlarında ve toz çıkışı sırasında görülür. Ayrıca kömür aynasından, makine tarafından kırılan kömürden ve konveyörde taşınan kömürden de

metan çıkışı gözlemlenebilir. Metan patlaması yeterli miktarda oksijenin (%12' den yüksek), patlayıcı gazın  $CH_4$ (%5–15) bir araya gelmesi ve bir tutuşturucu kaynak ile teması sonucunda gerçekleşir. Tutuşma kaynakları açık ateş, fazla ısınan yüzeyler, sürtünme veya elektrik ile oluşan kıvılcımlar ve patlayıcılar olabilir. Patlama sırasında sıcaklık dar alanlarda 2150-2650 °C'ye, geniş yerlerde ise 1850 °C 'ye ulaşabilir. Patlama sonrasında basınçlı hava dalgası ve alev dalgası oluşur, alev dalgası ikincil ve üçüncül patlamalara neden olabilir. Metan patladıktan sonra patlama noktasında yüksek bir basınç kuvveti ile "ileri şok" olarak adlandırılan hava dalgası oluşturur. Patlama noktasındaki gazların soğuması ve su buharının yoğunlaşması neticesinde düşen basınç etkisi ile "ters şok" isimli ikincil bir etki oluşur. İleri şoktan daha düşük kuvvetli olmasına rağmen ters şok daha fazla yıkıcı etkiye sahiptir.

Metan tespiti için kullanılan detektörler:

- Otomatik detektörler( alarmlar)
- Ring Rose alarmı
- Metan ölçerler
- Dijital metan ölçerler
- Alevli güvenlik lambasıdır.

Yeraltında açığa çıkan metanı, drenaj yapılmadığı durumlarda, tam olarak kontrol edebilmek mümkün değildir. Bu nedenle, yeraltında kullanılan tüm ekipmanların grizuya karşı güvenli olması gereklidir. Buna rağmen çalışma esnasında kıvılcım oluşumunu tam olarak önlemek mümkün olmayabilir. Bu nedenle, grizu patlamalarının önlenmesinin en etkin yolu çalışma öncesi ve sırasında drenaj yapılmasıdır.

## **D.2.Metan Drenajı**

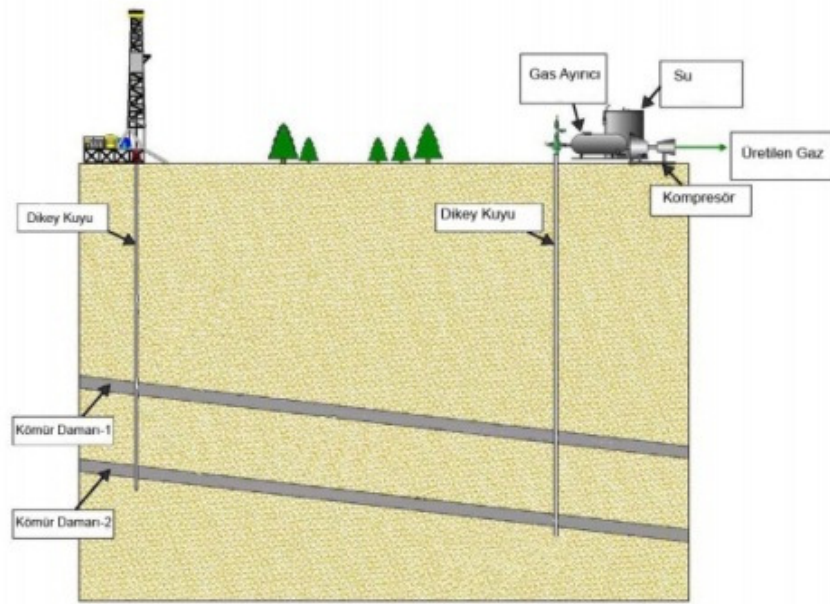
Metan drenajı, kömür ocaklarında damar ve tabakalardan ocak atmosferi içine nüfuz eden grizunun işyerlerine ulaşmadan bertaraf edilmesinde uygulanan bir işlemdir.

Metan drenajı ilk olarak İngilterede uygulanmıştır ve daha sonra tüm dünyaya yayılarak hem güvenlik hem de ekonomik yararlar sağlanması amacıyla uygulanır hale gelmiştir.

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. Kömür metan içeriğinin yaklaşık  $10m^3/ton$ 'dan fazla olduğu yerlerde üretim öncesi mutlaka metan drenajı yapılması önerilmektedir. Üretim sırasında gerçekleştirilen metan drenajı uygulamasında ise % 30 – % 60 arasında bir oranda metan gazı emilimi sağlanabilmektedir.<sup>2</sup>

Üretim faaliyeti başlamadan metan drenajı ile metan gazı doğrudan kömür damarına ulaşılan sondajlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu sayede kömürün metan içeriği azaltılarak hazırlık ve üretim çalışmaları sırasında ocak havasında metanın risk yaratma potansiyeli azaltılmış olur. Metan drenajı üretim faaliyeti başlamadan 2-7 yıl önce yapılmalıdır.

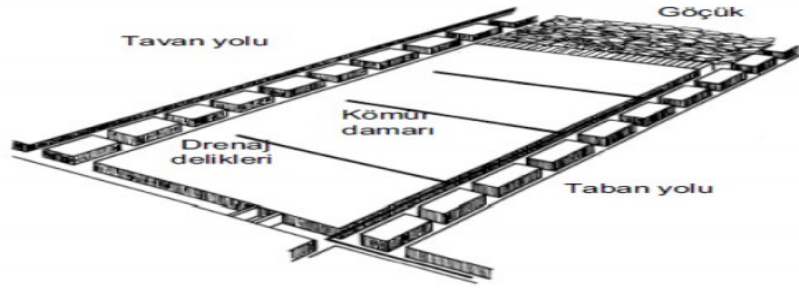


**Şekil 3:** Üretim öncesi metan drenajı<sup>6</sup>

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

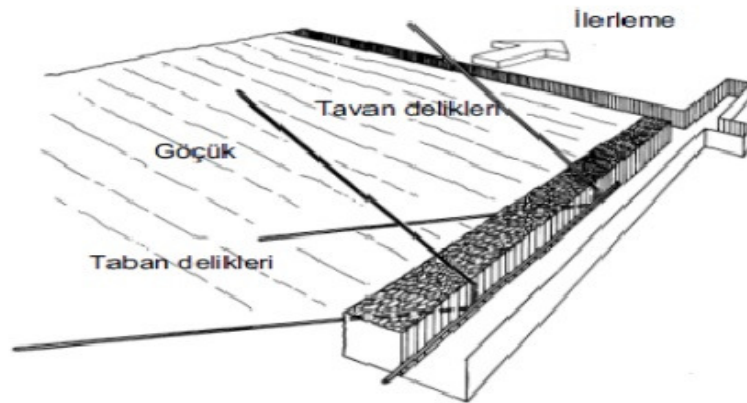
- Yatay sondaj delikleri ile drenaj : Taban ve tavan deliklerinden metanın emilmesi ve emilen metanın uygun teçhizatlar ile yeraltında depolanıp yer üstüne iletilmesi sağlanır. Bu yöntem panodan üretim yapılmadan önce başlanmalı ve üretim sırasında devam edilmelidir. Böylece iş sağlığı ve güvenliği yönünden metan hususunda gerekli önlemlerin alınması sağlanır. 300 metrelik delikler kısa delik olarak kabul edilir ve metan emilimi

yaklaşık %20' dir. 1200 metrelik uzun deliklerden ise metan emilimi yaklaşık %40 kadardır.



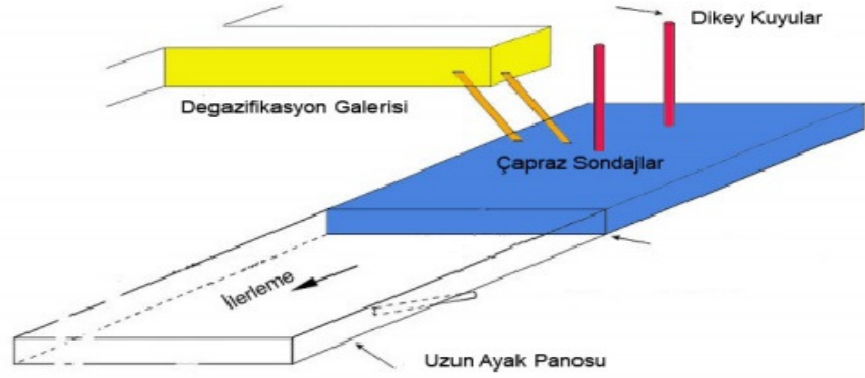
**Şekil 4:** Yatay sondaj delikleri ile drenaj<sup>6</sup>

Çapraz sondaj delikleri ile drenaj : Özellikle tavan ve tabandan da metan gelirinin olduğu durumlarda maden açıklıklarından açılı olarak, çapraz şekilde delinen sondaj deliklerinden de metan drenajı yapılmaktadır.



**Şekil 5:**Tavan ve tabana açılan çapraz deliklerle drenaj<sup>6</sup>

- Göçükten metan drenajı: Yeraltı kömür madeninde göçüğe bırakılan kısımda da metan oluşumu gözlenmektedir. Yeryüzünden göçüğe bırakılan alanın üstüne dikey sondajlar açılarak veya bir degazifikasyon galerisinden göçüğe bırakılan alana dik veya açılı sondajlar gerçekleştirilerek göçüğe terk edilmiş alandaki metanın emilimi sağlanır. Yerüstünden sondajlar ile göçükten metan emilimi sırasında elde edilen gazın metan içeriği %30 - %70 arasında olmaktadır.



**Şekil 6:**Göçükten metan drenajı yöntemi<sup>6</sup>

Drenaj sistemlerinin performansı ve elde edilen gaz içerisindeki metan oranı; sondajların lokasyonuna, kömür damarının gaz içeriğine, üretim yöntemine, kömür damarısayısına, kömür damarının kalınlığına ve gaz üretim süresine bağlı olarak değişmektedir.

**Tablo11 :**Drenaj yöntemlerinin karşılaştırılması<sup>7</sup>

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

### D.3. Metan Drenajının Maliyet-Ekonomik Değerlendirmesi

ABD Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü(NIOSH) tarafından yapılan araştırmada; Oda-topuk sisteminde gerçekleştirilen metan drenajı, 19m<sup>3</sup>/ton metan geliri sağlanabildiği zaman ekonomik olarak değerlendirilmektedir. Uzun ayak yönteminde kömür üretilen



yeraltı kömür madenlerinde ise metan drenajının ekonomikliği 12 m<sup>3</sup>/ton metan geliri olduğu zaman oluşmaktadır.<sup>7</sup>

Metan drenajı ile ilgili maliyetler her ülkeye göre farklılık gösterebilmektedir. Bununla beraber Amerikada 3 sahada (San Juan Basın, Black Warrior Basın, Central Appalachian Basın) uygulanan metan drenaj uygulamaları bize bu konu hakkında fikir verebilir. Çizelge 1 ve 2’de yer alan bilgiler metan drenajı için yapılan 6000’den fazla sondaj uygulamalarından elde edilmektedir.

**Tablo 12:** ABD’de metan drenajı ile ilgili maliyetler<sup>8</sup>

Drenaj Yöntemi		Harcama Kalemleri	Maliyetler (ABD Doları)
Dikey Sondaj	İlk Yatırım Maliyeti	Jeolojik ve Jeofizik Çalışmaları	20.000-30.000
		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
		<b>Toplam</b>	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
		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
		<b>Toplam</b>	307.900-535.000
	İşletme Maliyeti	20.000-40.000 \$/yıl	
Yatay Sondaj	İlk Yatırım Maliyeti	Metre Başına Maliyet	33-66 ABD\$/m
		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	

Yaklaşık 14 m<sup>3</sup>/ton metan geliri olan kömür madeninde (20 yıl süreyle) yeryüzünden dikey sondaj delikleri oluşturularak yapılan metan drenajı yöntemi ile \$11.000.000 tasarruf sağlandığı araştırmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak yatay sondaj

delikleriyle metan drenajı uygunırsa ek olarak \$3.000.000 daha tasarruf sağlanabilmektedir.<sup>9</sup>

**Tablo 13:**Göçükten metan drenajı için yer üstünden açılan sondaj deliklerinin maliyeti<sup>8</sup>

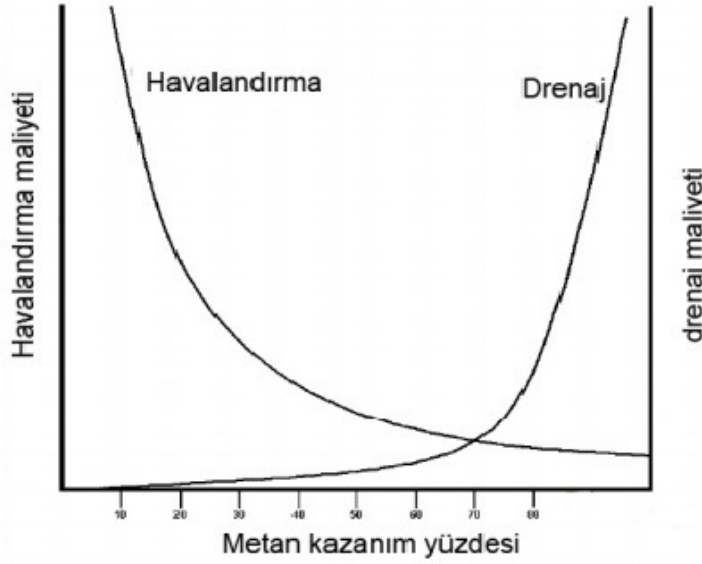
<b>Göçük Sondajı Başına İlk Yatırım Maliyetleri (ABD Doları)</b>			
<b>Saha adı</b>	<b>En küçük</b>	<b>Ortalama</b>	<b>En büyük</b>
<b>Göçük Sondajı<sup>a</sup></b>			
Central Appalachian	80.000	130.000	190.000
Northern Appalachian	60.000	110.000	170.000
İllinois	50.000	100.000	160.000
Warrior	90.000	140.000	200.000
Western	100.000	150.000	210.000
<b>Dikey Sondaj<sup>b</sup></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
<sup>a</sup> İlk Yatırım MaliyetiruhSAT, saha hazırlık, geliştirme çalışmaları, sondaj delgi işlemi ve tamamlama, kuyu teçhizatı ile ilgili tüm maliyetleri içermektedir.			
<sup>b</sup> İlk Yatırım Maliyeti ruhsat, saha hazırlık, geliştirme çalışmaları, sondaj delgi işlemi ve tamamlama, kuyu teçhizatı, su basıncıyla çatlak oluşturma ile ilgili tüm maliyetleri içermektedir.			

#### **D.4.Metan drenajının avantajları**

- Metan miktarı ile üretim arasında ters bir orantı mevcuttur.Ortamda yüksek metan oranı tespit edilirse üretime zorunlu olarak ara verilmek zorundadır ve üretimin sekteye uğraması sonucu ekonomik olarak kayıplar söz konusu olabilir.
- Üretim öncesi açığa çıkabilecek metanın yaklaşık %50 ila %90'ı emilerek uzaklaştırıldığı için yeraltı çalışması sırasında tehlike yaratacak boyutta metan gelirinin olması önleneyecektir.
- Metan geliri azaldığı için havalandırma maliyetleri azalacak ve metan nedeniyle çalışılmayan süre önemli ölçüde kısılacağı için işverimi artacak ve maliyetler düşecektir. Ayrıca toz oluşumu azalacak ve daha rahat bir çalışma ortamı oluşacaktır.
- Üretilen metandan ekonomik bir gelir sağlanacaktır. 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.

- Metan drenajının uygulandığı ocaklarda havalandırma maliyetinin büyük ölçüde azaltılması sağlanmaktadır. Bu aşağıdaki şekilde açık bir şekilde görülmektedir.



**Şekil 7: Metan Drenajının havalandırma maliyetine etkisi**

## **E.Sonuç**

Sonuç olarak yeraltı çalışma ortamında çalışmalar sırasında veya acil durumlar sonrası ortaya çıkan bu gazlar çalışanlar ve işletmeler için riskler doğurabilmekte, kalıcı rahatsızlıklar oluşturabilmekte ve en kötüsü de çalışanların hayatını kaybetmesine neden olabilmektedir. Bu yüzden maden proje ve uygulamalarının madencilik bilim ve teknolojisine uygun olarak yapılmasının sağlanması hem güvenlik hem de işletme ekonomisinin sağlanması açısından nihai çözüm olacaktır.

Maden işletmelerinde uygulanan işlemler sürecine bir bütün olarak bakılmalıdır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği tedbirlerine uygun olarak yapılmayan bir çalışmanın verimli bir şekilde yürütülebilmesi mümkün değildir. Yeraltı madenlerinin iş sağlığı ve güvenliğini ilgilendiren konularda en yüksek risklerden birini taşıdığı unutulmamalıdır. Bu yüzden yapılacak eğitimlerde işverenlerin ve çalışanların yeraltındaki gazları tanıması, riskleri öğrenmesi ve oluşabilecek tehlikeleri bilmesi yeraltı madenlerinde kalıcı iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşmasını sağlayacaktır.

## Kaynaklar

1. Güyagüler, P. D. T., Karakaş A., Güngör A., (2005). *Occupational health and safety in mining industry*. Ankara
2. [http://cat.cu.edu.tr/Egitim/KARBON%20MONOKS%20ZEH%20RLE NMES%20\\_k%20TAP\\_Levent.pdf](http://cat.cu.edu.tr/Egitim/KARBON%20MONOKS%20ZEH%20RLE NMES%20_k%20TAP_Levent.pdf)
3. <http://orhankural.net/wp-content/uploads/2012/04/Madencilikte-%C3%B6zel-konular-2-SON.pdf>
4. S.Durucan, J.S.Edwards, Department of Mining Engineering, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD (United Kingdom), [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9031\(86\)90357-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9031(86)90357-9)
5. [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/7ea3cfb64eeaa1e\\_ek.pdf?tipi=23&turu=X&sube=0](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/7ea3cfb64eeaa1e_ek.pdf?tipi=23&turu=X&sube=0)
6. <http://orhankural.net/wp-content/uploads/2012/04/Madencilikte-%C3%B6zel-konular-2-SON.pdf>
7. 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
8. [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/7ea3cfb64eeaa1e\\_ek.pdf?tipi=23&turu=X&sube=0](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/7ea3cfb64eeaa1e_ek.pdf?tipi=23&turu=X&sube=0)
9. Kim, J., and Mutmansky, J. M., 1990, Cooperative Analysis of Ventilation Systems for a LargeScale Longwall Mining Operation in Coal Seams with High Methane Content, Mineral Resource
10. Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 99-117.
11. Baker, E. C., Garcia, F., and Cervik, J., 1988, Cost Comparison of Gob Hole and CrossMeasure Borehole Systems to Control Methane in Gobs,” Report of Investigations 9151, Bureau of Mines, U.S. Department of Interior, 23 pp.
12. 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.
13. Mining Operations, Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh
14. Ünver, B. (2010). Kömür madenlerinde metan yönetimi. doi: Teknik Rapor
15. <http://tr.scribd.com/doc/8449352/Metan-Gaz-Patlamalar-2>
16. Noack K., 1997, Control of gas emissions in underground coal mines, International Journal of Coal Geology 35\_1998.57–82
17. . Hartman, H., Mutmansky, J.M., Ramanı, R.V., Wang, Y.J. 1997. “Mine ventilation and air conditioning”.