

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU OCAKLARINDAKİ ANİ GAZ VE
KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE
OLAYLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olgun ESEN

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU OCAKLARINDAKİ ANİ GAZ VE
KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE
OLAYLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Olgun ESEN
(505101008)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Abdullah FİŞNE

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505101008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Olgun ESEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU OCAKLARINDAKİ ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE OLAYLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Abdullah FİŞNE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gündüz ÖKTEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Kasım 2012**
Savunma Tarihi : **22 Ocak 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın başlangıç aşamasından, son aşamasına kadar yardımını esirgemeyen ve benimle birlikte her zorluğu göğüsleyen değerli danışmanım Yrd.Doç.Dr. Abdullah FİŞNE'ye, tecrübelerinden yararlanmama izin veren ve tez çalışmalarına önemli katkılarda bulunan değerli hocam Prof.Dr.Gündüz ÖKTEN'e ve yine çalışmamda desteğini esirgemeyen bölüm başkanımız Prof.Dr.Orhan KURAL'a,

Türkiye Taşkömürü Kurumu'ndaki çalışmalarımı yürütebileceğim gerekli ortamın hazırlanmasını sağlayan başta TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanı Mesut ÖZTÜRK olmak üzere, Ar-Ge Bölümü'ndeki deneylerin yapılmasında hiçbir yardımdan kaçınmayan ve yer altı çalışmalarında yanımda olan, Ar-Ge Başmühendisi Zeynel A. ZEYNELOĞLU' na, Denetim ve Ar-Ge Şube Müdürü Ahmet SARIALIOĞLU'na, Maden teknikerleri Lale TETİK, Elmas TORLAKÇIK, Ayfer KÜDEN, Turhan C. TUTUĞ'a, Kimya Yüksek Mühendisi Feyza SARIÇAM ve tüm TTK İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Daire Başkanlığı çalışanlarına, Kozlu Taşkömürü İşletmesi İş Sağlığı ve Güvenliği Başmühendisleri Osman GÜLER'e, Erdinç GÜNAY ile Maden Yüksek Mühendisi Yılmaz ÜNLÜ'ye, Karadon Taşkömürü İşletmesi İşletme Müdürü Yılmaz ÜNLÜ'ye ve Gelik Taşkömürü İşletmesi İş Sağlığı ve Güvenliği Başmühendisi Kemal YILMAZER'e,

İTÜ'deki laboratuvar çalışmalarımda gerekli ortamın sağlanmasına katkıda bulunan ve bana her konuda destek olan Araş. Gör. Samet Can ÖZER'e ve laboratuvar teknisyeni Hurşit BOLAT'a,

Tüm çalışmam ve hayatım boyunca bana güvenerek, her türlü zorlukta yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2013

Olgun Esen
Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYININ TANIMI VE MEKANİZMASI.....	3
2.1 Ani Püskürme Olayının Tanımı ve Tarihçesi	3
2.2 Ani Püskürme Olayının Mekanizması	9
3. ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	11
3.1 Jeolojik Faktörler.....	11
3.1.1 Üretim derinliği, damarın eğim açısı ve damar kalınlığı	11
3.1.2 Tektonizma.....	12
3.2 Kömürün Yapısal Özellikleri	12
3.2.1 Kömürleşme Derecesi	12
3.2.2 Kömürün Gevrekliği	13
3.3 Damarın İçerdiği Gaz Miktarı	13
3.4 Kömürün Gaz Geçirgenliği	14
3.5 Gaz Basıncı	14
3.6 Gerilme Koşulları	15
3.7 Kömürün Sorpsiyon-Desorpsiyon Özellikleri.....	16
4. ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARINA EĞİLİMLİ BÖLGELERİN BELİRLENMESİ.....	17
4.1 Makroskopik Gözlemler.....	17
4.2 Olaylarda Rol Oynayan Etkenlerin Araştırılması	18
4.2.1 Ettinger sorpsiyon/desorpsiyon indeksi	18
4.2.2 ΔP_{0-60} indeksi	19
4.2.3 $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi	20
4.2.4 Polonya desorbometresi	21
4.2.5 k_t indeksi.....	21
4.2.6 Gaz emisyon V- indeksi.....	22
4.2.7 Hargraves Emisyon İndeksi	23
4.3 Gaz İçeriğinin Belirlenmesi	23
4.3.1 Dolaylı yöntemler	23
4.3.2 Doğrudan yöntemler	25
4.3.2.1 Yayılan gaz miktarının belirlenmesi	26

4.3.2.2 Kayıp gaz miktarının belirlenmesi	26
4.3.2.3 Artık gazın bulunması	28
4.3.2.4 Toplam gazın bulunması	28
4.4 Gaz Akış İndeksi - G	28
4.5 Kırıntı Geliri-S.....	29
4.6 Damar Kalınlığı Değişim İndeksi-Mm.....	30
4.7 V_{30} İndeksi.....	30
4.8 Kömürün Darbe Dayanım İndeksi.....	31
5. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASININ TANITILMASI	33
5.1 Havzanın Tarihçesi.....	33
5.2 Genel Durum	33
5.3 Havza Rezervleri	34
5.4 Genel Jeoloji.....	35
5.4.1 Kömürlü birimler.....	38
5.4.1.1 Alacağzı formasyonu.....	38
5.4.1.2 Kozlu formasyonu	38
5.4.1.3 Karadon formasyonu	39
5.4.2 Havzanın jeolojik evrimi.....	39
5.5 Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi	41
5.5.1 Sınırları.....	41
5.5.2 Genel bilgiler.....	41
5.5.3 Genel jeoloji	41
5.5.3.1 Örtü formasyonları	41
5.5.3.2 Kömürlü formasyonlar	42
5.5.3.3 Tektonik	43
5.6 Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi	43
5.6.1 Sınırları.....	43
5.6.2 Genel bilgiler.....	43
5.6.3 Genel jeoloji	44
5.6.3.1 Tektonik	44
6. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA MEYDANA GELEN ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARININ İNCELENMESİ.....	45
6.1 Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde Ani Püskürme Olayları.....	46
6.2 Karadon Taşkömürü İşletmesi Müessesesi'nde Ani Püskürme Olayları	50
6.3 Havzada Meydana Gelen Olayların İncelenmesi	54
6.3.1 Olayların atılan kömür miktarına göre değerlendirilmesi	54
6.3.2 Olayların açığa çıkan gaz miktarına göre değerlendirilmesi.....	56
6.3.3 Olayların tektonizma bakımından değerlendirilmesi	57
6.3.4 Olayların derinliğe göre değerlendirilmesi	58
6.3.5 Olayların damar kalınlığı ve eğimine göre değerlendirilmesi.....	59
7. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI'NDA ANİ PÜSKÜRME OLAYLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI.....	63
7.1 Kömürün Yapısal Özelliklerinin Araştırılması	65
7.1.1 Kömürleşme derecesi	65
7.1.2 Kömürün gevrekliği	67
7.2 Kömürün İçerdiği Gaz Miktarı.....	70
7.2.1 Üretime bağlı olarak açığa çıkan gaz miktarının incelenmesi	71
7.2.2 Kömür damarlarının gaz içeriğinin ölçülmesi.....	73
7.2.2.1 Numunelerin alınması	73
7.2.2.2 Yayılan gaz miktarının belirlenmesi	74

7.2.2.3 Kayıp gaz miktarının belirlenmesi	75
7.2.2.4 Artık gaz miktarının belirlenmesi	76
7.2.2.5 Toplam gaz miktarının belirlenmesi	77
7.3 Kömürdeki Gazın Desorpsiyon Hızı	81
7.4 Kaya Basıncı	85
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	111

KISALTMALAR

Ar	: As recieved
CERCHAR	: Laboratoire du Center d' Études et Recherches des Charbonnages de France
DIN	: Deutsches Institut für Normung
Df	: Dry free
Daf	: Dry and ash free
EKİ	: Ereğli Kömür İşletmeleri
USBM	: United States Bureau of Mines
ISI	: Impact Strength Index
KATH	: Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası
KHK	: Kanun Hükmünde Kararname
KİT	: Kamu İktisadi Teşebbüsleri
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Dünyadan olaylar tablosu.....	6
Çizelge 4.1 : ΔP_{0-60} İndeksi esas alınarak kömür damarlarının ani püskürmeye eğilimleri açısından sınıflandırılması	20
Çizelge 4.2 : k_t değeri esas alınarak kömür damarlarının ani püskürmeye eğilimleri açısından sınıflandırılması.....	22
Çizelge 4.3 : Gaz akış indeksi ile uçucu madde arasındaki ilişki.....	29
Çizelge 4.4 : Sondaj çapı kırıntı geliri arasındaki ilişki (Fişne ve diğ., 2006).....	29
Çizelge 5.1 : 01.01.2012 itibariyle havza rezervleri.....	35
Çizelge 6.1 : Kozlu Taşkömürü İşletmesi Müessesesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.....	48
Çizelge 6.2 : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.....	51
Çizelge 6.3 : Ani püskürme olaylarının açığa çıkan malzeme miktarına göre sınıflandırılması.....	56
Çizelge 6.4 : Havzada meydana gelen olayların açığa çıkan malzeme miktarına göre sınıflandırılması.....	56
Çizelge 7.1 : Kömür numunelerin alındığı yerler ve diğer özellikler.....	64
Çizelge 7.2 : Kömür numunelerine ait kısa analiz sonuçları.....	66
Çizelge 7.3 : Alman Kömür Sınıflandırması.....	67
Çizelge 7.4 : Darbe dayanım testi sonuçları.....	68
Çizelge 7.5 : Ani püskürme olayı meydana gelmiş yerlerden alınan numunelerin darbe dayanım sayıları.....	69
Çizelge 7.6 : TTK Karadon ve Kozlu Bölgeleri'nde 1975-2010 yılları arasında üretilen beher ton tüvenan kömüre karşılık metan miktarları.....	71
Çizelge 7.7 : Açığa çıkan gaz miktarlarının istatistiksel değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar.....	72
Çizelge 7.8 : Sondaj makinesinin özellikleri.....	74
Çizelge 7.9 : Kömür damarlarının tayin edilen gaz içerikleri.....	78
Çizelge 7.10 : Numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi sonuçları.....	83
Çizelge 7.11 : Ani püskürme olaylarına ait numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi sonuçları.....	84
Çizelge 7.12: Kozlu Taşkömürü İşletmesi'nden alınan kırıntı geliri numuneleri,yerleri ve sonuçları.....	86
Çizelge 7.13 : Karadon Taşkömürü İşletmesi'nden alınan kırıntı geliri numuneleri,yerleri ve sonuçları.....	88
Çizelge 8.1 : Yapılan çalışmalar sonucu ani püskürme olayına yatkın kömür damarları.....	95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kömür gözenekleri içerisindeki gaz molekülleri.	4
Şekil 2.2 : Ani püskürme olayının mekanizması.	10
Şekil 3.1 : Bir galeriyi çevreleyen bölgede kaya basıncının değişimi.	15
Şekil 4.1 : ΔP_{0-60} ve $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi arasındaki ilişki.	21
Şekil 4.2 : Tipik bir izoterm eğrisi.	24
Şekil 4.3 : Yayılan gazın ölçülmesinde kullanılan deneydüzeneği.	26
Şekil 4.4 : Kayıp gaz miktarının belirlenmesi.	27
Şekil 4.5 : Darbe dayanım testi deney seti.	31
Şekil 5.1 : Türkiye Taşkömürü Kurumu imtiyaz alanları.	34
Şekil 5.2 : Zonguldak bölgesinin stratigrafi kesiti.	37
Şekil 5.3 : Zonguldak karbonifer penceresi jeolojik haritası.	40
Şekil 6.1 : Ani püskürme olaylarının yıllara göre dağılımı.	45
Şekil 6.2 : Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda olayların sıklıkla meydana geldiği ocak kesimleri.	46
Şekil 6.3 : Kozlu Taşkömürü İşletmesi Müessesesi'nde olaylarla karşılaşılan kömür damarları.	47
Şekil 6.4 : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde olaylarla karşılaşılan kömür damarları.	50
Şekil 6.5 : Olay sonrası atılan kömür postasını kaldırma işlemleri.	54
Şekil 6.6 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olaylar sonrası atılan kömür miktarları.	55
Şekil 6.7 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olaylar sonrası açığa çıkan metan gazı miktarı.	57
Şekil 6.8 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olayların oluşma derinliği. ..	59
Şekil 6.9 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olayların damar kalınlığı ile ilişkisi.	60
Şekil 6.10 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olayların damar eğimi ile ilişkisi.	61
Şekil 7.1 : Darbe dayanım testi deney seti.	67
Şekil 7.2 : Numunelerin darbe dayanım sayılarını sınır değerle karşılaştırması.	70
Şekil 7.3 : MAZ P2 sondaj makinesinin görünümü.	73
Şekil 7.4 : Kömür damarından alınan numunelerin konulduğu sızdırmaz kaplar.	74
Şekil 7.5 : Gaz içeriğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği.	75
Şekil 7.6 : 1 No.lu numuneye ait kayıp gaz grafiği.	76
Şekil 7.7 : Sızdırmaz değirmen ve bilyaların görünümü.	76
Şekil 7.8 : Artık gazın belirlenmesinde kurulan deney düzeneği.	77
Şekil 7.9 : Numunelerin gaz içeriği değerlerinin sınır değer ile karşılaştırılması.	80
Şekil 7.10 : $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi deney düzeneği.	82
Şekil 7.11 : Numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ değerlerinin sınır değer ile karşılaştırması.	84
Şekil 7.12 : Arına yapılan sondaj donanımının görünüşü.	86
Şekil 7.13 : Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi kırıntı geliri sonuçları.	87

Şekil 7.14 :	Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi kırıntı geliri sonuçları.	88
Şekil A.1 :	-560 lağımina bağlı -582/111056363 Çay batı taban yolu.	102
Şekil A.2 :	-485 lağımina bağlı -480/111056362 Rabut batı taban yolu.	102
Şekil A.3 :	-560/111056363 Milopero (Kurul) doğu taban başyukarı Girişi.....	103
Şekil A.4 :	-450/22923 Domuzcu taban yolu.	103
Şekil A.5 :	-560 Hacımemiş doğu taban ve Sulu damarı girişi.....	104
Şekil A.6 :	-460 Akdağ doğu başyukarı arını.	104
Şekil A.7 :	-360/51106 Sulu taban yolu.....	105
Şekil B.1 :	Numune 2'ye ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	106
Şekil B.2 :	Numune 3'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	106
Şekil B.3 :	Numune 6'ya ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	107
Şekil B.4 :	Numune 8'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	107
Şekil B.5 :	Numune 10'a ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	108
Şekil B.6 :	Numune 14'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	108
Şekil B.7 :	Numune 15'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	109
Şekil B.8 :	Numune 17'ye ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	109
Şekil B.9 :	Numune 19'a ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.	110

SEMBOL LİSTESİ

G	: Sondaj deliğinden gelen gaz akışını tanımlayan karakteristik
k_t	: Kömürdeki gazın desorpsiyon hızını tanımlayan karakteristik
l	: Ölçülen en kısa mesafe (m)
M_{max}	: Maksimum damar kalınlığı (m)
M_{min}	: Minimum damar kalınlığı (m)
mD	: mili Darcy
M_i	: Ölçüm değeri
$\overline{M}$	: Ortalama değer
Mm	: Damar kalınlığını tanımlayan karakteristik
MPa	: Mega Pascal
M_t	: Kuru kömür numunesinin ağırlığı, (g)
M_c	: Öğütmede kullanılan kuru kömür numunesinin ağırlığı (g)
n	: Ölçüm sayısı
Q_d	: Desorbe olan (yayılan) gaz miktarı (cm ³ /g, m ³ /t)
Q_l	: Kayıp gaz miktarı (cm ³ /g, m ³ /t)
Q_r	: Artık gaz miktarı (cm ³ /g, m ³ /t)
Q_t	: Toplam gaz miktarı (cm ³ /g, m ³ /t)
t₀	: Numunenin alınıp kanisterin içine koyulmasına kadar geçen süre (0–35 sn)
t₂	: V ₁ hacimde gazın 2 katının yayılması için geçen süre (sn)
V	: Gazın desorbe olmaya başladığı ilk aşamada açığa çıkan gaz miktarının bir ölçüsüdür (cm ³ /g)
V₁	: 35–70 saniye arasında atmosfer basıncında açığa çıkan gaz hacmi (cm ³)
V₃₀	: Başlangıç desorpsiyon hızını tanımlayan karakteristik
Z	: Faydan dolayı kömür damarlarındaki sıkımlar oluştuğunda damar kalınlığını tanımlayan karakteristik
ΔP_{exp}	: Kömürdeki gazın desorpsiyon hızını tanımlayan karakteristik (bar)
ΔP₀₋₃₀	: İlk 30 saniyedeki basınç yükselmesi (mmHg)
ΔP₀₋₆₀	: Kömürdeki gazın desorpsiyon hızını tanımlayan karakteristik (mmHg)
ΔP_{0,5}	: 0,5. dakikada ölçülen ΔP değeri (mmss)
ΔP₁	: 1. dakikada ölçülen ΔP değeri (mmss)
ΔP₂	: 2. dakikada ölçülen ΔP değeri (mmss)
σ_T	: Teğetsel gerilme (t/m ²)
σ_R	: Radyal gerilme (t/m ²)
σ_C	: Tek eksenli basınç dayanımı (t/m ²)

TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU OCAKLARINDAKİ ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE OLAYLARI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Kömür damarı bünyesindeki mikro çatlaklarda yüksek basınçta adsorbe halde ya da serbest olarak biriken gazın, arının dayanımını aniden aşması, ocak içi çalışma alanını, kömür ve kayaç ile birlikte doldurmasına ani gaz, kömür ve kayaç püskürmesi denilmektedir. Bu tür olaylar genel olarak taşkömürü ve daha yüksek kömürleşme derecesine sahip kömür damarlarında ve sık olmamakla birlikte tuz madenlerinde oluşmaktadır. Nadiren metal madenlerinde gazın kumtaşı ile birlikte püskürdüğü olaylara da rastlanmıştır.

Konuyla ilgili araştırmalara göre, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda 1969 ile 2012 yılları arasında kaydedilen 89 adet ani püskürme olayı Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'nde ortaya çıkmıştır. Her iki işletmede meydana gelen olaylar sonucu toplam 366 madenci yaşamını yitirmiştir. Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının sıklıkla Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletmeleri'nde meydana gelmesi ve bu işletmelerdeki emniyetin sağlanması açısından, çalışmalar bu iki işletmede yoğunlaşmıştır.

Olaylar sonrası açığa çıkan gazlar metan ve karbondioksit olmaktadır. Kömür damarının gaz içeriğine bağlı olarak olaylar sonrası açığa çıkan gaz ve atılan kömür miktarı olayın şiddetinin belirlenmesinde önemli faktörlerdendir. Havzada 1969 ile 2012 yılları arasında meydana gelen olaylar incelendiğinde; Kozlu Müessesesi'nde meydana gelen en şiddetli olay 26.02.2004 tarihinde -560 Messoğlu Başyukarı'da kaydedilmiş, 620 ton kömür postası atılmış ve 16.000 m³ gaz açığa çıkmıştır. Karadon Müessesesi'ndeki en büyük olay ise 31.03.2011'de Gelik İşletmesi'nde -360 Acılık Batı Taban'da meydana gelmiş olup, 1500 ton kömür postası atılmış ve 45.000 m³ gaz açığa çıkmıştır. Karadon'da gerçekleşen bu olay; 1969 ile 2012 arasında havzada meydana gelen olaylar arasında olayın şiddeti açısından da en büyük olarak değerlendirilmektedir.

Havzadaki olaylar 300 m ile 500 m arası derinliklerde ortaya çıkmıştır. Üretim faaliyetlerinin sürdürüldüğü farklı kalınlıklardaki tüm damarlarda olaylarla karşılaşmış olup; olay sıklığı, eğimi 40°-70° olan damarlarda en fazladır.

Olayların meydana gelişinde rol oynayan temel faktörler; kömür damarının oluştuğu jeolojik koşullar, damarın kömürleşme derecesi ve dayanımı, kömürün gözenekliliği (porozite) ve gaz geçirgenliği (permeabilite), kömürün içerdiği gaz miktarı ve kaya basıncıdır. Dolayısıyla, ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimli zonları önceden belirleyebilmek amacıyla yukarıda sıralanan faktörler yerinde (in situ) ve laboratuvarda yapılan çalışmalarla araştırılmıştır.

Kömürleşme derecesinin değerlendirilmesinde gaz içeriği belirlenen 19 adet numune kısa analize tabi tutulmuştur. Kömürleşme derecesi hakkında bir değerlendirme yapabilmek için öncelikle “Uçucu Madde Miktarı”nın dikkate alınması gerekir. Kömür numunelerinin uçucu madde miktarları kuru-külsüz kömür için % 29,07 – 36,37 arasında değiştiği, bunun sonucunda kömürlerin Alman Sınıflandırması’na göre incelenen numunelerin bir bölümünün gaz-alevli, diğer bölümünün de gazlı kömür aşamasındaki damarlara ait olduğu tespit edilmiştir.

Gaz içeriğinin belirlenmesi için yeraltı çalışmalarında farklı damarlardan farklı sondaj derinliklerinden 19 adet numune alınmıştır. USBM (United States Bureau of Mines) metoduna göre kömür numunelerinin gaz içerikleri; orijinal, kuru ve kuru-külsüz kömür olarak üç bazda belirlenmiştir. Kömür numunelerinin orijinal bazda gaz içeriği sonuçları dikkate alınarak; 19 numuneden 6’sı ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarına eğilimli olarak tespit edilmiştir. Kozlu İşletmesi -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu numune), -560/111056363 Milopero Doğu Taban Yolu’na bağlı Başyukarı Girişi (12 No.lu numune); Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15. No.lu Numune)’dan alınan numunelerden hareketle bu bölgelerin ani püskürmeye eğilimli bir zon içerisinde bulundukları söylenebilir. Kozlu İşletmesi -560/111056363 Hacımemiş Doğu Taban Yolu (8 No.lu Numune) ve -485/221007 Çay Taban Yolu (Numune No.3)’nun sırasıyla 8,6 m³/ton ve 8,3 m³/ton değerlerinde olmasıyla sınır değere yakın olduklarından, bu bölgelerde ani püskürme tehlikesinin varlığından söz edilebilir.

Darbe dayanım sayısının belirlenmesinde farklı damarlardan alınan 19 adet numuneden yararlanılmıştır. Numuneler önce çekiçe kırılarak 9,5-3,35 mm elek aralığına getirilmiş daha sonra deney silindire koyularak “Darbe Dayanım” değerleri ölçülmüştür. Kömürün gevrekliğinin incelenmesinde kullanılan darbe dayanım testinde; 30 değeri ve bu değer altında olan 4 adet kömür numunesi belirlenmiştir. İncelenen numuneler arasında Kozlu’dan 2, Karadon’dan 2 adet numunenin darbe dayanım sayısının 30’a çok yakın veya daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle; Kozlu İşletmesi -450/22923 Domuzcu Taban Yolu (5 No.lu Numune), -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu Numune), Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No.lu Numune) arınından alınan numunelerin ani gaz ve kömür püskürme tehlikesi taşıyan bir zona ait olduğu söylenebilir.

Kömür damarlarını çevreleyen bölgede kaya basıncı hakkında bir fikir sahibi olabilmek için, 7 farklı damarda açılan 13 sondajda, deliğin delinmesi sırasında açığa çıkan “Sondaj Kırıntısı Miktarı” ölçülmüştür. Elde edilen veriler söz konusu damarlarda kaya basıncının yüksek değerlere ulaşabildiğini ortaya koymuştur. Kozlu -560 lağımina bağlı -547 Milopero damarına açılacak olan Başyukarı ve Kozlu -480 Rabut Taban Yolu ile -260 Gelik Sulu damarında sürülen taban galerisinde ve -360 Milopero Doğu Taban Yolu’nda elde edilen kırıntı geliri sonuçlarına bakıldığında ani püskürmeye eğilimlilik açısından risk taşıdıkları tespit edilmiştir.

Desorpsiyon ve adsorpsiyon tersinir reaksiyonlardır. Bu nedenle kömür damarındaki gazın desorpsiyon hızı yerine daha basit bir ölçme düzeni ile kısa sürede belirlenebilen gaz adsorpsiyon hızı, diğer bir deyimle bu özelliği karakterize eden $\Delta P_{\text{express}}$ İndeks değerleri saptanmıştır. Havzadan alınan 3 adet eski degaj numuneleri üzerinde de aynı ölçmeler yapılmış, havza için 0,43 bar değeri sınır değer olarak belirlenmiştir. Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletmeleri’nin farklı bölgelerinden

alınan numuneler üzerinde yapılan ölçmeler sonucu $\Delta P_{\text{express}}$ değerleri 0,40-0,72 arasında değişmektedir. Deneyler sonucunda; 20 numuneden 6'sı bu sınır değer altında kalmış ya da bu değere yakın çıkmıştır. Buna göre; -485/221007 Çay Taban Yolu (3 No.lu Numune), -560/111056363 Hacımemiş D.Taban Yolu (8 No.lu Numune), -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu Numune), -560/111056363 Milopero Doğu Taban Başyukarı Girişi (12 No.lu Numune), -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360/ Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No'lu Numune)'dan alınan numunelerin ani püskürme tehlikesi taşıyan zonlara ait olduğu söylenebilir.

Sonuçlar; Kozlu İşletmesi -480/111056362 Rabut B.Taban Yolu ile Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu'nun ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimli bir zon içinde olduğu konusunda önemli ipuçları vermiş bulunmaktadır.

ASSESSMENT OF GAS AND COAL OUTBURSTS IN TURKISH HARD COAL ENTERPRISE COLLIERIES AND INVESTIGATION OF FACTORS INFLUENCING THE OUTBURSTS

SUMMARY

Outburst of gas, coal and rock can be explained that existence of high-pressure adsorbed gas in micro-cracks or accumulated as free gas within the coal seam, suddenly exceed the resistance of the coal face and it is ejected with a mixture of material such as coal, gas and rock into the working area. Generally it occurs in hard coal seams, high rank coals and rarely in salt mines.

According to the studies, in Zonguldak coal basin, the outbursts have occurred between 1969 and 2012 with a number of 89 events in Kozlu and Karadon Collieries. For this reason, the investigations for outbursts were focused on these two collieries.

After the outbursts, the ejected gas types are generally methane and rarely together with carbon dioxide. The size of an outburst depends on amount of the ejected gas and coal. These are the main factors to determine the outburst size. Surveying of events occurring within the basin between 1969 and 2012 in Kozlu Colliery, the largest outburst occurred in 26.02.2004 at -560 depth of Messoglu Raise. The amount of ejected coal was 620 ton and the released gas was 16,000 m³ methane. Other largest outburst occurred in Karadon, Gelik Colliery. The event happened in 31.03.2011 at -360 depth of Acılık Seam. The amount of ejected coal was 1,500 ton and released gas was 45,000 m³ methane. Moreover the outburst happened in Karadon Colliery called the largest outburst in all coal basin between 1969 and 2012.

Outbursts have occurred at the depths of between 300 and 500 m. In all coal seam thicknesses, the outbursts have had experienced. Especially, the coal basin in Zonguldak has approximately vertical seams. Because of this, the outbursts have occurred between 40° and 70° inclinations.

The main factors to have a role in outbursts are geological factors which effects to the occurring of coal seam, the gas content and gas pressure in coal seam, the stresses influencing to the coal, permeability and the porosity of the seam, the strength of coal and consequently the rank of coal. The assessment of these factors will be determined for prediction of outburst prone zones would become possible. Due to the fact that in this thesis, prediction of liable to outbursts zones are studied with considering these following factors;

- The gas content of coal seams, which were taken in Kozlu and Karadon Collieries are determined with USBM (United States Bureau of Mines) Direct Method,
- The strength of coal seam which defines the structure of the coal seam,
- Using the cutting volume for determining the rock pressure,
- $\Delta P_{\text{express}}$ index experiment for measuring the decreasing of pressure in coal.

In determining of the coalification process, 19 coal samples were measured which were used for the measuring the gas content. For determine the coalification process of the coal samples the amount of “Volatile Matter” must be considered in analysis. The amount of volatile matter of the coal samples are between 29.07%–36.37% for dry and ash free basis. The inner surface area of coal increase when the rank of coal increase. Moreover when the coal samples have lost their moisture, their adsorption capacity will be increased. The moisture of coal samples change between 1.12% and 4.6 % and the ash content change between 4.02 % and 42.72%. For determining the coalification process the chemical analysis was used for 19 coal samples. The coal samples were classified according to the German Coal Classification, some part of the coal samples were become gas flame coal and some of were become gas coal.

In period of 36 year statistical evaluation (from 1975 to 2010), average gas content at Kozlu Colliery is 20 m³/t and at Karadon Colliery is 14 m³/ton. These values show that the Collieries in Zonguldak Coal Basin have high gas content.

19 coal samples were taken from 7 different coal seams at different depths to determine the gas content of coal seams in Karadon and Kozlu Collieries. According to the USBM Direct Method, the gas content of the coal seams measured and calculated in three phases. These phases are the original (as recieved), dry free, and dry and ash free. The gas content of the coal samples calculated each phases but the original coal’s phase (as recieved) is considered. Because the results of ash revised phase can show the gas content of coal. According to the various studies whole world, if the gas content of coal exceed the 9 m³/ton, this coal will become liable to outburst. In this thesis, the studies were shown that at a number of 6 coal samples out of 19 are prone to outburst. In Kozlu Colliery, -480/111056362 Rabut Seam (Sample No.11), -560/111056363 Milopero (Kurul) Seam Raise (Sample No.12), -560/111056363 Hacımemis Seam (Sample No.8) and -485/221007 Cay Seam (Sample No.3); in Karadon-Gelik Colliery, -260/41306 Sulu Seam (Sample No.13) and -360 Sulu Seam Raise (Sample No.15) were liable to outburst.

The strength of coal was measured by 19 coal samples, which were taken from 7 different coal seams at different depths. It is very important for measuring of the strength of coal in outburst predictions. The experiment equipment was made by ITU Mining Engineering Department depended to Pomeroy’s rules. The grain sizes of the coal samples for experiment were reduced between 9.5 and 3.35 mm and this range was studied. According to the experiment results, 4 coal samples out of 19 were determined liable to outburst, which couldn’t have reached the threshold value is 30. The outburst prone coal samples are in Kozlu Colliery -450/22923 Domuzcu Seam (Sample No.5), -480 Rabut Seam (Sample No.11); in Karadon-Gelik Colliery -260 Sulu Seam (Sample No.13) and -360 Sulu Seam Raise (Sample No.15).

In cutting volume measurements there is need to be underground studies. For these measurements, 13 drillings which were done at 7 different depths were made in Kozlu and Karadon Collieries. These drillings can determine the rock pressure of the coal seams at the same time. For drillings, the limit value is changable for each augers. For example a drilling machine has 42 mm auger, the limit value will become 6 lt/m, for 50 mm;8, for 95 mm; 50. The 42 mm auger was used for the study. The cutting volume measurements show that 4 coal samples liable to outburst. These outburst prone zones are the -560 Milopero (Kurul) Seam Raise and -480 Rabut Seam from Kozlu Colliery; -260 Sulu Seam and -360 Milopero Seam from Karadon-Gelik Colliery.

The desorption and adsorption has an inverse relationship. In the $\Delta P_{\text{express}}$ index experiment the adsorption acceleration of the coal samples was measured. For the experiment the number of 19 coal samples were taken from 7 different coal seams at different depths. The $\Delta P_{\text{express}}$ index measurement was continued for the samples where were taken from past outbursts events. The results show that for outburst samples the rate of adsorption from coal are very high. The limit value is 0,43 bar for the Zonguldak Coal Basin was determined from three coal samples which were taken from outburst areas. According to this limit value the coal samples from Kozlu Colliery which are -485 Cay Seam (Sample No.3), -480 Rabut Seam (Sample No.11), -560 Milopero Seam Raise (Sample No.12) and from Karadon Colliery which are -260 Sulu Seam (Sample No.13), -360 Sulu Seam Raise (Sample No.15) were determined as an outburst prone zones.

Finally all of the observations and studies were shown that in Kozlu Colliery - 480/111056362 Rabut Seam and from Karadon-Gelik Colliery -260/41306 Sulu Seam was determined as an outburst prone zone.

1. GİRİŞ

Kömür damarlarının değişik oranlarda metan ve diğer hidrokarbon gazları ile karbondioksit, azot içerdikleri bilinmektedir. Kömürleşme sürecinde oluşan ve üretim çalışmaları sırasında açığa çıkan bu gazlar, ocak havasına karışarak onun yanıcı, patlayıcı ve boğucu özellikler kazanmasına neden olmaktadır. Bazı durumlarda damar içinde bulunan gaz aniden arının dayanımını aşarak onu parçalamakta ve sürüklediği malzeme ile birlikte imalat boşluğunu doldurmaktadır. Ani Gaz, Kömür ve Kayaç Püskürmesi olarak tanımlanan bu olaylar birçok ülkede, özellikle taşkömürü havzalarında işletme güvenliğinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Olayın meydana gelmesinde ana etken olan ve parçalanan malzemeyi ocak imalatına doğru taşıyan gaz, kayaç türlerine göre farklılıklar göstermektedir (Ökten, 1983). Kömür madenciliğinin yanı sıra tuz ve sayıları az olmakla beraber metal madenlerinde hazırlık çalışmaları sürdürülürken, gazın kumtaşı ile birlikte püskürdüğü olaylara da rastlanmıştır. Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarından sonra açığa çıkan gazlar metan, karbondioksit veya bunların karışımıdır. Tuz püskürmelerinde çoğunlukla karbondioksit, metan gazları ve bunların azot, hidrojen ile karışımı açığa çıkmaktadır. Kömür, tuz ve metal madenlerinde meydana gelen kumtaşı püskürmelerinde ise metan ve azot gazları ocak havasına karışmaktadır (Eckart ve diğ., 1966; Paul, 1977; Ökten, 1983).

Bu çalışmada ilk olarak Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda 1969 – 2012 yılları arasında meydana gelen 89 adet ani püskürme olayından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Daha sonra olayların meydana gelişinde rol oynayan etkenlerden; kömürün yapısal özellikleri (kömürleşme derecesi, kömürün gevrekliği, vb.), kömür damarının içerdiği gaz miktarı, kömürdeki gazın desorpsiyon hızı ve kaya basıncı araştırılarak ani püskürmeye eğilimli zonların önceden belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bölüm 1'de; ani gaz ve kömür püskürmesi olayının genel bir tanımı yapılmış, konunun önemi vurgulanarak bu çalışmanın amaçları açıklanmıştır.

Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının tanımı ve tarihçesi 2. bölümde açıklanmıştır. Tanımın ardından ani püskürme olayının oluşum mekanizması farklı teoriler dikkate alınarak incelenmiştir.

Bölüm 3'te; ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının meydana gelişinde rol oynayan faktörler özet olarak açıklanmıştır. Söz konusu faktörler; jeolojik yapı, kömürleşme derecesi ve kömürün dayanımı, kömür damarının gaz içeriği ve gazın basıncıdır.

Olaya eğilimli zonların önceden belirlenmesinde kullanılan yöntem ve tahmin indisleri 4. bölümde tanıtılmaktadır.

Bölüm 5'te ise; Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın tarihçesi ile jeolojik yapısı hakkında kısa bilgi verilmiştir. Havzada meydana gelmiş olan olayların değerlendirmesi Bölüm 6'da yapılmış; olayların üretim derinliği, damar kalınlığı ve eğimi, tektonizma ile ilişkisi incelenmiş; olay sonrası atılan kömür ve açığa çıkan gaz miktarları değerlendirilmiştir.

Bölüm 7'de ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimli zonların önceden belirlenmesi amacı ile olayların meydana gelişinde rol oynayan etkenlerden kömürün yapısal özellikleri (kömürleşme derecesi, kömürün gevrekliği, vb.), kömür damarının içerdiği gaz miktarı, kömürdeki gazın desorpsiyon hızı ve kaya basıncını araştırmaya yönelik deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

Son bölümde; bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar özetlenmiş, gelecekte yapılacak olan araştırmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

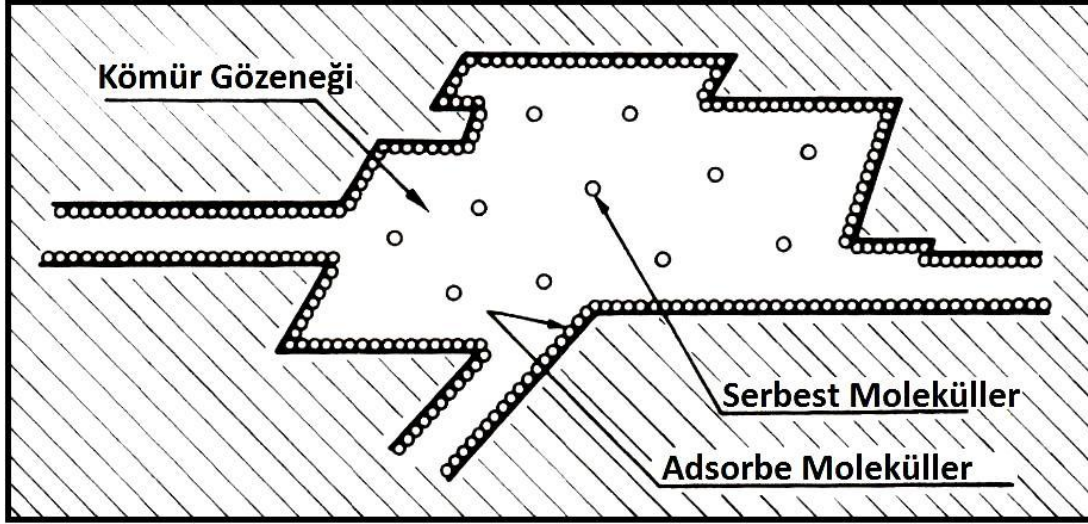
2. ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYININ TANIMI VE MEKANİZMASI

2.1 Ani Püskürme Olayının Tanımı ve Tarihçesi

Kömür genellikle bataklıklarda gömülme sonucu bozuşma ve çürümeden korunan bitkisel malzemelerin geçirdiği biyokimyasal, kimyasal ve fiziksel değişimler neticesinde oluşmaktadır. Bitkisel malzemeler çökelmelerinden sonra gömülme derinliğinin artışı ile birlikte artan sıcaklık ve basınç nedeniyle uzun bir zaman diliminde kömürleşme olarak adlandırılan bir evrim süreci geçirirler. Kömürleşme olayı, bitkisel malzemenin turba, linyit ve taşkömürü evrelerinden geçerek antrasit ve grafitte dönüşmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu süreçte büyük miktarlarda gaz oluştuğu ve önemli bir kısmının kömür ve yan kayaçlar içerisinde depolandığı bilinmektedir. Kömürleşme olayı sırasında, % 95' ten fazla metan, ayrıca çok düşük miktarlarda yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlar (etan, propan vb.), % 3' ten az karbonmonoksit, azot ve su oluşmaktadır (Fisne ve diğ., 2006).

Kömürleşme sürecinde oluşan karbonmonoksit gazı, su içinde kolaylıkla çözünebildiği için, miktarı zamanla önemli ölçüde azalmaktadır. Damarın yüzeye yakın olması ve örtü tabakalarının çatlaklı bir yapı göstermesi durumunda, metan gazının büyük bir bölümü damardan ayrılarak atmosfere karışmaktadır. Derinde yataklanmış ve kompakt kayaçlarla örtülmüş damarlarda ise gaz, esas olarak kömür içindeki gözeneklerde depolanmaktadır (Ediz ve Durucan, 1998).

Metan gazı, kömür ve çevre kayaçlar içinde serbest gaz ve soğurulmuş gaz (adsorbe gaz) olarak iki durumda bulunmaktadır (Şekil 2.1). Kömür ve çevre kayaçların çatlak, mikro çatlak ve gözeneklerinde serbest durumda bulunan gazın miktarı, kömürün mikro çatlaklarının ve gözeneklerinin iç yüzeylerine soğurulmuş (adsorbe halde) olan gazın miktarı ile karşılaştırıldığında çok düşüktür. Serbest gazın toplam gaz miktarı içindeki oranı %5-10 olarak verilmektedir. Soğurulmuş gazın asıl büyük kısmını ise yüzeylere soğurulmuş (adsorbe) olan gaz molekülleri oluşturmaktadır.



Şekil 2.1 : Kömür gözenekleri içerisindeki gaz molekülleri.

Üretim çalışmaları ile bozulan basınç dengesinden dolayı kömürün gözenek ve çatlaklarında depolanan metan gazı ocak ortamına çeşitli şekillerde yayılarak patlama, yangın ve boğulma gibi bir çok tehlikeyi de beraberinde getirmektedir.

Ayrıca bazı yeraltı madenlerinde, kömür damarı içinde basınç altında bulunan metan gazı aniden arının dayanımını aşarak onu parçalamakta ve büyük hacimlerde metan emisyonlarına sebep olmaktadır. Bu tip emisyonlar “Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi” olarak tanımlanmaktadır. Bu olaylar özellikle yeraltı kömür madenlerinde işletme güvenliğinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır.

Tanımda geçen ani kelimesi, püskürme olayının kömürün kazısı sırasında veya patlayıcıların kullanılması ile tetiklenmesi sonucu oluştuğunu vurgulamaktadır. Bir başka deyişle olayın meydana gelmesi için önceden bir tetikleme gereklidir. Ani püskürme olayları genellikle bakir bölgelerde, gazlı ve yüksek ranklı kömür damarlarında, özellikle fay, kıvrımlanma, dayk vb. jeolojik zorlanmaların olduğu bölgelerdeki kazı çalışmaları sırasında ortaya çıkmaktadır(Lama ve Bodziony, 1998). Olaylar genellikle kömür ve tuz madenlerinde nadiren de metal madenlerinde görülmektedir (Li ve Hua, 2006).

Ani gaz, kömür ve kayaç püskürmesi olayları dünya madencilik sektöründe karşılaşılan büyük felaketlerin en önemli sebeplerindendir. Şimdiye kadar dünya genelinde 30.000’nin üzerinde olay kayıtlara geçmiştir. Bunların yaklaşık % 30’u Çin Halk Cumhuriyeti’nde meydana gelmiştir (Cao ve diğ., 2003).

Çeşitli ülkelerde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, üretim çalışmalarının daha derin düzeylere inmesiyle olayların sayı ve şiddetinin arttığı görülmektedir. Dünyada ilk ani püskürme olayı 1843 yılında Fransa'nın Loire kömür bölgesinde Issac ocağında meydana gelmiştir (Cao ve diğ., 2001).

Şimdiye dek saptanan en büyük olay 1969 yılında Ukrayna'nın Donetsk Kömür Havzası'ndaki Gagarin (Mazurka) Ocağı'nda 710 m derinlikte meydana gelmiştir. Olay sonucu yaklaşık 14.500 ton kömür atılmış olup, 600.000 m³ gaz açığa çıkmıştır. Ayrıca Polonya'nın Aşağı Silezya Havzası'ndaki Nowa Ruda Ocağı'nda 1958 yılında 550 m derinlikte meydana gelen olayda yaklaşık 5.000 ton kömür atılmış olup 750.000 m³ gaz yayılmıştır. Bu olay kömür madenciliğinde karşılaşılan önemli olaylar arasında ilk sırayı almaktadır. Tuz madenlerindeki en büyük ani püskürme olayı Almanya'da, Menzengraben ocağında 1953'te meydana gelmiştir. Olay sonrası 100.000 ton tuz ve 700.000 m³ karbondioksit gazı açığa çıkmıştır (Lama ve Bodziony, 1998). Çizelge 2.1'de çeşitli ülkelerde karşılaşılan ani püskürme olayları ile ilgili veriler derlenmiştir (Lama ve Bodziony, 1998; Beamish ve Crosdale 1998). Türkiye'de ise, Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda 1969 – 2012 yılları arasında 89 adet ani gaz ve kömür püskürmesi olayı kaydedilmiş, toplam olarak 366 işçi hayatını kaybetmiştir. Can kayıplarının çok büyük bir bölümü 03.03.1992 tarihinde Kozlu Taşkömürü Müessesesi'nde meydana gelen olayda gerçekleşmiştir. Bu olayda ani gaz ve kömür püskürmesini izleyen grizu ve toz patlamaları sonucunda 263 madenci vefat etmiştir. Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda üretim düzeyinin gittikçe derinleştiği ve üretilen beher ton kömür başına açığa çıkan metan miktarının arttığı göz önüne alınırsa, havzadaki olay sayısının gelecek yıllarda artma olasılığı kuvvetlidir (Ökten, 1983; Fişne ve diğ., 2006).

Çizelge 2.1 : Dünyadan olaylar tablosu.

Ülke	Havza	Olayların Oluşum Süreci		En Şiddetli Olay Sonrası Açığa Çıkan Malzeme Cinsi		Ölü Sayısı
		Yıllar	Sayısı	Kömür (ton)	Gaz (m ³)	
ABD	Colorado	1970 sonrası	Birkaç			
Almanya	Ruhr	1956-1970	21			
		1971-1993	98	220	66.000	
	Ibbenbüren	1970-1993	240	2.500	12.000	
	Kuzey Rhine&Westphalia	1970-1993	338	750	21.240	8
Avustralya	Bowen	1954-1980	> 220	1.000	14.000	7
	Illawarra	1895-1995	449	400	18.000	
	Sydney	1995 öncesi	> 650			3
Belçika	Southern	1847-1908	357	1600		
		1954-1965	130			
	Charleroi-Mons	1956-1963	1190			
Birleşik Krallık	Batı Galler	1901-1980	219	400	60.000	6
		1907-1981	250			
Bulgaristan	Balkan	1933-1989	> 250	180		
Çin	Shanxi	1951-1971	596			
		1982-1986	466	525	18.750	

Çizelge 2.1 (devam) : Dünyadan olaylar tablosu.

	Henan	1992 öncesi	268	1.500		
	Sichuan	1983 öncesi	1.141			
			600	100	3.000	
	Liaoning	1951-1986	1.688			
		1969-1976	84			
	Huanian	1959-1975	211			
	Liu Zhi	1950-1981	9.845	12780		
	Songzao	1960		1.000		
	Yaojie	1978		1.030	240.000	90
	Meitian	1985		3.200	720.000	56
	Dashucun	2007		1.200		17
	Zigui Hubei	2008				6
Çek Cum.	Ostrava	1894-1988	469	580		
	Slany	1986-1990	8	4.310	96.000	
	Rosice	1987 öncesi	5			
Fransa	Lorraine	1919-1964	40			
	Loire	1980 öncesi	26			
	Dauphine	1985 öncesi	275	1.330	130.000	
	Centre	1986 öncesi	172			
	Gard	1879-1989	> 6.300	5.600	100.000	
	Cevennes	1899-1964	6.245			
G.Afrika Cum.	Main Karoo	1993-1994	5	200		

Çizelge 2.1 (devam) : Dünyadan olaylar tablosu.

Japonya	Hokkaido&Kyushu	1926-1986	920	5.200	600.000	93
	Yubari	1981		6.500	600.000	93
		1970-1980	21			
Kanada	Alberta&BritishColumbia& NovaScotia	1995 öncesi	> 400	3.500	140.000	14
	Nanamio	1921-1927	268	1.200		
	Crows Nest	1903-1928	>200	3.500	60.000-140.000	
	Canmore	1944-1954	43			
	Sydney	1977-1984	37	316	750	
	Springhill	1958				74
Kazakistan	Karaganda	1988 öncesi	45			
Macaristan	Mecsek	1894-1988	~ 600	1.800	27.000	
	Pecs	1982 öncesi	565	1.400	273.000	
Polonya	Silesian	1995 öncesi	> 2.000	5.000	800.000	151
Rusya	Yubileynaya	2007				35
	Kuznetsk	1946-1988	132			
	Pechora	1950-1989	127			
	Yegorshynsko-Kamenski	1944-1963	190			
	Uzakdoğu	1927-1977	72			
Tayvan	Tayvan	1972-1986	60			
Türkiye	Zonguldak	1962-1993	58	700	11.000	
Ukrayna	Donetsk	1946-1988	4.689	14.500	600.000	
		2008				8
	Donetsk	1995 öncesi	> 3.500	14.000	25.000	

2.2 Ani Püskürme Olayının Mekanizması

Araştırmacılar 1852 yılından beri ani gaz ve kömür püskürmesi olayının mekanizmasını incelemektedir. Olayların meydana geliş nedenlerini değişik şekillerde açıklayan çok sayıda teori ortaya atılmıştır. Bu teoriler genel olarak 3 grupta toplanmaktadır. Bunlar; Yuva Teorisi, Dinamik Teori ve Çok Faktörlü Modeller'dir (Guan ve diğ., 2009).

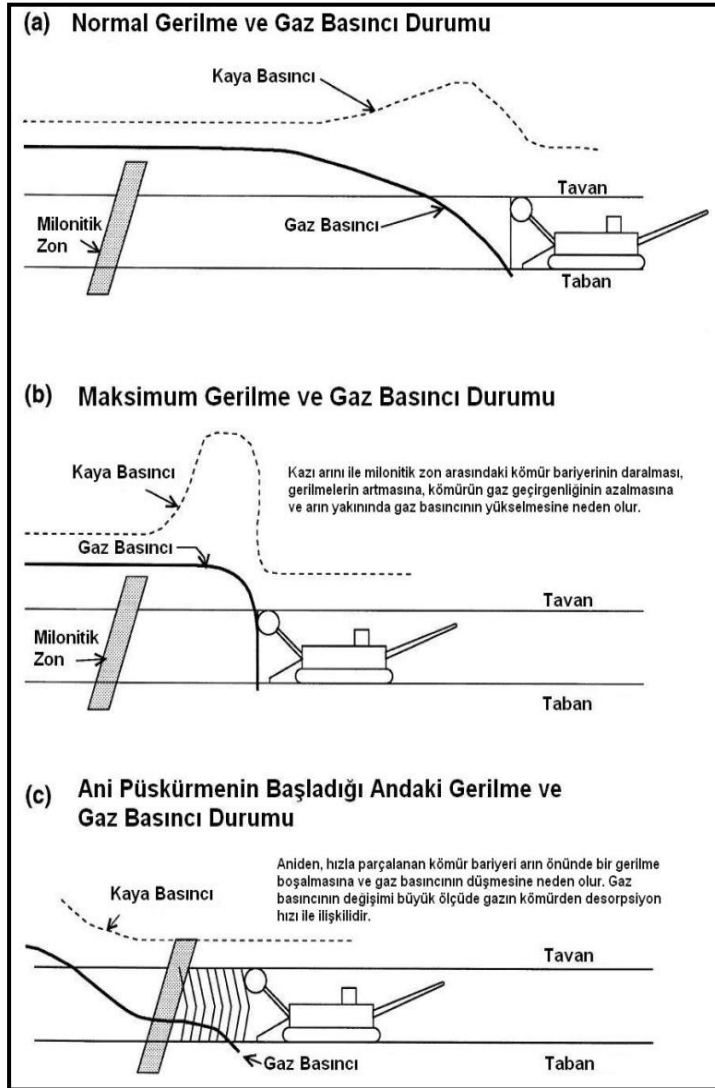
Yuva teorisi ilk defa Fransa'nın Cevennes Havzası'nda ortaya atılmıştır. Söz konusu teoriye göre, olay sonucu atılan çok ince kömür tozu damar içindeki yuvalarda gaz ile birlikte bulunmaktadır. Madencilik faaliyetleri ile bu yuvalara yaklaşıldığında arın gazın basıncına dayanamayarak parçalanmakta ve ani gaz ve kömür püskürmesi olayı gerçekleşmektedir (Ökten, 1983).

Dinamik Teori'de; madencilik faaliyetleri sonucu arın önünde oluşan ve arının ilerletilmesine paralel olarak ötelenen yüksek gerilme zonunun (kaya basıncı) kömür damarlarının dayanımını düşürdüğü ve damarın ani püskürmeye eğiliminini artırdığı ileri sürülmektedir. Bu modelde gazın ani püskürme olayındaki rolü tam olarak açıklanamamıştır. Ancak model püskürmenin (gaz kaynaklı olmayan); yüksek gerilme bölgelerindeki hızlı basınç düşüşünden dolayı oluştuğunu açıklamaktadır (Hyman, 1987).

Çok Faktörlü Model ise; olayların meydana gelişini tek bir etkene bağlamamakta, aynı anda etkiyen çok sayıdaki değişkenin fonksiyonu olarak tanımlamaktadır. Bu modelde olayı meydana getiren etkenler arasında, kömürün yapısal özellikleri, kömürün içerdiği gaz miktarı, kömürdeki gazın desorpsiyon hızı ve kaya basıncı en önemlileridir (Guan ve diğ., 2009).

Yeraltında hazırlık ve üretim amacıyla boşlukların açılması sonucu doğal gerilme durumu bozulur, boşluğu çevreleyen bölge büyük gerilmelerin etkisi altına girer. Kaya basıncının değeri arından uzaklaştıkça artar, belli bir mesafede maksimum değerine ulaşır. Arının ilerletilmesiyle birlikte yüksek basınç zonu da içerilere doğru ötelenir. Normal şartlarda bu çevrim panodaki üretim çalışmalarına kadar devam eder. İlerleme doğrultusunda ani püskürmeye eğilimli milonitik bir zon bulunması durumunda ise; kazı ile birlikte arın önündeki bölgede gerilmeler ve gaz basıncı artar, kömürün gaz geçirgenliği minimum değerine iner. Bu aşamada arın ile

milonitik zon arasındaki bariyer basınç altındaki gazın deformasyon enerjisini frenlemeye çalışır. Bariyerin kazı çalışmaları sonucu zayıflatılması ile birlikte, gaz basıncı arını parçalar ve taşıdığı malzeme ile birlikte kazı boşluğuna doğru akar. Söz konusu olaylar yeniden bir denge sağlanıncaya (gaz basıncının düşmesi, taşınacak niteliklerde kömür kalmaması) kadar devam eder. Şekil 2.2’de kazı esnasında arın önündeki bölgede gerilme dağılımı ve gaz basıncının değişimi gösterilmiştir (Beamish ve Crosdale, 1998).



Şekil 2.2 : Ani püskürme olayının mekanizması.

3. ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının oluşmasında rol oynayan faktörler; jeolojik yapı, kömürün yapısal özellikleri (kömürleşme derecesi, kömürün gevrekliği vb.), kömür damarının içerdiği gaz miktarı, kömürdeki gazın desorpsiyon hızı ve kaya basıncıdır (Ruilin ve Lowndes, 2010). Sıralanan faktörleri, daha önce hiçbir madencilik çalışmasının olmadığı bakir zonlarda açıklamak, tahmin etmek, önceden kestirebilmek zordur. Söz konusu faktörler yapılacak çalışmalar öncesi araştırmaların temel noktalarıdır. Damarlarda çalışmaların başlaması ile değer kazanırlar (Lama ve Bodziony, 1998).

3.1 Jeolojik Faktörler

Jeolojik yapı ani püskürme olayının oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Karmaşık jeolojik yapıya sahip olan kömür damarları yüksek gaz içeriği ile birlikte ani püskürme olayına eğimli olmaktadır. Jeolojik faktörler iki grup altında toplanabilir. Bunlardan birincisi doğrudan kömür damarının geometrisini ve oluşumunu karakterize eden parametreler, ikincisi ise kömür damarları ve yan kayaçların tektonizmasını karakterize eden parametrelerdir (Lama ve Bodziony, 1998).

3.1.1 Üretim derinliği, damarın eğim açısı ve damar kalınlığı

Jeolojik faktörler içerisinde yer alan 1. Grup, doğrudan kömür damarlarının geometrisi ve oluşumu ile ilgilidir. Bunlar olayın oluşum derinliği, damarının eğim açısı ve kalınlığıdır. Söz konusu özellikler kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilir.

Üretim düzeyinin derinleşmesiyle birlikte, olayı meydana getiren iki temel parametre; kömür damarının gaz içeriği ve kaya basıncı artmaktadır. Diğer bir deyimle, derin kotlarda çalışan ocaklarda olayların meydana gelme olasılığı daha yüksektir. Ancak, bu varsayım “sığ derinliklerde ani püskürme olayları meydana gelmez” şeklinde yorumlanmamalıdır. Tektonik kökenli gerilmelerin etkin olduğu,

kömürleşme sürecinde oluşan gazın damardan uzaklaşmadığı vb. durumlarda, sığ derinliklerde de olaylarla karşılaşılabilir (Lama ve Bodziony, 1998).

Genellikle kalın kömür damarları ince kömür damarlarına göre ani püskürmeye daha yatkındır. Bunun nedeni kalın kömür damarlarındaki gaz miktarının ve ani püskürmeyi tetikleyecek deformasyon enerjisinin daha fazla olmasıdır (Valliappan, 1999). Diğer taraftan, damar eğiminin olayların meydana gelişinde önemli etkenlerden birisi olduğu bilinmektedir. Çünkü, eğim arttıkça kömürün tabantaşı ve ara kesmelerin oluşturduğu süreksizlik düzlemleri üzerinde kazı boşluğuna doğru kayması olasılığı da artmaktadır (Ökten, 1983).

3.1.2 Tektonizma

Jeolojik faktörler arasında yer alan 2. grup parametreler ise tektonizma ve volkanizma sonucu kömür damarlarının geometrisinde oluşan etkileri kapsamaktadır. Bunlar kıvrımlar, kırıklar, faylar, ezik zonlar, damar kalınlığındaki değişimler ve magmatik intrüzyonlar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Söz konusu alanlarda damarların geometrisindeki ve kömürün; mekanik, fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerindeki ani değişimler olaylarının meydana gelmesinde doğrudan rol oynamaktadır (Lama ve Bodziony, 1998).

Tektonizma sonucu deformasyona uğrayan havzalarda olayların sayısı ve şiddetinin belirgin bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Çünkü, olaylar sırasında kömür damarındaki gazın kazı boşluğuna doğru akmasını sağlayan süreksizliklerin büyük bir bölümü tektonik olaylar sonucu meydana gelmektedir (Lama ve Bodziony, 1998).

3.2 Kömürün Yapısal Özellikleri

3.2.1 Kömürleşme Derecesi

Kömürleşme olayı sırasında organik maddedeki değişimlerin evreleri kömür türlerini meydana getirir. Kömürleşme derecesi genellikle Uçucu Madde veya Sabit Karbon miktarları esas alınarak belirtilmektedir. Diğer bir deyimle, uçucu madde miktarı azaldıkça veya sabit karbon miktarı arttıkça kömürleşme derecesi yükselmektedir. Araştırmalar düşük dereceli kömürlerden antrasite doğru gelişen kömürleşmeye paralel olarak adsorplanan gaz miktarında bir artış olduğunu göstermiştir (Ökten, 1983).

Ayrıca yüksek dereceli kömürler diğerlerine oranla daha az su içermektedir. Araştırmalar; daha fazla nem içeren kömürlerin daha az gazı adsorbe ettiğini ortaya koymuşlardır. Özet olarak kömürleşme derecesi yükseldikçe kömürdeki higroskopik nem miktarı azalmakta dolayısıyla kömür daha çok gazı adsorbe edebilmektedir (Paul, 1971; Ökten, 1983).

Diğer taraftan gazın sadece kömür maddesi tarafından adsorplandığı kanıtlanmış olup, kül miktarı azaldıkça doğal olarak kömürün gaz adsorpsiyon kapasitesi büyümektedir (Lama ve Bodziony, 1998).

Görüldüğü gibi kömürleşme derecesi ile ani püskürme olayını meydana getiren en önemli etkenlerden birisi olan kömürün adsorbe edebileceği (desorbe olabilir) gaz miktarı arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle kömürleşme derecesinin araştırılması ani püskürmeye eğilimli zonların önceden belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

3.2.2 Kömürün Gevrekliği

Artan gerilmeler altında elastik sınırı izleyen çok sınırlı bir şekil değiştirmeden sonra aniden kırılan kayaçlara “Gevrek Kayaçlar” denilmektedir (Ketin ve Canitez, 1972). Bu tür kayaçlarda yenilme, kırılma şeklinde olmaktadır. Kömürlerin de gevrek kayaçlar sınıfına girdiği, kömürleşme derecesi yüksek kömürlerin diğerlerine oranla daha gevrek bir yapı gösterdikleri bilinmektedir. Kömürün bu özelliği, sekonder gerilmelerin etkisiyle var olan süreksizliklerin gelişmesi ve yeni süreksizliklerin oluşmasında önemli rol oynar. Diğer bir deyimle, kömürün gevrekliği arttıkça gazın desorpsiyon hızını etkileyen temel parametrelerden “çatlak yoğunluğu” artar. Bu varsayımdan hareketle, kömür damarlarından alınan numunelerin gevrekliğini belirleyerek, damarın ani püskürmeye eğilimi konusunda bir fikir elde etmek mümkündür (Ökten, 1983; Bodziony ve Lama, 1996).

3.3 Damarın İçerdiği Gaz Miktarı

Kömür damarının gaz içeriği, ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarında temel bir faktördür. Bir kömür damarında ani püskürme olayının gerçekleşmesi için, belirli miktarda gaz içeriğinin mevcut olması gerekmektedir. Genel olarak, 8 m³/t'dan (kuru-külsüz kömür) daha büyük bir gaz içeriğinde, diğer koşullar da olumluysa, ani gaz ve kömür püskürmesi olayının başlaması için yeterli şartlar oluşmaktadır (Lama,

1995). Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da kömür damarındaki farklı tabakaların farklı gaz içeriklerine sahip olmasıdır. Bazı tabakalar diğerlerine nazaran 3-4 m³/t daha fazla gaz içerebilir. Eğer bu tabakalar, yüksek oranda düren (kömür maseralı) içeriyor ve yoğun çatlaklı yapıya sahip ise, kömür damarı olaya eğilimli olmadığı halde tariflenen yerler olayı tetikleyebilir.

Almanya ve Avustralya'daki ampirik deneyimlere dayanarak, kömürün gaz içeriği açısından sınır değerler; metan için 9 m³/t, karbondioksit için 5 m³/t olarak tespit edilmiştir (Beamish 1984).

3.4 Kömürün Gaz Geçirgenliği

Kömür damarının tamamının veya bir bölümünün geçirgenliği 5 mD'den büyükse, bu gruba giren kömür damarları ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarına eğilimli olmamaktadır. Karotlu sondajlar ile elde edilen kömür numunelerin geçirgenliği 10⁻³ mD'den küçükse damar yüksek derecede ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimli, 10⁻¹ mD'den büyükse olaya daha az eğilimli olarak nitelendirilmektedir (Lama ve Bodziony, 1998).

3.5 Gaz Basıncı

Genel bir ifadeyle, kömür damarlarının gaz basıncının artması ile adsorbe edilen gaz miktarı da artmaktadır. Kömür damarlarının bulunduğu derinlik arttıkça, gerek statik basınç artışından, gerekse örtü tabakalarının geçirimsiz hale gelmesinden dolayı gaz basıncı ve gaz içeriği de artar. Günümüzde, yüzeye yakın kömür damarlarının tükenmesi nedeni ile daha derinlere inilmesi, beraberinde gaz içerikleri daha yüksek damarlarda çalışma zorunluluğunu getirmiştir. 300-1000 metre derinlikte bulunan kömür damarlarının gaz basınçları yaklaşık 20-40 kg/cm² arasında değişmektedir (Ediz ve Durucan, 1998).

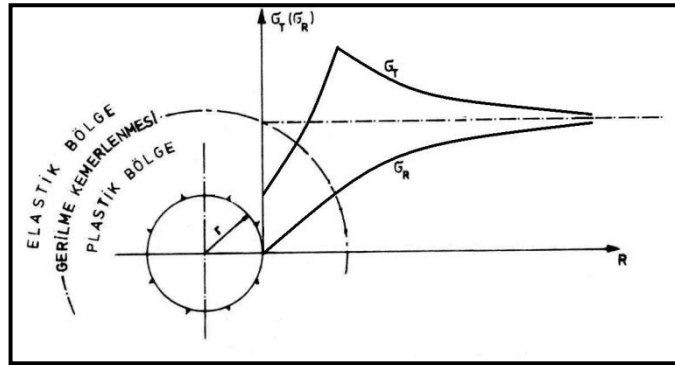
Yeraltında madencilik faaliyetleri devam ederken, oluşan gaz basıncının tahmini önemli bir yer tutmaktadır. Arın önündeki gaz basıncı, ilerleme hızına bağlıdır. Ancak, yüksek ilerleme hızlarında (yaklaşık 10 m/vardiya), gaz basıncı arından 2-3 m ileride minimum düzeydedir. Çok yumuşak kömür damarlarında 0,3 MPa'dan büyük gaz basınçları ani püskürme olaylarına neden olabilmektedir. Dayanımı

yüksek, sert kömür damarlarında arın önündeki kabul edilebilir gaz basıncı 0,6 – 1 MPa kadar olabilir (Zhang, 1995).

3.6 Gerilme Koşulları

Madencilik faaliyetleri sırasında yapılan kazılar yerkabuğu içindeki doğal (Primer) gerilme durumunun bozulmasına neden olmaktadır. Doğal gerilmelerin yön, yer ve şiddet değiştirmesiyle oluşan yeni gerilme dağılımı da ikincil (Sekonder) gerilme durumu veya “Kaya Basıncı” olarak isimlendirilmektedir (Vardar, 1979; Ökten, 1983). Artan gerilmeler kömür damarında sekonder çatlakların boyutları ve yoğunluğunu artırmakta, arının dayanımını azaltarak gaz basıncı etkisiyle parçalanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle kazı boşluğu çevresindeki gerilme dağılımının incelenmesi önem taşımaktadır. Ancak ocağın belli bir noktasında yapılan ölçümlerde elde edilen değerlerin sadece genel bir fikir verdiğini, tüm ocak için genelleştirilemeyeceğini dikkate almak gerekir.

Boşluğu çevreleyen bölgede kaya basıncı, teğetsel (σ_T) ve radyal (σ_R) gerilmelerle ifade edilmektedir. Her iki bileşenin galeri cidarından uzaklaştıkça nasıl bir değişim gösterdiği Şekil 3.1’de verilmiştir (Fişne ve diğ., 2006).



Şekil 3.1 : Bir galeriyi çevreleyen bölgede kaya basıncının değişimi.

Şekil 3.1’den de görüldüğü gibi, teğetsel gerilmenin değeri hızla artarak “Derinlik Basıncını” aşmakta, belli bir uzaklıktan sonra en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu bölgede basıncın etkisiyle süreksizlikler kapanacağı için kömürün gaz geçirgenliği en düşük değerine iner ve gazın arına doğru göç etmesi zorlaşır. Teğetsel gerilmeler kömürün basınç dayanımından büyükse kömürün elastik kırılma koşulu aşılar ve boşluk dolayında belli büyüklükteki bir bölge içinde kömür kırılarak plastik bir yapı kazanır. Bu nedenlerle, kaya basıncının arın önündeki değişiminin araştırılması, ani

püskürmeye eğilimli zonların önceden belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (Fişne ve diğ., 2006).

3.7 Kömürün Sorpsiyon-Desorpsiyon Özellikleri

Gaz kömür içinde esas olarak; mikrogözeneklerde kömüre adsorbe durumda ve makrogözeneklerde ve çatlaklarda serbest halde bulunmaktadır (Gürdal, 1998).

Üretim çalışmaları öncesinde adsorblanan ve serbest durumda bulunan gazın basıncı birbirine eşit olup bir denge söz konusudur. Arının ilerletilmesi ile birlikte doğal gerilme durumu bozulacağından, çatlaklardaki gaz, basıncın daha düşük olduğu arına yakın zonlara doğru göç ederek ocak havasına karışır. Böylece çatlaklardaki gaz basıncı hızla azalır ve kömüre adsorbe durumda bulunan gaz molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri ortadan kalkar. Moleküller önce mikrofissür, fissürlere oradan da çatlaklara geçerek serbestleşirler. Aynı olaylar yeniden bir denge sağlanıncaya kadar gittikçe yavaşlayarak zincirleme şekilde birbirini izlerler (Lama ve Bodziony, 1998).

Ani gaz ve kömür püskürmesi olayının meydana gelebilmesi için sorpsiyon dengesinin bozulmasından sonra gazın kömürden hızla desorbe olarak kazı boşluğuna doğru göç etmesi gerekmektedir.

4. ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARINA EĞİLİMLİ BÖLGELERİN BELİRLENMESİ

Ani gaz ve kömür püskürmesi olayının meydana gelmesinde rol oynayan faktörler bir maden ocağından diğerine değişmektedir. Ancak birçok havzada yapılan araştırmalar sonucunda, söz konusu faktörler; ortamın jeolojik yapısı, kömürün yapısal özellikleri (kömürleşme derecesi, kömürün gevrekliği vb.), kömür damarının içerdiği gaz miktarı, kömürdeki gazın desorpsiyon hızı ve kaya basıncı olarak verilmektedir. Söz konusu faktörler madencilik çalışmaları sırasında yerinde ve alınan kömür numuneleri üzerinde laboratuvarında incelenmekte, elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildikten sonra çalışma ortamının ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimi açısından bir sonuca ulaşılmaktadır (Bodziony ve Lama, 1996).

Bu bölümde, olaya eğilimli zonları belirlemeye yönelik olarak, kısaca olay öncesi ortaya çıkan makroskopik gözlemlerden bahsedilmiş ve önceden tahminde kullanılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

4.1 Makroskopik Gözlemler

Birçok ülkede olayların özellikle tektonik deformasyona uğrayan yerlerde yoğunlaştığı saptanmıştır. Bu nedenle; ocak imalatının fay zonlarına ve kıvrımlara göre konumu, damar kalınlığında ve eğimindeki değişimler, kömürün yapı ve dokusundaki farklılıklar dikkatle incelenmelidir. Eğer veriler damarın tektonik deformasyona uğradığını ortaya koyuyorsa ve damarın içerdiği desorbe olabilir gaz miktarı $9 \text{ m}^3/\text{t}$ 'dan fazla ise, daima ani püskürme tehlikesi vardır (Ökten, 1983).

Özellikle Rusya, Macaristan ve Fransa'daki taşkömürü ocaklarında yapılan incelemeler, olay meydana gelmeden kısa bir süre önce bazı uyarıcı belirtilerin ortaya çıktığını göstermiştir. Saptanan uyarıcı belirticiler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Arındaki çatlaklardan veya sondaj deliklerinden önceleri yavaş, sonradan bir vantilatörden üflenir gibi gaz çıkışı olmakta, ocak imalatının havası içindeki metan miktarı aniden yükselmektedir,
- Ufak kömür parçaları arından sıçrayarak dökülmektedir,
- Ocak imalatı bir depremi arındırır şekilde sallanmakta, arına yakın tahkimat elemanlarından bazıları kırılmaktadır,
- Arından genellikle iki zamanlı motorun çalışmasını veya sağlam bir kumaşın yırtılmasını andıran sesler gelmektedir (Ökten, 1983).

Ancak bu bilgilerden yola çıkılarak kömür damarlarının ani püskürme olayına yatkınlığı hakkında bir tahmin yapılamamaktadır. Makroskopik gözlemler sadece olay öncesi bilgi verme niteliğinde olup, yapılacak araştırma çalışmalarının yönlendirilmesine yardımcı olmaktadır.

4.2 Olaylarda Rol Oynayan Etkenlerin Araştırılması

Birçok ülkede kömür damarlarının ani püskürme olayına eğiliminin belirlenmesi amacıyla farklı tahmin indeksleri kullanılmaktadır. Aşağıda söz konusu indeksler hakkında kısa bilgi verilmiş ve değerlendirme kriterleri açıklanmıştır.

4.2.1 Ettinger sorpsiyon/desorpsiyon indeksi

Kömür damarlarının ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimini tahmin etmek için farklı sorpsiyon/desorpsiyon indeksleri kullanılmaktadır. Bu indeksler kömürlerin doğasını sayısallaştırmaktadır. Söz konusu indeks değerleri kömürün yapısı, gaz içeriği ve gerilme koşulları gibi diğer faktörlerle ilişkilendirilmelidir.

Ettinger (Jiang ve diğ., 2011), ani püskürme olaylarında kömürdeki gazın sorpsiyon/desorpsiyon özelliklerinin önemini laboratuvar çalışmalarına dayanarak vurgulayan ilk araştırmacılar arasındadır.

Ettinger (Bodziony ve Lama, 1996)'in yönteminde kullanılacak kömür numuneleri; 0,25-0,50 mm tane boyutuna kırılmalı, deney öncesi 60°C sıcaklıkta kurutulmalı ve kömürdeki artık gaz numuneden uzaklaştırılmalıdır. Numuneye 30°C sıcaklıkta, 1 atm basınç altında bir denge durumu sağlanıncaya kadar gaz emdirilmelidir.

Ettinger'e göre, ilk 30 saniyede ölçülen sorpsiyon/desorpsiyon hızı referans değer olarak alınmalıdır. Ayrıca Ettinger ve diğ. (Bodziony ve Lama, 1996), 1atm basınç altında emilen gazın yüzdesi olarak sorpsiyon/desorpsiyon hızının ölçülmesi yerine, belirli boyutlardaki kapalı kap içinde ilk 30 sn'deki basınç yükselmesini ölçmeyi önermişlerdir. Bu değeri " ΔP_{0-30} İndeksi" olarak tanımlamışlardır (Bodziony ve Lama, 1996). Bu indekse göre kömür damarları ani püskürmeye eğilim açısından aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

- $\Delta P_{0-30} \leq 5$ mmHg, Kömür ani püskürme olayına eğilimli değil,
- $\Delta P_{0-30} = 5 - 15$ mmHg, Kömür ani püskürme olayına eğilimli,
- $\Delta P_{0-30} = 15 - 20$ mmHg, Kömür ani püskürme olayına yüksek derecede eğilimli.

4.2.2 ΔP_{0-60} indeksi

Ettinger ve diğ. (Bodziony ve Lama, 1996), ΔP_{0-30} İndeksi'nden sonra ΔP_{0-60} İndeksi'ni önermişlerdir.

Modifiye edilen ΔP_{0-60} İndeksi, birçok ülkede iletimli uzun ayak yöntemi ile çalışılan ocaklarda damarların ani püskürmeye eğilimi açısından değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ölçmelerde kullanılacak kömür numuneleri; hazırlık galerilerindeki çalışmalar sırasında arında açılan 3 m derinliğindeki sondajlardan, uzun ayaklarda ise arın boyunca 15 m aralıklarla açılacak 2,5 – 3 m uzunluğudaki sondajlardan alınmaktadır. Numune boyutu taşkömüründe 0,25 - 0,50 mm, antrasitte 2 -3 mm olmalı ve sondaj işleminin ilk 90 saniyesi içinde 3 g'lık numune sızdırmaz kap içine koyulmalıdır. Daha sonra kap içinde 10. ve 60. saniyelerde oluşan basınç yükselmeleri mmHg olarak ölçülmektedir. ΔP_{0-60} İndeksi > 15 mmHg (~ 20 mbar) kömür damarları ani püskürme açısından şüpheli olarak nitelendirilmekte olup, ΔP_{0-60} İndeksi esas alınarak yapılan sınıflandırma Çizelge 4.1'de verilmiştir (Ökten, 1983).

Çizelge 4.1 : ΔP_{0-60} İndeksi esas alınarak kömür damarlarının ani püskürmeye eğilimleri açısından sınıflandırılması.

Sınıf	Değer Aralığı (mmHg)	Damarın Ani Püskürmeye Eğilimi
1	$0 < \Delta P_{0-60} \leq 15$	Tehlikesiz
2	$15 < \Delta P_{0-60} \leq 30$	Şüpheli
3	$30 < \Delta P_{0-60} \leq 45$	Tehlikeli
4	$\Delta P_{0-60} > 45$	Çok Tehlikeli

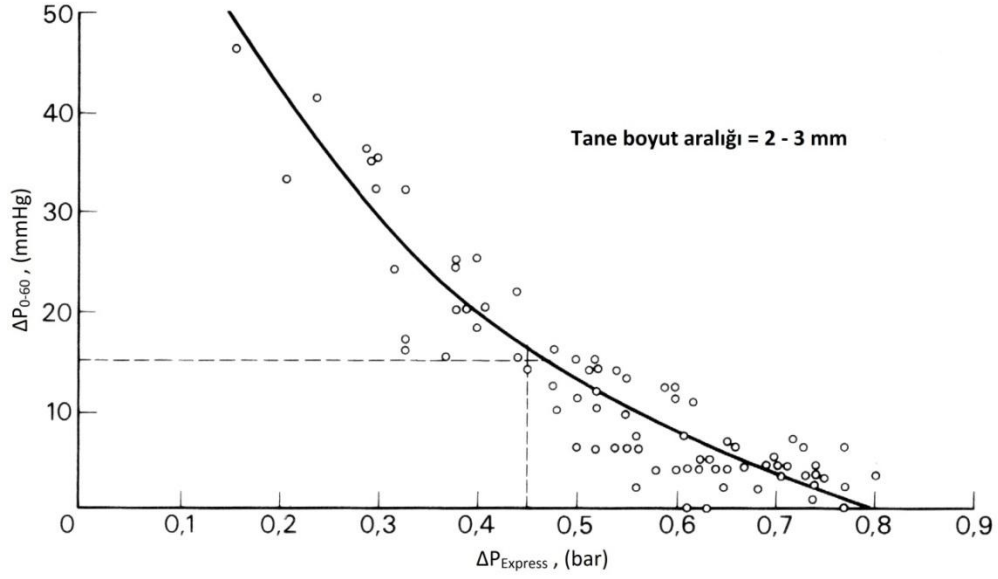
ΔP_{0-60} değeri için kül miktarının yükseldiği durumlarda düzeltme yapılması gerekir. Bu değer eşitlik 4.1 ile şöyle hesaplanır;

$$\Delta P_{0-60} (\text{külsüz kömür}) = \frac{\Delta P_{0-60}}{1 - \% \text{ Kül}} \quad (4.1)$$

4.2.3 $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi

ΔP_{0-60} değerini belirlemek için kullanılan aygıt ile bir defada en çok sekiz numune üzerinde ölçüm yapılabilmekte ve işlem yaklaşık 5 saat sürmektedir. Ölçme işlemini basitleştirmek ve süresini kısaltmak amacıyla, F. Almanya, “Bergbau Forschung GmbH” merkezinde Paul (1977) tarafından yeni bir ölçme tekniği geliştirilmiştir. Desorpsiyon ve adsorpsiyon tersinir reaksiyonlar olduğundan, bu yöntemle kömürden gazın desorpsiyon hızı yerine, kömürün gazı adsorpsiyon hızı ölçülmektedir. Kullanılan aygıt basınçlı hava ile otomatik olarak çalışmakta ve bir numune üzerinde gaz desorpsiyon karakteristiği $\Delta P_{\text{express}}$ değerinin saptanması 5 dakika sürmektedir. Bu yöntemde 70 gr kömür numunesi kullanılmaktadır. Numune boyutları taşkömürü için 0,25 – 0,50 mm ve antrasit için 2 – 3 mm aralığında değişmektedir. Sızdırmaz kap içindeki kömür numunesi ilk olarak 2 dk boyunca vakumlanmakta, daha sonra sisteme gaz verilerek basıncın 2 bar’a çıkması sağlanır. Gaz akışı kesilerek numune kabındaki basınç değişimi ölçülür. Bir dakika sonunda manometreden okunan gaz basıncı $\Delta P_{\text{express}}$ İndeks değeri olarak alınır.

Paul (1977) antrasit numuneleri üzerinde ΔP_{0-60} ve $\Delta P_{\text{express}}$ deneyleri yapmış ve iki indeks arasında Şekil 4.1’deki gibi bir ilişki olduğunu belirlemiştir. ΔP_{0-60} İndeksinde kritik değer olan 15 mmHg’ya karşılık gelen $\Delta P_{\text{express}}$ İndeksi kritik değeri 0,45 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1 : ΔP_{0-60} ve $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi arasındaki ilişki.

4.2.4 Polonya desorbometresi

Polonya desorbometresi bir su göstergesi yardımıyla ΔP değerlerini ölçmektedir. Burada 0,5 - 1 mm boyut aralığında 3 gr'lık numuneler kullanılmaktadır. Numuneler 3 m'lik 42 mm çapında sondajlar ile alınmaktadır. Kırıntılar sondaj deliğinin son 10 cm'sinden toplanmaktadır. Numune kaplarının sızdırmazlığı sağlandıktan sonra ölçme işlemine ilk 35 saniye içerisinde başlanır ve 2 dakika süreyle ölçümler devam eder. Su göstergesinden okunan 0,5., 1. ve 2. dakikalardaki ΔP değerleri sırasıyla $\Delta P_{0,5}$, ΔP_1 , ve ΔP_2 olarak tanımlanmaktadır (Bodziony ve Lama, 1996). Karbondioksit içeren Polonya'daki Aşağı Silezya antrasit madenlerindeki ani püskürme ile ilgili koşulları tanımlamak için söz konusu deney yapılmış ve kritik ΔP değeri 2 dakika sonunda 120 mmss olarak bulunmuştur (Bodziony ve Lama, 1996).

4.2.5 k_t indeksi

Bu indeks; kömür numunesinin desorpsiyon hızındaki değişimin bir ölçüsüdür. Yöntemde 0,4 - 0,63 mm boyut aralığında numuneler kullanılmaktadır. Kritik k_t değeri, gaz içeriği için sınır değer olan 9 m³/t değeri ile ilişkilidir (Lama ve Bodziony, 1998).

k_t indeksi desorbometre ile yapılan kömürden desorbe olan gaz miktarının zamana bağlı değişiminden elde edilen verilerden hareketle belirlenmektedir. Söz konusu verilerin tam logaritmik (ln-ln) kağıt üzerine taşınması ile elde edilen noktalardan

geçen doğrunun eğimi “ k_t İndeksi” olarak tanımlanmaktadır. Desorpsiyon hızı arttıkça doğrunun eğimi yani k_t değeri de artacaktır. Araştırmalar normal kömürlerde k_t değerinin, genellikle $k_t = 0,645 \pm 0,035$ arasında değiştiğini göstermiştir. Diğer taraftan kömür damarları k_t değeri esas alınarak ani püskürmeye eğilimleri açısından Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadır (Ökten, 1983).

Çizelge 4.2 : k_t değeri esas alınarak kömür damarlarının ani püskürmeye eğilimleri açısından sınıflandırılması.

Sınıf	Değer Aralığı	Damarın Ani Püskürmeye Eğilimi
1	$0,75 < k_t \leq 0,82$	Şüpheli
2	$0,82 < k_t \leq 0,88$	Tehlikeli
3	$k_t > 0,88$	Çok Tehlikeli

4.2.6 Gaz emisyon V- indeksi

Gaz emisyon V-indeksi, atmosferik basıncında kömür numunesindeki gazın desorbe olmaya başladığı ilk aşamada açığa çıkan gaz miktarının bir ölçüsüdür (Bodziony ve Lama, 1996). Yöntem Ettinger (Bodziony ve Lama, 1996)’in ilk çalışmalarına dayanmakta olup, ölçme işlemi Fransa’da Somnier (1960) tarafından geliştirilen bir silindir üzerine sarılı 0,5 mm çapında estek hortumdan oluşan desorbometre ile yapılmaktadır. Ölçmelerde 0,5 – 0,8 mm tane boyutunda, 5 gr numune kullanılmaktadır. V indeksi eşitlik 4.2 ile hesaplanmaktadır.

$$V = V_1 \cdot \left(\frac{t_2 - t_0}{t_2 - 2t_0} \cdot \frac{t_2}{t_0} \right) \quad (4.2)$$

Burada;

t_0 : Numunenin alınıp kanisterin içine koyulmasına kadar geçen süre (0–35 sn),

V_1 : 35–70 sn arasında atmosfer basıncında açığa çıkan gaz hacmi (cm^3),

t_2 : V_1 hacimde gazın 2 katının yayılması için geçen süre (sn).

V- indeksi kritik değeri, Dauphin Havzası için $> 4 \text{ cm}^3/\text{g}$, Cevennes Havzası için $> 3,5 \text{ cm}^3/\text{g}$ olarak bulunmuştur.

4.2.7 Hargraves Emisyon İndeksi

Hargraves (1962), numunelerden yayılan gazın ölçülmesini sağlayan bir alet geliştirmiştir. Bu alette kullanılan numune miktarı yaklaşık olarak 4 g ($\pm 8\%$) ve tane boyutu $- 0,125 / + 0,5$ mm aralığındadır. Numuneler 2 m uzunluğundaki sondajlardan alınmaktadır. Numune toplama işlemi ilk iki dakikada yapılmakta olup, ölçme işlemi 4 dakika devam etmektedir.

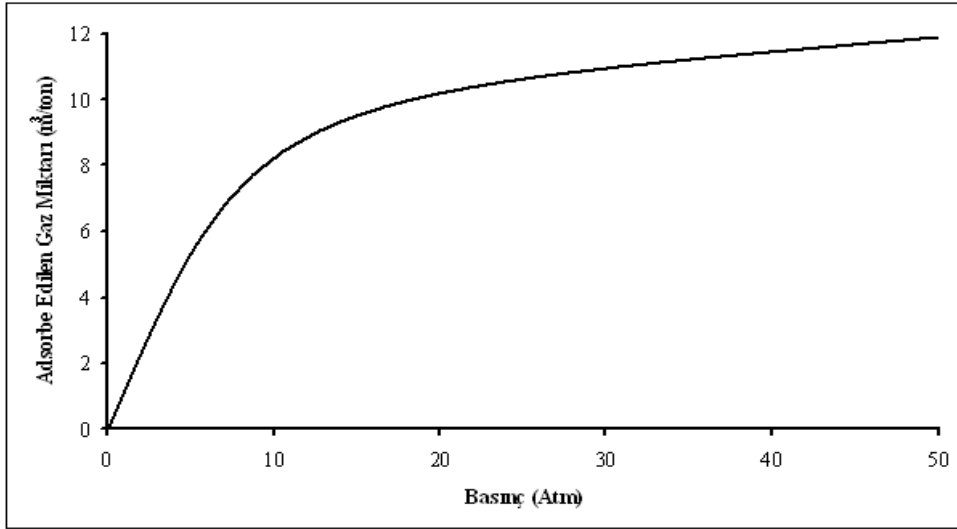
Leichhardt Ocağı Gemini damarında saf metan gazı için kritik değer $1,5 \text{ cm}^3/\text{g}$ olarak tespit edilmiş olup, daha sonra $1,2 \text{ cm}^3/\text{g}$ 'a düşürülmüştür (Bodziony ve Lama, 1996).

4.3 Gaz İçeriğinin Belirlenmesi

Kömürün gaz içeriği ani püskürme olayının meydana gelmesinde rol oynayan en önemli parametredir. Kömürün gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılmak üzere çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş yöntemler mevcuttur. Bunlar “Doğrudan ve Dolaylı” olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Ayrıca bir çok araştırmacı tarafından geliştirilmiş “Ampruk Eşitlikler” yardımıyla da kömürün gaz içeriğini tahmin etmek mümkündür.

4.3.1 Dolaylı yöntemler

Bu yöntemin esası kömür damarlarından alınan örnekler üzerinde, sabit sıcaklıkta adsorpsiyon–desorpsiyon deneyleri yaparak, söz konusu kömür damarı için karakteristik olan adsorpsiyon izotermelerini hazırlamak ve kömür damarının orijinal gaz basıncını belirlemektir. Damarın metan içeriği ise damar gaz basıncında kömürün adsorbe ettiği gaz miktarı olmaktadır. Bir adsorpsiyon izotermi sabit sıcaklıkta kömürün adsorbe ettiği metan miktarı ile basıncı arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Şekil 4.2) (Saghafi ve diğ., 2007).



Şekil 4.2 : Tipik bir izoterm eğrisi.

Bu izoterm, sabit sıcaklıkta, öğütülmüş kömür örneklerinin, kontrollü olarak istenilen denge basıncında metana doyurulması ile elde edilmektedir.

Damar gaz basıncı, yeraltında yapılan veya yeryüzünden açılan sondajlar yardımıyla ölçülmektedir.

Yeraltında açılan sondajlarda, deliğe bir boru yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanmaktadır. Borunun delik ağzındaki kısmına bir manometre bağlanarak gaz basıncı ölçülmektedir.

Düşey deliklerden gaz basıncı ölçülmesinde ise “Drill Stem Test” gibi sondaj tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu tekniğe göre; delik çapları 64-70 mm ve uzunluk 25 m’ye kadar alınabilmektedir. Deliğe yerleştirilen bir sonda, hidrolik olarak delik çeperine sıkılanmakta ve çıkışa bir manometre bağlanarak gaz basıncı ölçülebilmektedir (Didari ve Ökten, 1989).

Adsorpsiyon izotermlerinin belirleneceği sabit sıcaklığın saptanması açısından yerinde damar sıcaklığının da ölçülmesi gerekmektedir.

Laboratuvarda ise, kömür örneği ince pudra haline getirilerek bir kap içine konulduktan sonra kabın havası boşaltılmakta ve ardından adım adım metan gazı verilmektedir. Bu işlem her adımda denge basıncı ve gaz miktarı ölçülerek 4-5 MPa basınca kadar sürdürülmekte ve eş sıcaklık eğrileri elde edilmektedir. Sondaj deliğinden ölçülen denge basıncına karşı gelen gaz miktarı, kömürün yerinde içerebileceği en büyük gaz miktarı olarak değerlendirilmektedir (Didari ve Ökten, 1989).

Bu yöntemin en önemli dezavantajlarından biri izoterm testinin küçük boyutlu kömür numunleri üzerinde yapılması zorunluluğudur. Küçük boyutlu numuneler üzerinde yapılan deneylerde hata miktarı, büyük boyutlu numuneler üzerinde yapılacak deneylerden daha fazladır. Ayrıca kömürde bulunan gaz miktarı metan, karbondioksit ve diğer gazların bileşiminden oluşmaktadır. Saf metan veya karbondioksit gazı kullanılarak elde edilen izoterm eğrileri, bir gaz karışımı kullanılarak elde edilecek izoterm eğrilerinden farklı olacaktır. Dolayısı ile saf metan veya karbondioksit gazı kullanılarak elde edilen izoterm eğrilerinden hareketle kömürün yerinde gaz içeriğini tahmin etmek hatalar içermektedir.

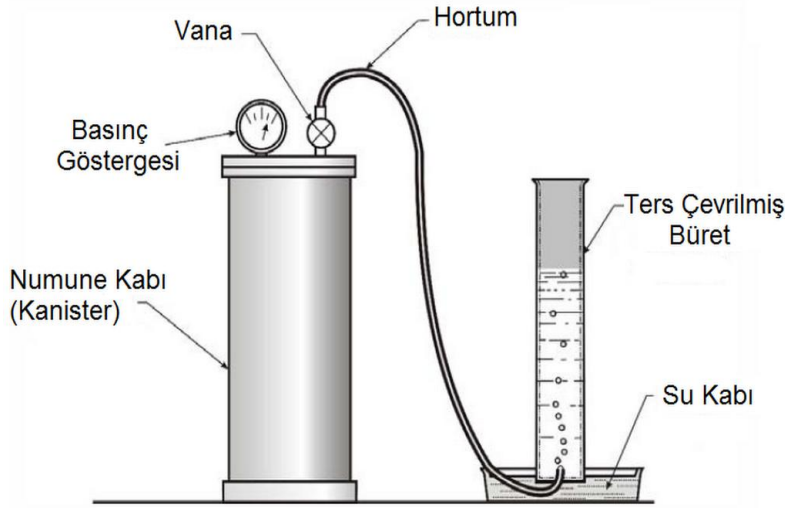
4.3.2 Doğrudan yöntemler

Kömürün gaz içeriğini belirlemek için geliştirilmiş birçok doğrudan yöntem vardır. Bu tür yöntemlerin özünü, kömür damarlarından olası en az gaz kaybı ile örnekler alınması ve bu örneklerden çözülen gaz miktarının belirlenmesi oluşturmaktadır. Yöntem bakir kömür damarlarından sondaj ile numune alma ve alınan örneklerinin sızdırmaz bir kap içerisine konulmasından sonra yayılan gaz hacminin zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Kömür damarından numunenin alınması ve bunun sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilmesi sürecinde kaybolan gaz miktarı (Kayıp Gaz), örneklerin kontrollü metan emisyon deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile belirlenmektedir. Bulunan bu değer, kap içinde “Yayılan Gaz” ve laboratuvarında belirlenen “Artık Gaz” miktarına eklenerek kömürün “Toplam Gaz İçeriği” saptanmaktadır (Gray, 2011).

Bu yöntem ilk olarak Fransız Kömür Araştırma Merkezi CERCHAR’da Berthard ve diğ. (1970) tarafından, yeraltı kömür madenciliğinin çeşitli evrelerinde kömür damarlarının gaz içeriğini belirlemek için geliştirilmiş, daha sonra US Bureau of Mines (USBM)’ın yaptığı çalışmalarla uygulama alanı genişletilmiştir. Yöntemin temeli deneysel ve teorik çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışmalar desorpsiyon işleminin ilk zamanlarında yayılan gaz hacminin zamanın karekökü ile orantılı olduğunu göstermiştir. Aşağıda kömürün toplam gaz içeriğini oluşturan bileşenlerin (yayılan gaz, kayıp gaz ve artık gaz) belirlenmesinde izlenen yol USBM metodu esas alınarak açıklanmıştır.

4.3.2.1 Yayılan gaz miktarının belirlenmesi

Bertard ve diğ., (1970) tarafından tanımlanmış ve daha sonra Kissel ve diğ., (1973) tarafından geliştirilmiş olan yöntem ile; damardan alınan kömür numunesinden numune kabı (kanister) içerisinde yayılan gaz miktarı doğrudan olarak ölçülebilmektedir. Toplam gaz içeriğinin bir bölümü olan “Yayılan Gaz Miktarı (Q_d)”nın ölçümünde, Şekil 4.3’te gösterilen deney düzeneği kullanılmaktadır. McCulloch, (1975)’a göre gaz ölçümü, beş günlük ölçüm zamanında, günlük desorpsiyon ölçümleri $0,05 \text{ cm}^3/\text{g}$ ’ın altına düşene kadar devam etmelidir. Bu miktar daha sonra Diamond ve Levine, (1981) tarafından, bir hafta süresince günlük ortalama $10 \text{ cm}^3/\text{g}$ olarak değiştirilmiştir (Diamond ve Schatzel, 1998).

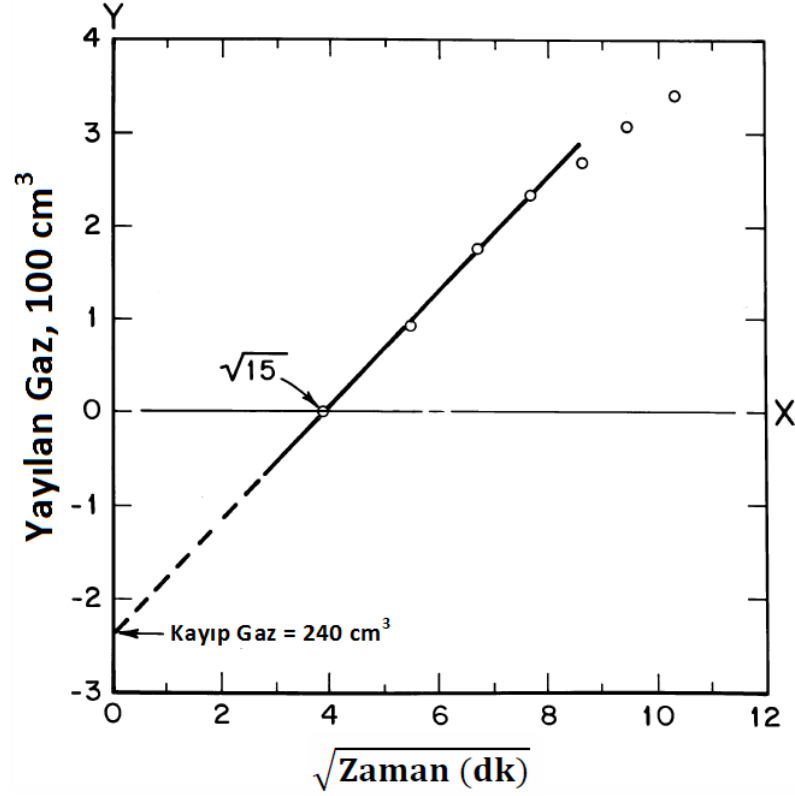


Şekil 4.3 : Yayılan gazın ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği.

4.3.2.2 Kayıp gaz miktarının belirlenmesi

“Kayıp Gaz (Q_l)”, kömür numunesinin damardan kesilip sızdırmaz bir kap (kanister) içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede numuneden yayılan gaz miktarıdır ve toplam gaz içeriğinin bir parçasıdır. Numunenin damardan kesilme anından (desorpsiyonun başladığı an veya sıfır zamanı) sızdırmaz kaba konuluncaya kadar geçen süre kayıp gaz zamanı olarak tanımlanmaktadır. Kayıp gaz miktarı doğrudan ölçülememektedir. Desorpsiyon ölçümlerinden hareketle tahmin edilmekte olup, toplam gaz içeriğinin güvenilirliği en az olan bileşenidir (Şekil 4.4). Kayıp gaz miktarı genel olarak kayıp gaz zamanına, numunenin fiziksel karakterine, sondaj sıvısının türüne bağlıdır.

Kayıp gaz miktarını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için en önemli parametrelerden biri numune alma süresini mümkün olduğunca kısa tutmaktır. Sürenin uzun olması, toplam gaz içeriği içinde kayıp gazın oranının artmasına neden olacak ve güvenilir bir tahmin yapmayı güçleştirecektir.



Şekil 4.4 : Kayıp gaz miktarının belirlenmesi.

Numunenin fiziksel karakteri gazın desorpsiyon hızını etkilemektedir. Bloklı yapıdaki kömürlerde gazın desorpsiyon hızı küçükken, gevrek kömürlerde ise gaz desorpsiyon hızı büyüktür.

Sondaj sıvısının yoğunluğu desorpsiyonun başlangıç zamanını dolayısıyla kayıp gaz zamanını etkilemektedir. Susuz yapılan sondajlarda desorpsiyon başlangıç zamanı (sıfır zamanı) numunenin kesildiği an, sulu yapılan sondajlarda ise numune kesildikten sonra sondaj deliğinin yarı mesafesine geldiği an olarak kabul edilmektedir.

4.3.2.3 Artık gazın bulunması

Yayılan gaz miktarı ölçüldükten sonra “Artık Gaz Miktarı (Q_r)”nın belirlenmesi için, toplam numunenin ya da bir bölümünün sızdırmaz bir değirmende yaklaşık -200 mesh boyutunun altına öğütülmesi gerekmektedir. Öğütülen numuneden çıkan gaz, Şekil 4.3’teki su kabı ve dereceli kap kullanılarak ölçülmektedir (Diamond ve Schatzel, 1998).

4.3.2.4 Toplam gazın bulunması

Üç aşamada gerçekleştirilen ölçmeler sonucunda elde edilen gaz hacimleri toplanarak, kömür numunesinin içerdiği “Toplam Gaz Miktarı” eşitlik 4.3 ile bulunmaktadır.

$$Q_t = \frac{Q_d + Q_l}{M_t} + \frac{Q_r}{M_c} \quad (4.3)$$

Burada;

M_t = Kuru kömür numunesinin ağırlığı, g,

M_c = Öğütmede kullanılan kuru kömür numunesinin ağırlığı, g,

olarak verilmiştir. Formülde kullanılan Q_t değerinin birimi cm^3/g ’dır.

4.4 Gaz Akış İndeksi - G

Çoğunlukla Rusya, Ukrayna, Çek Cumhuriyeti ve diğer doğu Avrupa ülkelerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem arında açılan sondaj deliğinden gelen gaz akışının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Arına çapı 43 mm ve uzunluğu 3 m olan sondaj açılır. Sondaj deliğinin ilk 2,5 m’si sıkılanarak, son 0,5 m’lik kısmından yayılan gaz miktarı 2 dk boyunca ölçülür. Sonuçlar kömürdeki uçucu madde miktarına bağlı olarak Çizelge 4.3’teki gibi değerlendirilmektedir (Bodziony ve Lama, 1996).

Çizelge 4.3 : Gaz akış indeksi ile uçucu madde arasındaki ilişki.

Kömürdeki Uçucu Madde Miktarı (%)	Kritik Akış Oranı – G (l/dk)
< 35 – 30	> 5
30 – 25	≥ 4.5
25 – 15	≥ 4.0
26 – 15	≥ 5.0

4.5 Kırıntı Geliri-S

Kömür damarında yapılan sondajlar sırasında ortaya çıkan kırıntı hacmi kömürün dayanımının ve damardaki gerilmenin bir ölçüsüdür. Arında açılan küçük çaplı sondaj deliği küçük ölçekte açılan bir galeri şeklinde değerlendirilebilir. Sondaj sırasında delik çeperlerinden kopan kırıntıların deliciyi sıkıştırması ani püskürme tehlikesinin bir belirtisidir. Yöntem ilk olarak Jahns (1964) tarafından yüksek gerilme zonlarının saptanması için geliştirilmiştir. Gerilme – ani püskürme arasındaki ilişkinin kurulmasından bu yana söz konusu yöntem ani gaz ve kömür püskürmesi eğilimli zonların tahmininde kullanılmaktadır. Beher metre sondaj uzunluğu için gelen kırıntı geliri (l/m) sondaj deliğinin çapına bağlıdır. Parçalanmış kömürün kabarması ve işlem sırasında burguların delik çeperine sürtünerek çapı genişletmesi gibi nedenlerle kırıntı geliri artmaktadır. Kırıntı gelirinin sondaj çapı ile değişimi ve tehlikeli kırıntı geliri miktarı Çizelge 4.4’te görülmektedir (Fişne ve diğ., 2006).

Çizelge 4.4 : Sondaj çapı kırıntı geliri arasındaki ilişki.

Sondaj çapı (mm)	Normal Kırıntı Geliri (lt/m)	Tehlikeli Kırıntı Geliri (lt/m)
42	2,5	> 6
50	2,75	> 8
95	9,92	>50
140	21,5	> 90

Sondaj çapı ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Almanya’daki İbbenbüren ocağında 95 mm çapında sondajlar kullanılmaktadır.

Hazırlık galerilerinde 5 m uzunluğunda en az iki delik açılmalıdır. Uzun ayaklarda ise, arınında açılan sondajlar arası mesafe 15 m’den daha fazla olmamalıdır (Bodziony ve Lama, 1996).

4.6 Damar Kalınlığı Değişim İndeksi-Mm

Damar kalınlığı değişim indeksi, bir kömür damarının lokal sıkışmasına sebep olan tektonik gerilmelerin bir ölçüsüdür. Bulgaristan ve Rusya’da kullanılmakta olan bu indeks, bir galerinin her iki tarafında 30 metrenin üzerinde uzanan kömür tabakası kalınlıklarının ölçümlerine dayanmakta olup, eşitlik 4.4 ile hesaplanmaktadır.

$$Mm = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum (Mi^2 - \bar{M}^2)}}{\frac{1}{n} \sum Mi} \times 100 \quad (4.4)$$

Burada;

M_i = Ölçüm değeri,

$\bar{M}$ = Ortalama değer

n = Ölçüm sayısını göstermektedir.

Faydan dolayı kömür damarlarındaki sıkımlar oluştuğunda yukarıda verilen formülden farklı olarak aşağıdaki eşitlik 4.5 uygulanmaktadır (Smid ve diğ., 1978).

$$Z = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max} \cdot l} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

Burada;

$M_{\max}$ = Maksimum kalınlık, m,

$M_{\min}$ = Minimum kalınlık, m,

l = En kısa mesafe, m; olarak tanımlanmıştır.

4.7 V_{30} İndeksi

Bu indeks; arında yapılan ateşleme sonucu ilk 30 saniye içerisinde serbestleşen gazın miktarını tanımlayan başlangıç desorpsiyon hızının ölçüsüdür. Söz konusu indeks, patlatma düzeninin ve kullanılan patlayıcı madde miktarının aynı kalması durumunda damarın gaz içeriğinin ve gaz yayılma hızının bir göstergesidir (Bodziony ve Lama, 1996).

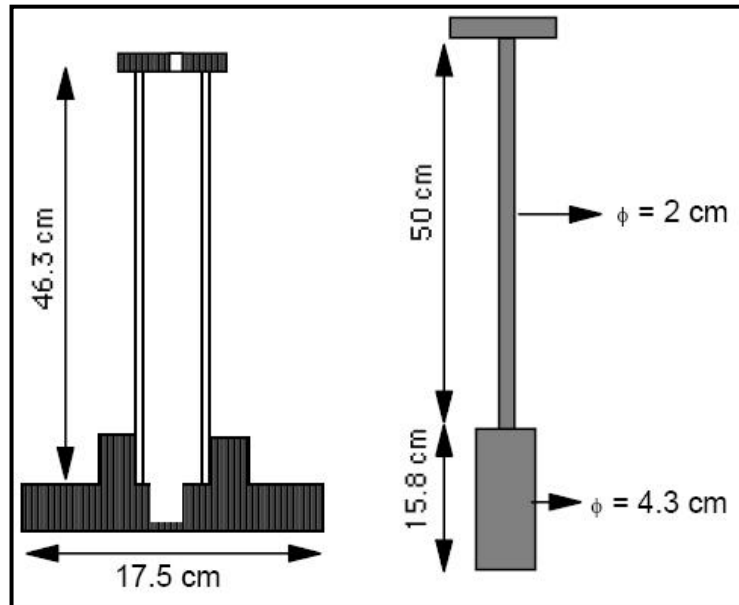
Patlayıcı madde atımıyla gevşetilen kömürden açığa çıkan gazlar, miktar itibarıyla damar hakkında sağlıklı bir yorum yapma imkanı sağlamaktadır. Patlayıcı madde

ateşlendikten hemen sonra 30 dakika süresince ilave olarak açığa çıkan CH₄, ölçü aleti ile ölçüldükten sonra metan gazı miktarı hesaplanarak ani püskürme tehlikesi tespit edilmektedir. Bu hacimsel metan değeri patlayıcı madde atımından sonra gevşetilen kömür miktarına bölünerek V₃₀ değeri m³/t cinsinden elde edilmektedir. V₃₀ değerinin 3,6 m³/t'u aşması ani püskürmenin mümkün olduğunu, 5,4 m³/t'u aşması ise bir ani püskürme tehlikesinin varlığını göstermektedir.

4.8 Kömürün Darbe Dayanım İndeksi

Kömürün gevrekliğini saptamak amacıyla çeşitli ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım; kırılabilirliğin, tek eksenli basınç dayanımının çekme dayanımına oranı (σ_c / σ_t) olarak belirlenmesidir (Fişne ve diğ., 2006). Diğer bir yaklaşım da Protodyakonov'un sertlik ölçme prensibinden yararlanarak Evans ve Pomeroy (1966) tarafından geliştirilen Darbe Dayanım İndeksi (ISI, impact strength index)'dir.

Darbe Dayanım İndeksi'ni belirlemek için kullanılan deney seti Şekil 4.5'te verilmiştir. İç çapı 44,5 mm olan bir silindirle, 43 mm çapında ve 1816 gr ağırlığında bir çelik pistondan meydana gelmiştir.



Şekil 4.5 : Darbe dayanım testi deney seti.

Deneye tabi tutulacak kömür numunesi önce 9,5 – 3,2 mm boyutuna indirilir ve bundan 100 gr tartılarak ölçüm setinin içine koyulur. 1816 gr ağırlığındaki piston 305

mm yükseklikten silindir içindeki numunenin üzerine 20 defa ardarda düşürülür. Darbelerin etkisiyle ufalanan kömür silindirden boşaltılarak açıklığı 3,2 mm olan elekten elenir ve elek üstü tartılır. Elek üstünde ve gözeneklerinde kalan kısmın ağırlığı incelenen kömürün Darbe Dayanım Sayısı'nı (Impact Strength Index) verir (Fişne ve diğ., 2006).

5. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASININ TANITILMASI

5.1 Havzanın Tarihçesi

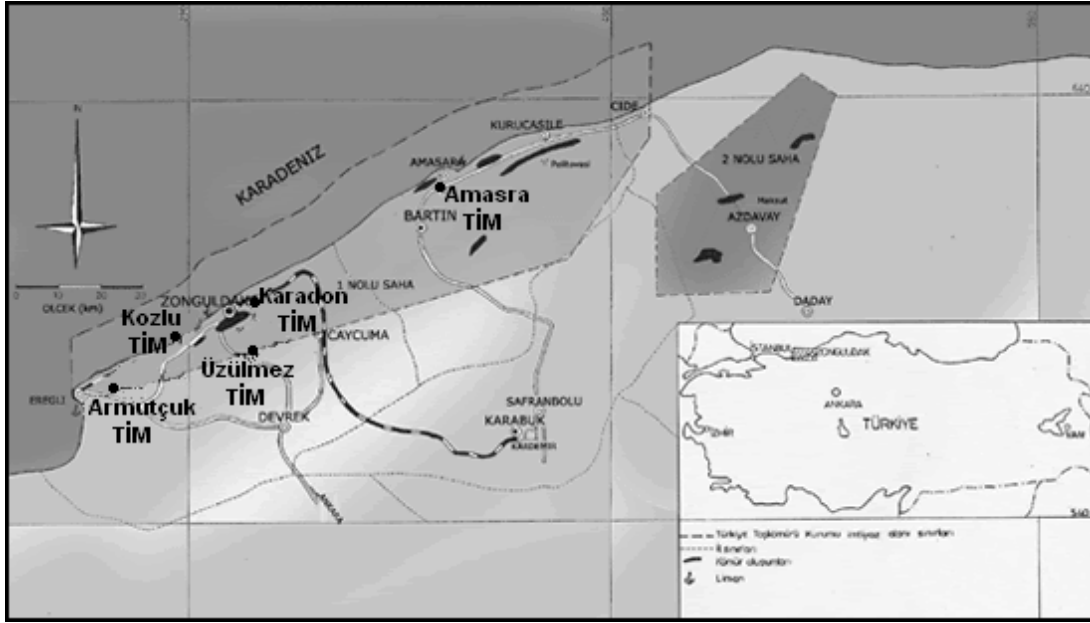
Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda taşkömürü ilk defa Ereğli'de, deniz eri Uzun Mehmet tarafından 1829 yılında Neyren Deresi yatağında bulunmuştur. İlk üretim 1848 yılında “Hazine-i Hassa İdaresi” tarafından başlatılmıştır. 1854 yılından 1935 yılına kadar yerli ve yabancı “Kumpanyalar” eliyle işletilen kömür ocakları, 11.06.1937 tarih ve 3241 sayılı yasayla Etibank'a bağlı olarak kurulan Ereğli Kömür İşletmesi Müessesesi (EKİ) tarafından işletme faaliyetlerine devam edilmiştir. Daha sonra 30.05.1940 tarihinde çıkarılan 3867 sayılı kanunla da havzanın tamamı devletleştirilerek EKİ Müessesesine devredilmiştir. 22.05.1957 tarih ve 6974 sayılı kanunla EKİ Müessesesi Etibank'tan ayrılarak yeni oluşturulan Türkiye Kömür İşletmeleri'ne bağlanmıştır. 28.10.1983 tarih ve 96 sayılı KHK ve EKİ kuruluşu yeniden düzenlenmiş, bünyesine Armutçuk, Kozlu, Üzülmaz, Karadon ve Amasra Taşkömürü İşletme Müesseselerini kapsayan ve merkezi Zonguldak ili olan Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü (TTK) oluşturulmuştur. 08.06.1984 tarih ve 233 sayılı KİT'ler hakkında KHK'ye tabi olarak faaliyetlerine devam etmektedir (Savaşkan, 1989; Ökten, 1983).

5.2 Genel Durum

Zonguldak Taşkömür Havzası Karadeniz'in güneybatı sahilindedir. İstanbul'a 350 km, Ankara'ya 265 km uzaklıktadır. Arazi genellikle dağlık ve ormanlık olup en büyük yükseltisi 785 metre ile Göldağı tepesidir. Kömürlü Karbonifer Formasyonları'nda yer alan en yüksek tepe ise 580 metre ile Karaboya tepesidir. Sahada aşınmamış genç yüzey topoğrafyası ile dikkati çeken vadi yamaçları çok sarp olup aşılması güçtür. Karadeniz'e özgü dört mevsimi yağışlı bir iklim egemendir. En yüksek aylık ortalama sıcaklık Haziran ve Temmuz aylarında 22°C, en düşük aylık ortalama sıcaklık Ocak ve Şubat aylarında 5°C civarındadır (Şahin, 1997).

Zonguldak'ta gemilere kömür yükleyebilmek için bir liman, Zonguldak-Ankara arasında işleyen bir demiryolu mevcuttur. Havzadaki yollar ihtiyaca cevap verecek niteliktedir. Yerleşim genellikle kömür üretim bölgeleri civarında (Kozlu, Üzülmüş, Asma, Çaydamar, Kilimli, Karadon, Gelik vb.) yoğunur (Şahin, 1997).

Kurumun imtiyaz sahası 14.04.2000 tarih ve 2000/525 sayılı Bakanlar Kurulu kararına göre; 3885 km²'si karada, 3000 km²'si deniz altında toplam 6885 km²'lik alanı içermektedir. Zonguldak Taşkömürü Havzası sınırları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Türkiye Taşkömürü Kurumu imtiyaz alanları.

5.3 Havza Rezervleri

Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki kömür rezervi kategoriler itibariyle Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : 01.01.2012 itibariyle havza rezervleri.

Müesseseler	Hazır Bulunan Rezerv (ton)	Görünür Rezerv (ton)	Muhtemel Rezerv (ton)	Mümkün Rezerv (ton)	TOPLAM (ton)
Armutçuk	1.654.298	8.045.551	15.859.636	7.883.164	33.442.649
Kozlu	2.557.001	66.744.799	40.539.000	47.975.000	157.815.800
Üzülmöz	1.080.650	135.794.982	94.342.000	74.020.000	305.237.632
Karadon	2.452.025	133.810.192	159.162.000	117.034.000	412.458.217
Amasra	391.369	170.401.055	115.052.000	121.535.000	407.379.424
TOPLAM	8.135.343	514.796.579	424.954.636	368.447.164	1.316.333.722

5.4 Genel Jeoloji

Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası (KATH); Asya Kıtası'nda yer almasına rağmen, Avrupa Havzaları grubuna dahil edilmektedir. Çünkü; havza Batı Avrupa kömür havzaları gibi Karbonifer yaşlı olup, kömürsüz Vizeyen katı üzerine, kömürce zengin Namuriyen, Vestfaliyen katları kulm fasiyesli bir geçişle gelmektedirler. Keza benzer paleontolojik, palinolojik seviyelerle de KATH, Avrupa Havzaları grubuna dahil edilmektedir (Şahin, 1997).

Havza, Alp Orojenik Kuşağı Alpin Kanadı'nın Türkiye'deki uzantısı olan Pontid Sıradağları içerisinde yer almakta olup, şiddetli deformasyona uğramış, kırıklı ve kıvrımlı Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır.

Filyos çayı, KATH' nı stratigrafik ve tektonik olarak farklılıklar göstermekte olan doğu ve batı havzalarına bölen doğal bir sınır durumundadır. Batı havzasında Paleozoyik'i Devoniyen ve Karbonifer' e ait birimler oluştururken, Mesozoyik' te yalnız Kretase yaşlı tabakalar bulunmaktadır. Doğu havzasında ise Jura, Kretase ile temsil edilmektedir. Batı (Zonguldak) Taşkömürü Havzası, Karbonifer yaşlı formasyonları örten büyük Kretase antiklinalinin aşınmasıyla mostra vermiş bir pencere durumundadır. Havzanın temelini oluşturan Silüriyen-Devoniyen yaşlı kristalize kireçtaşları ve kuvarsitler üzerine denizel Karbonifer ürünü Dinansiye kireçtaşları gelmektedir. Karboniferin tabanını ise Vizeyen kireçtaşları oluşturmaktadır. Derin denizden sığ denize geçişin izlerini taşıyan kulm fasiyesi niteliğindeki Vizeyen kireçtaşları üzerinde Üst Karbonifer (Namuriyen) yer almaktadır.

Namuriyen üzerine ise Vestfaliyen A (Alt ve Üst Vestfaliyen A), Vestfaliyen B, C alt katları gelmektedir. Havzada Karbonifer sistemi sonrası orojenik hareketler, Karbonifer ve daha yaşlı birimlerin kırılmasına, kıvrılmasına ve su üzerine çıkmalarına neden olmuştur. Aynı zamanda başlayan erozyon Permian, Triyas, Jura zamanlarında batı havzasında tamamıyla, doğu havzasında kısmen sedimentasyona izin vermiş, verimli Karbonifer tabakaları Hersiniyen senklinallerinin çekirdek bölgelerinde kalarak bu uzun süreli erozyondan korunmuşlardır. Alt Kretase'de gelişen transgresyon sonunda bu Karbonifer birimleri transgresif olarak gelen Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarınca örtülmüştür (Şahin, 1997). Şekil 5.2' de Zonguldak bölgesinin genelleştirilmiş stratigrafisi verilmiştir.

Doğu havzasında ise Karbonifer sonrası gelişen erozyona rağmen Permian ile Jura' da kısmi sedimentasyon olmuştur. Keza güney-kuzey yönlü sıkıştırmalar sonucu genel yapı senklinoryum ve antiklinoryum şeklinde gelişmiştir. Oluşan kırık sistemleri de bu genel yapıya uygun şekildedir.

Kretase yaşlı örtü tabakaları ile Karbonifer tabakaları arasında bir diskordans olmasına rağmen, yapı bakımından bir bağ bulunmaktadır. Şöyle ki; Hersiniyen senklinallerinin çekirdeğinde kurumuş olan Karbonifer tabakaları, Alpin orojenik hareketler sonucu oluşmuş antiklinallerin çekirdeklerini meydana getirmişlerdir. Zamanla antiklinallerin eksenlerinin yırtılmaları ve erozyon sonucunda Karbonifer birimleri yüzeyde mostra vermiştir (Şahin, 1997).

Havzada kıvrımlar genel olarak doğu-batı doğrultusunda eksenlere sahip olup, kıvrım kanatlarını Kretase' ye ait tabakalar oluşturmuştur. Çekirdek bölgelerinde ise mostra vermiş Karbonifer formasyonları bulunmaktadır. Kırıklar ise kıvrımlara uygun şekilde gelişmiş olup, ya eksenler boyunca ya da eksenlere dik atımlara sahiptirler.

Üst sistem		Süre x 10 ⁶ yıl	Sistem	Seri	Kat.	formasyon	Kalınlık	Kolon kesit	AÇIKLAMALAR		Orojeniz ve Fazlar
Senozoyik		60	Kuvaterner			?	?		Gevşek yüzey çökelleri		ALP OROJENEZİ
			Tersiyer	Paleojen	Eosen	Çaycuma F.	1400 m		Kil-kum-tüf-tüfit.		
			KRETASE	ÜST	Senoniyen	Maestrichtien	40-200 m		Marnlı Kç.		
		Kampanien									
		Koniasiyen (Santoniyen)									
		Turoniyen									
		Senomanien									
		Alt Kretase				Albiyen	50 m		Fliş		
						Apsiyen					
						Velibey veya Kiliimli Fm.					
		Alt Kretase				Barremiyen	350 m		Mavi marn		
						Zonguldak Fm.					
		JURA	Üst			Malm.	400 m		Glokonili Kt.		
						Lias - Dogger					
		Alt Kretase				Himmetpaşa Fm.	750 m		Velibey kumtaşı		
		JURA	Alt Kretase				400 m		İncüvez serisi		
		JURA	Alt Kretase				400 m		Kireçtaşı		
		JURA	Alt Kretase				400 m		Taban Kg.		
		JURA	Alt Kretase				400 m		Kireçtaşı		
		JURA	Alt Kretase				400 m		Kuvars Kt.		
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase				400 m				
		JURA	Alt Kretase								

5.4.1 Kömürlü birimler

Havzanın kömürlü Karbonifer birimleri; Pontid yarımadasının sahil turbalıklarında, genelde delta kütlesi gerisinde konumlanan menderesli akarsu sistemlerinin hakim olduğu ortam koşullarında, otokton ve paralik karakterde oluşmuştur.

5.4.1.1 Alacağzı formasyonu

Kumtaşı, kilitaşı, silttaşı ve kömür ardalanmasından meydana gelir. Batıda Armutçuk, Alacağzı, Çavuşağzı, Değirmenağzı dolayında mostralarda halinde izlenir. Daha doğuda ise Bartın' ın kuzeyinde Gavurpınarı ve Amasra-Tarlaağzı yöresinde izlenmektedir.

Rengi yeşil, haki ve sarı renkte olmaktadır. Birimin içinde bol bitki izlerinin olması denizel koşullardan delta ormanı çökellerine geçişi göstermektedir. Amasra yöresinde 370 m, Zonguldak dolayında 250-350 m kalınlık göstermesine karşın, Armutçuk yöresinde 1000 m' den fazladır (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

Bu formasyon genelde delta önü çökeller ile temsil edilmiştir. Amasra-Tarlaağzı ve Zonguldak dolayında karbonatlı oluşumlar, deltanın deniz tarafından istila edilen alanlarını gösterir. Armutçuk ve Alaçağzı yörelerinde formasyonun alt kesimleri delta önü çökelleri olmasına karşın, üst seviyeleri organik maddece zengin, 10 cm ile 1 m kalınlıklarda kömürlü seviyeler içeren , delta düzlüğü çökelleri olarak izlenir. İstif içindeki kömürlü seviyelerde yapılan palinolojik analizlere göre yaşı Namuriyen'dir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

5.4.1.2 Kozlu formasyonu

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın işletilebilir nitelikte kömür damarlarını içeren prodüktif birimdir. Batıda Armutçuk ve Alacağzı dolayında, doğuya doğru Zonguldak, Kozlu, Üzülmöz, Karadon yörelerinde izlenir. Şekil 5.3' te Zonguldak Karbonifer Penceresi'nin jeolojik haritası verilmiştir.

Kozlu formasyonu, konglomera, kumtaşı, silttaşı, kilitaşı ve kömür ardışıklı olarak izlenir. Konglomeralar değişik boyutlarda, hemen hemen tümüyle iyi yuvarlaklaşmış, kuvarsit, magmatik, metamorfik, kayalık çakıllarından oluşmuştur. Kumtaşları ise inceden-kaba taneliye kadar farklı yapılar göstermektedir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

Kömür damarlarının kalınlığı santimetreden birkaç metreye kadar değişmektedir. Kömürlerin tabanı genellikle silttaşı ve kiltaşından oluşan bir istif sunar. Tavanları ise genellikle kiltaş, silttaşı olmakla beraber, bazı kömür damarlarının aşındırılmalı bir tavanla örtüldüğü gözlenir. İstif; Bartın ve Zonguldak yöresinde 800 m kalınlık göstermesine karşın, Armutçuk yöresinde 0-300 m kalınlıktadır. Alttaki Alacaagzı formasyonu ile ilişkisi tedrici geçişli izlenmektedir. Kömürlerde yapılan palinolojik tayinlere göre birimin yaşı Vestfaliyen-A' dır (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

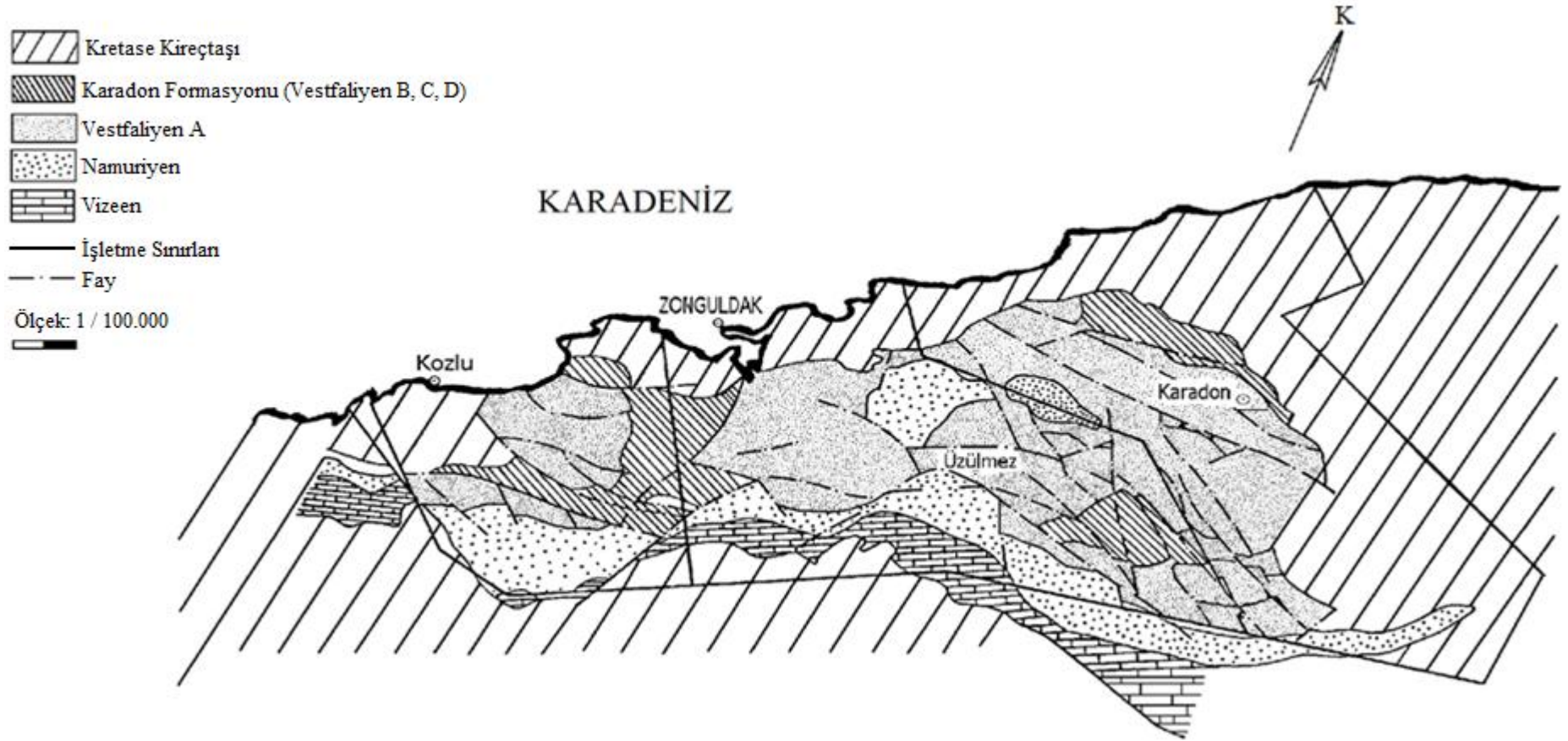
5.4.1.3 Karadon formasyonu

Bu formasyon Kozlu, Üzülmüş, Karadon ve doğuda Bartın dolayında mostra vermektedir. Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaş, kömür ve bazı refrakter killeri (şiferton) bu istif içerisinde yer alır. Kömür damarlarının adedi, kalınlıkları ve yayılımı, Kozlu formasyonuna oranla önemsiz sayılabilecek boyuttadır. Havzada yapılan sondajlarda 4 adet ekonomik olabilecek kömür damarı saptanmıştır. Birimin kalınlığı 300-450 m arasında değişmektedir. Taban ilişkisi Kozlu formasyonu ile tedrici geçişli olarak gözlenir. Kömürlerde yapılan palinolojik analizlere göre yaşı Vestfaliyen-B,C,D' dir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

5.4.2 Havzanın jeolojik evrimi

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın güney kesimlerinde temelde metamağmatik kayalardan oluşan karmaşık bir seri bulunur. Bu temel üzerinde Silüriyen kuvarsitleri birbiri ile ardalanmalı silttaşı-şeyl (Göktepe formasyonu) ve kalsilütitlerden oluşan Devoniyen yaşlı çökeller yer alır. Devoniyen-Karbonifer geçişinde Stramatopor' lu kireçtaşı gözlenir (Şahin, 1997).

Bölge, Devoniyen sonu Karbonifer başlangıcında B-D ve KD-GB doğrultularında genellikle sağ yönlü doğrultu atımlı fayların etkisinde kalarak güneyden itibaren yükselmeye başlamıştır. Vizeen sonuna dek karbonat çökelişi egemen olurken Vizeen sonu Namuriyen başlangıcında gelişen kıvrıntılı kıyı ve geçiş ortamlarında birbirleriyle ardalanmalı olarak kumtaşları, silttaşları ve kiltaşları çökelmişlerdir. Namuriyen sonu, Vestfaliyen başlangıcında deniz kuzeybatıya doğru çekilirken yükselen güneydoğu kesim karasallaşmıştır. Böylece ortamda delta kütlesi gerisinde konumlanan menderesli akarsu sistemleri gelişir. Akarsu kanal çökeltileri (çakıltaş, kumtaşı) ve bunlara paralel gelişen taşkın ovası çökelleri (çok ince kum, silttaşı, kiltaş ve kömür damarları) tüm Vestfaliyen boyunca gelişim gösterirler.



Şekil 5.3 : Zonguldak karbonifer penceresi jeolojik haritası.

Vestfaliyen sonu Stefaniyen başlangıcında havza iyice yükselerek örgülü akarsular gelişmiştir. Permo -Triyas Amasra-Bartın doğusunda alüvyon yelpazesi ortamında biriken kırmızı renkli kumtaşı-çamurtaşı ardalanması ile karakteristiktir. Jura' dan itibaren Mesozoyik boyunca; havza kuzeydoğudan batıya ilerleyen sığ bir denizin etkisinde aşamalı olarak su altına girmiştir. Paleotopoğrafyanın düzensizliği ve tektonik olaylar sonucu havza değişik yaş dönemlerinde su altına girmiş, yakın yerlerde farklı litolojiler çökelmiştir (Şahin, 1997).

5.5 Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi

5.5.1 Sınırları

Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi; batıda Öküşne Fayı, doğuda Damlar ve Adnanbey Fayı, kuzeyde Karadeniz, güneyde Midi Fayı ile sınırlanmıştır. Zonguldak ilinin 8 km batısında yaklaşık 12 km²' lik bir alanda üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Ülkemizin denizaltında taşkömürü üretimi yapan tek müessesesidir. Kozlu Müessesesi üretimini, İhsaniye – İncirharmanı ocaklarından sürdürmektedir (Şahin, 2002; TTK, 2009).

5.5.2 Genel bilgiler

Müessese üretim faaliyetlerini 5 ayrı katta sürdürmekte olup, bu katlar sırasıyla +20 / +80; -160 / - 185; -190 / -250; -425 / -485; -485 / -555'dir. 30 No'lu Ali Soydaş kuyusu -300' den -425 kotuna kadar derinleştirilmiş olup, diğer bir kuyu olan Kozlu Uzun Mehmet Kuyusu ise -425 kotundan -900 kotuna kadar derinleştirilmektedir. Müessesede üretim, göçertmeli klasik uzun ayak, tumba ve bacalardan yapılmaktadır. Göçertmeli uzun ayaklarda kazma ve martopikör kazı araçlarıdır. Ayrıca pnömatik patlatma ile de üretim yapılmaktadır (Şahin, 2002).

5.5.3 Genel jeoloji

İstif Mesozoyik yaşlı örtü formasyonları ve Paleozoyik yaşlı Karbonifer formasyonlarından oluşmaktadır.

5.5.3.1 Örtü formasyonları

Kandilli, Alacaağzı, Ilıksu ve Değirmenağzı yörelerinde mostra veren birim üretken Karboniferi diskordan olarak örten kireçtaşlarından oluşmaktadır. Genel

çerçevede litolojik olarak değerlendirilirse, alt seviye ortalama 150 m kalınlığında koyu gri renkli, kumlu, dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Ara seviye yaklaşık 50 m kalınlığı olan pembe renkli az breşik kireçtaşıdır. Üst seviye ise bej renkli, iyi tabakalanmalı olup kalınlığı 150-350 m arasında değişmektedir. Formasyon içerisinde kırmızı renkli kumtaşı ve çamurtaşı ile tanımlanan seyrek olarak da yüzeylenen karasal birimler bulunmaktadır (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

5.5.3.2 Kömürlü formasyonlar

Stratigrafik açıdan Zonguldak kömürlü Karbonifer istifi bölgede yaşlıdan gence; Yılanlı, Alacaağzı, Kozlu ve Karadon formasyonları olarak ayırtlanmıştır. Formasyonlar sedimantolojik açıdan ise benzer koşullarda çökelmiş kırıntılı çökellerden meydana gelmiştir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

- **Yılanlı formasyonu:** Kozlu Bölgesi' nin güney kesimlerinde Kretase örtüsü altında aşınmayla ortaya çıkmıştır. Birim, kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı araldanmasından oluşur. Ayrıca Devoniyen ve üzerindeki Namuriyen ile de uyumludur.
- **Alacaağzı formasyonu:** İnce orta taneli kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı ve kömür araldanmasından oluşmaktadır. Genellikle ince, orta tabakalanmalı yeşil, sarı ve beyaz renktedir. Kumtaşlarının tane boyutu tabandan tavana doğru artmaktadır İçerisinde ortalama 0,10 - 0,50 m kalınlığında ince ve merceksel kömür damarları olmasına rağmen ekonomik değildir. Litolojik olarak en karakteristik özelliği içerisinde konglomera bulunmamasıdır.
- **Kozlu formasyonu:** Konglomera, mikalı karbonatlı kumtaşı, kiltası, silttaşı ve kömür araldanmalıdır. Konglomeralar genellikle iyi yuvarlanmış kuvarsit, mağmatik-metamorfik kayaçlı, kumtaşları ise kaba ve orta tanelidir. Kömür damarlarının taban ve tavanı kiltası ve silttaşıdır. Üretilbilir ve ekonomik kalınlıkta 20 - 24 adet kömür damarı içermektedir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

Karadon formasyonu: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kömür damarlarının araldanmasından oluşmaktadır. Konglomera çakılları genellikle kireçtaşı, kuvarsit ve granit kökenlidir. Kumtaşları kaba taneliden ince taneliye kadar değişen boyuttadır. Kömür damarlarının adedi, kalınlıkları ve yayılımları Kozlu formasyonuna oranla

önemsiz sayılacak boyutta olup, 4 - 5 adet ekonomik kalınlıkta ancak süreklilik göstermeyen kömür damarları mevcuttur (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

5.5.3.3 Tektonik

Zonguldak Havzası, yoğun tektonizma etkisi altında kalan bir bölgede yer almaktadır. Kretase öncesi dönemlere ait çökellerde Hersiniyen Orojenezi'nin etkisiyle deformasyonlar gelişmiş olup bunlar Kozlu Bölgesi'nde KB-GD uzanımlıdır. Bu faylar Karbonifer yaşlı Yılanlı, Alacaagzı, Kozlu ve Karadon Formasyonları'nı etkileyerek Kretase yaşlı Zonguldak Formasyonu tarafından örtülmüştür (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

Çökel kayalar üzerinde ikincil olarak Alpin Orojenezi'nin etkileri görülmüştür. Bölgenin kuzeyinde yoğun çökelim sonucu aşırı bir yüklenme meydana gelmiş ve buna bağlı olarak havzanın güney kesimi yükselmiştir.

Kozlu Bölgesi'nde etkili büyük faylar bulunmaktadır. Bölgenin kuzeyinde eğimi kuzeye doğru 75° olan Şimal (Kuzey) fayı, doğuda eğimi batıya doğru 40° olan Damlar fayı, güneyde Midi ve Karadon fayları bulunmaktadır. Midi Fayı kuzeye 80° ile, Karadon Fayı güneye 75° - 80° eğimlidir. Kozlu Formasyonu bu faylar ile sınırlandırılmıştır. Bölgenin batı sınırını oluşturan Öküşne Fayı ise kuzey – güney istikameti doğrultu atımlı bir faydır (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

5.6 Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi

5.6.1 Sınırları

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi batıda Üzülmüş Müessesesi, doğuda Göbü, kuzeyde Karadeniz, güneyde Midi Fayı ile sınırlandırılmıştır. Zonguldak ilinin yaklaşık 15 km doğusunda 32 km^2 lik bir saha içerisinde yer altı üretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Koklaşabilir özellikteki taşkömürü üretimi Gelik ve Kilimli İşletme Müdürlüğü olmak üzere iki ayrı İşletmede yapılmaktadır (Şahin, 2002; TTK, 2009).

5.6.2 Genel bilgiler

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde üretim faaliyetleri 2000 yılı itibariyle aktif olarak -160, -260, -360, -460 olmak üzere dört katta sürdürülmektedir. Üretim,

genellikle ilerletimli - göçertmeli uzun ayak sistemi ile yapılmaktadır. Ayrıca üretimde pnömatik patlatma tekniği de kullanılmaktadır (Şahin, 2002).

5.6.3 Genel jeoloji

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde tabandan tavana doğru kömürlü formasyonlar ve bunun üzerinde örtü formasyonları yer almaktadır. Kuzey Fayı, Çatalağzı Fayı, Motris Fayı, 1 No.lu Fay ve Midi Fayı bölgeyi çeşitli bloklara ayırmıştır. Gelik senklinali en önemli kıvrım olarak görülmektedir. Damar kalınlıkları 0,70 – 3,00 metre arasında değişmektedir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

- **Örtü formasyonları:** Karbonifer Serisi olarak isimlendirilen Vestfaliyen-A, B, C yaşlı kömürlü formasyonlar üzerine diskordan olarak gelir. Örtü birimleri Kretase yaşlı olup, tabandan tavana doğru kalker (Barremiyen), silttaşı, kiltası ve konglomeralardan oluşan İncüvez Serisi (Alt Apsiyen) ve Velibey Kumtaşları (Üst Apsiyen) ile temsil edilmektedir (Orhan, 1995; Şahin, 1997).
- **Kömürlü formasyonlar:** Karadon, Kozlu ve Namuriyen Serisi damarlarından oluşan seride, üretim Kozlu Formasyonu'nda 22 adet ve toplam kalınlığı 23-30 metre arasında değişen kömür damarlarında yapılmaktadır.

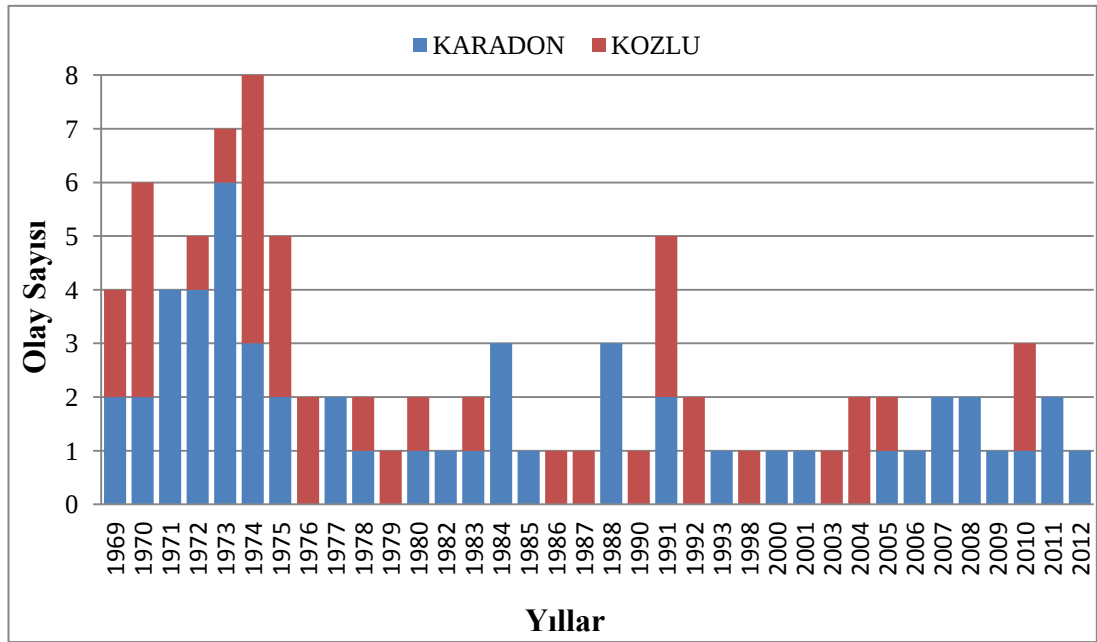
5.6.3.1 Tektonik

Karadon Taşkömürü İşletmesinin kuzeyinde yer alan Kuzey Fayı 250 metre atımıyla kömürlü serileri kuzeye doğru ötelemiştir. Tektonik yapı güneyde bir senklinal, kuzeyde ise bir antiklinalden oluşmuştur. Gelik senklinalinin güney kanadı diktir (45 - 60°). Senklinalin batı bölümü ise kuzey-batı, güney-doğu doğrultulu 1, 2, 3 ve 4 No'lu faylarla bloklara ayrılmıştır. 4 No'lu Fay Üzülmaz-Gelik sınırını oluşturur (Orhan, 1995; Şahin, 1997).

6. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA MEYDANA GELEN ANİ GAZ VE KÖMÜR PÜSKÜRMESİ OLAYLARININ İNCELENMESİ

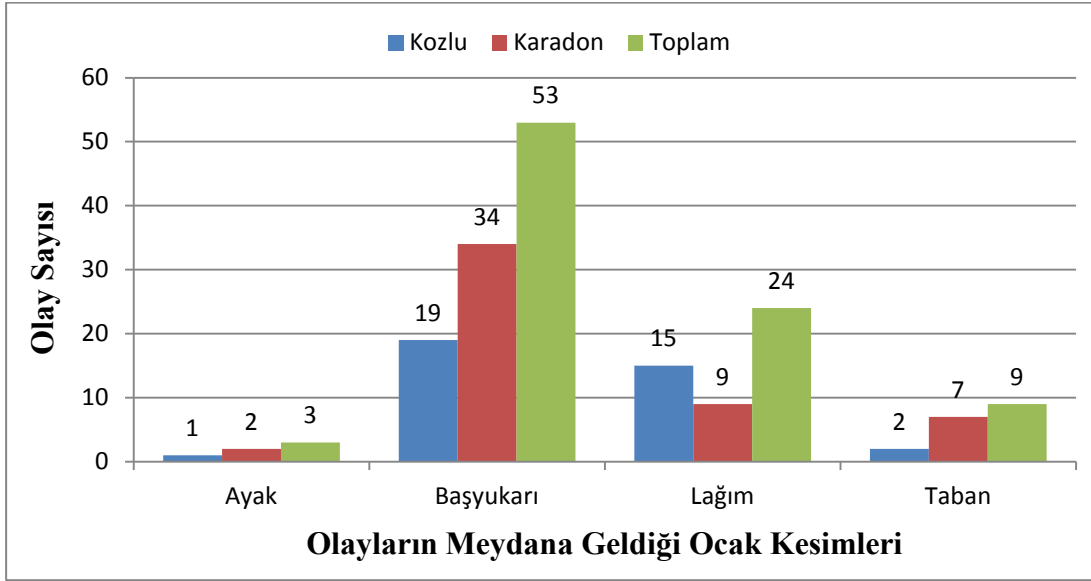
Zonguldak Taşkömürü Havzası'ndaki olaylar sadece Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'ne bağlı ocaklarda ortaya çıkmıştır. Diğer Müesseselerde bugüne kadar ani gaz ve kömür püskürmesi olayları ile karşılaşilmamıştır. Havzada bilinen ilk degaj olayı 1962 yılında Kozlu'da -300 katında meydana gelmiştir.

Konu ile ilgili belgeler, havzada 1969 – 2012 tarihleri arasında toplam 89 adet ani gaz ve kömür püskürmesi olayının meydana geldiğini göstermektedir. Olayların yıllara göre dağılımı Şekil 6.1'de verilmiştir. Bu olaylardan 37'si Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne bağlı ocaklarda, 52'si ise Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne bağlı ocaklarda meydana gelmiştir.



Şekil 6.1 : Ani püskürme olaylarının yıllara göre dağılımı.

Havzada saptanan ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının ocaklardaki hangi kesimlerde ortaya çıktığı incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 6.2’de derlenmiştir.



Şekil 6.2 : Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda olayların sıklıkla meydana geldiği ocak kesimleri.

Karadon Taşkömürü İşletmesi’nde meydana gelen 52 adet ani gaz ve kömür püskürmesi olayının 34’i başyukarılarda, 9’u lağımlarda, 7’si taban yollarında ve 2’si ayaklarda meydana gelmiştir. Kozlu Taşkömürü İşletmesi’nde ise 37 olayın 19’u başyukarılarda, 15’i lağımlarda ve 2’si taban yollarında, 1’i de ayakta meydana gelmiştir.

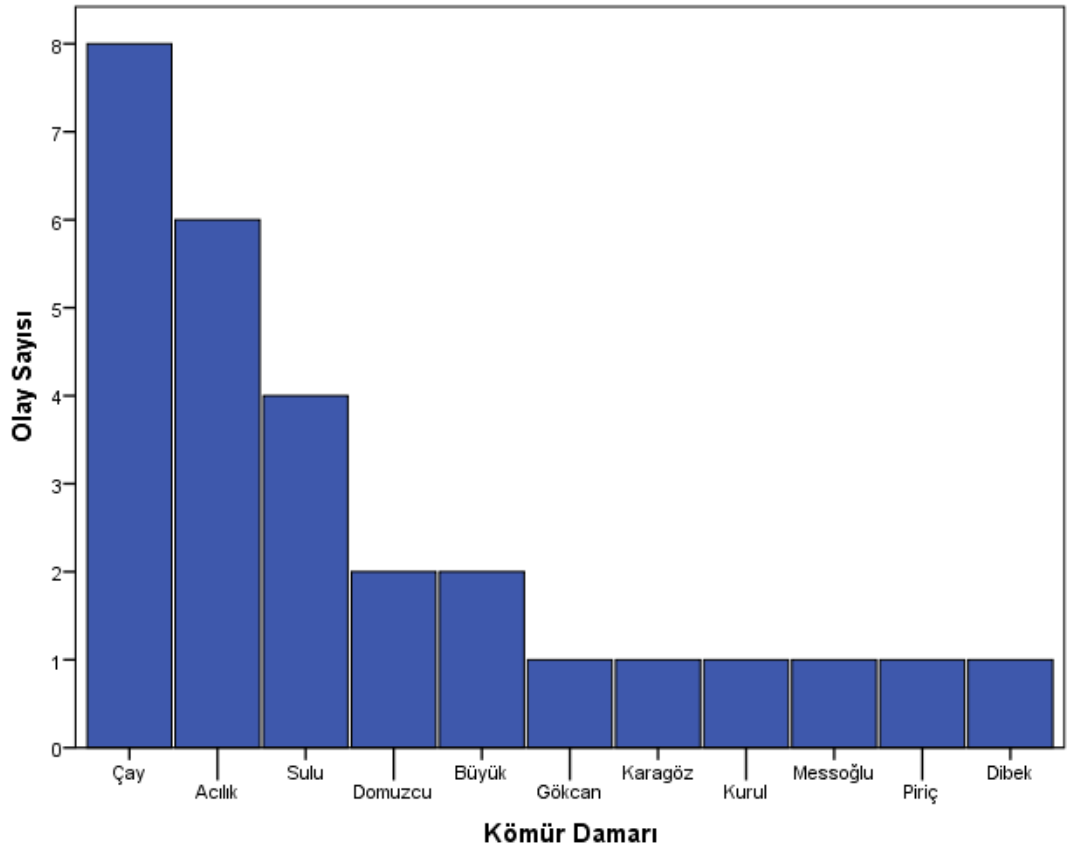
Eldeki veriler, olayların daha çok üretim hazırlıkları için açılan başyukarılar ile taban yollarında meydana geldiğini ortaya koymuştur. Karadon ve Kozlu Taşkömürü İşletmeleri’nde 1969-2012 yılları arasında gerçekleşen olaylar sonrası atılan toplam kömür ve kayaç postası miktarı 9702 ton ve açığa çıkan metan gazı miktarı ise 184.525 m³’ten fazla olduğu tespit edilmiştir. Olaylar sonrası 366 maden işçisi hayatını kaybetmiştir.

6.1 Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi’nde Ani Püskürme Olayları

Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi’ne bağlı ocaklarda meydana gelen ani gaz ve kömür püskürmesi olayları ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 6.1’de verilmiştir (TTK, 2004, 2009). Eldeki verilere göre, ilk ani püskürme olayı 22.06.1969 yılında - 425/22924 Sulu Başyukarı’da -387 kotunda meydana gelmiştir. Müessesede ölümlü

kaza bakımından en büyük olay 03.03.1992 yılında -560/-485 Çay Pano'da meydana gelmiştir. Ani gaz ve kömür püskürmesini izleyen grizu ve toz patlamaları sonucunda 263 madenci vefat etmiştir. Genel olarak -300 kotundan itibaren olayların sıklığı görülmektedir. Yine Kozlu Taşkömürü İşletmesi'ndeki atılan kömür miktarı en büyük olan ani gaz ve kömür püskürmesi olayı ise 26.02.2004 günü -560/112056355 Messoğlu Başyukarı'da -548 kotunda ortaya çıkmıştır. Olay sonucu atılan kömür miktarı yaklaşık 620 ton olup, açığa çıkan gaz miktarı 16000 m³ metan'dır. Bu olay aynı zamanda havzanın ikinci en büyük olaydır.

Olayların özellikle Çay, Acılık, Sulu damarlarında yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 6.3). Saptanan 37 olayın 8'i Çay, 6'sı Acılık ve 4'ü de Sulu damarında ortaya çıkmıştır. Ayrıca Domuzcu (2), Büyük (2), K.Şerif (Gökcan) (1), Rabut (Karagöz) (1), Milopero (Kurul) (1), Messoğlu (1), Piriç (1) ve Dibek (1) damarlarında da olaylarla karşılaşmıştır.



Şekil 6.3 : Kozlu Taşkömürü İşletmesi Müessesesi'nde olaylarla karşılaşılan kömür damarları.

Çizelge 6.1 : Kozlu Taşkömürü İşletmesi Müessesesi’nde meydana gelen ani püskürme olayları.

Olay No	Tarih	Olay Yeri	Derinlik (m)	Damar Kalınlığı (m)	Damar Eğimi (α°)	Atılan Kömür Miktarı (t)	Açığa Çıkan Gaz Hacmi (m ³)	Ölü Sayısı	Yaralı	Tektonizma İlişkisi
1	22.06.1969	-425/22924 Sulu Başyukarı	-387	1,5	60	120		2		Milopero fayına 25 m
2	18.11.1969	-425/22924 Sulu Başyukarı	-402	2	60	120	7.000	1	3	Milopero fayına 15 m
3	12.02.1970	-425/22924 Sulu Başyukarı	-400	1,8	45	5		2		Milopero fayına 10 m
4	10.03.1970	-360/22823 Çay 3K Hazırlık Taban	-360	3		5				Fay zonunda
5	26.06.1970	-360/-300/22823 Çay 5K Başyukarı	-345	2,6	50	226		1	2	Fay zonunda
6	19.10.1970	-360/-300 22717 Çay 3K Başyukları	-325	2,8	45	80		3		Faya 25 m
7	26.05.1972	-425/-369 22944 Acılık Başyukarı	-405	1,6	67	30		1	2	Fay zonunda
8	19.03.1973	-360/22825 K.Şerif Arakat Lağım	-360	0,6	0	15				Degaj zonunda
9	12.08.1974	-414/-358 22945 Çay Hazırlık	-401	5	60					Fay zonunda
10	22.08.1974	-425/-360/22923 Domuzcu Başyukarı	-398	0,8	70	125				Degaj zonunda
11	15.09.1974	-425/22926 Acılık Başyukarı	-402	2	32	75	9.000	3		Degaj zonunda
12	19.11.1974	-425/22925 Acılık Rekup Lağım	-420	1	30					Degaj zonunda
13	31.12.1974	-416/22926 Acılık Bşy	-401	2,6	32	80	7.000			Degaj zonunda
14	22.08.1975	-425/22926 Acılık Arama Lağımı	-417		0	15				Damar fay zonunda
15	30.09.1975	-422/21946 Çay Rekup Başyukarı	-414	5	40	80				
16	19.11.1975	-417/22926 Acılık Bşy	-402	2	32	45	4.875	2	2	Degaj zonunda
17	19.06.1976	-417/22923 Büyük Bşy	-396	2	63	60	4.600	1	3	Fay zonunda
18	27.12.1976	-425/22929 Çay Rekup Lağım	-425			180				Degaj zonunda
19	03.03.1978	-425/22945 Domuzcu Başyukarı	-401	0,9	60	75		2		Faya 20m
20	28.05.1979	-485/211004 Piriç Başyukarı	-471	0,5	60	100		1		Faya 25m

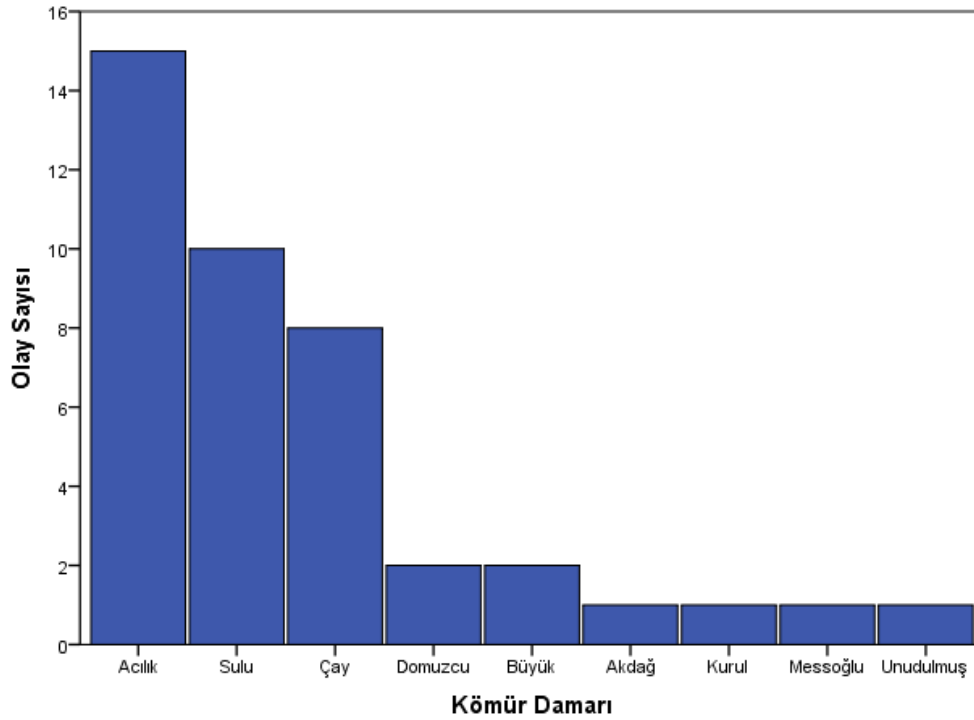
Çizelge 6.1 (devam) : Kozlu Taşkömürü İşletmesi Müessesesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.

21	04.12.1980	-425/22926 Kuzey Lağım	-418			80	7.200			Faya 75m
22	30.05.1983	-485/21100 Çay 5K Bşy	-441	2,5	50	15		1	3	Faya 15m
23	04.11.1986	-485/221036 Sulu Rekup Lağım	-485			50				Faya 10m
24	04.07.1987	-485/221036 Rabut Tavan Rekup Lağım	-485			200	5.400			Fay zonunda
25	29.11.1990	-485/221009 Lağım Arını	-485	0,5	60	380				Faya 20m
26	04.04.1991	-485/221036 Dibek Ayak Önü Bşy	-459	2	40	15		1		
27	04.10.1991	-560/211127 Lağım Arını	-560	2,6	57	120				Damara yaklaşırken
28	20.11.1991	-560/211127 Lağım Arını	-560	1	60	100				Damara yaklaşırken
29	15.01.1992	-485/211004 Lağım	-485	1,5	60	100				Damara yaklaşırken
30	03.03.1992	-560/-485 Çay Pano	-560					263	77	Damara yaklaşırken
31	24.09.1998	-560/112056355 Lağım	-560			125				
32	22.03.2003	-560/21127 Büyük Bşy	-510							
33	26.02.2004	-560/112056355 Messoğlu Bşy	-548	1,5	40	620	16.000			Fay zonunda
34	25.02.2004	-560/355 Lağım	-560							
35	18.05.2005	-560/112056355 Milopero Bşy	-539					3		
36	28.08.2010	-630/111063405 Lağım	-630			150				
37	03.12.2010	-630/111063405 Lağım	-630							

6.2 Karadon Taşkömürü İşletmesi Müessesesi'nde Ani Püskürme Olayları

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne bağlı ocaklarda meydana gelen ani gaz ve kömür püskürmesi olayları ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 6.2'de verilmiştir (TTK, 2010, 2011). İşletmedeki ilk olay 11.09.1969 günü -360 kotunda Kuzey Lağımı'nda meydana gelmiş ve 100 ton kömür açığa çıkmıştır. Olaydan sonra ocak havasına karışan yüksek miktardaki metan gazının, mekanik sürtünme sonucu olduğu sanılan bir kıvılcım ile patlaması 13 işçinin hayatını kaybetmesine neden olmuştur (Ökten, 1983). Havzanın en büyük olayı ise 31.03.2011 tarihinde Gelik ocağının -360/41406 Acılık Batı Taban yolunda meydana gelmiştir. Olay sonrası 1500 ton kömür postası arından taban yoluna dolmuş ve 24000 m³ metan gazı açığa çıkmıştır. Olaydan 11 işçi yaralı olarak kurtarılmıştır.

Müessesedeki olayların çoğunlukla Acılık, Sulu ve Çay damarlarında meydana geldiği Şekil 6.4'ten de görülmektedir. Saptanan 52 olayın 15'i Acılık, 10'u Sulu, 8'i Çay damarında ortaya çıkmıştır. Ayrıca Domuzcu (2), Büyük (2), Akdağ (1), Milopero (Kurul) (1), Messoğlu (1) ve Unutulmuş (1) damarlarında da olaylarla karşılaşmıştır.



Şekil 6.4 : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde olaylarla karşılaşılan kömür damarları.

Çizelge 6.2 : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.

Olay No	Tarih	Olay Yeri	Derinlik (m)	Damar Kalınlığı (m)	Damar Eğimi (α°)	Atılan Kömür Miktarı (t)	Açığa Çıkan Gaz Hacmi (m ³)	Ölü sayısı	Yaralı	Tektonizma İlişkisi
1	11.09.1969	-360/42400 Çatalağzı Lağım	-364		0	100		13		Kuzey Fayına 50 m
2	16.11.1969	-360/42417 Güney Lağım	-360			700		2		82 No'lu faya 150 m
3	05.05.1970	-260/-160 Çay Batı Başyukarı	-241	2	47			2		Kilimli
4	23.09.1970	-150/41217 Acılık Başyukarı	-110	2,5	46	50		1		Kızılçelma fayına 150 m
5	12.04.1971	-260/-160 Sulu Başyukarı	-244	1,8	50					Kuzey fayına 50 m
6	16.06.1971	-360/51105 Çay Başyukarı	-320	2	52					Kuzey fay zonunda
7	19.06.1971	-360/51105 Çay Başyukarı	-320	2	52	80		2		Kuzey fay zonunda
8	27.10.1971	-260/42314 Çay Bşy	-234							82 No'lu faya 80 m
9	23.05.1972	-260/42319 Acılık Taban	-232	1,5		70		2		Damarda sıkma, faya 50 m
10	05.06.1972	-260/51059 Domuzcu Başyukarı	-233	1,6	60	3		1		
11	20.11.1972	-150/41228 Sulu Batı Başyukarı	-140	2,8	55			1		
12	25.12.1972	42036/43311 Acılık tb	-250	1,2	40					
13	24.01.1973	-150/41228 Sulu Batı Bşy.	-110							
14	23.02.1973	-260/-150 42319 Acılık Ayak	-250							
15	24.02.1973	42036/42319 Acılık Bşy	-253	1,2	40					
16	15.03.1973	-360/51105 Çay Başyukarı	-342	1,5	57			1		Kuzey fay zonunda
17	03.04.1973	-260/-160 Acılık Başyukarı	-244	2,5	44	50		2		82 No'lu faya 125 m
18	30.06.1973	-260/-150 42319 Acılık Ayak	-250							
19	06.04.1974	-360/51100 Acılık Batı Taban	-356	2		180				Kuzey fayına 40m, 82 No'lu faya 150 m

Çizelge 6.2 (devam) : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi’nde meydana gelen ani püskürme olayları.

20	13.04.1974	-360/51050 Büyük Doğu Ayak Önü Bşy.	-343	2	38	20	600		Damarda sıkma
21	14.04.1974	-360/42417 Acılık Doğu Başyukarı	-343	2	35	70	8.000	2	Damarda ani değişme
22	28.02.1975	-360/42417 Acılık Batı Taban	-356						
23	06.03.1975	-360/42417 Acılık Batı Başyukarı	-356	2,2	24	140	11.000	3	
24	31.10.1977	-150/41230 Sulu Doğu Bşy.	-130						
25	18.08.1977	-260/42319 Sulu Doğu Bşy.	-248						
26	25.12.1978	-460/42505 Çay Bşy	-303						
27	19.11.1980	-360/51107 Büyük Başyukarı	-311	1,3	20	15		1	
28	28.02.1982	-460/51510 Lağıcı	-460						
29	31.01.1983	-460/51510 Lağıcı	-460						
30	17.07.1984	-360/42418 Acılık Doğu Bşy	-328	3,5	42	261			
31	17.09.1984	-360/42418 Acılık Doğu Bşy	-315	3,5	42	620			
32	27.10.1984	-360/424170 Sulu bşy	-360					1	
33	21.12.1985	-460/42506 Güney Lğ	-460			432			
34	27.01.1988	-460/51507 Kuzey Lğ	-460			380			
35	09.05.1988	-460/42506 Unutulmuş Bşy	-445	2	32	200			
36	02.07.1988	-460/51507 Tv. Akdağ Pasajı	-460						
37	24.03.1991	-460/-360 Çay Doğu Ayak Önü Bşy.	-450	2,5	60	100		1	Kuzey fay zonunda

Çizelge 6.2 (devam) : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde meydana gelen ani püskürme olayları.

38	07.07.1991	-460 Çay Batı ayak hazırlık bşy	-460					1		
39	22.12.1993	-360/260 Domuzcu Piçi A.Ö Bşy	-331	2	70	35		4		Faya 75 m
40	14.02.2000	-460/42506 Çay Doğu Bşy	-440			30		1	2	K fayı zonunda
41	04.05.2001	-360/-460 Milopero Batı A. Ö Bşy.	-380					2		
42	16.06.2005	-460/42506 Acılık Bşy	-403					6		Ayak içi bşy
43	26.02.2006	-560 Messoğlu Başyukarı	-560			600	16.000			
44	30.03.2007	-540/42604 Lağım	-540							
45	31.05.2007	-540/42607 Lağım	-540							
46	29.02.2008	-460/51506 Sulu Ayak Önü Bşy	-444							
47	10.12.2008	-260/41305 Sulu Doğu Bşy	-228							Ayak içi bşy
48	02.10.2009	-360/41419 Sulu Doğu Ana Bşy	-328							Ayak içi bşy
49	17.05.2010	-540/42600 Yeni Kuyu Hz. Lağım	-540			80	25.000	30		Damarda sıkma ve tavan atımı
50	31.03.2011	-360/41406 Acılık Batı Taban	-360			1.500	45.000		11	Damar eğiminde ani değişme
51	15.04.2011	-360/41406 Sulu Ayak Önü Bşy	-360						1	Ayak içi bşy
52	11.04.2012	-460/42504 Acılık Batı Taban	-460	3		595	17.850			

6.3 Havzada Meydana Gelen Olayların İncelenmesi

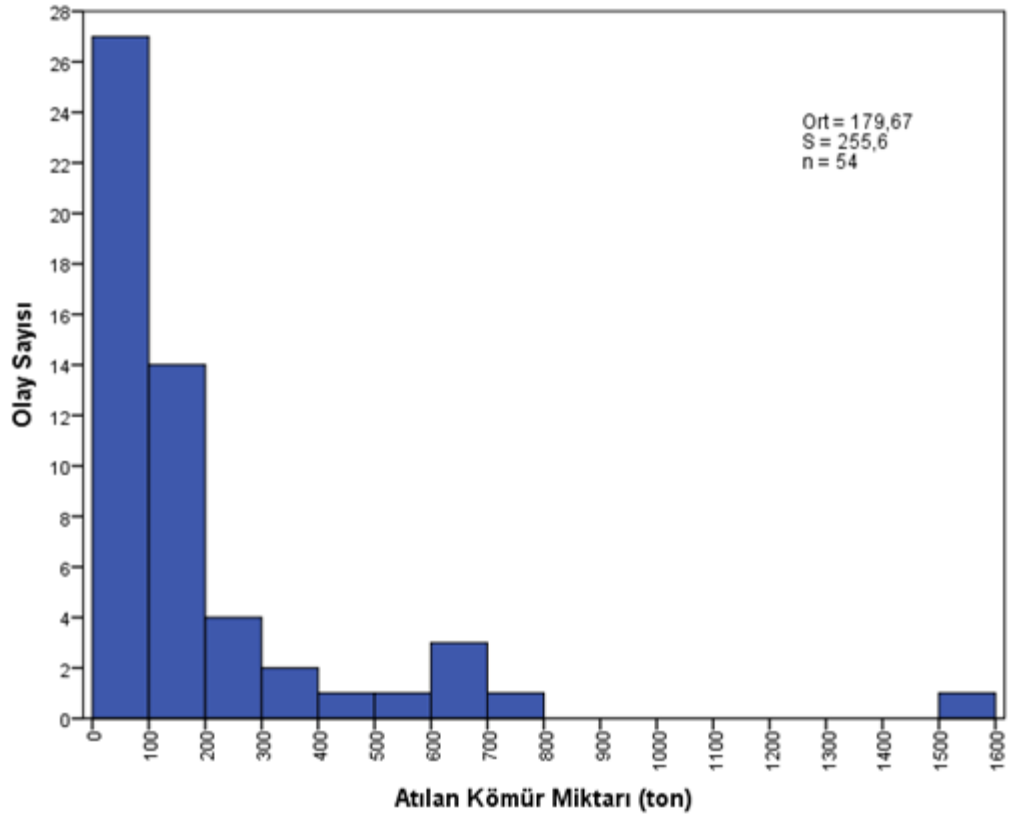
6.3.1 Olayların atılan kömür miktarına göre değerlendirilmesi

Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının şiddeti genellikle, olaydan sonra ocak imalatını dolduran kömür postasının miktarına dayanarak belirtilmektedir (Bodziony ve Lama, 1996). Diğer bir deyişle olayların şiddeti ne kadar fazla ise, atılan kömür miktarı o kadar fazla olmaktadır (Ökten, 1983). Şekil 6.5'te bir galeride meydana gelen ani gaz ve kömür püskürmesi olayı sonrası atılan kömür postasının görünümü verilmiştir (Öztürk, 1988).



Şekil 6.5 : Olay sonrası atılan kömür postasını kaldırma işlemleri.

Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'nde 1969-2012 yılları arasında meydana gelen 89 olaydan 54'ün de atılan kömür miktarları belirlenmiş olup, değerlerin frekans dağılımı Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olaylar sonrası atılan kömür miktarları.

Şekil 6.6'dan da görüldüğü gibi atılan kömür miktarı 27 olayda 0 – 100 ton arasında değişerek en fazla sıklık göstermiştir. En büyük değer 31.03.2011 günü Karadon İşletme Müessesesi -360/41406 Acılık Batı Taban'da ortaya çıkan olaydan sonra saptanmış olup, tabandan alınan kömür postası 1500 ton'a ulaşmıştır.

Çeşitli ülkelerde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, üretim çalışmalarının daha derin düzeylere inmesiyle olayların sayı ve şiddetinin arttığı görülmektedir. Ani püskürme olayı sırasında açığa çıkan gazın hacmi ve malzeme miktarı, olayın şiddeti veya boyutunu belirlemede ve sınıflandırmada kullanılan parametrelerdir. Majcherczyk ve Kobiela (Bodziony ve Lama, 1996), ani püskürme olaylarını, açığa çıkan malzeme miktarına göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 : Ani püskürme olaylarının açığa çıkan malzeme miktarına göre sınıflandırılması.

Açığa Çıkan Malzeme Miktarı (ton)	Ani Püskürmenin Boyutu
0,5 – 10	Çok Küçük
10 – 50	Küçük
50 - 400	Orta
400 – 1000	Büyük
> 1000	Çok Büyük

Majcherczyk ve Kobiela tarafından yapılan sınıflandırmaya göre (Çizelge 6.3); havzada meydana gelen olayların önemli bölümünün orta ve küçük şiddetli olduğu gözlemlenmiştir. Kozlu ve Karadon Taşkömür İşletme Müesseseleri için yapılan sınıflandırma Çizelge 6.4’te verilmiştir.

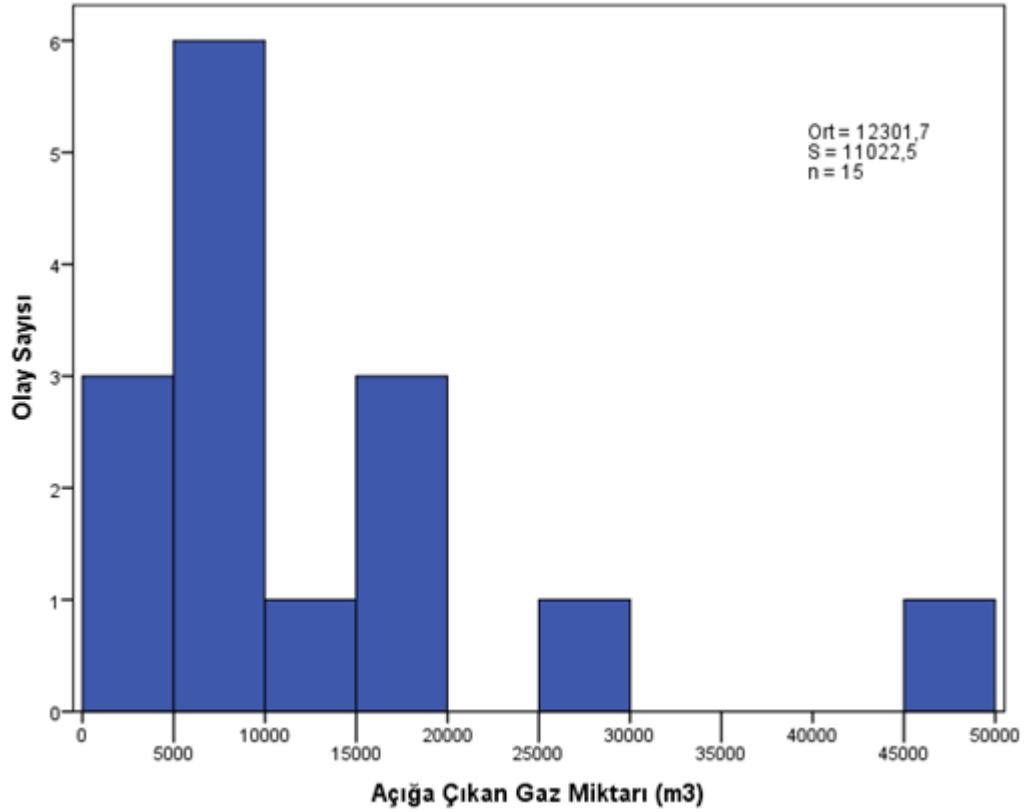
Çizelge 6.4 : Havzada meydana gelen olayların açığa çıkan malzeme miktarına göre sınıflandırılması.

Açığa Çıkan malzeme Miktarı (ton)	Karadon (adet)	Kozlu (adet)
0,5 – 10	1	2
10 – 50	6	7
50 – 400	11	20
400 – 1.000	5	1
> 1.000	1	-
Toplam	24	30

6.3.2 Olayların açığa çıkan gaz miktarına göre değerlendirilmesi

Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, kömür madenciliğinde ani püskürme sonucu açığa çıkan gazlar metan ve karbondioksittir. Olayların şiddetini belirlemede, açığa çıkan gaz miktarı da önemli bir rol oynamakla birlikte kömür damarlarının gazlılığı ve damarlarda oluşan gaz basınçları hakkında ön bilgi vermektedir. Havzada saptanan tüm ölçümler sonucunda açığa çıkan gaz CH₄ olmuştur. Yapılan ölçmeler olaydan önce ocak imalatının havası içindeki metan oranının genellikle %1’in altında olduğunu göstermektedir. Bu değer olaydan sonra genellikle %10’un üzerine çıktığı; havalandırma etkin duruma getirildiği halde saatlerce, bazı olaylarda günlerce “Maden ve Taşocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak işçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük” te öngörülen sınır değerlerin altına düşmediği belirtilmektedir.

Kozlu ve Karadon İşletme Müessesesi'nde 1969-2012 yılları arasında meydana gelen 89 olaydan yalnızca 15 olayın açığa çıkan gaz miktarları saptanabilmiştir. Şekil 6.7'de görüldüğü gibi değerler 5.000 – 10.000 m³ arasında yoğunlaşmaktadır. Şimdiye kadar en fazla gaz yine 31.03.2011 günü Karadon İşletme Müessesesi - 360/41406 Acılık Batı Taban'da meydana gelen olaydan sonra saptanmış olup, 45.000 m³ metan gazı ölçülmüştür.



Şekil 6.7 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olaylar sonrası açığa çıkan metan gazı miktarı.

6.3.3 Olayların tektonizma bakımından değerlendirilmesi

Havzadaki olaylar genel olarak değerlendirildiğinde, olayların tektonik deformasyona uğramış bölgelerde, kömür damarının sıkma yaptığı yerlerde, başyukarı veya lağım kazı çalışmaları sırasında fay zonlarına yaklaşıldığında ya da fay zonu geçilirken yoğunlaştığı görülmüştür.

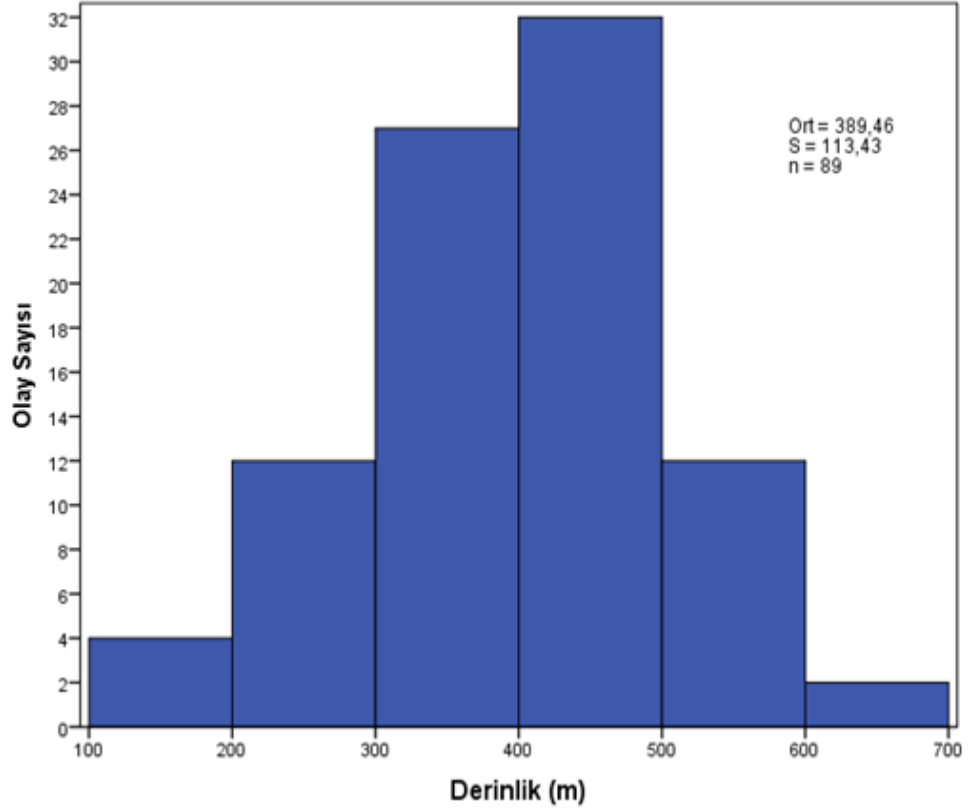
Tektonizma sonucu deformasyona uğrayan havzalarda olayların sayı ve şiddetinin belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir. Çünkü, kömür damarlarındaki çatlakların büyük bir bölümü tektonik olayların etkisi ile meydana gelmektedir. Çatlak sayısının artmasıyla kömürün serbest yüzeyi de fazlalaşacağından, kömür içindeki gazın desorpsiyon hızı yükselmektedir (Ökten, 1983).

Havzada meydana gelen olaylar incelendiğinde benzer bir sonuçla karşılaşılmıştır. Çizelge 6.1 ve 6.2’den de görüldüğü gibi olaylardan 19 tanesi fay zonları yakınında, 25 tanesi fay zonunu geçerken, 8 tanesi damar kalınlığının ve eğiminin aniden değiştiği veya devamlı değişme gösterdiği yerlerde ortaya çıkmıştır.

6.3.4 Olayların derinliğe göre değerlendirilmesi

Düşey gerilmeler madencilik çalışmaları derinleştikçe artmakta, bu gerilmeler arttıkça ani püskürme olayını meydana gelme olasılığı da yükselmektedir. Ancak bu, daha sık maden işletmelerinde olaylarla karşılaşılmayacağı anlamına gelmemelidir. Dünyanın bir çok yerinde ani püskürme olayları 180 m’den daha büyük derinliklerde meydana gelmesine rağmen, Avustralya’da 130’ m den daha sık derinliklerde 3 adet ani püskürme olayı yaşanmıştır. Söz konusu olaylar, özellikle ezik zonların varlığına ve jeolojik koşulların durumuna bağlı olarak oluştuğu anlaşılmıştır (Bodziony ve Lama, 1996).

Derinliğin, Zonguldak Taşkömür Havzası’ndaki ani gaz ve kömür püskürmesi olayları üzerindeki etkisi Şekil 6.8 ile açıklanmaktadır. Burada derinliğin artmasıyla ile olay sayısının arttığı tespit edilmiştir. Kozlu Taşkömür İşletmesi’ndeki ani püskürme olaylarının tamamı 300 m ve daha altındaki derinliklerde meydana gelmiştir. Karadon Taşkömür İşletmesi’nde ise ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının oluşma derinlikleri 110 m ile 560 m arasında değişmektedir. Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının sayısı 500 m ve altındaki derinliklerde bir azalma göstermektedir. Azalmanın nedeni bu derinliklerdeki üretim yerlerine daha yeni ulaşılmış olmasıdır. Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda gelecek yıllarda üretim derinliğinin artmasıyla, ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının da artacağı öngörülmektedir.

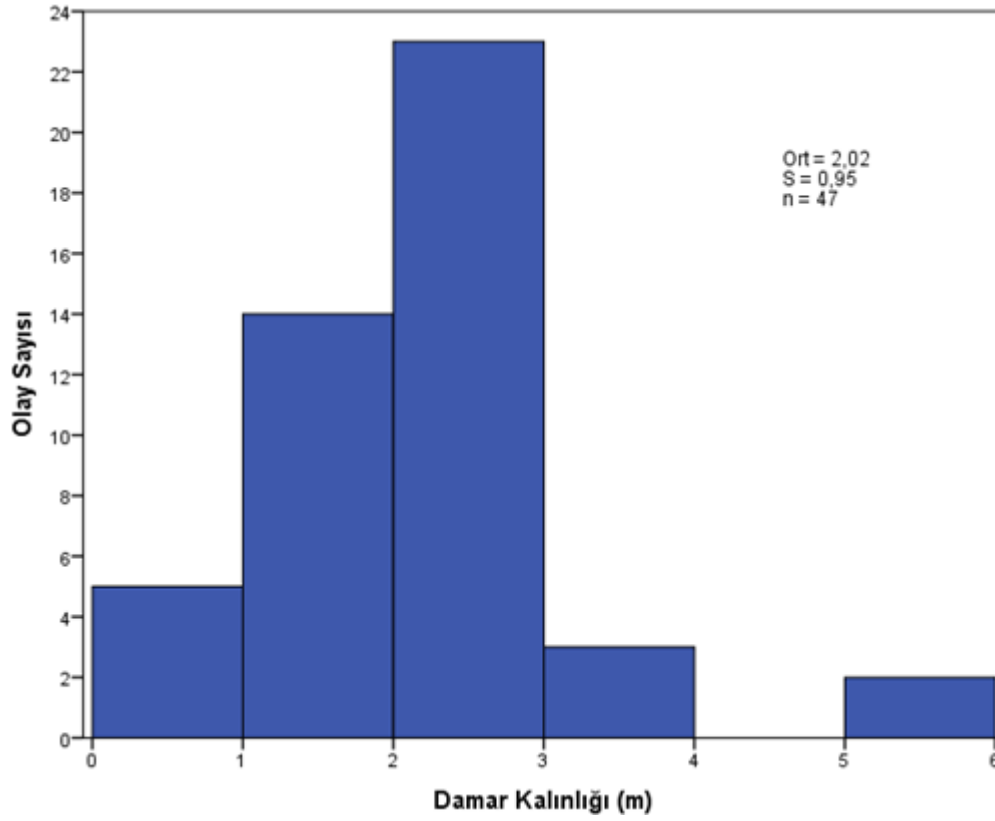


Şekil 6.8 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olayların oluşma derinliği.

6.3.5 Olayların damar kalınlığı ve eğimine göre değerlendirilmesi

Olayların meydana gelmesi açısından kalın ve/veya ince kömür damarları arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Ukrayna'nın, Donbass Havzası'nda kaydedilen 1032 olaydan 573'ünün, 1 m'den daha ince olan damarlarda meydana gelmesi bu değerlendirmeyi desteklemektedir (Bodziony ve Lama, 1996).

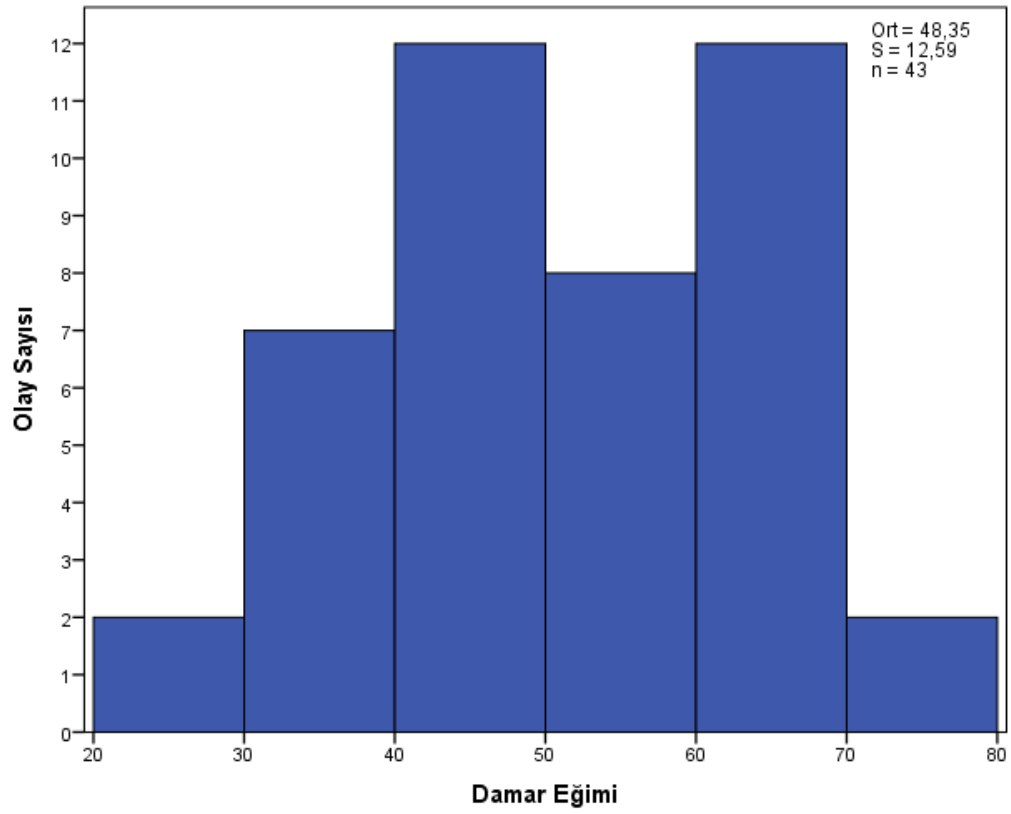
Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda meydana gelen olayların damar kalınlığı ile ilişkisi Şekil 6.9'da verilmiştir. Olayların hem ince hem de kalın damarlarda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar olayların meydana gelişinde damar kalınlığının önemli bir rol oynamadığını göstermiştir.



Şekil 6.9 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olayların damar kalınlığı ile ilişkisi.

Havzada kömür damarı kalınlıkları 0,70-30 metre arasında değişmektedir. Üretilebilir damar kalınlıkları ortalama 2 m'dir. Şekil 6.9'dan da görüldüğü gibi kalınlığı 3 metreye kadar olan damarlarda, ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının arttığı tespit edilmiştir. Kömür üretiminin önemli bir bölümü 2 ile 3 metre arasında kalınlığa sahip kömür damarlarından sağlanmaktadır. Olay sayısının, kalınlığı 3 metreden daha büyük olan kömür damarlarında az olmasının nedeni söz konusu kömür damarlarında üretime daha yeni geçilmesinden kaynaklanmaktadır.

Damar eğiminin olayların meydana gelişinde rol oynayan önemli etkenlerden birisi olduğu bilinmektedir. Çünkü, eğim arttıkça kömürün taban taşı ve arakesmelerin oluşturduğu süreksizlik düzlemleri üzerinde ocak imalatına doğru kayma olasılığı da artmaktadır (Ökten, 1983). Şekil 6.10'da 1969-2012 yılları arasında havzada meydana gelen olayların damar eğimi ile ilişkisi verilmiştir.



Şekil 6.10 : 1969-2012 yılları arasında meydana gelen olayların damar eğimi ile ilişkisi.

Damar eğimi açısından yapılan değerlendirmede, olay sayısının, eğimi 40°-70° arasındaki damarlarda fazla olduğu tespit edilmiştir. 70°'nin üstündeki eğimlerde olayların az olmasının nedeni bu gruba giren damarlardaki çalışmaların sınırlı olması ile açıklanabilir.

7. ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASI'NDA ANİ PÜSKÜRME OLAYLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI

Yeraltı madenciliğinde ani gaz ve kömür püskürmesi olayları sonucu ortaya çıkan can ve mal kayıpları özellikle bazı havzalarda ocak güvenliğinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Dolayısıyla olaya eğilimli zonların önceden belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla birçok ülkede olayları etkileyen faktörleri belirlemeye yönelik çeşitli teknikler geliştirilmiştir.

Bu bölümde de ani gaz ve kömür püskürmesi olayına etki eden faktörlerin araştırılması amacıyla ocakta ve laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan kömür numuneleri TTK Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'nde Çizelge 7.1'de belirtilen ocak kesimlerinde yapılan sondajlar vasıtasıyla alınmış ayrıca yerinde ölçmeler de yapılmıştır.

Toplam 19 adet kömür numunesinden 12 adedi Kozlu Taşkömürü İşletmesi'nden, 7 adedi ise Karadon Taşkömürü İşletmesi olmak üzere 7 farklı damardan ve farklı derinlikteki sondaj deliklerinden alınmıştır. Sondajlar; çapı 42 mm olan Maz P2 El Sondaj Makinesi ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.1 : Kömür numunelerin alındığı yerler ve diğer özellikler.

Numune No.	Tarih (gg/aa/yy)	Alınan Yer	Damar Adı	Derinlik (m)	Sondaj Derinliği (m)
1	21.02.2012	KOZLU	-560/111056353 Çay Taban - I	-582	10
2	19.03.2012	KOZLU	-560/111056353 Çay Taban - II	-579	11
3	19.03.2012	KOZLU	-485/221007 Çay Taban	-510	12
4	02.04.2012	KOZLU	-450/22923 Domuzcu Taban - I	-437	4
5	02.04.2012	KOZLU	-450/22923 Domuzcu Taban - II	-437	6
6	02.04.2012	KOZLU	-450/22923 Domuzcu Taban - III	-437	8
7	24.05.2012	KOZLU	-560/111056363 Hacımemiş Doğu Taban - I	-547	8
8	24.05.2012	KOZLU	-560/111056363 Hacımemiş Doğu Taban - II	-547	12
9	01.06.2012	KOZLU	-560/111056363 Sulu Taban Girişi - I	-560	6
10	01.06.2012	KOZLU	-560/111056363 Sulu Taban Girişi - II	-560	12
11	28.02.2012	KOZLU	-480/111056362 Rabut BatıTaban	-485	14
12	06.03.2012	KOZLU	-560/111056363 Milopero Doğu Tb. Bşy.Girişi	-547	18
13	30.03.2012	KARADON-GELİK	-260/41306 Sulu Taban	-260	16
14	26.03.2012	KARADON-GELİK	-360/41406 Sulu Taban	-360	10
15	22.03.2012	KARADON-GELİK	-360/Sulu Ayak Önü Başyukarı	-360	10
16	30.03.2012	KARADON-GELİK	-360/41415 Milopero Doğu Taban	-360	8
17	22.03.2012	KARADON-KİLİMLİ	-460/42504 Akdağ Tavan Ayak Önü Başyukarı	-460	6
18	29.03.2012	KARADON-KİLİMLİ	-360/51106 Sulu Taban - I	-360	8
19	29.03.2012	KARADON-KİLİMLİ	-360/51106 Sulu Taban - II	-360	9

7.1 Kömürün Yapısal Özelliklerinin Araştırılması

Kömürün içerdiği gaz miktarı ve gazın kömürden desorpsiyon hızı, onun yapısal özellikleri ile yakından ilgilidir. Bu nedenle ilk aşamada alınan numunelerin Kömürleşme Derecesi ve Gevrekliği belirlenmiştir.

7.1.1 Kömürleşme derecesi

Araştırmalar linyitten antrasite doğru gelişen kömürleşmeye paralel olarak adsorplanan gaz miktarında bir artış olduğunu göstermiştir.

Ayrıca yüksek dereceli kömürlerin ötekilere oranla daha az nem ve kül içerdikleri belirlenmiştir. Araştırmalar; nem ve kül içeriği yüksek kömürlerin daha az gazı adsorbe ettiğini ortaya koymuştur. Özet olarak kömürleşme derecesi yükseldikçe kömürdeki nem ve kül miktarı azalmakta dolayısıyla kömür daha çok gazı adsorbe edebilmektedir (Flores, 1998).

Görüldüğü gibi kömürleşme derecesi ile ani püskürme olayını meydana getiren en önemli etkenlerden birisi olan kömürün adsorbe edebileceği (desorbe olabilir) gaz miktarı arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle kömürleşme derecesinin araştırılması ani püskürmeye eğilimli zonların önceden belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Kömürleşme derecesinin bir göstergesi olan uçucu madde miktarı ve bunun yanı sıra numunelerin nem, kül miktarları DIN'e göre sınıflandırılmıştır. Numunelerin kısa analizleri TSE standartları çerçevesinde TTK İş Sağlığı Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı'na bağlı Kimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Elde edilen sonuçları Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2 : Kömür numunelerine ait kısa analiz sonuçları.

No.	Damar Adı	Orişinal Kömür				Kuru-Külsüz Kömür	
		Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)
1	-560/111056353 Çay Taban - I	1,87	37,47	19,76	40,9	32,58	67,42
2	-560/111056353 Çay Taban - II	1,7	27,78	21,3	49,22	30,2	69,8
3	-485/221007 Çay Taban	2,1	12,94	25,38	59,58	29,87	70,13
4	-450/22923 Domuzcu Taban - I	1,98	7,27	31,22	59,53	34,4	65,6
5	-450/22923 Domuzcu Taban - II	1,89	5,76	30,37	61,98	32,89	67,11
6	-450/22923 Domuzcu Taban - III	4,6	21,22	26,62	47,56	35,89	64,11
7	-560/111056363 Hacımemiş D.Tb. - I	2,17	4,02	27,27	66,54	29,07	70,93
8	-560/111056363 Hacımemiş D.Tb. - II	2,59	33,44	19,58	44,39	30,61	69,39
9	-560/111056363 Sulu Taban Grş - I	1,84	8,49	27,52	62,15	30,69	69,31
10	-560/111056363 Sulu Taban Grş - II	2,75	23,52	24,52	49,21	33,26	66,74
11	-485/111056362 Rabut B.Taban	2,02	6,74	30,98	60,26	33,95	66,05
12	-560/111056363 Milopero D.Tb. Bşy.Grş.	1,74	12,46	25,87	59,93	30,15	69,85
13	-260/41306 Sulu Taban	1,35	12,69	28,01	57,95	32,58	67,42
14	-360/41406 Sulu Taban	1,54	52,32	16,78	29,36	36,37	63,63
15	-360/Sulu Ayak Önü Bşy	1,25	5,88	28,73	64,14	30,94	69,06
16	-360/41415 Milopero Doğu Taban	2,46	40,81	19,46	37,27	34,3	65,7
17	-460/42504 Akdağ Tavan Ayak Önü Bşy	1,41	42,72	18,01	37,86	32,24	67,76
18	-360/51106 Sulu Taban - I	1,35	12,27	25,48	60,9	29,5	70,5
19	-360/51106 Sulu Taban - II	1,12	23,7	23,59	51,59	31,38	68,62

Çizege 7.2’den görüldüğü gibi numunelerin nem miktarı % 1,12 ile % 4,6 arasında değişmektedir. Kül miktarı ise % 4,02 ile % 52,32 arasındadır. Numune alma işleminde sırasında yantaş ve arakesmelerin kömüre karışması sebebiyle bazı numunelerde kül miktarı yüksek çıkmıştır. Kuru-külsüz kömürün uçucu madde miktarı ise % 29,07 – 36,37 arasında değişmektedir. Eğer kömürün sınıflandırılmasında Alman Kömür Sınıflandırması (DIN) alınırsa incelenen numunelerin bir bölümünün gaz-alevli, diğeri bölümünün de gazlı kömür aşamasındaki damarlara ait olduğı görülmektedir. Alman Kömür Sınıflandırması’na ait bilgiler Çizelge 7.3’te verilmektedir (Lindner, 2007).

Çizelge 7.3 : Alman Kömür Sınıflandırması.

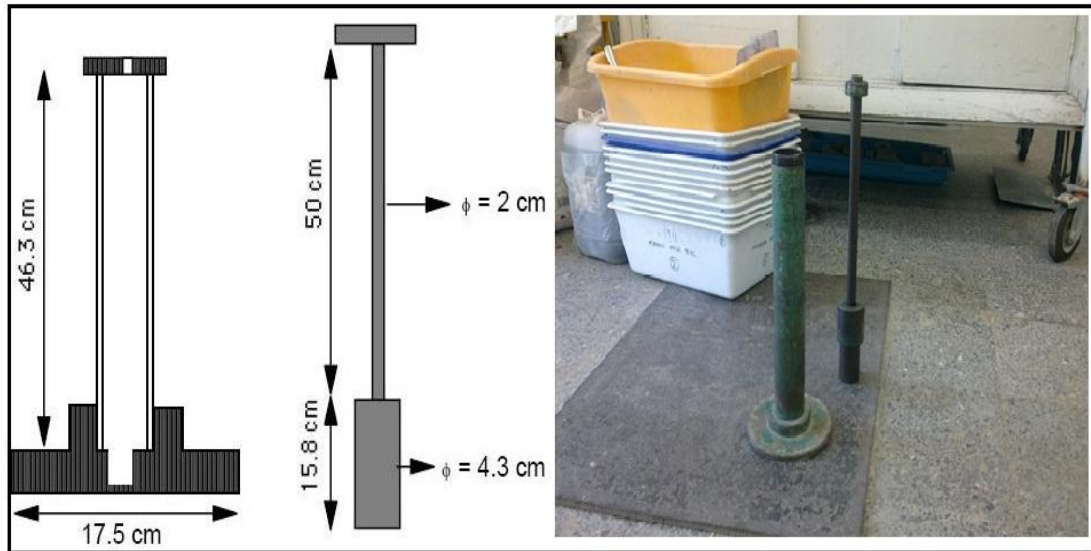
Alman Sınıflandırması	Uçucu Madde	Karbon, C (%)	Hidrojen, H (%)	Oksijen, O (%)	Sülfür, S (%)	Enerji (kJ/kg)
Linyit	45-65	60-75	6-5,8	34-17	0,5-3	<28470
Alevli Kömür	40-45	75-82	6-5,8	> 9,8	~1	<32870
Gaz Alevli Kömür	35-40	82-85	5,8-5,6	9,8-7,3	~1	<33910
Gazlı Kömür	28-35	85-87,5	5,6-5	7,3-4,5	~1	<34960
Yağlı Kömür	19-28	87,5-89,5	5-4,5	4,5-3,2	~1	<35380
Bitümlü Kömür	14-19	89,5-90,5	4,5-4	3,2-2,8	~1	<35380
Yarı Antrasit	10-14	90,5-91,5	4-3,75	2,8-3,5	~1	35380
Antrasit	7-12	> 91,5	< 3,75	< 2,5	~1	<35300

Sonuç olarak; numuneler kömürleşme derecesi yüksek, nem ve kül içeriği düşük damarlara aittir. Konuya bu açıdan bakılırsa; damarların, incelenen kesimlerde olayın meydana gelmesi için yeterli miktarda gazı adsorbe edebilecek niteliklere sahip olduğunu söylemek mümkündür.

7.1.2 Kömürün gevrekliği

Bu çalışmada Protodjkanov' un sertlik ölçüm prensibinden yararlanarak Evans ve Pomeroy (1966) tarafından geliştirilen yöntemden yararlanılmış; kömür numunelerinin laboratuvarında “Darbe Dayanımları” ölçülmüştür.

Kullanılan deney seti, İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü tarafından yapılmış olup iç çapı 44,5 mm olan bir silindirle, 43 mm çapında ve 1816 gr ağırlığında bir çelik pistondan meydana gelmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 : Darbe dayanım testi deney seti.

Deneye tabi tutulacak kömür numunesi önce 9,5 – 3,35 mm boyutuna indirilmiş ve bundan 100 gr tartılarak ölçüm setinin içine koyulmuştur. 1816 gr ağırlığındaki piston 305 mm yükseklikten silindir içindeki numunenin üzerine 20 defa ardarda düşürülmüştür. Darbelerin etkisiyle ufalanan kömür silindirden boşaltılarak açıklığı 3,35 mm olan elekten elenmiş ve elek üstü tartılmıştır. Elek üstünde ve gözeneklerinde kalan kömür parçaları tartılarak incelenen numunenin Darbe Dayanım Sayısı (Impact Strength Index) bulunmuştur. Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'ndeki farklı yerlerden alınan kömür numuneleri üzerinde yapılmış ölçümlerin sonuçları Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4 : Darbe dayanım testi sonuçları.

No.	Damar Adı	Derinlik (m)	Darbe Dayanım Sayısı			Ortalama	St. Sapma
			1	2	3		
1	-560/111056353 Çay Taban - I	-582	39	38	41	39,3	1,53
2	-560/111056310 Çay Taban - II	-579	35	39	36	36,7	2,08
3	-485/221007 Çay Taban	-510	38,5	36	38	37,5	1,32
4	-450/22923 Domuzcu Taban - I	-437	39	37	36	37,3	1,53
5	-450/22923 Domuzcu Taban - II	-437	27	30	28	28,3	1,53
6	-450/22923 Domuzcu Taban - III	-437	37	33,5	35,5	35,3	1,76
7	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban - I	-547	46	48	44	46	2
8	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban - II	-547	39	37	36	37,3	1,53
9	-560/111056363 Sulu Taban Grş - I	-560	46,5	44,5	48	46,3	1,76
10	-560/111056363 Sulu Taban Grş - II	-560	53,5	53	49	51,8	2,47
11	-480/111056362 Rabut B.Taban	-485	29	28	30	29	1
12	-560/111056363 Milopero D. Tb. Bşy. Grş.	-547	41	40	42	41	1
13	-260/41306 Sulu Taban	-260	31	27,5	30	29,5	1,8
14	-360/41406 Sulu Taban	-360	40	44,5	40,5	41,7	2,47
15	-360/Sulu Ayak Önü Bşy	-360	27	25	25	25,7	1,15
16	-360/41415 Milopero Doğu Taban	-360	49	53	48	50	2,65
17	-460/42504 Akdağ Tv. Ayak Önü Bşy. - I	-460	39,5	40	42,5	40,7	1,61
18	-360/51106 Sulu Taban - I	-360	56	59	58	57,7	1,53
19	-360/51106 Sulu Taban - II	-360	50,3	52,2	53	51,8	1,36

Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne ait 12 adet kömür numunesinin darbe dayanım sayıları 28,3 – 51,8 değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler sırasıyla Kozlu -450/22923 Domuzcu Taban Yolu (5 No.lu numune), Kozlu -560/111056363 Sulu Taban Girişi (10 No.lu numune)'nden alınan numunelerde ölçülmüştür.

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne ait 7 adet kömür numunesinin darbe dayanım sayıları ise 25,7 – 57,7 değerleri arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Gelik İşletmesi -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No.lu Numune) ve Kilimli İşletmesi -360/51106 Sulu Taban Yolu (18 No.lu Numune)'ndan alınan numunelerde ölçülmüştür.

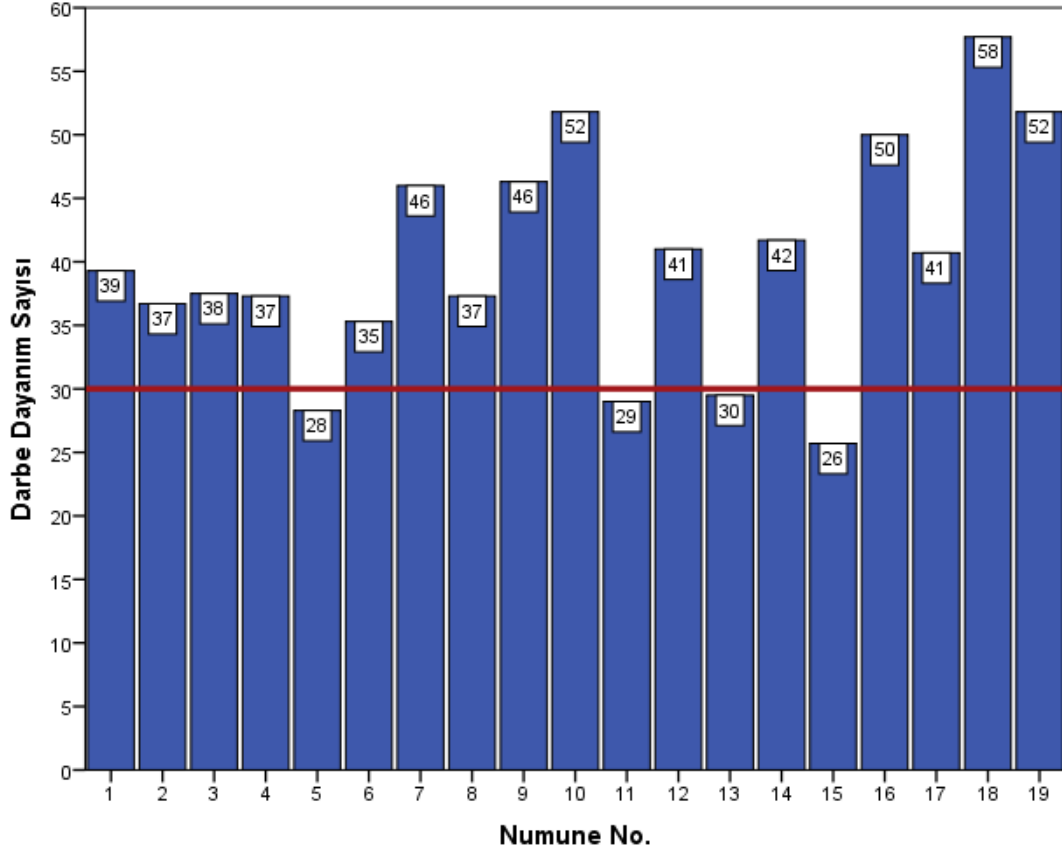
Daha önce de belirtildiği gibi, gevrek kömürler darbe etkisinde daha fazla ufalanmaktadır. O halde, ani püskürmeye eğilimli damarlara ait kömürlerde ölçülen darbe dayanımı değerlerinin diğerlerine oranla daha küçük olması gerekir. Bu noktadan hareketle, Ökten (1983) tarafından daha önce ani püskürme olayı meydana gelen bazı damarlardan alınan numuneler üzerinde ölçümler yapılmış, sonuçlar Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5 : Ani püskürme olayı meydana gelmiş yerlerden alınan numunelerin darbe dayanım sayıları.

Müessese	Numune Alınan Yer	Derinlik (m)	Darbe Dayanım Sayısı
Karadon	Acılık Başyukarı - I	-356	24
Karadon	Acılık Başyukarı - II	-356	17
Kozlu	Acılık Başyukarı	-402	29
Kozlu	Kuzey Lağım	-418	26

Çizelge 7.5'ten de görüldüğü gibi, daha önce ani püskürme olaylarının meydana geldiği yerlerden alınan numunelerde saptanan tüm değerler 30'dan küçüktür. Söz konusu ölçüm sonuçlarına dayanarak, darbe dayanım sayısı 30'a çok yakın ve daha küçük kömürler ani püskürmeye eğilimli olarak nitelendirilebilir.

Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'ndeki farklı yerlerden alınan numunelerin darbe dayanım sayılarının sınır değere ile karşılaştırması Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2 : Numunelerin darbe dayanım sayılarını sınır değerle karşılaştırması.

İncelenen numuneler arasında Kozlu'dan 2, Karadon'dan 2 adet numunenin darbe dayanım sayısının 30'a çok yakın veya daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle; Kozlu İşletmesi -450/22923 Domuzcu Taban Yolu (Numune 5), -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu Numune), Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No.lu Numune) arınlarından alınan numunelerin ani gaz ve kömür püskürmesi tehlikesi taşıyan bir zona ait olduğu söylenebilir.

7.2 Kömürün İçerdiği Gaz Miktarı

Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının meydana gelişinde desorbe olabilir gaz miktarı önemli rol oynamaktadır. Bir çok ülkede desorbe olabilir gaz içeriği $9 \text{ m}^3/\text{t}$ 'u aşan damarlar ani püskürme olaylarına eğilimli olarak nitelendirilmektedir (Ökten, 1983). Bazı araştırmacılar da bu sınır değeri kuru külsüz kömür için $8 \text{ m}^3/\text{t}$ olarak ileri sürmektedir (Lama ve Bodziony, 1998).

Bu çalışmada kömür damarlarının gaz içeriği iki şekilde değerlendirilmiştir. Bunlardan birincisi üretilen beher ton tüvenan kömür başına m³ cinsinden açığa çıkan gaz miktarının belirlenmesidir. İkincisi ise kömürden desorbe olan gaz miktarının zamana bağlı olarak değişiminin incelenmesidir.

7.2.1 Üretime bağlı olarak açığa çıkan gaz miktarının incelenmesi

Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseselerinde 1975 – 2010 yılları arasında üretilen beher ton tüvenan kömür başına m³ cinsinden açığa çıkan gaz miktarları incelenmiştir. Üretim çalışmaları sırasında kömür damarındaki gazın yanı sıra, komşu tabakalardaki kırık ve çatlaklar içinde bulunan gaz da ocak havasına karışmaktadır. Bu nedenle hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler sadece, damarın gaz içeriği hakkında genel bilgi vermektedir. Karadon ve Kozlu Taşkömürü İşletmeleri'nde 1975-2010 yılları arasında, beher ton tüvenan kömür başına açığa çıkan gaz miktarları Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6 : TTK Karadon ve Kozlu Bölgeleri'nde 1975-2010 yılları arasında üretilen beher ton tüvenan kömüre karşılık metan miktarları.

Yıllar	Kozlu		Karadon	
	Üretim, (ton/yıl)	Gaz, (m ³ /t)	Üretim, (ton/yıl)	Gaz, (m ³ /t)
1975	2.209.988	23,64	2.984.961	12,86
1976	2.149.263	21,78	2.792.524	15,06
1977	2.019.488	23,58	2.658.787	17,70
1978	2.092.221	21,05	2.423.599	17,40
1979	1.851.544	22,67	2.354.071	18,51
1980	1.870.619	24,34	2.079.979	19,13
1981	1.959.100	23,70	2.492.113	11,54
1982	1.857.417	23,67	2.372.579	12,12
1983	1.574.664	25,40	2.429.289	11,84
1984	1.786.665	22,86	2.404.632	11,96
1985	1.783.734	18,81	2.472.950	11,63
1986	1.833.802	14,23	2.309.250	12,45
1987	1.817.827	17,64	2.402.057	11,97
1988	1.772.997	17,53	2.268.293	12,68
1989	1.622.557	20,27	2.262.378	12,72
1990	1.524.398	21,96	1.858.070	15,48
1991	1.391.768	21,13	1.801.331	15,97
1992	947.82	15,85	1.733.777	16,59
1993	889.12	10,41	1.662.204	17,30
1994	804.021	15,58	1.517.899	11,53

Çizelge 7.6 (devam) : TTK Karadon ve Kozlu Bölgeleri'nde 1975-2010 yılları arasında üretilen beher ton tüvenan kömüre karşılık metan miktarları.

Yıllar	Kozlu		Karadon	
	Üretim, (ton/yıl)	Gaz, (m ³ /t)	Üretim, (ton/yıl)	Gaz, (m ³ /t)
1995	803.197	15,59	1.379.228	11,67
1996	644.145	19,44	1.400.482	12,25
1997	872.947	14,35	1.147.666	12,42
1998	599.472	20,89	1.023.259	13,93
1999	567.707	22,06	959.691	14,85
2000	638.54	19,61	1.146.737	12,05
2001	665.213	18,18	1.324.094	10,44
2002	657.782	18,38	1.123.955	12,29
2003	601.578	20,10	1.052.030	12,72
2004	540.825	22,36	974.466	13,29
2005	509.688	23,73	920.606	14,77
2006	506.76	23,87	975.748	15,74
2007	555.43	22,55	809.726	13,87
2008	518.23	24,17	814.819	13,78
2009	653.7	19,16	1.043.879	10,75
2010	683.15	18,33	905.393	12,40

Belirtilen 36 yıllık zaman diliminde açığa çıkan gaz miktarlarının istatistiksel değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 7.7'de verilmiştir. Ortalama açığa çıkan gaz miktarları, Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi için yaklaşık 20 m³/t, Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi için ise 14 m³/t'dur. Bu değerler, üretim yapılan damarların yüksek oranda gaz içerdiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 7.7 : Açığa çıkan gaz miktarlarının istatistiksel değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar.

Müessese	Açığa Çıkan Gaz Miktarı (m ³ /t)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Kozlu	10,41	25,40	20,25	3,48
Karadon	10,44	19,13	13,71	2,30

7.2.2 Kömür damarlarının gaz içeriğinin ölçülmesi

Bu çalışmada damar gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla doğrudan (direkt) gaz içeriği ölçme yöntemi olarak USBM (United States Bureau of Mines) Yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada üretim yapılan 7 damardan, farklı derinliklerde ve değişen sondaj uzunluklarında 19 ayrı kömür numunesi alınmıştır.

Kömür numuneleri alındıktan sonra TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Gaz ve Toz Laboratuvarına getirilerek, ilk aşamada kanister içerisindeki gaz yayılımı ölçülmüştür. Bu işlem tamamlandıktan sonra kanister içerisindeki kömür numunesi sızdırmaz değirmende 1 saatlik periyotlarla öğütülmüş ve açığa çıkan gaz miktarları ölçülmüştür. Numunelerden gaz yayılımı sıfıra yaklaştıkça dek ölçmelere devam edilmiştir.

7.2.2.1 Numunelerin alınması

Numunelerin alınacağı yerler seçilirken, çalışmaların yeni başladığı hazırlık galerileri, ayak hazırlık başyukarıları vb. bakir bölgeler olmasına dikkat edilmiştir. Çünkü bu tür ocak kesimlerinde kömür damarları bünyesindeki gazı büyük ölçüde korumuş ve gerilmeler altında deformasyona uğramamıştır.

Numune alma işlemi taşınabilir özellikteki MAZ P2 sondaj makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.3'te sondaj makinesinin görünümü ve Çizelge 7.8'de makinenin özellikleri verilmiştir.

Olayların yoğunlaştığı bölgeler olan Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletmeleri'nden alınan numunelerin yerlerini gösteren kat planları EK-A'da verilmiştir.



Şekil 7.3 : MAZ P2 sondaj makinesinin görünümü.

Çizelge 7.8 : Sondaj makinesinin özellikleri.

Boy (mm)	Yükseklik (mm)	Genişlik (mm)	Ağırlık (kg)	Çalışma Gücü (HP)	Çıkış (devir /dakika)	Baskı Gücü (kg)
2000	300	400	95	5	240	1200
İlerleme Hızı (m/dk)	Delme Çapı (mm)		Hava Sarfıyatı (atü)	Çalışma Basıncı (Nm ³ /dk)		
	Kömürde	Taştta				
6,5	en çok 145 en az 42	en çok 60 en az 30	4 - 6	6		

Sondaj deliğinden kırıntı halinde gelen kömür örnekleri Şekil 7.4'te gösterilen sızdırmaz kaplara (kanister) konulmuştur. Kullanılan kanisterlerin hacimleri 3.140 cm³'tür. Sondaj sırasında, burguların kömür damarını kestiği an ile numunelerin kanister içerisine doldurulup kapatılmasına kadar geçen süre de "Kayıp Gaz Süresi" olarak kaydedilmiştir.



Şekil 7.4 : Kömür damarından alınan numunelerin konulduğu sızdırmaz kaplar.

7.2.2.2 Yayılan gaz miktarının belirlenmesi

Yayılan gaz miktarının belirlenmesinde Şekil 7.5'te gösterilen deney düzeneği kullanılmıştır. Kömür damarlarından alınan numuneler kanistere koyulduktan sonra yeraltına taşınan deney düzeneği ile yayılan gaz miktarı ölçülmüş, daha sonra TTK

Ar-Ge Gaz ve Toz Ölçme Laboratuvarına getirilmiştir. Kanister içindeki kömür numunesinden yayılan gaz miktarı ilk gün 15-20 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Yayılan gaz miktarı $10 \text{ cm}^3/\text{gr}$ değerinin altına ininceye kadar ölçmelere devam edilmiştir. Yayılan gazın ölçülmesi ortalama 4 ile 8 gün arasında sürmüştür.

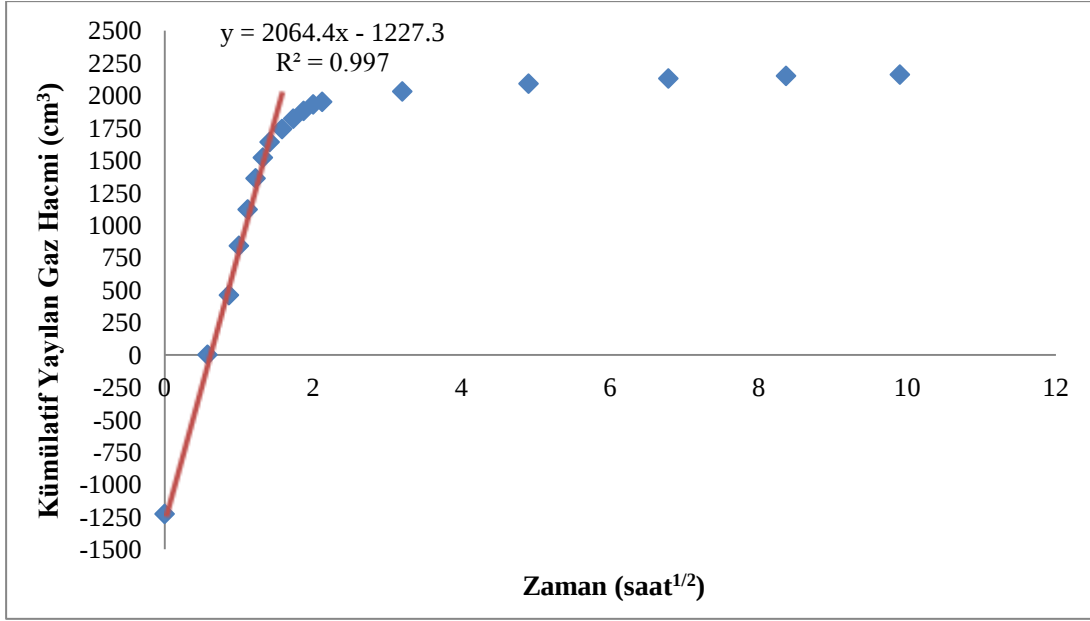


Şekil 7.5 : Gaz içeriğinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği.

7.2.2.3 Kayıp gaz miktarının belirlenmesi

Kayıp gaz miktarı; yayılan gazın belirlenmesi sırasında elde edilen verilerin, zamanın kareköküne karşı çizilen grafik yardımıyla bulunmuştur. Kozlu ve Karadon'dan alınan tüm numunelerin kayıp gaz miktarlarını belirlemek için desorpsiyon verilerinden elde edilen grafikler EK-B'de verilmiştir.

Örnek olması açısından Kozlu Taşkömürü İşletmesi -560/111056353 Çay Batı Taban (1 No.lu Numune)'dan alınan numunenin desorpsiyon verilerinden hareketle kayıp gaz miktarının belirlenmesi Şekil 7.6'da verilmiştir. Söz konusu numune için belirlenen kayıp gaz miktarı $1.227,3 \text{ cm}^3$ 'dür.



Şekil 7.6 : 1 No.lu numuneye ait kayıp gaz grafiği.

7.2.2.4 Artık gaz miktarının belirlenmesi

Artık gazın tayininde gaz sızdırmazlığı sağlanmış değirmen kullanılmıştır. Kanister içindeki kömür numunelerinin yayılan gaz ölçümlerinin bitmesini takiben numuneler sızdırmaz değirmene aktarılmıştır. Deneyde kullanılan değirmenin hacmi 3.685 cm³ olup, öğütme sırasında 12 adet 58 cm³'lük bilya kullanılmıştır. Şekil 7.7'de sızdırmaz değirmen gösterilmiştir.



Şekil 7.7 : Sızdırmaz değirmen ve bilyaların görünümü.

Artık gaz miktarı, kömür numunelerinin 1'er saat arayla öğütülmesi sonucunda, değirmen içinde yayılan gaz hacminin ölçülmesi ile tesbit edilmiştir. Artık gazın ölçülmesi için kurulan deney düzeneği Şekil 7.8'de verilmiştir. Numunelerin artık gaz ölçümleri 2 ile 5 saat arasında değişmiştir. Öğütme sonucu ölçülen gaz miktarı 5 cm³'ün altına indiğinde, artık gaz ölçümü sonlandırılmıştır.



Şekil 7.8 : Artık gazın belirlenmesinde kurulan deney düzeneği.

7.2.2.5 Toplam gaz miktarının belirlenmesi

Üç aşamada gerçekleştirilen ölçmeler sonucunda elde edilen gaz hacimleri toplanarak, kömür numunesinin içerdiği “Toplam Gaz Miktarı” eşitlik 4.3 kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca, numunelerin kısa analizlerinden elde edilen nem ve kül miktarları kullanılarak farklı bazda kömür damarlarının gaz içerikleri de hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7.9’ da verilmiştir.

Çizelge 7.9 : Kömür damarlarının tayin edilen gaz içerikleri.

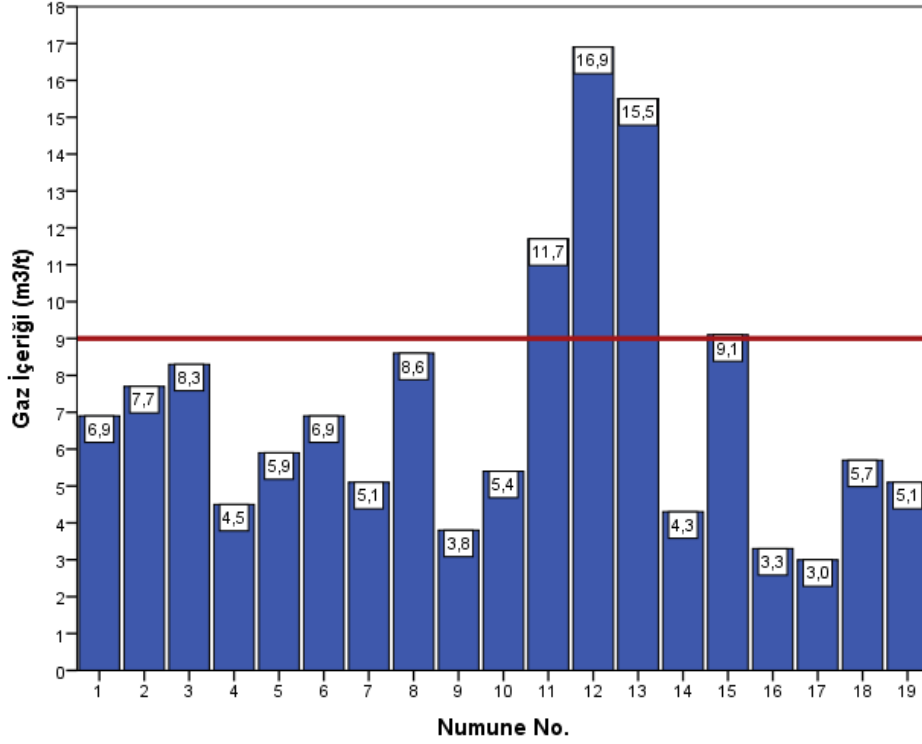
No.	Alınan Yer	Damar Adı	Derinlik (m)	Gaz İçeriği			Toplam Gaz İçeriği (m ³ /ton)		
				Kayıp Gaz (cm ³)	Yayılan Gaz (cm ³)	Artık Gaz (cm ³)	Orijinal Kömür (ar)	Kuru Kömür (df)	Kuru-Külsüz Kömür (daf)
1	Kozlu	-560/111056353 Çay Taban - I	-582	1227,3	2160	280	6,9	7	11,4
2	Kozlu	-560/111056353 Çay Taban - II	-579	1133,2	2600	425	7,7	7,8	10,9
3	Kozlu	-485/221007 Çay Taban	-510	815,7	2780	320	8,3	8,4	9,7
4	Kozlu	-450/22923 Domuzcu Taban - I	-437	1933	2325	200	4,5	4,6	6
5	Kozlu	-450/22923 Domuzcu Taban - II	-437	1642,6	1995	190	5,9	6	6,4
6	Kozlu	-450/22923 Domuzcu Taban - III	-437	1859,9	1930	100	6,9	7,2	7,6
7	Kozlu	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban - I	-547	1096,1	4980	210	5,1	5,2	5,4
8	Kozlu	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban - II	-547	1261,5	4530	190	8,6	8,8	13,5
9	Kozlu	-560/111056363 Sulu Tb. Grş. - I	-560	662,6	1800	110	3,8	3,9	5,2
10	Kozlu	-560/111056363 Sulu Tb. Grş. - II	-560	1031,9	2100	130	5,4	5,5	6
11	Kozlu	-480/111056362 Rabut B.Tb.	-485	1139,4	4380	330	11,7	11,9	12,8
12	Kozlu	-560/111056363 Milopero D. Tb. Bşy.Grş.	-547	847,4	9060	660	16,9	17,2	19,7
13	Gelik	-260/41306 Sulu Taban	-260	2475,1	10985	710	15,5	15,8	18,1
14	Gelik	-360/41406 Sulu Taban	-360	1620,6	2455	180	4,3	4,4	9,3
15	Gelik	-360/Sulu Ayak Önü Bşy	-360	864,9	2580	295	9,1	9,2	9,8
16	Gelik	-360/41415 Milopero D. Taban	-360	787	1915	200	3,3	3,4	5,8
17	Kilimli	-460/42504 Akdağ Tv. A.Önü Bşy	-460	656,2	1180	220	3	3	5,3
18	Kilimli	-360/51106 Sulu Taban - I	-360	1532,4	3630	390	5,7	5,8	6,6
19	Kilimli	-360/51106 Sulu Taban - II	-360	1395,3	2980	270	5,1	5,2	6,8

Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne ait 12 adet kömür numunesinin orjinal bazda gaz içerikleri 3,8 – 16,9 m³/t arasında değişmektedir. Bu değerler sırasıyla -560/111056363 Sulu Taban Girişi (9 No.lu Numune) ve -560/111056363 Milopero Doğu Taban Başyukarı Girişi (12 No.lu Numune)'nden alınan numunelerde ölçülmüştür.

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne ait 7 adet kömür numunesinin orjinal bazda gaz içerikleri ise 3,0 – 15,5 m³/t arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Kilimli İşletmesi -460/42504 Akdağ Tavan Ayak Önü Başyukarı (17 No.lu Numune) ve Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune)'ndan alınan numunelerde ölçülmüştür.

Çeşitli ülkelerde yapılan araştırmalar, ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının genellikle gaz içeriği 9 m³/t'dan daha büyük damarlarda ortaya çıktığını göstermiştir. (Paul, 1977; Ökten, 1983). Bu çalışmada da kömür damarlarını gaz içeriği bakımından ani püskürmeye eğilimleri açısından sınıflandırmak için söz konusu gaz içeriği sınır değer olarak alınmıştır.

Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'ndeki farklı yerlerden alınan numunelerin içerdikleri gaz miktarlarının sınır değer ile karşılaştırması Şekil 7.9'da verilmiştir.



Şekil 7.9 : Numunelerin gaz içeriği değerlerinin sınır değeri ile karşılaştırılması.

Şekil 7.9’den da görüldüğü gibi saptanan gaz içeriği değerlerinin büyük bir bölümü 7 m³/t’un altında kalmış olup, sadece 11, 12, 13 ve 15 No.lu numunelerde sınır değeri aşılmıştır.

Böylece gaz içeriği değerleri esas alınarak bir değerlendirme yapılırsa; araştırmaya konu olan ocak imalatları arasında Kozlu İşletmesi -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu numune), -560/111056363 Milopero Doğu Taban Yolu’na bağlı Başyukarı Girişi (12 No.lu numune); Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15. No.lu Numune)’dan alınan numunelerden hareketle bu bölgelerin ani püskürmeye eğilimli bir zon içerisinde bulundukları söylenebilir. Kozlu İşletmesi -560/111056363 Hacımemiş Doğu Taban Yolu (8 No.lu Numune) ve -485/221007 Çay Taban Yolu (Numune No.3)’nun sırasıyla 8,6 m³/ton ve 8,3 m³/ton değerlerinde olmasıyla sınır değere yakın olduklarından, bu bölgelerde ani püskürme tehlikesinin varlığından söz edilebilir.

7.3 Kömürdeki Gazın Desorpsiyon Hızı

Ani gaz ve kömür püskürmesi olayının meydana gelebilmesi için; sorpsiyon dengesinin bozulmasından sonra gazın kömürden hızla desorbe olarak ocak imalatına doğru göç etmesi gerekmektedir. Bu nedenle, damarın ani püskürmeye eğiliminin saptanmasında, gaz desorpsiyon hızının araştırılması önem taşımaktadır.

Gazın desorpsiyon hızı, belli ağırlıktaki kömür numunesi üzerinde;

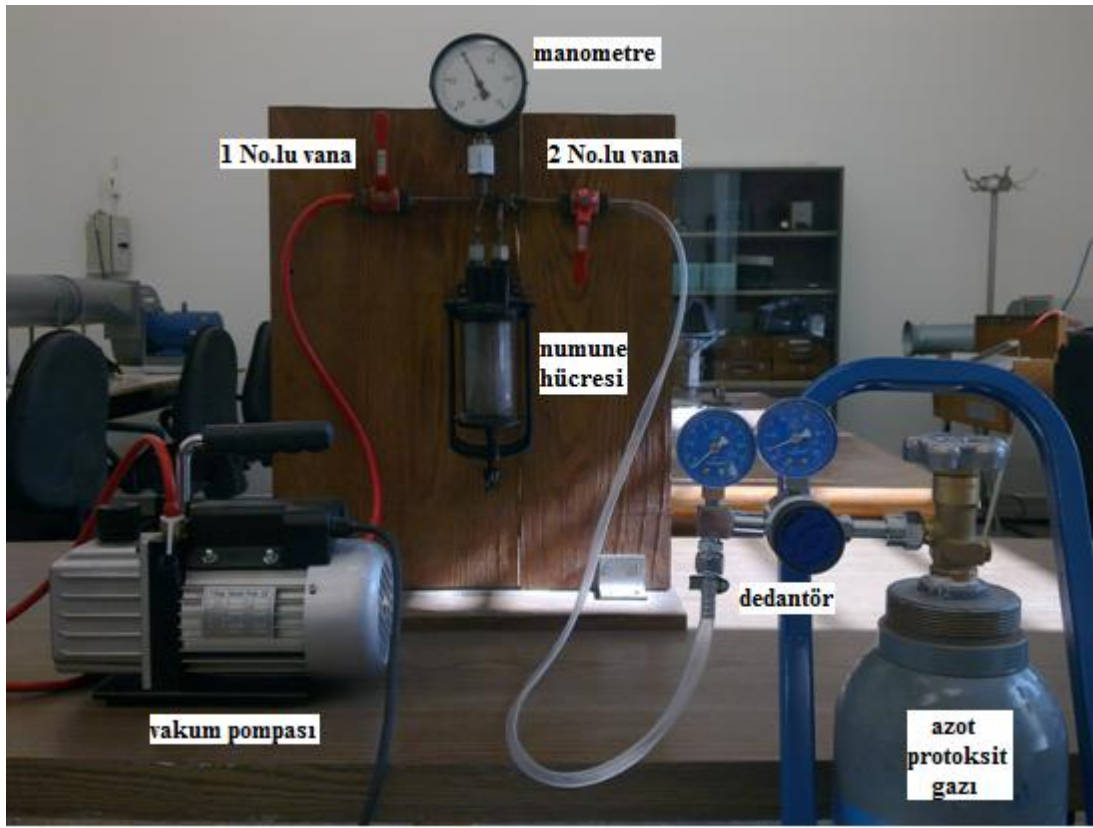
- Atmosfer basıncı altında desorbe olan gaz miktarının zamana bağlı değişimini (K_T değeri) ölçerek,
- Sabit bir hacim içinde, desorbe olan gazın belli bir zaman süresi sonunda oluşturduğu basınç yükselmesini (ΔP_{0-60} değeri) ölçerek,
- Sabit bir hacim içinde, devreye verilen yüksek basınçlı gazın adsorplanması nedeniyle belli bir zaman süresi sonunda oluşan basınç düşüşünü ($\Delta P_{\text{express}}$ değeri) ölçerek, belirlenmektedir.

Bu çalışmada, Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'ndeki kömür damarlarını ani gaz ve kömür püskürmesi olayına eğilimleri açısından sınıflandırmak için “sabit bir hacim içinde, devreye verilen yüksek basınçlı gazın adsorplanması nedeniyle belli bir zaman süresi sonunda oluşan basınç düşüşünün ölçülmesi ($\Delta P_{\text{express}}$) yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu yöntemle ilgili detaylı bilgi Bölüm 4.2.3'te verilmiştir.

Sabit hacim içinde gazın adsorplanması nedeniyle oluşan basınç düşüşünün ölçülmesi için, Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'nde başyukarı, ayak ve taban yollarından 20 adet kömür numunesi alınmıştır. İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Maden Havalandırması ve İş Güvenliği laboratuvarında bulunan ve Şekil 7.10'da görülen deney düzeneği ile numuneler üzerinde gaz desorpsiyon karakteristiği $\Delta P_{\text{express}}$ değerleri belirlenmiştir. F. Almany Bergbau Forschung GmbH laboratuvarlarında geliştirilmiş olan $\Delta P_{\text{express}}$ ölçme aletinden esinlenerek kurulan deney düzeneği, esas olarak; numune kabı, vakum ve gaz vanaları, -760 mmHg/+ 1,5 bar değerleri arasında ölçüm yapan manometre, vakum pompası ve basınçlı N_2O tüpünden oluşmaktadır.

Ölçme işlemi için 0,50 – 0,25 mm tane boyutu aralığında ufaltılmış kömür numunesinden 70 gr tartılarak numune hücresi içinde bulunan elek telinden yapılmış

kaba koyulur ve hücre sızdırmaz bir şekilde kapatılır. 1 No.lu vana açılarak 2 dk süre ile vakum pompasının numune hücresi içindeki havayı boşaltması sağlanır. Bu sürenin sonunda manometrenin en az -700 mmHg'yi göstermesi gereklidir. Daha sonra 1 No.lu vana kapatılarak 2 No.lu vana açılır ve N₂O tüpünden numune hücresine devredeki basınç 1 bar'a ulaşıncaya kadar gaz verilir. Hemen ardından 2 No.lu vana kapatılır ve 1 dk süre ile beklenir. Bu süre içinde gazın bir bölümü kömür tarafından adsorplanacağı için devredeki gaz basıncı düşer. Diğer bir deyimle kömürün gazı adsorpsiyon hızı yani ani püskürmeye eğilimi arttıkça 1. dakikanın sonunda manometreden okunan $\Delta P_{\text{express}}$ değeride o ölçüde küçük olur.



Şekil 7.10 : $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi deney düzeneği.

Bu çalışmada, alınan her numune üzerinde üç adet $\Delta P_{\text{express}}$ ölçmesi yapılmıştır. Daha sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve $\Delta P_{\text{express}}$ indeks değeri bar cinsinden belirlenmiştir. Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri'ndeki farklı yerlerden alınan numuneler üzerinde yapılmış $\Delta P_{\text{express}}$ ölçümlerinin sonuçları Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10 : Numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi sonuçları.

No.	Damar Adı	Derinlik (m)	Okumalar			ΔP_{exp} değeri (bar)	St. Sapma
			1	2	3		
1	-560/111056353 Çay Taban – I	-582	0,677	0,680	-	0,68	0,002
2	-560/111056353 Çay Taban – II	-579	0,620	0,630	0,643	0,63	0,01
3	-485/221007 Çay Taban	-510	0,400	0,397	-	0,40	0,002
4	-450/22923 Domuzcu Taban – I	-437	0,723	0,720	-	0,72	0,002
5	-450/22923 Domuzcu Taban – II	-437	0,583	-	-	0,58	0
6	-450/22923 Domuzcu Taban – III	-437	0,483	-	-	0,48	0
7	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban – I	-547	0,480	0,523	0,523	0,51	0,02
8	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban – II	-547	0,467	0,433	0,403	0,43	0,026
9	-560/111056363 Sulu Taban GRŞ – I	-560	0,635	0,573	0,670	0,63	0,04
10	-560/111056363 Sulu Taban GRŞ – II	-560	0,503	0,480	0,487	0,49	0,01
11	-480/111056362 Rabut B.Taban	-485	0,300	0,520	0,500	0,44	0,122
12	-560/111056363 Milopero D. Tb. Bşy. Grş.	-547	0,417	0,410	0,423	0,42	0,005
13	-260/41306 Sulu Taban	-260	0,332	0,364	0,335	0,34	0,014
14	-360/41406 Sulu Taban	-360	0,533	0,550	-	0,54	0,008
15	-360/ Sulu Ayak Önü Bşy	-360	0,390	0,450	0,450	0,43	0,035
16	-360/41415 Milopero Doğu Taban	-360	0,487	0,520	0,533	0,51	0,02
17	-460/42504 Akdağ Tv. Ayak Önü Bşy. – I	-460	0,620	0,607	0,61	0,61	0,006
18	-360/51106 Sulu Taban – I	-360	0,570	0,527	0,557	0,55	0,01
19	-360/51106 Sulu Taban – II	-360	0,673	0,697	0,683	0,68	0,018

Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne ait 12 adet kömür numunesinin $\Delta P_{\text{express}}$ değerleri 0,40 – 0,72 bar arasında değişmektedir. Bu değerler sırasıyla; Kozlu - 485/221007 Çay Taban (3 No.lu Numune) ve Kozlu -450/22923 Domuzcu Taban Yolu (4 No.lu Numune)' ndan alınan numunelerde ölçülmüştür.

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne ait 7 adet kömür numunesinin $\Delta P_{\text{express}}$ değerleri ise 0,34 – 0,68 bar arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve Kilimli İşletmesi -360/51106 Sulu Taban Yolu (19 No.lu Numune)'ndan alınan numunelerde ölçülmüştür.

Daha önce de belirtildiği gibi, ani gaz ve kömür püskürmesi olayının meydana gelebilmesi için; gazın kömürden hızla desorbe olarak ocak imalatına doğru göç etmesi gerekmektedir. O halde, ani püskürmeye eğilimli damarlara ait kömürlerdeki gazın desorpsiyon hızının diğerlerine oranla daha büyük olması gerekir. Bir başka ifade ile, daha önce ani püskürme olayı meydana gelen damarlardan alınan numuneler üzerinde yapılan $\Delta P_{\text{express}}$ deneyinin sonuçlarının daha küçük olması

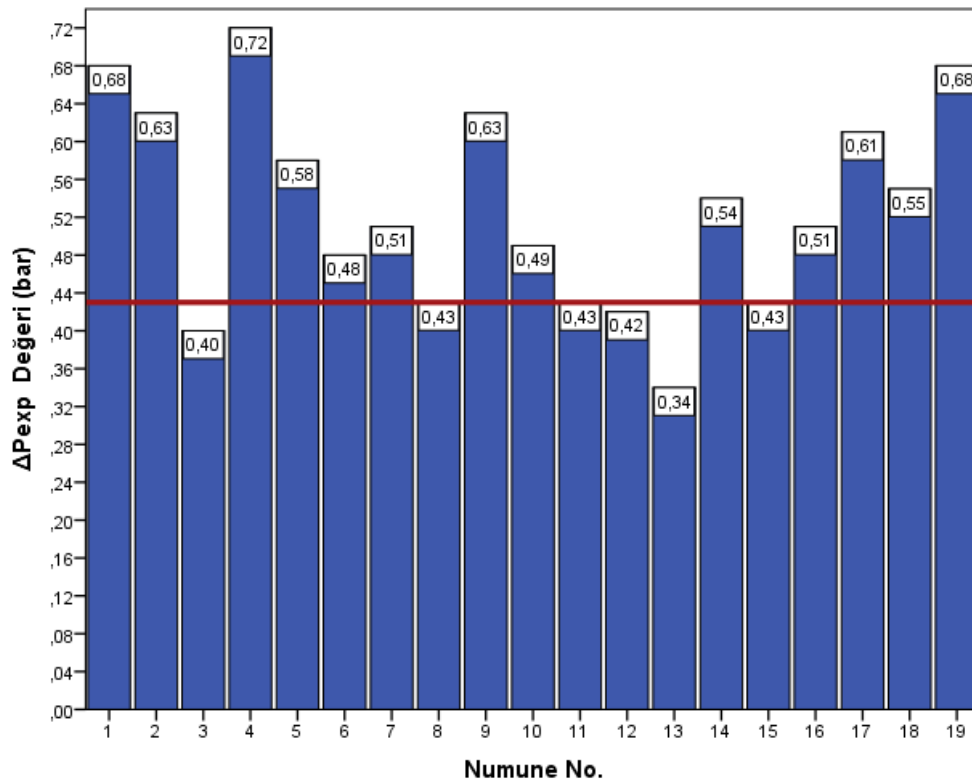
gerekmektedir. Bu noktadan hareketle, daha önce ani gaz ve kömür püskürmesi olayı meydana gelmiş bazı kömür damarlarından numuneler alınmış ve $\Delta P_{\text{express}}$ deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçları Çizelge 7.11’de verilmiştir.

Çizelge 7.11 : Ani püskürme olaylarına ait numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi sonuçları.

No	Tarih	Olay Yeri	Derinlik (m)	Okumalar			ΔP_{exp} değeri (bar)	St. sapma
				1	2	3		
1	17.05.2010	-540/51506 Karadon Yeni Kuyu Hz. Lağım	-540	0,410	0,393	0,397	0,40	0,009
2	31.03.2011	-360/41406 Gelik Acılık Batı Taban	-360	0,413	0,438	0,433	0,43	0,013
3	11.04.2012	-460/42504 Karadon Acılık Batı Taban	-460	0,417	0,430	0,393	0,41	0,019

Çizelge 7.10’den da görüldüğü gibi ani gaz ve kömür püskürmesi sonucu açığa çıkan kömürlerden alınan numunelerde ölçülen $\Delta P_{\text{express}}$ değerleri 0,43’den küçüktür. Bu sonuçlarına dayanarak, $\Delta P_{\text{express}}$ değeri 0,43’e yakın ve daha küçük olan kömür damarları ani gaz ve kömür püskürmesi olayına eğilimli olarak nitelendirilmiştir.

Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri’ndeki farklı yerlerden alınan numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ değerlerinin sınır değer ile karşılaştırması Şekil 7.11’de verilmiştir.



Şekil 7.11 : Numunelerin $\Delta P_{\text{express}}$ değerlerinin sınır değer ile karşılaştırması.

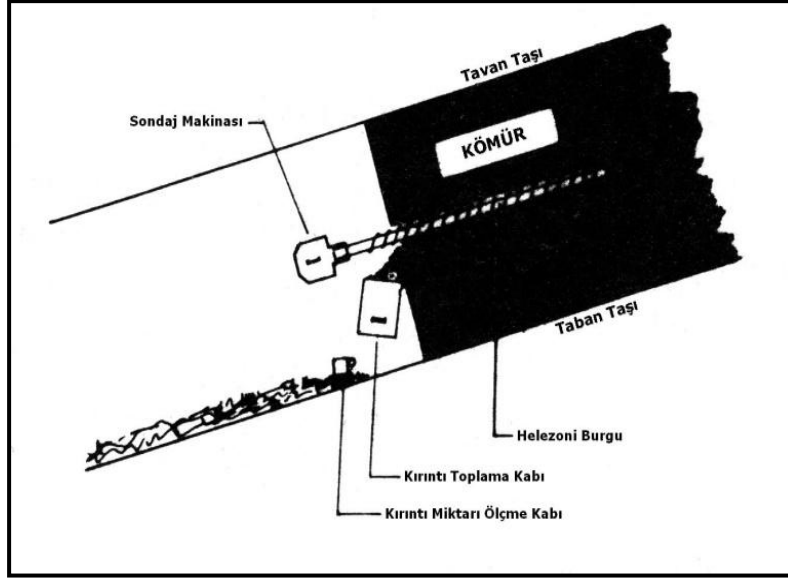
Ölçme sonuçları yukarıda verilen sınır değer ile karşılaştırıldığında, incelenenler arasında -485/221007 Çay Taban Yolu (3 No.lu Numune), -560/111056363 Hacımemiş D.Taban Yolu (8 No.lu Numune), -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu Numune), -560/111056363 Milopero Doğu Taban Başyukarı Girişi (12 No.lu Numune), -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360/ Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No'lu Numune)'dan alınan numunelerin ani püskürme tehlikesi taşıyan zonlara ait olduğu söylenebilir.

7.4 Kaya Basıncı

Daha önce belirtildiği gibi, ani gaz ve kömür püskürmesi olayları özellikle başyukarı, taban ve tavan yollarının açılması sırasında meydana gelmektedir. Bu varsayımdan hareketle, çalışma kapsamında incelenen ocak kesimlerinde kaya basıncının değişimi araştırılmıştır.

Bu çalışmada yeraltı şartlarına uygunluğu ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle, kömür damarlarında açılan sondajlar sırasında elde edilen bulguların değerlendirilmesine dayanan bir yöntemden yararlanılmıştır. Beher metre ilerleme başına sondaj kırıntısı gelirinin ve kırıntıların tane boyutunun artması, delicinin ilerleme hızının azalması ve burguların sık sık sıkışması kaya basıncının yükseldiğini belirten bulgulardır (Jacobi, 1976; Fişne ve diğ., 2006).

Kullanılan donanım Şekil 7.12' de gösterildiği gibi, elle yönlendirilen sondaj makinesi, helezoni burgular, kırıntı toplama kabı ve kırıntı miktarı ölçme kabından oluşmaktadır. Sondaj makinesinin ağırlığı 9,5 kg, gücü 1,75 HP, delme kapasitesi kömürde 10 m civarındadır. Çapları 42 mm olan burgular 1,2 m ve 1,7 m'lik iki ayrı uzunluktadır. Delikten çıkan kırıntıları toplamak için kullanılan kabın hacmi 16 lt'dir. Kırıntı miktarını ölçmek için 2 lt hacminde ölçekli bir kaptan yararlanılmıştır.

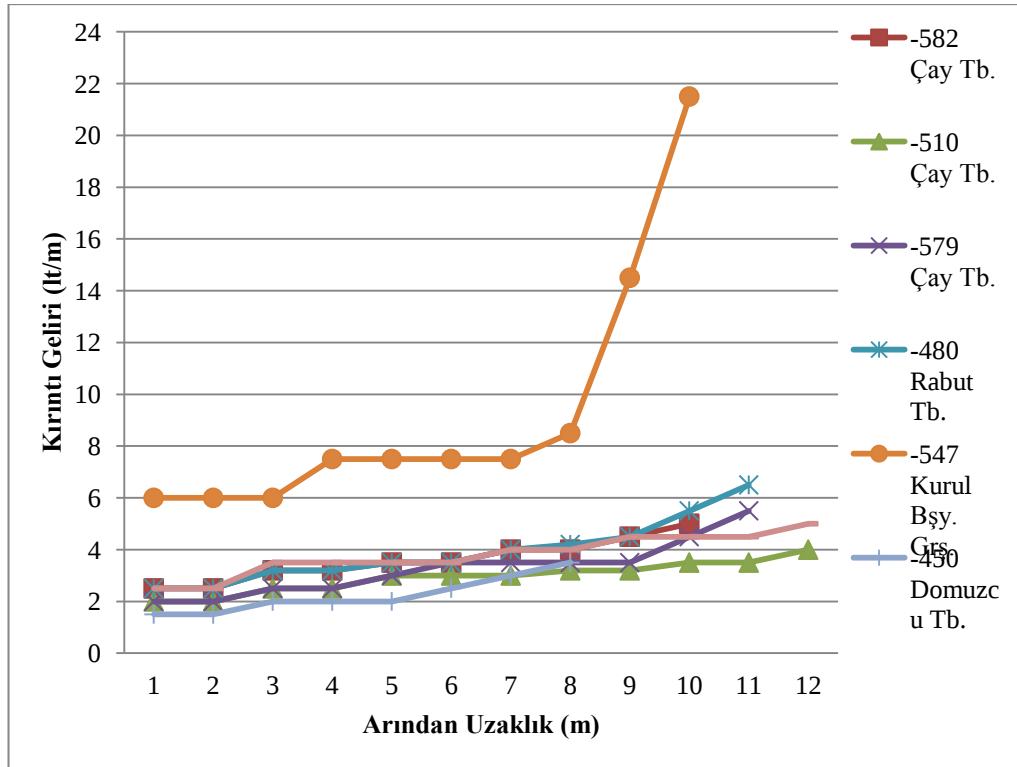


Şekil 7.12 : Arına yapılan sondaj donanımının görünüşü.

Ölçmeler sonucunda saptanan değerler Kozlu Taşkömürü İşletmesi için Çizelge 7.12’de ve Karadon Taşkömürü İşletmesi için Çizelge 7.13’te verilmiştir. Ayrıca sondaj kırıntı gelirinin arından uzaklığa bağlı olarak değişimi Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletme Müesseseleri için sırasıyla Şekil 7.13 ve Şekil 7.14’te gösterilmiştir.

Çizelge 7.12 : Kozlu Taşkömürü İşletmesi’nden alınan kırıntı geliri numuneleri,yerleri ve sonuçları.

Arından Uzaklık (m)	-582 Çay Tb.	-510 Çay Tb.	-579 Çay Tb.	-480 Rabut Tb.	-547 Milopero Bşy. Grş.	-450 Domuzcu Tb.	-547 H.Memiş Tb.
1	2,5	2	2	2,5	6	1,5	2,5
2	2,5	2	2	2,5	6	1,5	2,5
3	3,2	2,5	2,5	3,2	6	2	3,5
4	3,2	2,5	2,5	3,2	7,5	2	3,5
5	3,5	3	3	3,5	7,5	2	3,5
6	3,5	3	3,5	3,5	7,5	2,5	3,5
7	4	3	3,5	4	7,5	3	4
8	4	3,2	3,5	4,2	8,5	3,5	4
9	4,5	3,2	3,5	4,5	14,5		4,5
10	5	3,5	4,5	5,5	21,5		4,5
11		3,5	5,5	6,5			4,5
12		4					5



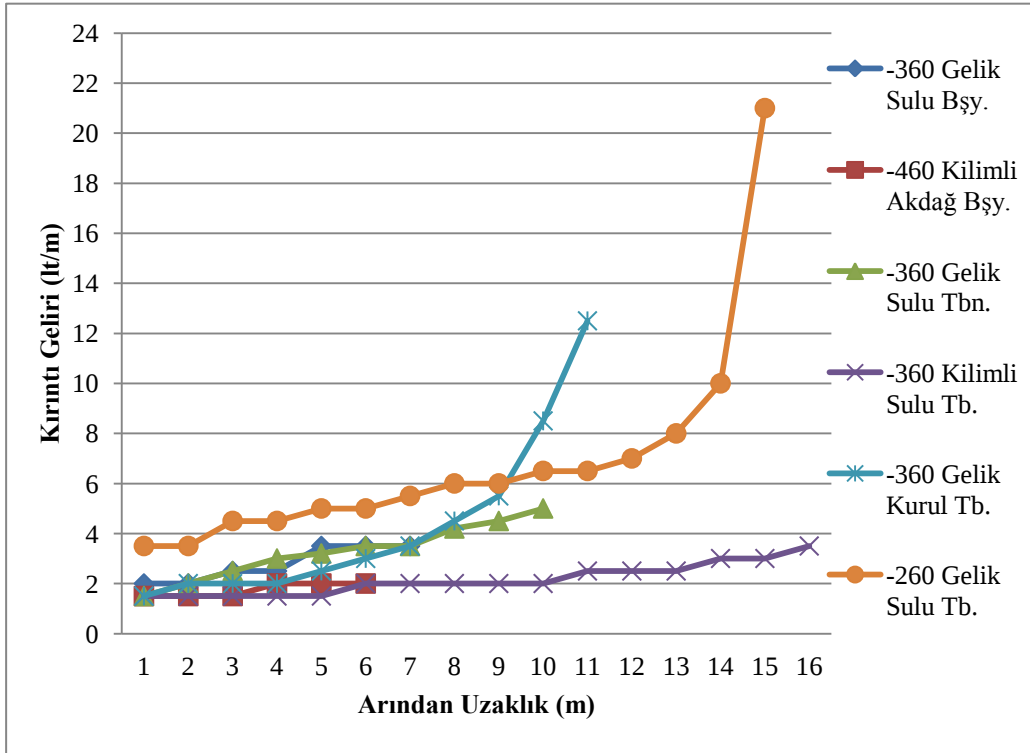
Şekil 7.13 : Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi kırıntı geliri sonuçları.

Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde, -582, -510 ve -579 Çay Taban, -450 Domuzcu Taban ve -547 Hacımemiş Taban yollarında yapılan sondajlar sırasında elde edilen kırıntı gelirlerine göre kaya basıncının söz konusu ocak kesimlerinde önemli bir artış göstermediği söylenebilir. Çünkü ölçülen kırıntı gelirleri genellikle 2,5 – 5 l/m arasında değişmekte olup, 6 l/m'lik sınır değerin altındadır.

-480 Rabut Taban yolunda ise kırıntı gelirinin 11. metreden sonra sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. -547 Milopero Başyukarı Girişi'nde yapılan sondajdan elde edilen kırıntı gelirinin ise ilk metreden itibaren 6 l/m'lik sınır değeri aştığı ve giderek bir artış gösterdiği görülmüştür. Bu verilere dayanarak kaya basıncının ocağın bu kesimlerinde ani püskürme olayının meydana gelmesi için gerekli ön koşulları (Gazın arına doğru göç etmesini engellemek, kömürdeki çatlak sayısını arttırmak) sağlayacak değere ulaştığını söylemek mümkündür.

Çizelge 7.13 : Karadon Taşkömürü İşletmesi'nden alınan kırıntı geliri numuneleri,yerleri ve sonuçları.

Arından Uzaklık (m)	-360 Gelik Sulu Bşy.	-460 Kilimli Akdağ Bşy.	-360 Gelik Sulu Tb.	-360 Kilimli Sulu Tb.	-360 Gelik Milopero Tb.	-260 Gelik Sulu Tb.
1	2	1,5	1,5	1,5	1,5	3,5
2	2	1,5	2	1,5	2	3,5
3	2,5	1,5	2,5	1,5	2	4,5
4	2,5	2	3	1,5	2	4,5
5	3,5	2	3,2	1,5	2,5	5
6	3,5	2	3,5	2	3	5
7	3,5		3,5	2	3,5	5,5
8			4,2	2	4,5	6
9			4,5	2	5,5	6
10			5	2	8,5	6,5
11				2,5	12,5	6,5
12				2,5		7
13				2,5		8
14				3		10
15				3		21
16				3,5		



Şekil 7.14 : Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi kırıntı geliri sonuçları.

Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nde, -360 Gelik sulu Başyukarı, -460 Kilimli Akdağ Başyukarı, -360 Gelik Sulu Taban ve -360 Kilimli Sulu Taban yollarında yapılan sondajlar sırasında elde edilen kırıntı gelirlerine göre kaya basıncının söz konusu ocak kesimlerinde önemli bir artış göstermediği söylenebilir. Çünkü ölçülen kırıntı gelirleri genellikle 2 – 5 l/m arasında değişmekte olup, 6 l/m'lik sınır değerinin altındadır.

-360 Gelik Milopero Taban yolunda 9 m'lik şerit içinde kaya basıncının önemli bir artış göstermediği söylenebilir. Çünkü ölçülen kırıntı miktarı 1,5 – 5,5 l/m arasında değişmektedir. Ancak 9. m'den sonra kırıntı gelirinin arttığı ve 12,5 l/m'ye ulaştığı gözlenmiştir.

-260 Gelik Sulu Taban yolunda ise 7 m'lik şerit içinde kaya basıncının önemli bir artış göstermediği söylenebilir. Çünkü ölçülen kırıntı miktarı 3,5 – 5,5 l/m arasında değişmektedir. Ancak 7. m'den sonra kırıntı gelirinin arttığı ve 21 l/m'ye ulaştığı gözlenmiştir.

Bu verilere dayanarak kaya basıncının ocağın bu kesimlerinde ani püskürme olayının meydana gelmesi için gerekli ön koşulları (Gazın arına doğru göç etmesini engellemek, kömürdeki çatlak sayısını arttırmak) sağlayacak değere ulaştığını söylemek mümkündür.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Eldeki verilere göre 1969 ile 2012 yılları arasında Zonguldak Taşkömürü Havzasının, Karadon ve Kozlu Bölgeleri'nde 89 adet ani gaz ve kömür püskürmesi olayı saptanmıştır. Bu olaylardan 37'si Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne bağlı ocaklarda, 52'si ise Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'ne bağlı ocaklarda meydana gelmiştir. Olaylarla ilgili sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Ortaya çıkan 89 olaydan 27'sinde atılan kömür miktarı yaklaşık bir şekilde saptanmış ve değerlerin 0 ile 100 ton arasında yoğunlaştığı görülmüştür. En büyük değer 31.03.2011 günü Karadon Bölgesi -360/41406 Acılık Batı Taban'da ortaya çıkan olaydan sonra saptanmış olup, tabandan alınan kömür postası 1500 ton'a ulaşmıştır.

Havzada ani gaz ve kömür püskürmesi olayları sonucu açığa çıkan gaz metan olmuştur. Yaklaşık olarak ölçülen değerler 5.000-10.000 m³ arasında değişmektedir. En büyük değer 31.03.2011 günü Karadon Bölgesi -360/41406 Acılık Batı Taban'da meydana gelen olaydan sonra saptanmış olup, 45.000 m³ metan gazı ölçülmüştür.

Olaylardan 19 tanesi fay zonları yakınında, 25 tanesi fay zonunu geçerken, 8 tanesi damar kalınlığının ve eğiminin aniden değiştiği veya devamlı değişme gösterdiği yerlerde ortaya çıkmıştır.

Kozlu Taşkömürü İşletmesi'ndeki ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının tamamı 300 m ve daha altındaki derinliklerde meydana gelmiştir. Karadon Taşkömürü İşletmesi'nde ise ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının oluşma derinlikleri 110 m ile 560 m arasında değişmektedir. Burada derinliğin artmasıyla ile olayların daha çok arttığı tespit edilmiştir.

Olayların, eğimi 40°-70° arasında olan kömür damarlarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Havzada hem kalın hem de ince kömür damarlarında olayların yaşandığı tespit edilmiş olmakla birlikte olaylar genellikle 2 ile 3 m kalınlığa sahip kömür damarlarında meydana gelmiştir.

Daha öncede bahsedildiği gibi ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarını meydana getiren etkenlerin başında kömürün yapısal özellikleri, içerdiği gaz miktarı, kömürdeki gazın desorpsiyon hızı ve kaya basıncı gelmektedir. Ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarına eğilimli bölgeleri belirlemek için yukarıda sıralanan faktörler incelenmiştir. Bu faktörler çerçevesinde yapılan deneyler ile alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kömürleşme derecesinin yükselmesi ile birlikte kömür iç yüzey alanı artar. Başka bir deyişle nem miktarı önemli ölçüde azaldığı için, gaz adsorpsiyon kapasitesi artmaktadır. Numunelerin nem miktarı % 1,12 ile % 4,6 arasında değişmektedir. Kül miktarı ise % 4,02 ile % 42,72 arasındadır. Numune alma işlemi sırasında yantaş ve arakesmelerin kömüre karışması sebebiyle bazı numunelerde kül miktarı yüksek çıkmıştır. Kuru-külsüz kömürün uçucu madde miktarı ise % 29,07 – 36,37 arasında değişmektedir. Eğer Alman Kömür Sınıflandırması esas alınırsa incelenen numunelerin bir bölümünün gaz-alevli, diğer bölümünün de gazlı kömür aşamasındaki damarlara ait olduğu görülmektedir.

Kömürün gevrekliğinin incelenmesinde kullanılan darbe dayanım testinde; 30 değeri ve bu değerin altında olan 4 adet kömür numunesi belirlenmiştir. İncelenen numuneler arasında Kozlu'dan 2, Karadon'dan 2 adet numunenin darbe dayanım sayısının 30'a çok yakın veya daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle; Kozlu İşletmesi -450/22923 Domuzcu Taban Yolu (5 No.lu Numune), -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu Numune), Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No.lu Numune) arınından alınan numunelerin ani gaz ve kömür püskürme tehlikesi taşıyan bir zona ait olduğu söylenebilir.

36 yıllık zaman diliminde açığa çıkan gaz miktarlarının istatistiksel değerlendirmesinden elde edilen ortalama açığa çıkan gaz miktarları, Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi için yaklaşık 20 m³/t, Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi için ise 14 m³/t'dur. Bu değerler, üretim yapılan damarların yüksek oranda gaz içerdiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada 7 farklı damardan, değişen kotlarda ve değişen sondaj uzunluklarında 19 ayrı kömür numunesi alınmıştır. Bu 19 adet numunenin gaz içerikleri doğrudan ölçme yöntemi olan USBM Metodu (United States Bureau of Mines) ile tayin

edilmiştir. Numuneleri taban yolları, başyukarı gibi henüz çalışmaların yeni başladığı bakir bölgelerden alınmıştır. Çeşitli ülkelerde yapılan araştırmalar, ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının genellikle gaz içeriği $9 \text{ m}^3/\text{t}$ 'dan daha büyük damarlarda ortaya çıktığını göstermiştir. Gaz içeriği ölçümleri sonucu 19 adet numuneden 6'sı ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarına eğilimli olarak tespit edilmiştir. Kozlu İşletmesi -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu numune), -560/111056363 Milopero Doğu Taban Yolu'na bağlı Başyukarı Girişi (12 No.lu numune); Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu Numune) ve -360 Sulu Ayak Önü Başyukarı (15. No.lu Numune)'dan alınan numunelerden hareketle bu bölgelerin ani püskürmeye eğilimli bir zon içerisinde bulundukları söylenebilir. Kozlu İşletmesi -560/111056363 Hacımemiş Doğu Taban Yolu (8 No.lu Numune) ve -485/221007 Çay Taban Yolu (Numune No.3)'nun sırasıyla $8,6 \text{ m}^3/\text{t}$ ve $8,3 \text{ m}^3/\text{t}$ değerlerinde olmasıyla sınır değere yakın olduklarından, bu bölgelerde ani püskürme tehlikesinin varlığından söz edilebilir.

Kömürdeki gazın desorpsiyon hızını ölçmede $\Delta P_{\text{express}}$ indeksi deneyi kullanılmıştır. Deneyde; her numune üzerinde üç adet $\Delta P_{\text{express}}$ ölçmesi yapılmıştır. Daha sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve $\Delta P_{\text{express}}$ indeks değerleri bar cinsinden verilmiştir. Kozlu ve Karadon Taşkömürü İşletmeleri'nin farklı bölgelerinden alınan numuneler üzerinde yapılan ölçmeler sonucu $\Delta P_{\text{express}}$ değerleri 0,40-0,72 arasında değişmektedir. İncelenen numuneler arasında daha düşük $\Delta P_{\text{express}}$ değerine sahip kömürlerin gazı adsorbe hızları büyük, desorpsiyon hızları da aynı oranda büyük olmaktadır. Yani basınç düşüşü daha fazla olan ve daha düşük $\Delta P_{\text{express}}$ değerine sahip kömür damarlarında ani püskürme olayına eğilimli olma durumu oluşmaktadır. Daha önce ani gaz ve kömür püskürmesi olayı meydana gelmiş kömür damarlarından alınan numuneler üzerinde yapılan $\Delta P_{\text{express}}$ deneyi yapılmış ve deney sonucu saptanan tüm değerlerin 0,43 bar'dan küçük olduğu tespit edilmiştir. Böylece 0,43 değeri ve bundan daha küçük değerlere sahip kömür damarlarında ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarına meydana gelme olasılığı yüksek olduğu saptanmıştır. Bu varsayıma göre, -485/221007 Çay Taban Yolu (3 No.lu Numune), -560/111056363 Hacımemiş D.Taban Yolu (8 No.lu Numune), -480/111056362 Rabut Batı Taban Yolu (11 No.lu Numune), -560/111056363 Milopero Doğu Taban Başyukarı Girişi (12 No.lu Numune), -260/41306 Sulu Taban Yolu (13 No.lu

Numune) ve -360/ Sulu Ayak Önü Başyukarı (15 No'lu Numune)'dan alınan numunelerin ani püskürme tehlikesi taşıyan zonlara ait olduğu söylenebilir.

Kaya basıncının arından uzaklığa bağlı olarak değişimi, arına yapılan sondajlar sırasında elde edilen bulgulara (tijlerin sıkışması, sondaj sırasında ilerleme hızının azalması hatta burguların basınçtan dolayı geri itilmesi vb.) dayanarak belirlenmiştir. Numuneler; burğu çapı 42 mm olan sondaj makinesiyle kırıntı geliri olarak alınmıştır. Bu çaptaki burgulara göre normal kırıntı gelirinin metrede 2,5 lt olduğu hesaplanmış ve 6 lt/m'yi aşması halinde tehlike kırıntı gelirinin başladığı saptanmıştır. Kozlu -560 lağımina bağlı -547 Milopero damarına açılacak olan Başyukarı ve Kozlu -480 Rabut Taban Yolu ile -260 Gelik Sulu damarında sürülen taban galerisinde ve -360 Milopero Doğu Taban Yolu'nda elde edilen kırıntı geliri sonuçlarına bakıldığına ani püskürmeye eğilimlilik açısından risk taşıdıkları tespit edilmiştir.

Çalışmada incelenen farklı kesimlerden hangilerinin veya hangisinin ani gaz ve kömür püskürmesi olayının tehlikesi taşıdığını belirleyebilmek amacıyla, elde edilen tüm veriler sistemli bir şekilde değerlendirilmiş ve Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Sonuçlar Kozlu İşletmesi -480/111056362 Rabut B.Taban Yolu ile Gelik İşletmesi -260/41306 Sulu Taban Yolu'nun ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimli bir zon içinde olduğunu göstermiştir. Çizelge 8.1'den görüldüğü gibi 4 kriterin özelliklerini de karşılamalarından dolayı ani gaz ve kömür püskürmesine eğilimli olduklarını ispatlamaktadır.

Bu sonuçlar ile öncelikle dikkat edilmesi gereken hususun 9 m³/t değerinin üzerindeki kömür damarlarında başlıca denetimlerin daha sık yapılması gerekmektedir. Bu gibi gaz içeriği yüksek olan üretim bölgelerinde ve hazırlıkların henüz başladığı taban yolları ile başyukarılarda, üretim esnasındaki ilerleme hızının azaltılması, rahatlatma sondajları ile hazırlık çalışmalarının devam ettirilmesi veya koruyucu damar kazılarının yapılması ile o bölgenin metan gazı konsantrasyonunun azaltılmasına yardımcı olunması önerilmektedir. Ayrıca metan drenajlarının ve bunun gibi metan emisyonunu azaltıcı bir çok çalışmanın yapılması olası bir ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarının oluşmasını engelleyebilmektedir.

Çizelge 8.1 : Yapılan çalışmalar sonucu ani püskürme olayına yatkın kömür damarları.

No.	Alınan Yer	Damar Adı	Derinlik (m)	Deneyler			
				Gaz İçeriği (m ³ /t)	Darbe Dayanım Sayısı	$\Delta P_{\text{express}}$ indeksi (bar)	Kaya Basıncı (l/m)
1	KOZLU	-560/111056353 Çay Taban - I	-582	6,9	39,3	0,68	< 6 l/m
2	KOZLU	-560/111056353 Çay Taban - II	-579	7,7	36,7	0,63	< 6 l/m
3	KOZLU	-485/221007 Çay Taban	-510	8,3	37,5	0,40	< 6 l/m
4	KOZLU	-450/22923 Domuzcu Taban - I	-437	4,5	37,3	0,72	< 6 l/m
5	KOZLU	-450/22923 Domuzcu Taban - II	-437	5,9	28,3	0,58	< 6 l/m
6	KOZLU	-450/22923 Domuzcu Taban - III	-437	6,9	35,3	0,48	< 6 l/m
7	KOZLU	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban - I	-547	5,1	46,0	0,51	< 6 l/m
8	KOZLU	-560/111056363 Hacımemiş D.Taban - II	-547	8,6	37,3	0,43	< 6 l/m
9	KOZLU	-560/111056363 Sulu Taban GRŞ - I	-560	3,8	46,3	0,63	< 6 l/m
10	KOZLU	-560/111056363 Sulu Taban GRŞ - II	-560	5,4	51,8	0,49	< 6 l/m
11	KOZLU	-480/111056362 Rabut B.Taban	-485	11,7	29,0	0,44	11. m'den sonra > 6 l/m
12	KOZLU	-560/111056363 Milopero D. Tb. Bşy. Grş.	-547	16,9	41,0	0,42	1. m'den sonra > 6 l/m
13	GELİK	-260/41306 Sulu Taban	-260	15,5	29,5	0,34	7. m'den sonra > 6 l/m
14	GELİK	-360/41406 Sulu Taban	-360	4,3	41,7	0,54	< 6 l/m
15	GELİK	-360/Sulu Ayak Önü Bşy	-360	9,1	25,7	0,43	< 6 l/m
16	GELİK	-360/41415 Milopero Doğu Taban	-360	3,3	50,0	0,51	9. m'den sonra > 6 l/m
17	KİLİMLİ	-460/42504 Akdağ Tv. Ayak Önü Bşy. - I	-460	3,0	40,7	0,61	< 6 l/m
18	KİLİMLİ	-360/51106 Sulu Taban - I	-360	5,7	57,7	0,55	< 6 l/m
19	KİLİMLİ	-360/51106 Sulu Taban - II	-360	5,1	51,8	0,68	< 6 l/m

Sonuç olarak bütün bu araştırmalar, ani gaz ve kömür püskürmesi olayını meydana getiren etkenlerin sistemli bir şekilde araştırılması yoluyla, olaya eğilimli zonların önceden belirlenebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, tüm havzada belli aralıklarla üretim yapılan damarlarda gaz içeriği ölçümleri için oluşturulacak profesyonel bir ekip ile bu ölçümlerin yapılması önerilmektedir. Böylece yeraltındaki çalışma ortamının güvenliği açısından önemli bir artış gözlenecektir.

KAYNAKLAR

- Beamish, B.B.** (1984). Overseas visit to West Germany. Tech. Rept. CCP-009-84. Collinsville Coal Co. Pty, Collinsville, Sf. 38.
- Beamish, B.B. ve Crosdale, P.J.** (1998). Instantaneous outbursts in underground coal mines: An overview and association with coal type. *International Journal of Coal Geology* 35, Sf. 27–55.
- Berthard, C., Bruyet, B., Gunther, J.** (1970). Determination of desorable gas concentration of coal (direct method). *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 7, Sf. 43-65.
- Bodziony, J. ve Lama, R.D.** (1996). Sudden Outbursts of Gas and Coal in Underground Coal Mines, Outbursting Scoping Study Final Report, Sf. 453-478, Proje No: C4034.
- Cao, Y., He, D., Glick, D.C.** (2001). Coal and gas outbursts in footwalls of reverse faults, *International Journal of Coal Geology* 48, Sf.47 – 63.
- Cao, Y., Davis, A., Liu, R., Liu, X., Zhang, Y.** (2003). The influence of tectonic deformation on some geochemical properties of coals: A possible indicator of outburst potential, *International Journal of Coal Geology* 53, Sf. 69 –79.
- Diamond, W.P., Levine, J.R.** (1981). Direct method determination of the gas content of coal: procedures and results. *US Bur. Mines, Rep. Invest.* 8515, Sf. 36.
- Diamond, W.P. ve Schatzel, S.J.** (1998). Measuring the gas content of coal: A Review. *International Journal of Coal Geology*, Volume:35, Sf. 311-331.
- Didari, V. ve Ökten, G.** (1989). Taşkömürün İçerdiği Gaz Miktarının Ölçülmesinde Uygulanan Yöntemler, *Madencilik*, Cilt 28, Sayı No 1.
- Eckart, D., Gimm, W., Thoma, K.** (1966). Plötzliche Ausbrüche von Gestein und Gas im Bergbau. *Freiberger Forschungshefte A 409*, VEB Deutcher Verlag für Grundstoff, Industrie, Leipzig.
- Ediz, İ. G. ve Durucan, Ş.** (1998). Kömür Ocaklarında Metan Gazı Oluşumu ve Birikimi, Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri (Editör: Orhan Kural), Özgün Ofset ve Matbaacılık A.Ş., Sf. 223-242.
- Evans, I. ve Pomeroy, C. D.** (1966). The strength, fracture and workability of coal, London, Pergamon Press, Sf. 277.
- Fişne, A., Ökten, G., Hüdaverdi, T.** (2006). Yeraltı Madenciliğinde Ani Gaz ve Kayaç Püskürmesine Eğilimli Zonların Belirlenmesi, KAYAMEK 2006 8. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Sf. 395-401.

- Flores, R.M.** (1998). Coalbed methane: From hazard to resource, *International Journal of Coal Geology* 35, Sf.3 – 26.
- Gray, I.** (2011). Gas Content Measurement and its Relevance to Outbursting, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Sf.291 – 296.
- Guan, P., Wang, H., Zhang, Y.** (2009). Mechanism of instantaneous coal outbursts. *Geology*, October 2009, no. 10; Sf. 915–918. doi: 10.1130/G25470A.1.
- Gürdal, G.** (1998). Zonguldak Havzası Kömürlerinde Gaz Depolanmasını Kontrol Eden Parametreler, (doktora tezi), İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- Hargraves, A. J.** (1962). Gas in face coal, AusI" Proc. No. 203, Sf. 7-44.
- Hyman, D.M.** (1987). A review of the mechanisms of gas outbursts in coal. Information circular 9155, United States Bureau of Mines, USA.
- Jacobi, O.** (1976). Praxis der Gebigsbeherrschung, Verlag Glückauf GmbH-Essen, Sf. 496.
- Jahns, H.** (1964) Detection and elimination of dangerous stresses in the coal side of a gate road of the outburst-prone Sonnenschein seam, UN-ECE Symp. on Coal & Gas Outbursts, Nimes, France, 25-27 Nov., Sf. 195-210.
- Jiang, J.Y., Cheng, Y.P., Wang, L., Li, W., Wang,L.** (2011). Petrographic and geochemical effects of sill intrusions on coal and their implications for gas outbursts in the Wolonghu Mine, Huaibei Coalfield, China, *International Journal of Coal Geology* 88, Sf. 55 – 66.
- Ketin, İ. ve Canitez, N.** (1972). Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu.
- Kissel, F.N., McCulloch, C.M., Elder, C.H.** (1973). The direct method of determining methane content of coalbeds for ventilation design. US Bur. Mines, Rep. Invest. 7767, Sf. 17.
- Lama, R. D.** (1995). Safe gas content threshold value for safety against outbursts in the mining of the Bulli seam. In: Lama, R.D. Ed., Int. Symp. cum Workshop on Management and Control of High Gas Emissions and Outbursts in Underground Coal Mines. Wollongong, Australia, 20–24 March, Sf. 175–189.
- Lama, R. D. ve Bodziony, J.** (1996). Outburst of Gas, Coal and Rock in Underground Coal Mines, R.D.Lama & Associates, Wollongong, NSW, Australia, Sf. 499.
- Lama, R. D. ve Bodziony, J.** (1998). Management of Outburst in Underground Coal Mines, *International Coal Geology* 35, Sf. 83-115.
- Lindner, E.** (2007). Chemie für Ingenieure; Lindner Verlag Karlsruhe, Sf. 258. Alındığı tarih: 05.06.2012, adres: <http://en.wikipedia.org/wiki/Coal>.
- Li, X.Z., Hua, A.Z.** (2006). Prediction and prevention of sandstone-gas outbursts in coal mines, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 43, Sf. 2–18.

- McCulloch, C.M., Levine, J.R., Kissel, F.N., Deul, M.** (1975). Measuring the methane content of bituminous coalbeds. US Bur. Mines, Rep. Invest. 8043, Sf.22.
- Ökten, G.** (1983). Zonguldak Taşkömür Havzasındaki Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarının İncelenmesi ve Olaya Eğilimli Zonların Belirlenebilirliğinin Araştırılması, (doktora tezi), İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- Orhan, E.** (1995). Zonguldak Taşkömürü Havzası Genel Jeolojisi ve Kozlu K20/G Sondaj Kuyusu Stratigrafisi, *TUBİTAK. MAM*. Özel Yayını, 45-66.
- Öztürk, M.** (1988). Türkiye Taşkömürü Kurumu İş Sağlığı Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı tarafından yapılan çalışmalar.
- Paul, K.** (1971). Gasdruck-und Gasinhaltsmessungen in Steinkohlenflözen (indirekte Methode). Informationstagung der europaeischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl, Lüksemburg 24-25 Februar, s 19-37.
- Paul, K.** (1977). Early detection and prevention of outbursts Glückauf, Vol. 113, No. 13, Sf. 656-62.
- Ruilin, Z. ve Lowndes, I.S.** (2010). The application of a coupled artificial neural network and fault tree analysis model to predict coal and gas outbursts, *International Journal of Coal Geology* 84, Sf.141–152.
- Saghafi, A., Faiz, M., Roberts, D.** (2007). CO₂ storage and gas diffusivity properties of coals from Sydney Basin, Australia, *International Journal of Coal Geology* 70, Sf. 240 – 254.
- Savaşkan, B.** (1989). Zonguldak maden kömürü havzası tarihçesi,1829-1989 Havzanın Tarihi-İdari-Hukuki Teknik ve Sosyal Safhaları, Eğitim Daire Başkanlığı yayını No:59.
- Somnier, J.** (1960). Natural desorption of coal and its application in the prevention of instantaneous outbursts and explanation of their mechanisms, *Revue de l'Industrie Minerale*, Şubat, Sf. 776-84.
- Şahin, A. N.** (1997). Zonguldak Kömürlerinin Biriketlenmesi, *Yüksek Mühendislik Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Şahin, N.** (2002). Yanma Ürünü Gazların İncelenmesi Yoluyla Kömürün Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığının Saptanması, *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- TTK.** (2004). Kozlu müessesesinde -560/112056355 lağımu Messoğlu Başyukarıda 26.02.2004 günü meydana gelen degaj olayı ile ilgili bilgi notu.
- TTK.** (2009). Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, 2003-2009 Faaliyetleri, Yayın No:65.
- TTK.** (2010). Karadon Müessese Müdürlüğü degaj yerlerini gösterir plan raporu.
- TTK.** (2011). Gelik işletme müdürlüğü, 31.03.2011 tarihinde meydana gelen -360 Acılık Batı Tabanda meydana gelen gaz ve kömür degajından etkilenen bölgeleri gösteren plan raporu.

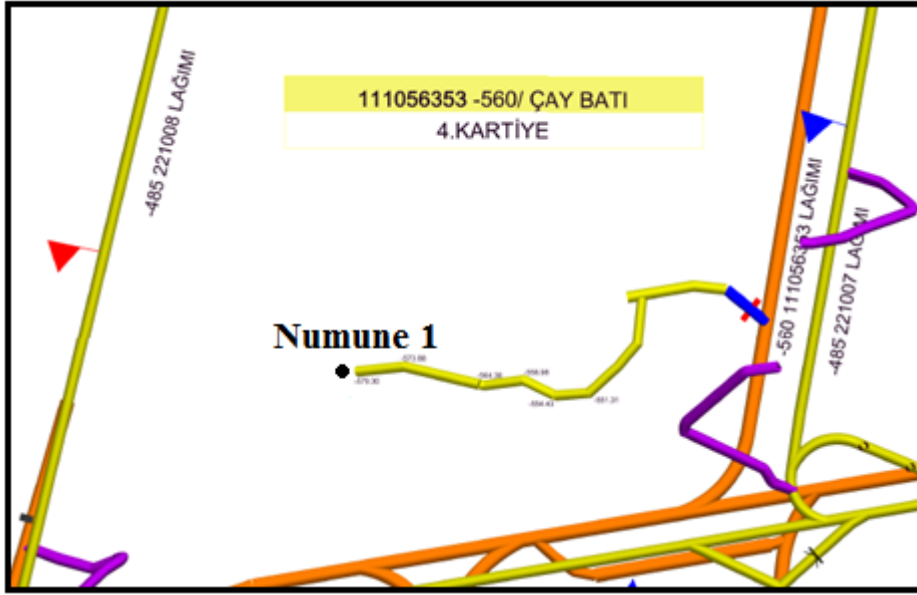
- TTK.** (2011). İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı, Taşkömürü Ocaklarında Degaj Olaylarının Önlenmesi Projesi, 5 Mayıs 2011, Zonguldak.
- Valliappan, S. ve Wohua, Z.** (1999). Role of Gas Energy during Coal Outbursts, International Journal of Numerical Methods in Engineering, 44, Sf. 875-895.
- Vardar, M.** (1979). Kayalarda Gerilme Durumları. İleri Kaya Mekaniği Ders Notları.
- Zhang, G.** (1995). Area prediction of danger of coal and gas out-bursts: Example of application in Jiaozuo mining area in China. In: Lama, R.D. Ed., Int. Symp. cum Workshop on Management and Control of High Gas Emission and Outbursts in Underground Coal Mines. Wollongong, Australia, 20–24 Mart, Sf. 195–199.

EKLER

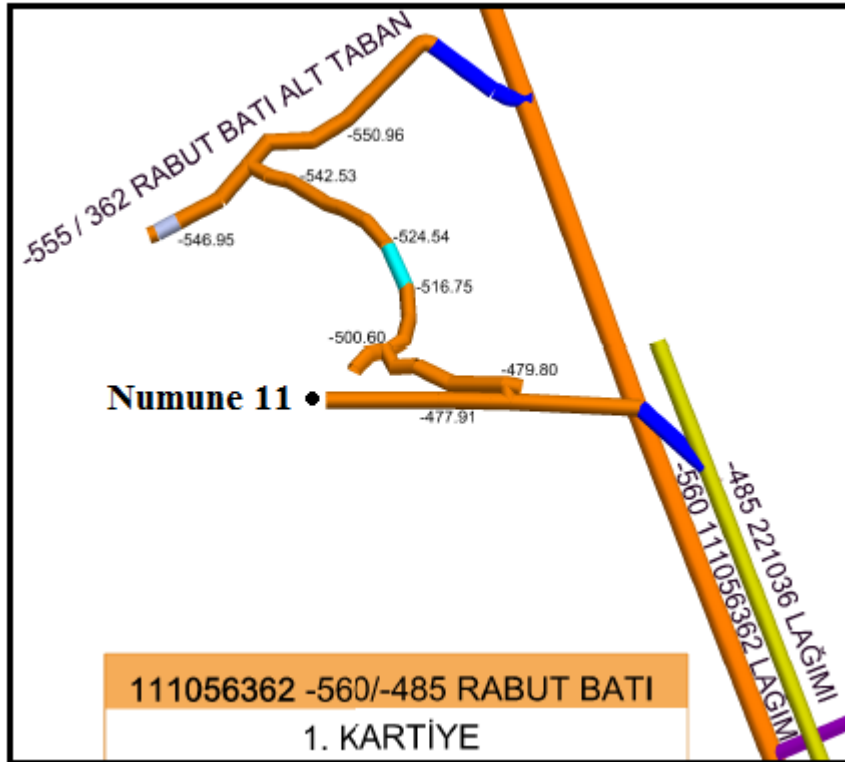
EK A : Numune Haritaları

EK B : Kayıp Gaz Grafikleri

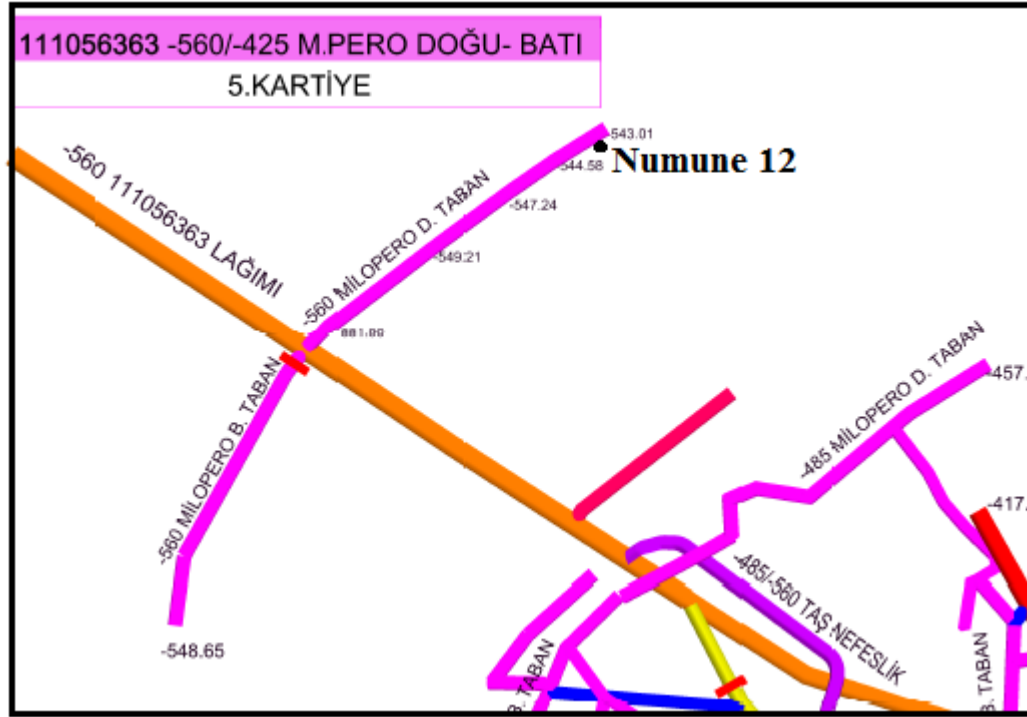
EK A



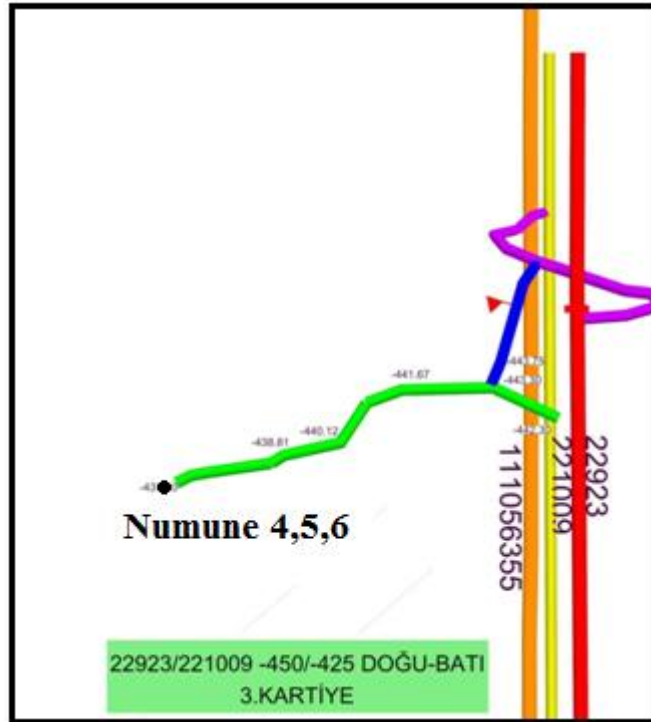
Şekil A.1 : -560 lağımina bağlı -582/111056363 Çay batı taban yolu.



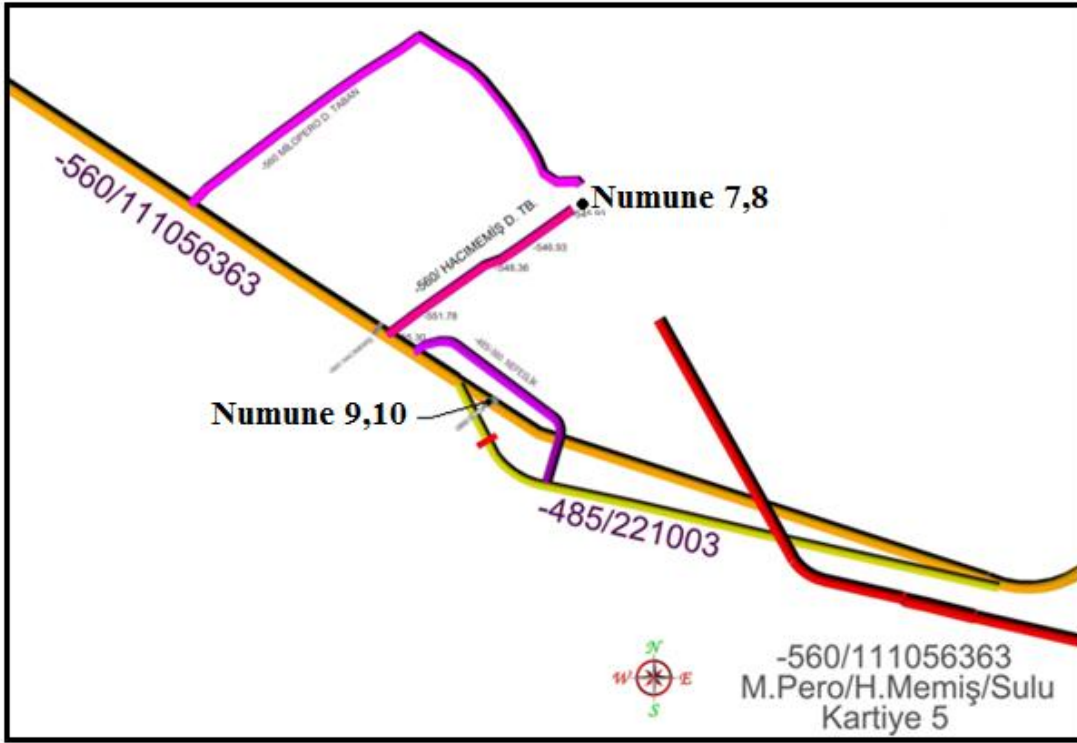
Şekil A.2 : -485 lağımina bağlı -480/111056362 Rabut batı taban yolu.



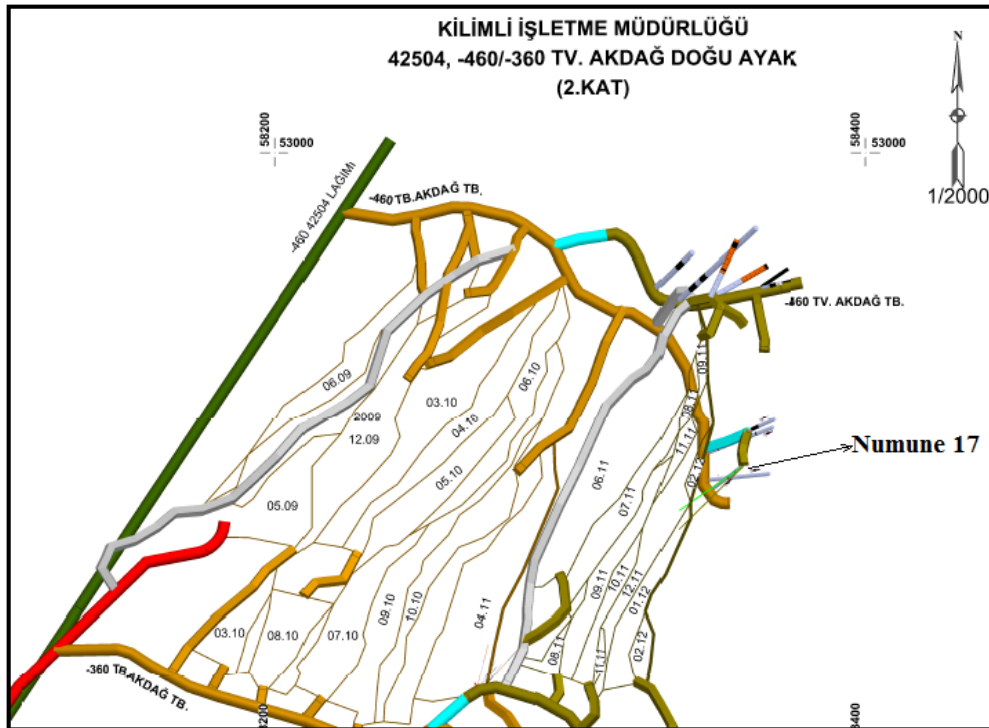
Şekil A.3 : -560/111056363 Milopero (Kurul) doğu taban başyukarı Girişi.



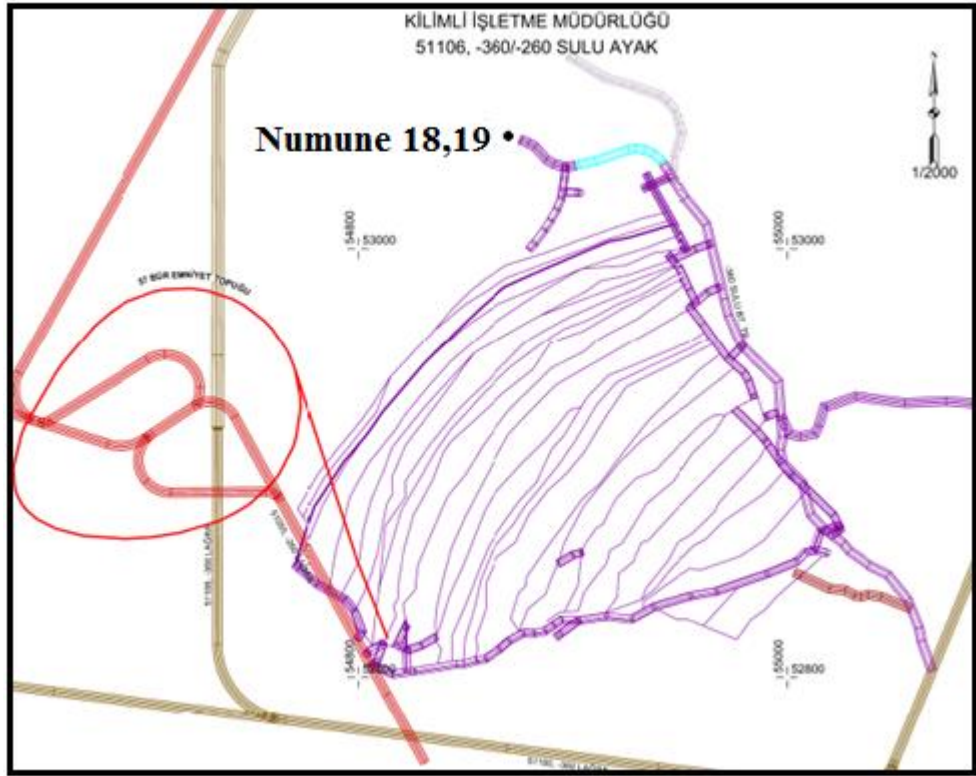
Şekil A.4 : -450/22923 Domuzcu taban yolu.



Şekil A.5 : -560 Hacımemiş doğu taban ve Sulu damarı girişi.

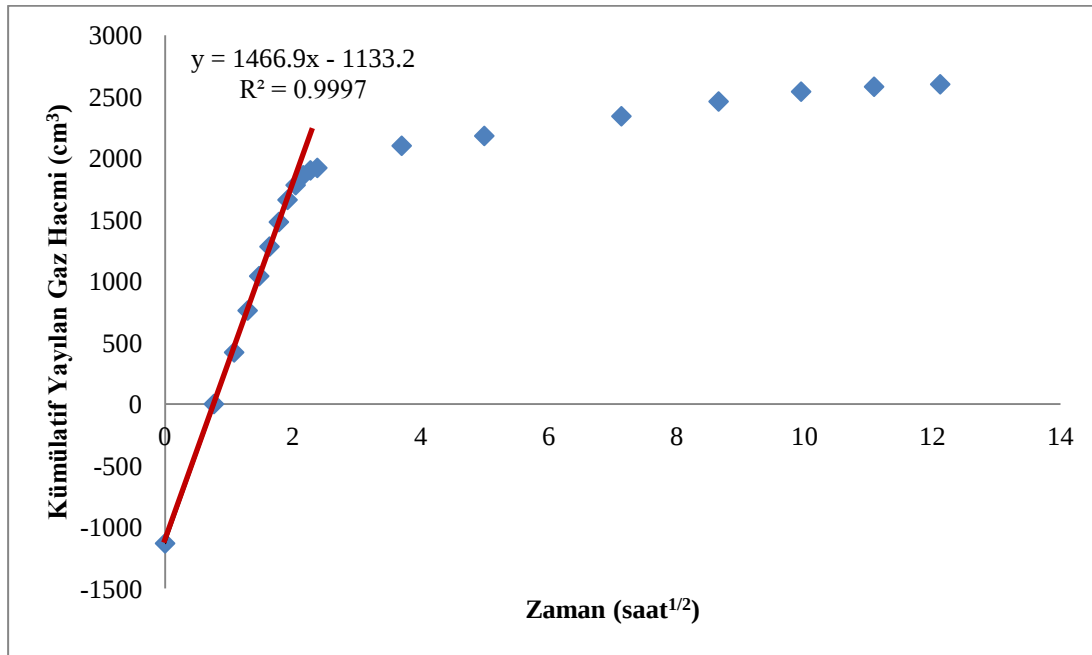


Şekil A.6 : -460 Akdağ doğu başyukarı arını.

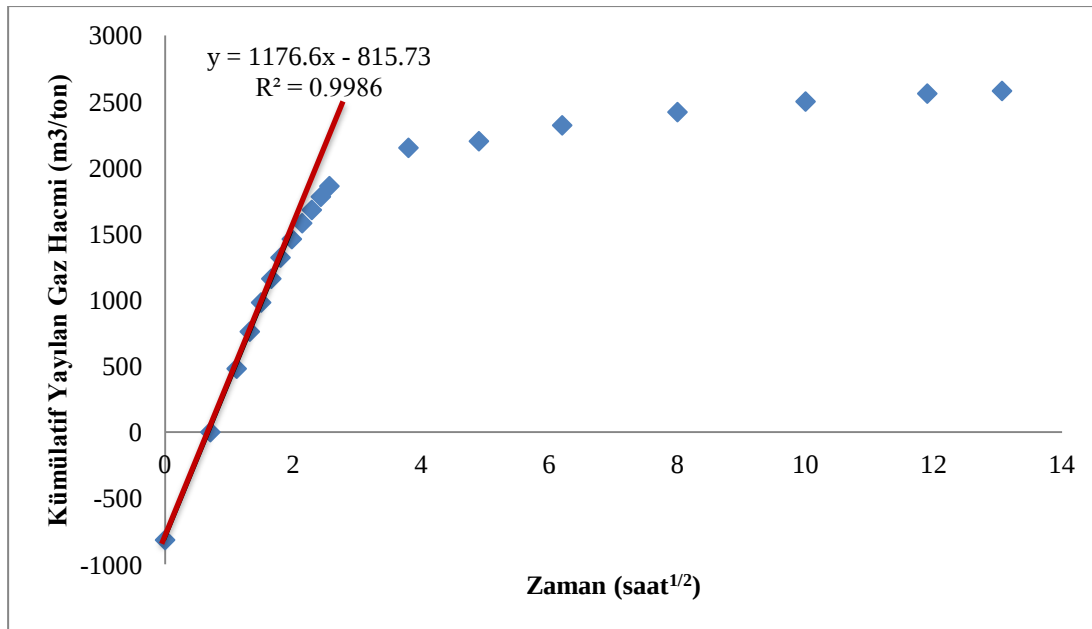


Şekil A.7 : -360/51106 Sulu taban yolu.

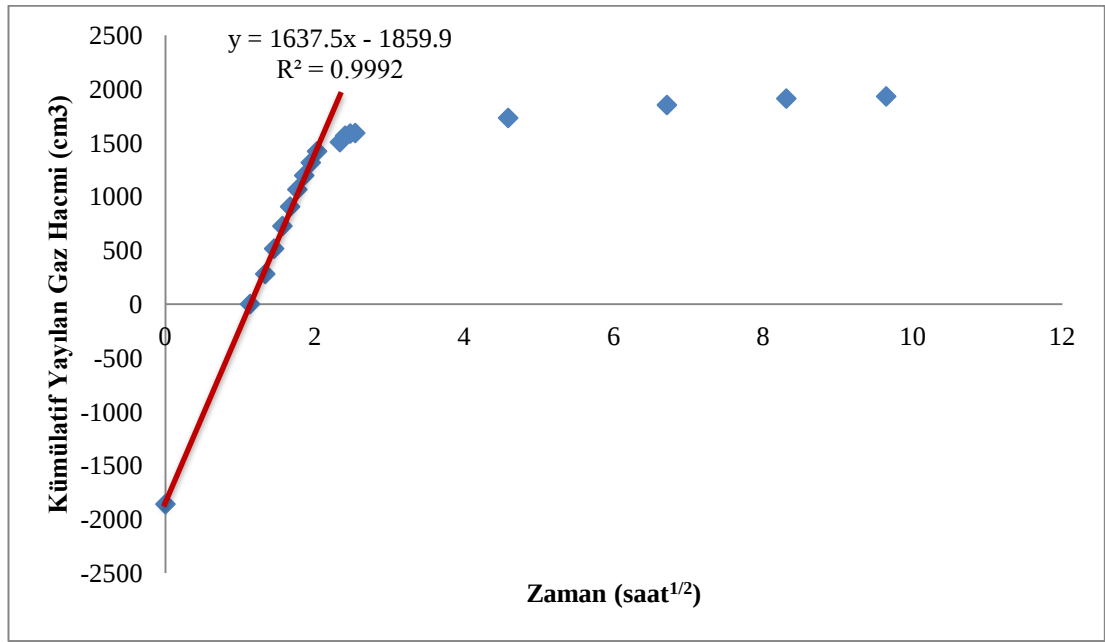
EK B



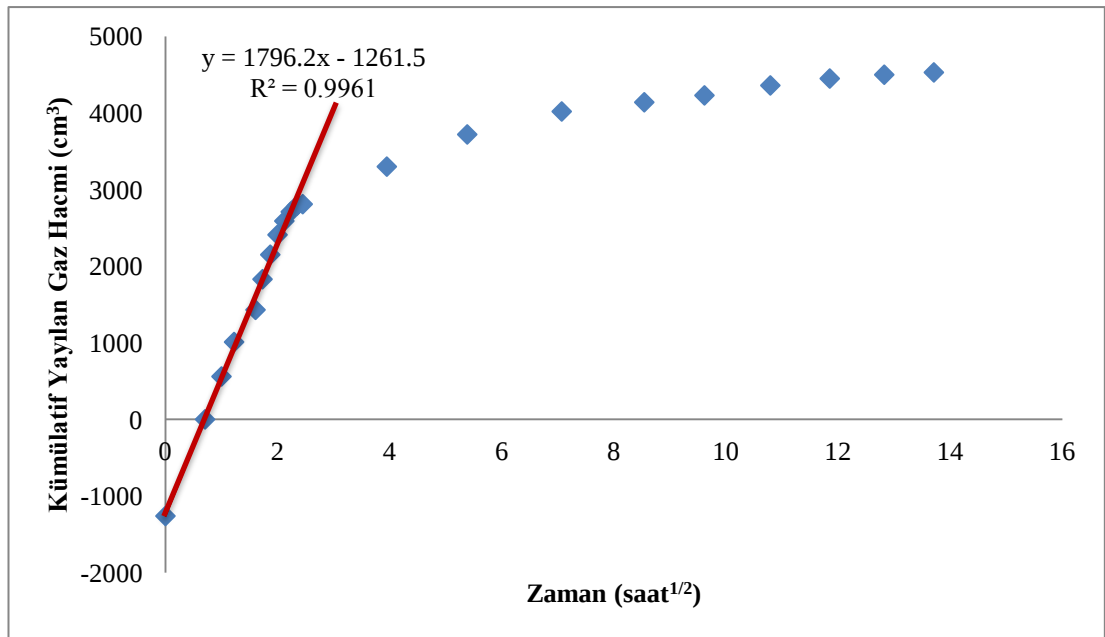
Şekil B.1 : Numune 2'ye ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



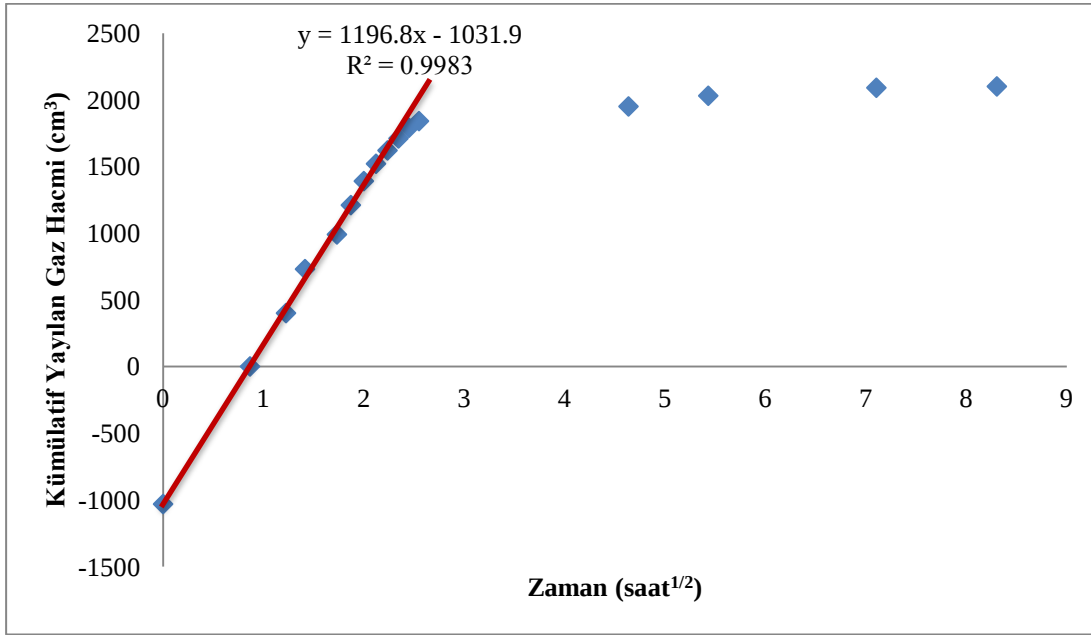
Şekil B.2 : Numune 3'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



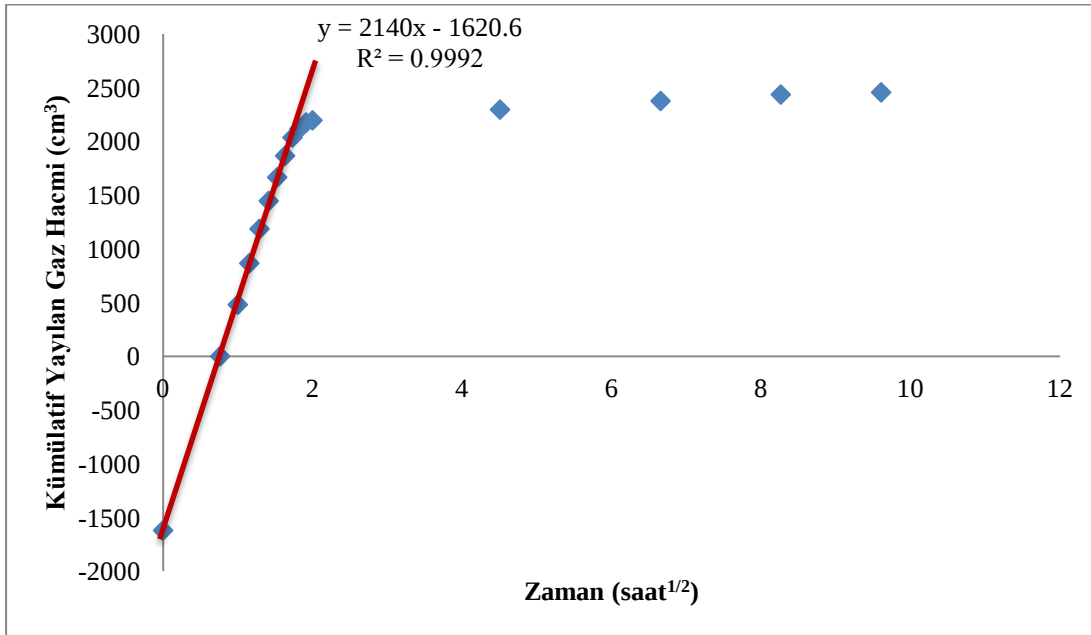
Şekil B.3 : Numune 6'ya ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



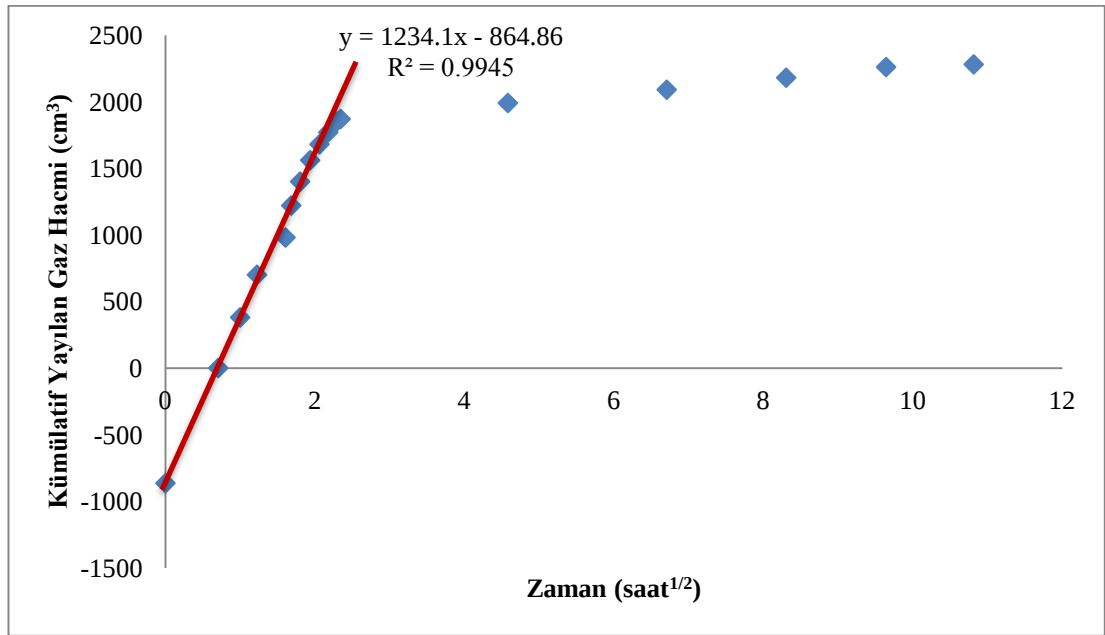
Şekil B.4 : Numune 8'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



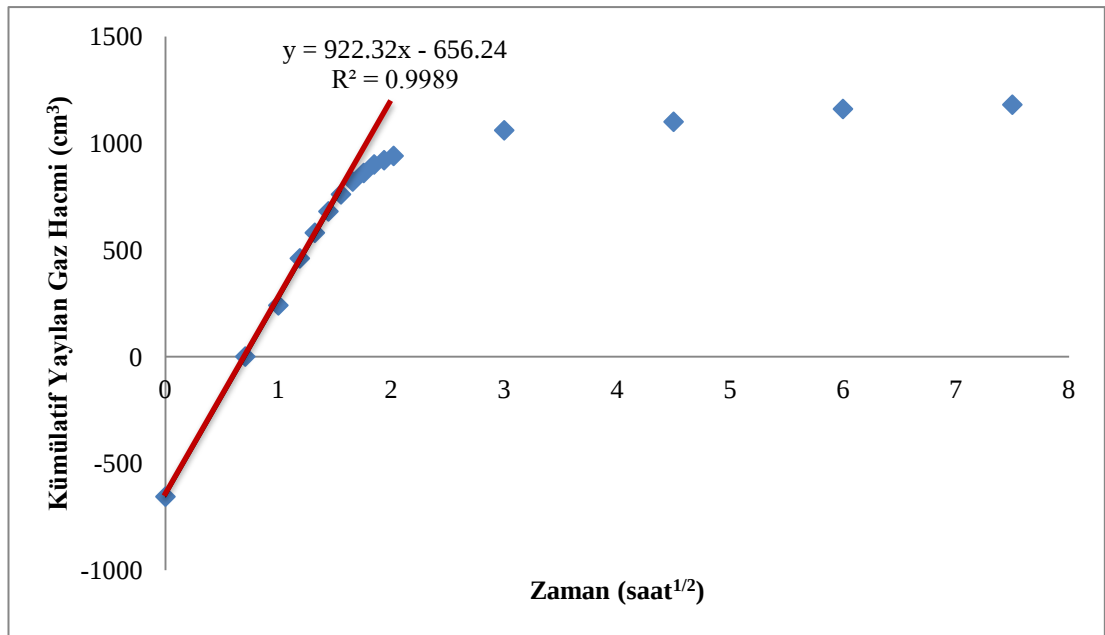
Şekil B.5 : Numune 10'a ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



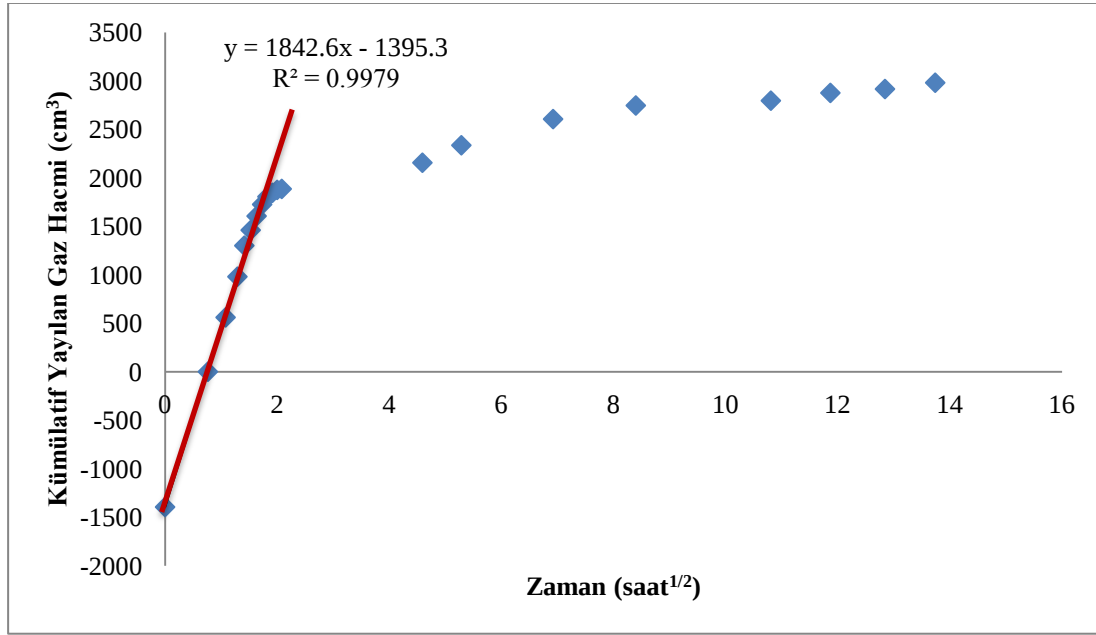
Şekil B.6 : Numune 14'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



Şekil B.7 : Numune 15'e ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



Şekil B.8 : Numune 17'ye ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.



Şekil B.9 : Numune 19'a ait desorpsiyon verileri ve kayıp gaz miktarı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Olgun ESEN
Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy-İSTANBUL / 24.02.1988
E-Posta: esenolgun@itu.edu.tr
Lisans: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Maden Mühendisliği Bölümü (2006-2010)
Mesleki Deneyim ve Ödüller: Bölüm İkinciliği (Lisans)