



KÜTAHYA GEDİZ BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN
GAZ İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet ÖZGÜR

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2019

KÜTAHYA GEDİZ BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN GAZ İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet ÖZGÜR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA

Ortak Danışman: Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ

Temmuz – 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ahmet ÖZGÜR tarafından hazırlanan “KÜTAHYA GEDİZ BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN GAZ İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

04 / 07 / 2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ali UÇAR
Anabilim Dalı Başkanı, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA
Danışman, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

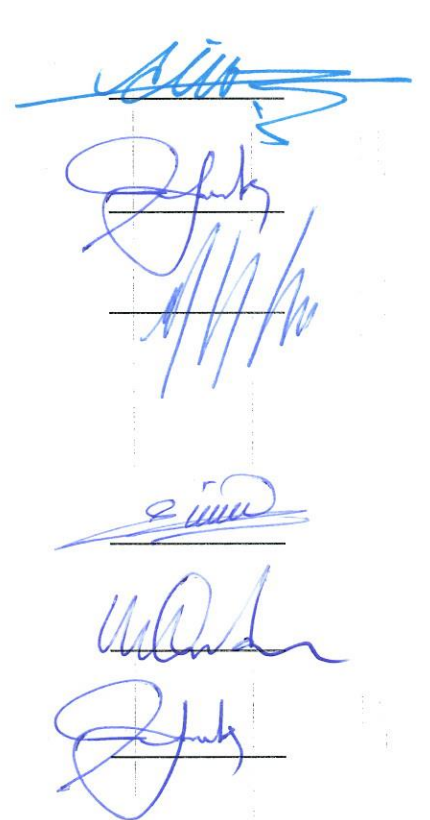
Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ
Ortak Danışman, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Önder UYSAL
Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÖNDER
Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA
Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 3 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.


Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA
Danışman


Ahmet ÖZGÜR


Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ
Ortak Danışman

KÜTAHYA GEDİZ BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN GAZ İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet ÖZGÜR

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA

Ortak Danışman: Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ

ÖZET

Kömür, enerji üretimi alanında önemli bir hammadde olma özelliğini günümüzde de sürdürmektedir. Yeraltında bulunan kömür damarlarının üretimi, içerdiği metan gazı nedeniyle emniyet yönünden önemli tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, doğrudan yöntem ile kömür damarlarının gaz içeriğini belirlemeye yönelik ısı kontrollü yeni bir sistem tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarım, Kütahya iline bağlı Gediz ve Tavşanlı ilçelerinde bulunan yeraltı kömür işletmelerinden alınan kömür örneklerinin gaz içeriklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yeni tasarlanan sistemle, tüm gaz içeriği belirleme sürecinin aynı sızdırmaz kap içerisinde ve sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, öğütme aşamasında da sürekli gaz çıkışına izin verilerek, sızdırmaz kap içerisindeki basınç yükselmelerinin önüne geçilmiştir. Kömür damarı gaz içeriği belirlenmesiyle ilgili tüm işlemlerin aynı kap içerisinde gerçekleştirilmesi ve farklı teçhizat gerektirmemesi yöntemin kolay uygulanabilir olmasını sağlamıştır. Sabit sıcaklık ve atmosfer basıncında gerçekleştirilen deneyler, maden ortamındaki koşullarda ocak havasına karışabilecek gaz miktarının daha doğru tespit edilmesini sağlamıştır. Yapılan deneyler sonucunda, Gediz örneklerinin standart sıcaklık ve basınç koşullarında ve orijinal bazda ortalama 0,30 m³/ton, Tavşanlı örneklerinin ise ortalama 0,63 m³/ton gaz içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğrudan yöntemle metan içeriği belirleme, Kömür, Kömür damarı metan içeriği, Kömür damarı metan içeriği belirlenmesi, Metan.

DETERMINING THE GAS CONTENT OF THE COALS IN KÜTAHYA GEDİZ REGION

Ahmet ÖZGÜR

Mining Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Şahin YUVKA

Thesis Co-Advisor: Prof. İsmail Göktaş EDİZ

SUMMARY

Coal is still an important raw material in the field of energy production. The production of underground coal seams requires significant safety measures due to the methane gas content. In this study, a new temperature controlled system was designed to determine the gas content of coal seams by direct method. The designed system was used to determine the gas content of the coal samples taken from underground coal mines which are operating in Gediz and Tavşanlı districts of Kütahya.

The newly designed system is intended to carry out the entire gas content determination process in the same sealed container and at a constant temperature. Also, continuous gas output was allowed in the grinding stage and pressure increases in the sealed container were prevented. Performing all processes related to the determination of the gas content of coal in the same container and not requiring different equipment have made the method easy to apply. Carrying out experiments at constant temperature and atmospheric pressure have enabled more accurate detection of the amount of gas that can be mixed with the air in the conditions of the mine environment. As a result of the experiments, it was determined that, under standard temperature and pressure conditions, Gediz samples had a gas content of 0,30 m³/ton on the original basis and Tavşanlı samples had a gas content of 0.63 m³/ ton averagely.

Keywords: Coal, Determination of coal methane content, Direct measurement method of methane content, Methane, Methane content of coal seams.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın en başından itibaren planlanmasında ve yürütülmesinde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve engin bilgileriyle bana her daim yol gösteren danışman hocalarım Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ ve Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA hocalarıma öncelikle teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında yapılan tasarımın şekillendirilmesinde ve hayata geçirilmesinde en önemli katkıyı sağlayan Dr. Ahmet GÖRGÜLÜ ve Abdullah KARANFİL'e

Saha çalışmalarında bana her türlü imkanı ve desteği sağlayan Maden Mühendisleri Emrah YILDIRIM ve Fahrettin YÜKSEL'e

Laboratuvar çalışmaları sırasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Ömer CANIEREN ve Arş. Gör. Mehmet ÖZDEMİR'e teşekkür ederim

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. 117M934 numaralı proje kapsamında çalışmaya sağladıkları ekonomik destek ve her konudaki yardımlarından dolayı, TÜBİTAK yetkililerine teşekkür ederim.

Son olarak, bana her türlü desteği sağlayan, her zaman ve her koşulda yanımda olan sevgili eşime, bugünlere gelmemde büyük emeği olan anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KÖMÜRLERİN OLUŞUMU VE GENEL ÖZELLİKLERİ	4
2.1. Kömürlerin Oluşumu	4
2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması	4
2.3. Kömürlerin Fiziksel Özellikleri	5
2.3.1. Gözeneklilik (porozite)	5
2.3.2. Nem.....	6
2.3.3. Özgül ağırlık	6
2.3.4. Strüktür ve kırılma	6
2.4.5. Sertlik.....	6
2.3.6. Ufalanabilirlik	6
2.3.7. Öğünebilirlik	7
2.3.8. Parlaklık	7
2.4. Kömürlerin Kimyasal Özellikleri.....	7
3. KÖMÜRLERİN GAZ İÇERİĞİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER	8
3.1. Kömür Kaynaklı Metan Oluşumu ve Çeşitleri.....	8
3.2. Metan Gazı ve Özellikleri	9
3.3. Kömürlerin Gaz Kompozisyonu	11
3.4. Metan Gazının Kömür İçerisinde Depolanması.....	12
3.5. Kömürlerin Metan Adsorpsiyon Kapasitesini Etkileyen Faktörler.....	13
3.5.1. Gözeneklilik	13
3.5.2. Kömürleşme derecesi	14
3.5.3. Basınç.....	15
3.5.4. Sıcaklık.....	16
3.5.5. Nem içeriği.....	16
3.5.6. Derinlik	17
3.5.7. Petrografik bileşim.....	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5.8. Kül miktarı	18
3.6. Kömürlerin Geçirgenliği	18
3.7. Ocak İçerisinde Gaz Yayılımı ve Etkili Olan Parametreler	20
4. GAZ İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	22
4.1. Dolaylı yöntemler	22
4.2. Görgül Yöntemler	24
4.3. Doğrudan Yöntemler.....	25
4.3.1. Kayıp gazın belirlenmesi.....	26
4.3.2. Desorbe olan gazın belirlenmesi	26
4.3.3. Kalıntı gazın belirlenmesi	26
4.4. Doğrudan Yöntemlerin Uygulanmasında Kullanılan Teknikler	27
4.4.1. Cerchar tekniği.....	27
4.4.2. USBM tekniği	29
5. MATERYAL VE METOD	32
5.1. Sızdırmaz Kap Tasarımı.....	32
5.2. Yayılan Gaz Ölçümlerinde Kullanılan Su Ölçeği Tasarımı	35
5.3. Sızdırmaz Kap Sıcaklık Kontrol Sistemi Tasarımı	37
5.4. Numunelerin Elde Edilmesinde Kullanılan Makine ve Aparatlar.....	41
5.5. Gaz Analizinde Kullanılan Cihaz ve Yöntemler	44
5.6. Numunelerin Kısa Analizinde Kullanılan Cihazlar	46
5.7. Deneyleerde İzlenen Yöntem.....	47
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	48
6.1 Çalışma Sahası ve Genel Jeolojisi.....	48
6.2. Numunelerin Alınması	51
6.3. Kayıp Gaz (Q_1) Ölçümü.....	52
6.4. Yayılan Gaz (Q_2) Ölçümü	53
6.5. Kalıntı Gaz (Q_3) Ölçümü	53
6.6. Kömürden Yayılan Gazların Analizi.....	54
6.7. Kömür Örneklerinin Kısa Analizi	55
6.7.1. Nem tayini	56

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.7.2. Kül tayini.....	56
6.7.3. Uçucu madde tayini.....	56
6.7.4. Sabit karbon tayini	57
6.8. Standart Sıcaklık ve Basınç Dönüşümleri	57
6.9. Bulgular.....	57
6.9.1. Kömür gaz içeriği ölçüm sonuçları	58
6.9.2. Gaz analiz sonuçları	59
6.9.3. Kömür örnekleri kısa analiz sonuçları	59
6.9.4. Kuru ve külsüz bazda gaz içeriği sonuçları.....	60
7. SONUÇ	62
KAYNAKLAR DİZİNİ	64
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Biyojenik ve termojenik metan oluşumunun rank, nem, vitrinit yansıtması ve kömürleşme aşamalarına göre şematik gösterimi (Moore, 2012).....	9
3.2. Havadaki metan ve oksijen oranlarına göre patlama limitleri (Ediz, 1991).	10
3.3. Kömür gözeneklerinde bulunan metan moleküllerinin gösterimi (Harpalani ve McPherson, 1986).....	13
3.4. Kömürleşme derecesi ile adsorpsiyon kapasitesi arası ilişki (Moore, 2012).	14
3.5. Basınca göre adsorbe edilen metan miktarının değişimi (Kim, 1977).....	15
3.6. Kömürlerin farklı sıcaklıklarda adsorbe ettikleri metan miktarı değişimi (Kim, 1977). ..	16
3.7. Nem içeriği ile metan adsorpsiyon kapasitesi arası ilişki (Moore, 2012).	17
3.8. Bir kömür havzasında derinliğe bağlı olarak gaz içeriğinin değişimi (Irving ve Tailakov, 2001).	18
3.9. Kömürün mikro çatlak sistemi gösterimi (Gu ve Chalaturnyk, 2010).....	19
3.10. Kömür içi gaz akış mekanizması (Pillalamaray vd., 2011).	21
4.1. Çay, Acılık, Civelek ve Büyük Kılıç damarları numunelerinin eşsıcaklık eğrileri (Yalçın ve Durucan, 1984).....	23
4.2. USBM yönteminde kullanılan sızdırmaz kap ve gaz ölçüm düzeneği (Kissell vd., 1973).	30
4.3. Kayıp gaz miktarının belirlenmesinde kullanılan bir grafik örneği (Kissell vd., 1973). ..	30
5.1. Sızdırmaz kap tasarımına ait üç boyutlu model çizimleri.	33
5.2. Bakır serpantin borular ve 4 geçişli döner akışkan iletim elemanı.	34
5.3. Sızdırmaz kap imalatının son aşamaları.	35
5.4. Gaz miktarı ölçümünde kullanılan su ölçeği tasarımları (Diamond ve Schatzel, 1998)...	36
5.5. Kullanılan farklı su ölçeği tasarımları.....	37
5.6. Sıcak su haznesi ve termostatlı su ısıtıcısı.	38
5.7. Isı kontrol devreleri ve sirkülasyon pompası.	38
5.8. Hortum ve bağlantı elemanları.....	39
5.9. Sıcaklık kontrol sistemi hidrolik akım devresi.	41
5.10. Kömür delici makine ve spiral burgular.	42
5.11. Spiral burguya kaynak ile birleştirilmiş 65 mm çaplı 3 kanatlı delici uç.....	43
5.12. Sulu sondajda kullanılan aparat, tijler ve karotiyer.....	44
5.13. Yumuşak zeminde kullanıma uygun özel imal edilen karotiyer.....	44
5.14. 100 ml hacimli teflon musluklu gaz numune alma pipeti.	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.15. Drager X-am 5600 mobil gaz ölçüm dedektörü ve opsiyonel harici pompası.....	46
5.16. Kömürlerin kısa analizlerinde kullanılan kül fırını ve etüv.	47
6.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.	49
6.2. Genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Darıcı, 2014).	50
6.3. Kömür damarından karotiyer aracılığıyla elde edilen kömür numuneleri.	52
6.4. Kalıntı gaz miktarının belirlenmesi.	54
6.5. Öğütme işlemi sonucunda elde edilen kalıntı gaz örneğinin analizi.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Rank derecesine göre kömürlerin sınıflandırılması (ASTM, 1999).....	5
3.1. Metan gazının bazı fiziksel özellikleri (International Labour Organization, 2000).....	11
5.1. Ön çalışma olarak yapılan deneylere ait sonuçlar.....	33
5.2. Kömür delici makine teknik özellikleri.....	42
5.3. Drager X-am 5600 mobil gaz ölçüm dedektörü teknik özellikleri.....	46
6.1. Sızdırmaz kap içerisinde bulunan öğütücü ortam.....	53
6.2. Kömür numunelerine ait gaz içeriği ölçüm sonuçları.....	58
6.3. Gaz analiz sonuçları.....	59
6.4. Orijinal bazda kömür kısa analiz sonuçları.....	60
6.5. Kuru-külsüz bazda kömür kısa analiz sonuçları.....	60
6.6. Kömür numunelerine ait orijinal bazda ve kuru-külsüz bazda gaz içeriği sonuçları.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
atm	Atmosfer basıncı
N ₂	Azot
Hg	Cıva
d/dk	devir/dakika
dk	dakika
C ₂ H ₆	Etan
g	Gram
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
CO ₂	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
Q ₃	Kalıntı Gaz
Q ₁	Kayıp Gaz
°K	Kelvin
kg	Kilogram
kcal	Kilokalori
CH ₄	Metan
m	Metre
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
O ₂	Oksijen
Pa	Pascal
C ₃ H ₈	Propan
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
ppm	Trilyonda bir kısım
Q ₂	Yayılan Gaz

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ASTM	American Society for Testing and Materials
USBM	United States Bureau of Mines

1. GİRİŞ

Kömür, günümüzde enerji üretimi alanında yaygın olarak kullanılan bir hammaddedir. Dünyada hızla gelişen teknoloji ve sanayiye paralel olarak enerji ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Sanayinin ihtiyacını karşılayabilmek için gerekli olan kömür, açık ocak madenciliği ve yeraltı madenciliği yöntemleriyle üretilmektedir. Yeraltı madenciliği yöntemi ile üretilen kömür damarları emniyet açısından önemli riskler barındırmaktadır. Kömürleşme olayı sırasında çeşitli gazlar oluşmakta ve kömür içerisinde depolanmaktadır. Bunlar arasında en önemlisi biyolojik ve termojenik etkiler sonucu oluşan metan gazıdır. Genel olarak daha derinlerde bulunan kömür damarları daha fazla gaz içeriğine sahiptir (Moore, 2012). Kömür içerisinde belli bir sıcaklık ve basınç altında denge halinde bulunan metan gazı, madencilik faaliyetleri sonucu bu denge halinin bozulmasıyla ocak atmosferine karışmaktadır. Havadaki konsantrasyonu %5 – 15 oranları arasına ulaştığında patlayıcı bir özellik gösteren metan gazı emniyet yönünden hayati tehlikeler oluşturmaktadır. Ayrıca ani gaz ve kömür püskürmesi olaylarında kömür damarının içerdiği gaz miktarı önemli bir parametredir (Beamish ve Crosdale, 1998).

Türkiye’de uygulanmakta olan “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği” gereğince, ayaklarda ve damar içi yollarda metan oranı %1,5’i, hava dönüş yollarında ise %1’i geçemez. Atmosferindeki metan oranı %1,5’ten fazla olan yerlerde elektrik akımı derhal kesilir, %2’den fazla olan ocaklarda ise çalışanların kurtarılması ve patlayıcı karışımın temizlenmesi haricinde çalışma yapılamaz (Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, 2013). Bu nedenle ocak havasındaki metan oranının bu seviyelere ulaşmasına izin verilmemelidir. Etkili bir havalandırma tasarımı yapılması ve gerekli olan durumlarda metan drenaj yöntemleri uygulanması oluşabilecek tehlikeli durumların önüne geçilmesi açısından önemlidir. Hem emniyet hem de ekonomi açısından metan kontrolünde doğru uygulamanın yapılabilmesi için kömür damarlarının içerdiği gaz miktarının planlama aşamasında bilinmesi büyük öneme sahiptir (Diamond ve Schatzel, 1998).

Kömür damarlarının içerdiği gaz miktarını belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Doğrudan, dolaylı ve görgül yöntemler arasında en çok uygulanan doğrudan yöntemler olmaktadır (Didari vd., 2015). Doğrudan yöntem, kömür damarından alınan örneklerin vakit kaybetmeden sızdırmaz bir kap içerisine kapatılması ve kömürden yayılan gazın ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Son olarak kömür örneği öğütülmekte ve çıkan gaz miktarı tespit edilmektedir (Didari ve Ökten, 1989). Bertard vd. (1970) tarafından geliştirilen doğrudan yöntem, kömürün toplam gaz içeriğini kayıp gaz (Q_1), yayılan gaz (Q_2) ve kalıntı gaz (Q_3) olmak üzere üç

ana bileşene ayırmaktadır. Kömür örneğinin yerinden alınıp sızdırmaz kap içerisine kapatıldığı ana kadar kömürden yayılan ve ölçülemeyen gaz miktarı kayıp gaz olarak adlandırılmaktadır. Kayıp gaz bileşeni doğrudan ölçülememekte ve yapılan ilk ölçümler kullanılarak tahmin edilmektedir. Sızdırmaz kap içerisinde kömürden çözünen gaz miktarı yayılan gaz bileşenini, kömürün öğütülmesi ile kömürden çıkan gaz ise kalıntı gaz bileşenini oluşturmaktadır.

Doğrudan yöntem ilk geliştirildiği zamandan günümüze kadar birçok ülkede uygulanmıştır. Dünyanın çeşitli yerlerinden araştırmacılar yöntemin zayıf yönlerini tespit etmiş ve geliştirilmesine katkı sağlamışlardır. (Kissell, vd., 1973; Saghafi, vd., 1998; Diamond, vd., 2001). Bu çalışma kapsamında, doğrudan yöntem ile kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesine yönelik sıcaklık kontrollü yeni bir tasarım yapılmış ve deneylerde kullanılmıştır. Çalışma için gerekli literatür taraması yapılmış, kayıp gaz oranını ve ölçüm hatalarını en aza indirgeyecek tasarımın yapılması amaçlanmıştır.

Doğrudan yöntemin uygulamasında kayıp, yayılan ve kalıntı gaz bileşenleri farklı kaplar içerisinde belirlenmekte ve kömür örneklerinin kaplar arasında aktarılması sırasında gaz kaybı oluşmaktadır. Öncelikle bu sorunun çözümüne yönelik olarak tüm sürecin tek bir kap içerisinde gerçekleştirilmesi planlanmış ve içinde öğütücü malzemeler bulunan sızdırmaz bir kap tasarımı yapılmıştır. Kömür damarından alınan numunelerin parça boyutu kayıp gaz miktarını etkilemektedir. Sondaj yoluyla alınan ve bütünlüğünü koruyan parçalarda kayıp gaz oranı daha az, kırıntı halindeki numunelerde daha fazla olmaktadır (Australian Standart, 2016). Kalıntı gaz belirleme aşamasında ise örneklerin -200 mesh boyuta öğütülmesi gerekmektedir (Kissell vd., 1973). Bu nedenle deneylerde 55 mm çapında silindirik kömür örnekleri kullanılması planlanmış ve imal edilen sızdırmaz kap, içine konulan bu örnekleri öğütebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Deneyler sırasında oluşabilen sıcaklık ve basınç farklılıkları nedeniyle desorpsiyon oranı ve dolayısıyla ölçümler etkilenmektedir (Waechter vd., 2004). Bertard vd. (1970) kış aylarında ısıtılmamış bir odada yapılan ölçümlerin, düşük sıcaklıklarda desorpsiyon oranının azalması nedeniyle hataya neden olacağını belirtmiştir. Metan ve karbondioksit gazlarıyla yapılan adsorpsiyon deneylerinde sıcaklık ve basıncın etkisi incelendiğinde, 20-40 °C sıcaklık aralığı ve 101325 Pa basınçta, sıcaklıkta oluşan 1 °C artış ile 0,1 m³/t karbondioksit ve bunun yarısı kadar da metan gazının fazladan desorbe olduğu gözlenmiştir (Australian Standart, 2016). Ölçümler sırasında basıncın artmasıyla ise desorpsiyon oranı azalmaktadır. Ölçümlerde doğruluğu arttırmak ve maden şartlarına en yakın koşulları oluşturabilmek amacıyla, tasarlanan sistem ile öğütme de dahil tüm ölçüm süreci boyunca sistemin sabit sıcaklıkta ve atmosfer basıncında tutulması

amaçlanmıştır. Öğütme sırasında da devamlı gaz çıkışına izin verilerek sistemin atmosfer basıncında kalması sağlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, tasarlanan sıcaklık kontrollü sistemin imalatı gerçekleştirilmiş ve deneylerde kullanılmıştır. Kütahya'nın Gediz ve Tavşanlı ilçelerinde bulunan yeraltı kömür ocaklarından sondaj yoluyla alınan kömür örneklerinin gaz içerikleri belirlenmiştir. Kalıntı gaz belirleme aşamasında yapılan gaz analizleri ile kömürden yayılan gazın içerdiği metan ve karbondioksit oranları tespit edilmiştir. Ayrıca nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarları da yapılan analizlerle belirlenmiştir.



2. KÖMÜRLERİN OLUŞUMU VE GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Kömürlerin Oluşumu

Bitkilerin doğa koşullarına maruz kalarak fiziksel ve kimyasal değişime uğraması ile milyonlarca yıllık bir süreç sonucunda kömürler meydana gelmiştir. Bakteri ve mantar hücrelerinin faaliyetleri, oksitlenme, ısı ve basınç etkileri bitkilerde değişime yol açarak kömürleşmeyi sağlayan başlıca faktörlerdir. Bitkilerin kömürlere dönüşüm süreci, turbaların oluşumu ve turbaların kömüre dönüşümü olmak üzere ikiye ayrılabilir (Ateşok, 1986: 11-12).

Ölü bitki kalıntıları ve organik artıkların su altında çeşitli faktörlerin etkisiyle ayrışması sonucu turba oluşumu başlamaktadır. Mantar ve bakteri gibi anaerobik mikroorganizmalar su altında hava ile teması kesilmiş bitki artıklarının bünyesindeki oksijeni alır ve humik asitleri meydana getirirler. Turbaların derinliğine bağlı olarak mikroorganizmalar değişen faaliyetler göstermekte ve farklı tabakalar oluşturmaktadır. Yapılan gözlemlere göre 9 metre derinlikten sonra mikroorganizmaların yaşayamadığı tespit edilmiştir (Nakoman, 1998: 57-58).

Turbaların çökmesinin ardından üzerinde tekrardan yeni bitkiler büyüyebilir, çeşitli inorganik maddeler bozmuş bitki yığınlarının üzerine kaplayabilir. Kömürleşme olayının ilk kademesi olan turbalar daha sonra üst tabakaların basıncının artması, dağ oluşumları ve tektonik olayların etkisi ile kömüre dönüşür. Yer kabuğundaki hareketler, basınç artışı, kimyasal reaksiyonlar ve yeraltı kaynaklarından ileri gelen ısılar turbaların kömüre dönüşümünde önemli rol oynarlar (Ateşok, 1986: 12-13).

Kömürleşme sırasında genellikle oksijen kaybı ve karbon yönünden zenginleşme olmaktadır. Bu sırada su ve karbondioksit meydana gelmekte, hidrojen ise karbon ile birleşerek metan gazını oluşturmaktadır. Kömür evriminin turba fazından başlayıp sırasıyla yumuşak linyit, sert linyit, taşkömürü ve antrasit aşamalarından geçerek grafitte sona erdiği kabul edilir (Nakoman, 1998: 63).

2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması

Farklı bölgelerden üretilen kömürlerin karşılaştırılması ve ihtiyaca uygun kömürün seçimi konusunda kömürlerin sınıflandırılması önemli bir husustur. Kömürlerin sınıflandırılmasında kullanılacak birçok parametre mevcuttur. Sabit karbon yüzdesi, ısıl değer, uçucu madde, nem ve hidrojen yüzdeleri temel alınarak çeşitli sınıflandırma sistemleri önerilmiştir. Bu sınıflandırma sistemlerinden bazıları kömürleri ayırmada yetersiz kaldığı için günümüzde kullanılmamaktadır. Günümüzde en çok kullanılan sınıflama sistemi ASTM

sınıflandırmasıdır (Ateşok, 1986: 15-17). Çizelge 2.1’de ASTM tarafından yapılan kömür sınıflandırması verilmiştir. Bu sınıflandırma rank kriteri olarak analizlerden elde edilen uçucu madde ve sabit karbon miktarlarını temel almaktadır.

Çizelge 2.1. Rank derecesine göre kömürlerin sınıflandırılması (ASTM, 1999).

Sınıf/Grup	Sabit Karbon (Kuru, Külsüz Bazda) %	Uçucu Madde (Kuru, Külsüz Bazda) %	Isıl Değer (kcal/kg)	Koklaşma Karakteristiği
Antrasitler:				
Meta-antrasit	>98	<2		Koklaşmaz
Antrasit	98-92	2-8		
Semiantrasit	92-86	8-14		
Bitümlü:				
Düşük Uçucu	86-78	14-22		Çoğunlukla koklaşır
Orta Uçucu	78-69	22-31		
Yüksek Uçucu A	<69	>31	>7800	Koklaşır
Yüksek Uçucu B			7800-7200	
Yüksek Uçucu C			7200-5800	
Alt Bitümlü:				
Altbitümlü A			5800-6400	Koklaşmaz
Altbitümlü B			5300-5800	
Altbitümlü C			4600-5300	
Linyitler:				
Linyit A			3500-4600	Koklaşmaz
Linyit B			<3500	

2.3. Kömürlerin Fiziksel Özellikleri

2.3.1. Gözeneklilik (porozite)

Tüm kömürlerin yapısında boyutları birkaç mikron ile birkaç mm arasında değişen boşluklar bulunmaktadır. Oldukça farklı şekillerde olabilen bu gözeneklerin hacimleri ve yüzey alanları da şekillerine bağlı olarak değişmektedir. Aynı hacimdeki iki gözenegin yüzey alanı çok farklı olabilmektedir. Gözeneklilik, kömür içinde bulunan tüm gözeneklerin kapladığı hacim

yüzdesini ifade etmektedir. Kömürün oksitlenmesi, gaz emme (adsorpsiyon) kapasitesi, buharlarda ve sıvılarda şişme özelliği gibi parametreler gözeneklilikle doğrudan alakalıdır (Nakoman, 1998: 127).

2.3.2. Nem

Kömürün yapısında bulunan bünye nemi ve serbest halde bulunan yüzey nemi olmak üzere iki çeşit nem mevcuttur. Bünye nemi kömür türüne bağlı olarak, yüzey nemi ise kömürün bulunduğu ortam koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Kömürün 105 °C de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulması sonucu belirlenen nem oranı toplam nem olarak adlandırılır. Nem, kömürün ısı değerini azalttığı için mümkün olduğu kadar düşük olması istenir (Ateşok, 1986: 25).

2.3.3. Özgül ağırlık

Karbon ve uçucu madde miktarı, nemlilik ve kül miktarına bağlı olarak kömürlerin özgül ağırlığı değişmektedir. Genel olarak karbon miktarı arttıkça özgül ağırlık da artmaktadır. Kül miktarı artışına paralel olarak özgül ağırlığın arttığı söylenebilir (Nakoman, 1998: 129).

2.3.4. Strüktür ve kırılma

Madencilik işlemleri ile elde edilen kömür parçalarının büyüklük ve şekilleri kazı yöntemine ve kömür yatağının ana kırık, çatlak ve zayıf yüzeyler sistemine bağlıdır. Düşük uçucu maddeli bitümlü kömürler çok kırılabilirler ve fazla oranda ince malzeme oluştururlar. Kırık ve çatlak sisteminin fazla belirgin olmadığı kömürler sağlam yapıları olarak tanımlanabilir (Ateşok, 1986: 26-27).

2.4.5. Sertlik

Kömürün sertliği ufalanabilme ve öğünebilme özelliklerine etki etmektedir. Sertlik dereceleri kömürün ait olduğu sınıfa bağlı olup karbon ve uçucu madde oranlarına göre değişmektedir. Genellikle en yumuşak olanı linyit en sert olanı ise antrasittir. Antrasitin sertliği Mohs sisteminde 2,73 – 3 arasındadır (Ateşok, 1986: 28-29).

2.3.6. Ufalanabilirlik

Kömürün kendiliğinden küçük parçalara kırılabilme özelliğidir ve sertlik, mukavemet, elastiklik, kırılabilirlik gibi özelliklere bağlıdır. Kömür türüne göre ufalanabilirlik özelliği değişmektedir. Ancak aralarında kesin bir ilişki kurulamamaktadır. Genel olarak linyitler en az

ufalanma özelliği gösterirken düşük uçucu maddeli kömürlerde bu oran en fazladır (Ateşok, 1986: 29-30).

2.3.7. Öğünebilirlik

Kömürün sertlik, kırılgenlik gibi özelliklerine bağlı olarak değişen ve öğütme için gerekli enerjinin saptanmasında yararlanılan önemli bir parametredir. Tane boyutuna bağlı olarak da değişmektedir (Ateşok, 1986: 31-32).

2.3.8. Parlaklık

Kömürlerin ışığı yansıtma özellikleri kömürleşme derecelerine bağlı olarak değişmektedir (Nakoman, 1998: 131). Antrasit genellikle parlak, linyitler ise genellikle mat ve toprağımsı görünümüne sahiptirler. Bitümlü kömürler mat ile parlak arasında değişen bir görünümde dirler (Ateşok, 1986: 35).

2.4. Kömürlerin Kimyasal Özellikleri

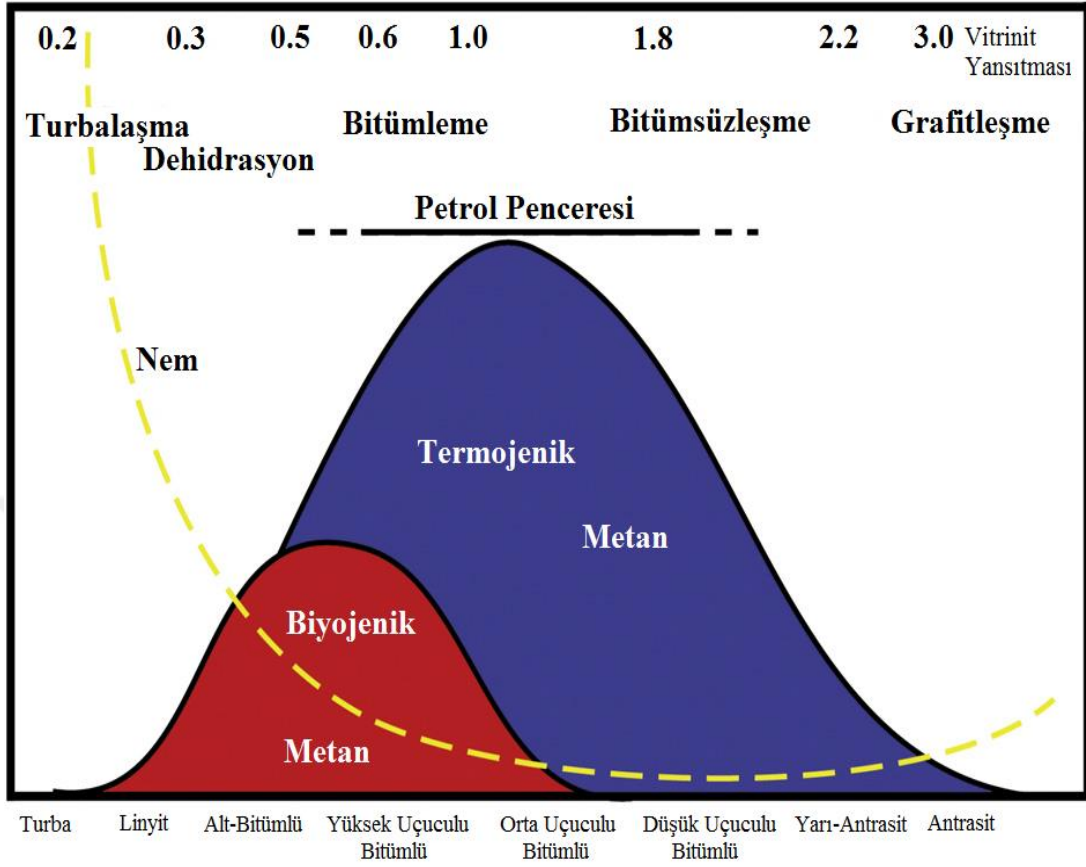
Kapalı ve havasız bir kap içerisine konulan kömür 1400 °C'ye kadar ısıtıldığında farklı sıcaklıklarda farklı ürünler verir. Çıkan katı, sıvı ve gaz ürünler yakıt olarak kullanılabilir. Linyitten üretilen gazın ısı değeri 3800-4000 kalori civarında olabilmektedir. Katı ürünler daha çok metalürji alanında yakıt olarak kullanılmaktadır. Sıvı olarak ayrılan ve katran adı verilen ürün ise içerdiği önemli kimyasallar nedeniyle yakıt olarak kullanılmaz, damıtılarak içerdiği değerli maddeler ayrıştırılır. Farklı cins kömürlerin verdiği ürünlerin içeriği ve yapısı farklı olmaktadır. Ham katran, hafif yağ veya naft, benzol, naftalin, kreozotlar ve zift gibi maddeler kömür katranından elde edilen ve sanayide kullanılan ürünlerdir. (Ateşok, 1986: 19-24)

3. KÖMÜRLERİN GAZ İÇERİĞİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Kömür Kaynaklı Metan Oluşumu ve Çeşitleri

Kömür oluşumu, bitki kalıntılarının biyolojik olarak mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması ile başlar ve daha sonra yerkabuğunun derinliklerinde ısı ve basınç altında meydana gelen değişimlerle devam eder. Kömürü oluşturan bitkisel maddelerin çökmesinin hemen ardından biyolojik olarak ayrışma başlamaktadır. Mikroorganizmalar tarafından üretilen metan gazı “biyojenik metan” olarak adlandırılmaktadır. Kömür oluşumunun ilk aşamalarında ortaya çıkan biyojenik metanın büyük bir kısmının örtü tabakalarında depolandığı veya atmosfere kaçtığı düşünülmektedir. İlerleyen aşamalarda bitkisel malzemelerin yerkabuğunun derinlerine gömülmesiyle artan ısı ve basınç etkisi altında kömürleşme olayı devam etmektedir. Kömürlerde mevcut bulunan metan gazının büyük bir kısmı bu aşamada gerçekleşen termal değişimler sonucu oluşmuş “termojenik metan” adı verilen metan gazıdır. Ayrıca sonraki aşamalarda biyojenik metan oluşumunun tekrar etmesi mümkün olabilmektedir. Uygun ortam koşulları oluşursa, geçirgenliği yüksek kömürlerin içinden akan yeraltı suları ile taşınan mikroorganizmalar metan üretebilmektedir (Davidson vd., 1995).

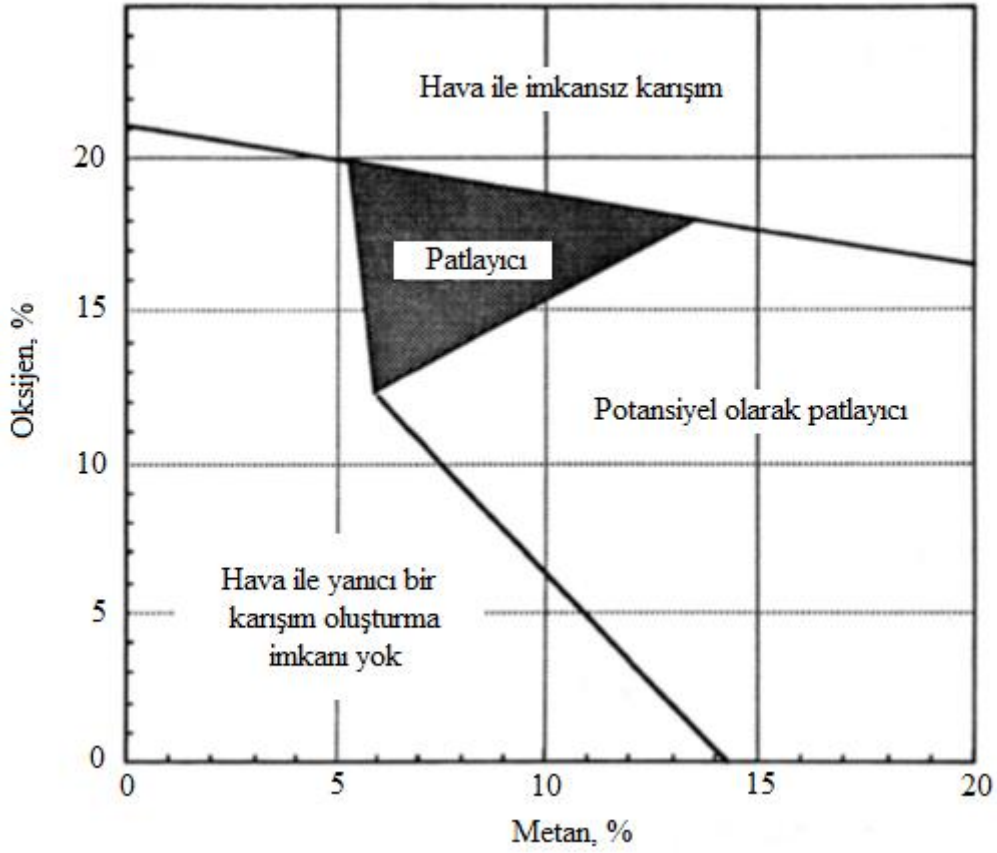
Turbalar ve düşük ranklı kömürler daha çok biyojenik metan içerirken yüksek ranklı kömürler termojenik metan içermektedir. Genel olarak bakıldığında içerdiği metanın büyük bölümü biyojenik kökenli olan kömürlerin gaz içeriği 4-6 m³/ton iken termojenik kökenli metan içeren kömürlerde gaz içeriği 20 m³/ton gibi yüksek miktarlarda olabilmektedir (Moore, 2012). Ancak her zaman yüksek ranklı kömürlerin daha fazla gaz içerdiği gibi bir anlam çıkarılmamalıdır. Çünkü tektonik hareketler nedeniyle oluşan yükselmeler, sıcaklık artışları ve kırılmalar basınç kaybına ve metanın dışarı göç etmesine neden olabilmektedir. Biyojenik ve termojenik metan oluşumu grafiksel olarak Şekil 3.1’de görülmektedir (Moore, 2012).



Şekil 3.1. Biyojenik ve termojenik metan oluşumunun rank, nem, vitrinit yansıtması ve kömürleşme aşamalarına göre şematik gösterimi (Moore, 2012).

3.2. Metan Gazı ve Özellikleri

Metan renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. 0 °C sıcaklık ve 1 atm basınç koşullarında 0,716 kg/m³ yoğunluğa sahip olan metanın havaya göre spesifik yoğunluğu 0,554'tür. Düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle yeraltında maden atmosferine karıştığında tavan bölgesinde toplanmaktadır. Hava ile karışım oranı %5-15 arasında patlayıcı olduğundan dolayı maden atmosferinde bulunan en tehlikeli gazlardan biridir. Bu nedenle havalandırma planlaması aşamasında, hava hızları metanın asla bu orana ulaşmasına izin vermeyecek şekilde hesaplanmalıdır. Ancak bazen havalandırma metan oranını azaltmada yetersiz kalmakta ve metan drenaj yöntemlerinin uygulanması zorunlu olmaktadır. Şekil 3.2'de havadaki metan ve oksijen oranlarına bağlı olarak patlama limitleri gösterilmektedir. (Ediz, 1991)



Şekil 3.2. Havadaki metan ve oksijen oranlarına göre patlama limitleri (Ediz, 1991).

Metanın hava içerisinde %8 oranında karışımı patlamanın en kolay gerçekleştiği orandır ve en güçlü patlama ise %9,5 oranında gerçekleşir. Havadaki oksijen oranı %12'nin altına düştüğünde metan yanma özelliğini yitirmektedir. Eğer havada metan haricinde etan ve hidrojen gibi diğer patlayıcı gazlar da karışım halinde bulunuyorsa patlama limitleri değişebilmektedir (Yalçın, 1983).

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından hazırlanan bir rapora göre metan gazına ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Metan gazının bazı fiziksel özellikleri (International Labour Organization, 2000).

Molekül Formülü	CH ₄
Molekül kütlesi	16,0
Kaynama noktası	-161 °C
Erime noktası	-183 °C
Suda çözünebilirliği	3,3 ml / 100 ml (20 °C ve 101325 Pa)
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	537 °C
Patlama limitleri	5-15 (havada % oranı)

3.3. Kömürlerin Gaz Kompozisyonu

Kömürleşme süreci boyunca metan dışında başka çeşitli gazlar da açığa çıkmaktadır. Hatta bazı kömürlerde diğer gazların toplam miktarı metan gazından fazla olabilmektedir. Ancak hem patlayıcı karakteristiği nedeniyle oluşturduğu tehlikeden dolayı hem de ekonomik olarak değer taşınması yönüyle metan gazı bu gazlar içerisinde en çok önem verilen gazdır. Dünyada birçok ülkede yeraltı kömür damarlarından kömür kaynaklı metan gazı üretimi yapılarak enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır.

Kömür kaynaklı metan sektörüne göre kömür damarları içerisinde bulunan gazlar “üretken gazlar” (C₁, C₂, C₃, vd.) ve “inert gazlar” (CO₂, N₂, H₂S) olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Üretken gazlar terimi ekonomik değeri olan ve yakılmasıyla enerji üretilebilen gazlar için kullanılmaktadır. İnert gazlar ise enerji üretiminde kullanılmayan ve ekonomik değeri olmayan gazlardır. Üretken gazlar olarak geçen C₁, C₂ ve C₃ sırasıyla metan (CH₄), etan (C₂H₆) ve propan (C₃H₈) gazlarını temsil eden kısaltmalardır (Moore, 2012).

Dünyanın farklı bölgelerinde bulunan kömür damarlarının içerdiği gazların miktarı değişkenlik göstermektedir. İngiliz kömürlerinden üretilen gaz, %80-95 oranlarında metan, %12 den az etan ve propan, %0,2 ile %6 arasında karbondioksit, %2-8 arasında azot gazı içermektedir (Davidson vd., 1995). Avustralya kömürlerinin yaygın bir karakteristik özelliği olarak ise karbondioksit miktarının yüksek olduğu belirtilmektedir. Güney Doğu Avustralya Bölgesi’nde bulunan bir kömür damarının hem karbondioksit hem de metan içerdiği tespit edilmiş, karbondioksit oranının %45-85 arasında olduğu belirtilmiştir. (Davidson vd., 1995).

3.4. Metan Gazının Kömür İçerisinde Depolanması

Kömürleşme süreci boyunca oluşan çeşitli gazların toplam hacmi ton başına 2300 m³'e kadar çıkabilmektedir (Yalçın, 1983). Kömürleşme sürecinin ilk aşamalarında turbaların üzerinde ince bir tabaka olduğundan dolayı bu aşamada oluşan gazların büyük bir kısmı atmosfere kaçmaktadır. Bu nedenle düşük ranklı kömürlerin çoğunun gaz içeriği az olmaktadır. Yüksek ranklı kömürler yerin daha derin kısımlarında olduğundan dolayı çoğunlukla daha kompakt tabakalarla örtülürler ve oluşan gazın büyük bir bölümü kömür içerisinde depolanır (Ediz, 1991). Metanın kömür içerisinde depolanması konusunda öncelikle absorpsiyon ve adsorpsiyon terimlerini açıklamak gerekir.

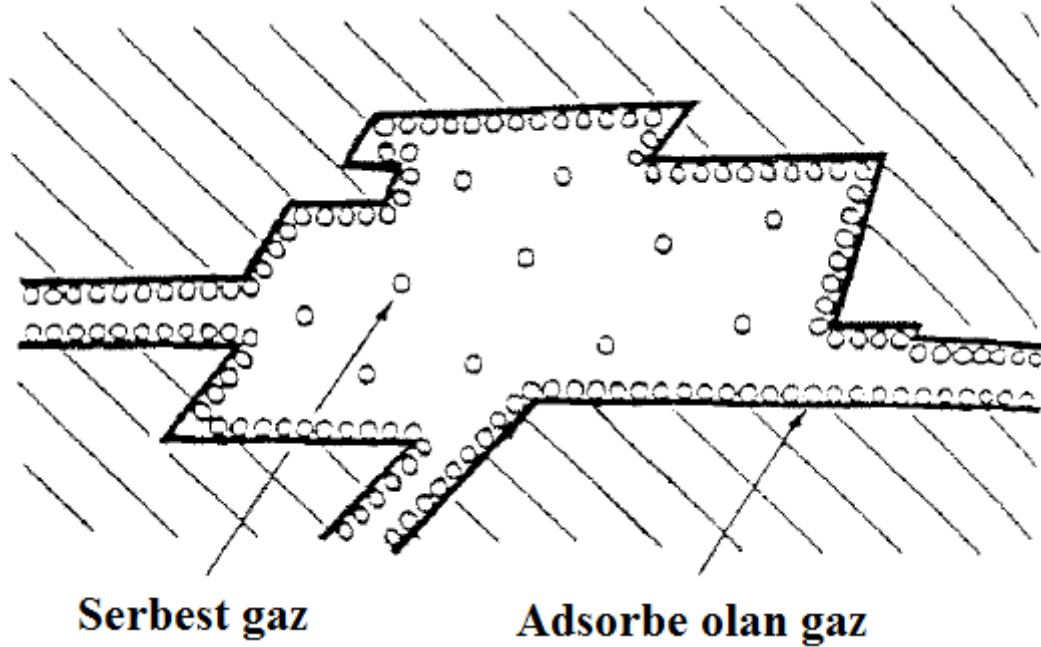
Absorpsiyon: Bir maddenin moleküler yapısı içerisine başka bir maddenin girmesi olarak tanımlanmaktadır. Kömürden metan akışı konusunda absorpsiyonun önemli bir rolü yoktur (Ediz, 1991).

Adsorpsiyon: Bir maddenin diğer bir madde yüzeyine fiziksel olarak tutunması olayıdır. Kömür yüzeyine tutunan metan adsorpsiyona iyi bir örnektir (Ediz, 1991).

Geleneksel doğal gaz rezervlerinde gazın depolanmasındaki ana mekanizma, kayaç içi gözenek boşluklarında gazın basınçlı halde bulunması şeklindedir (Davidson vd., 1995). Yirminci yüzyılın başlarına kadar kömür içerisinde bulunan metan, karbondioksit ve azot gibi gazların yalnızca kömür gözeneklerinde serbest olarak basınçlı bir halde bulunduğu düşünülmekteydi. Ancak daha sonra kömürlerin içerdiği gaz miktarının, mevcut basınçta gözenek hacimlerine göre hapsedebilecekleri kapasitenin çok üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Kömür içerisinde bulunan metan gazı, moleküler çekim kuvvetleri sayesinde gözenek yüzeylerine tutunarak adsorbe bir halde ve boşluklarda serbest gaz fazında bulunmaktadır (Bertard vd., 1970). Ayrıca metan, gözenek ve çatlak suları içerisinde çözülmüş halde de bulunmaktadır (Ayers, 2002). Adsorpsiyon olayı genellikle moleküllerin tek sıra halinde mikrogözenek yüzeylerine dizilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Ancak çok yüksek basınçlar söz konusu olduğunda mikrogözenek yüzeyleri dolmakta ve gaz molekülleri ikinci bir tabaka halinde dizilmeye başlayıp çoklu-tabakalı bir yapı ortaya çıkarmaktadırlar (Crosdale vd., 1998).

Metan gazının suda çözünübilirliği basınç ile artar. Ancak bu oran 25 °C sıcaklıkta 24±1 ppm gibi çok düşük bir orandır (Gürdal ve Yalçın, 1992). Kömür içerisinde bulunan serbest gaz miktarı, kömürün gözenekliliğine, gözeneklerdeki gaz basıncına ve sıcaklığa bağlıdır. Genellikle toplam gaz içeriğinin %5-10 gibi küçük bir kısmı serbest gaz olarak bulunmaktadır (Harpalani ve McPherson, 1986). Bu veriler değerlendirildiğinde metan gazının kömür içerisinde en çok

adsorpsiyon yoluyla depolandığı sonucuna varılmaktadır. Şekil 3.3'te kömür gözeneklerinde serbest olarak ve yüzeye adsorbe olmuş halde bulunan gaz molekülleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Kömür gözeneklerinde bulunan metan moleküllerinin gösterimi (Harpalani ve McPherson, 1986).

3.5. Kömürlerin Metan Adsorpsiyon Kapasitesini Etkileyen Faktörler

Kömürlerin gaz adsorbe etme karakteristiklerini, kömürleşme derecesi, sıcaklık, nem içeriği, maseral kompozisyonu, yerinde gerilme değerleri, kırık ve çatlak gelişimi gibi birçok parametre belirlemektedir (Crosdale vd., 1998). Bu faktörlerden önemli olanlar aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

3.5.1. Gözeneklilik

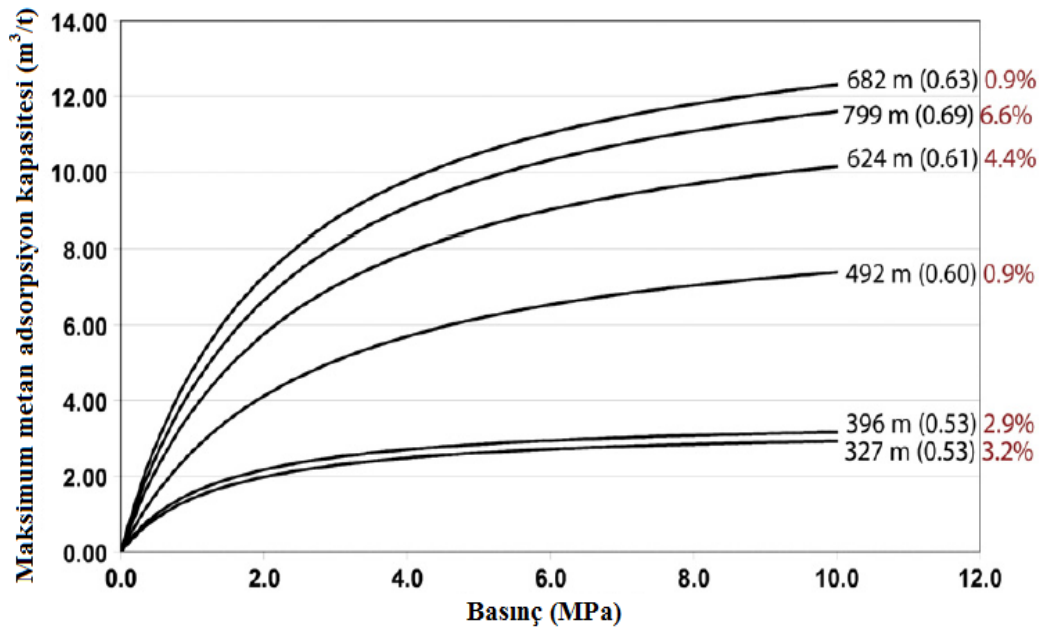
Kömürün gözenekleri tarafından oluşturulan büyük miktardaki içsel yüzey alanı, kömürün metan depolama kapasitesini etkileyen en önemli faktördür (Davidson vd., 1995). Kömürlerde bulunan gözenekler çaplarına göre şu şekilde sınıflandırılabilir (Moore, 2012).

- 1- Makrogözenekler, (50 nanometreden büyük)
- 2- Mezogözenekler (geçiş gözenekleri), (2-50 nanometre arası)
- 3- Mikrogözenekler, (2 nanometreden küçük)

Kömürlerde gözeneklerin kapladığı hacim %1-3 gibi değerlere kadar düşebilmektedir. Ancak bazı durumlarda toplam gözenekliliğin %85 kadarı mikrogözeneklerden oluşmakta ve çok büyük bir içsel yüzey alanı ortaya çıkmaktadır. Gözeneklilik konusunda içsel yüzey alanını ve dolayısıyla kömürlerin adsorpsiyon kapasitesini belirleyen en önemli parametre mikrogözeneklilik olmaktadır (Davidson vd., 1995).

3.5.2. Kömürleşme derecesi

Genel olarak kömürleşme derecesi yani rank yükseldikçe kömürlerin içerdiği nem azalmakta ve gözenekliliği artmaktadır. Bunun sonucu olarak adsorpsiyon kapasitesi de artmaktadır (Moore, 2012). Şekil 3.4 rank ile maksimum metan adsorpsiyon kapasitesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



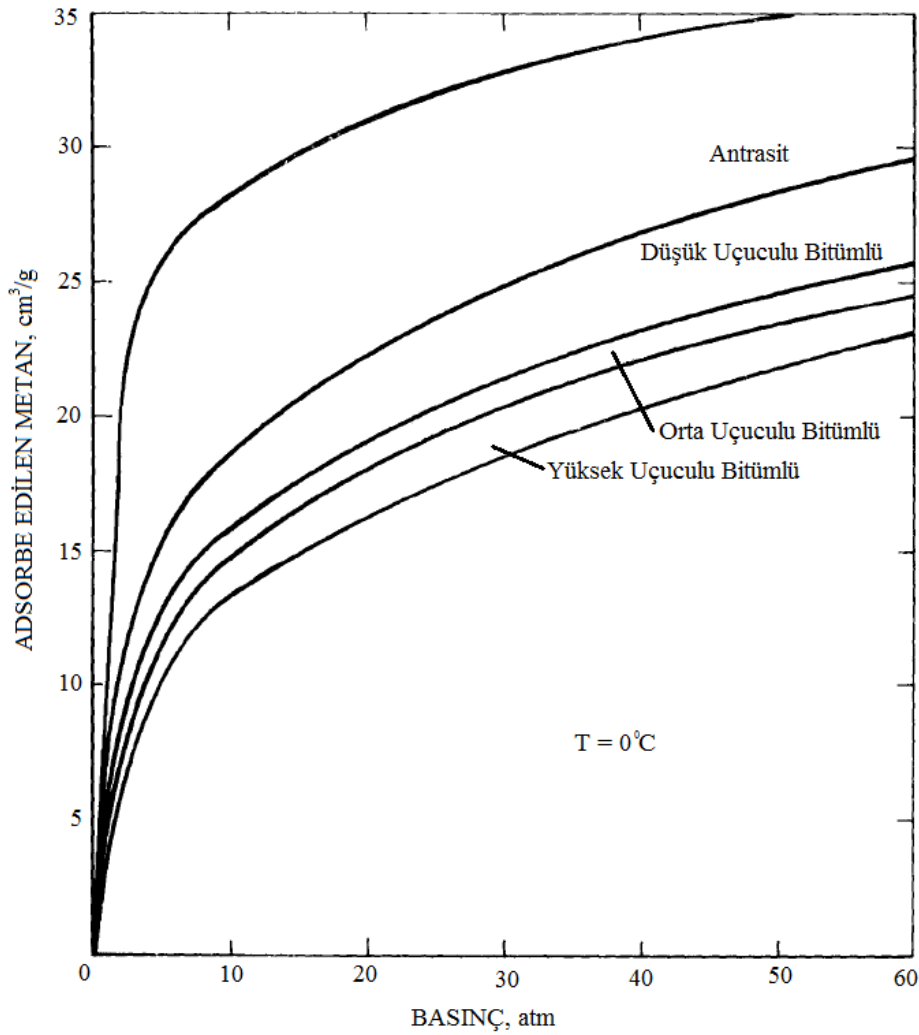
Şekil 3.4. Kömürleşme derecesi ile adsorpsiyon kapasitesi arası ilişki (Moore, 2012).

Şekil 3.4 aynı havzadan alınmış farklı kömürleşme derecesine sahip kömürler kullanılarak oluşturulmuştur. Kömürlerin yeryüzüne göre bulunduğu derinlik metre cinsinden grafikte yer almaktadır. Parantez içinde yer alan rakamlar vitrinit yansıtma değerlerini göstermektedir. Kırmızı renkte verilen rakamlar ise havada kuru bazda kül içeriğini göstermektedir. Şekil 3.4 incelendiğinde vitrinit yansıtma değerleri yani rank yükseldikçe maksimum metan adsorpsiyon kapasitesinin yükseldiği görülmektedir. En yüksek iki değer

rank ve derinlik yönünden yer değiştirmiş olma sebebi ise kül içeriğindeki farklılıktan dolayıdır (Moore, 2012).

3.5.3. Basınç

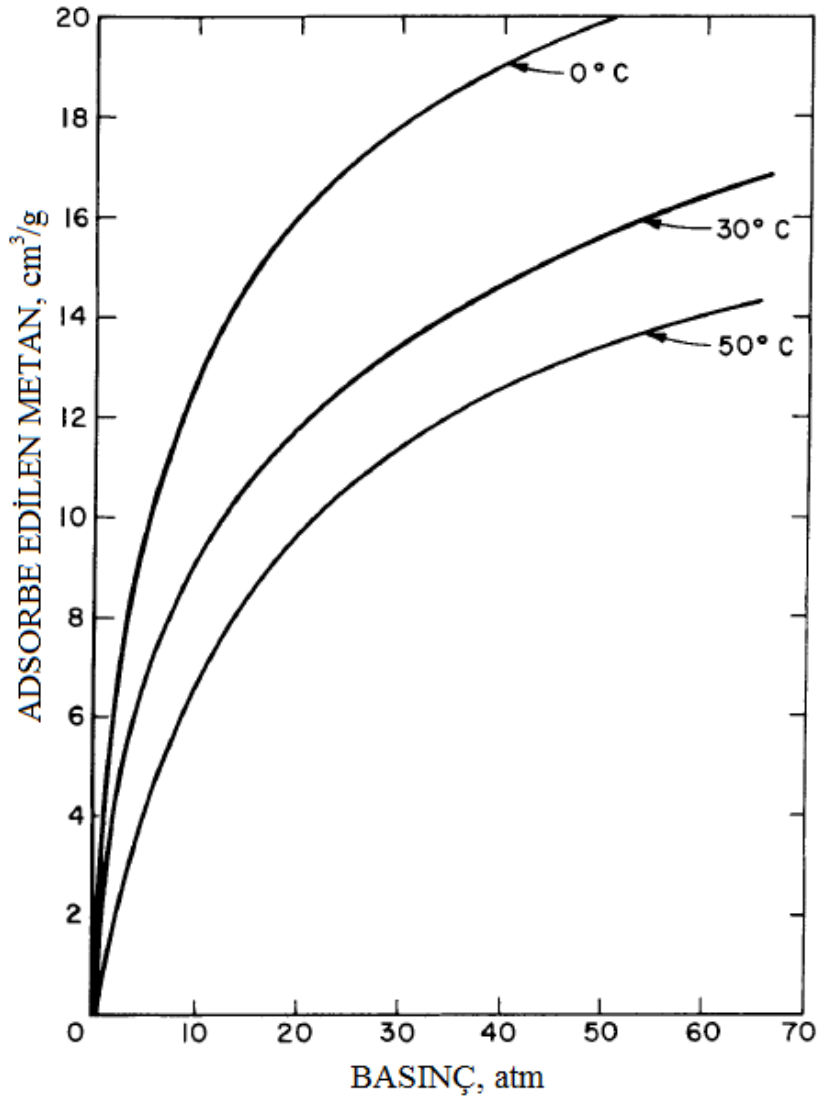
Kömürün adsorbe edebileceği metan miktarına etki eden faktörlerden biri de basınçtır. Sabit sıcaklıkta yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen verilere göre, düşük basınçlar söz konusu olduğunda artan basınç ile birlikte kömürün adsorbe ettiği metan miktarının da doğrusal bir artış gösterdiği gözlenmektedir. Ancak yüksek basınçlara çıktığında durum değişmektedir. 70-100 atm basınç aralığında kömürün adsorbe ettiği metan miktarında çok az bir değişim olduğu deneylerle saptanmıştır (Yalçın, 1983). Şekil 3.5 farklı kömürleşme derecesine sahip kömürlerin, sabit sıcaklık ve farklı basınçlarda adsorbe ettikleri metan miktarlarını göstermektedir.



Şekil 3.5. Basınca göre adsorbe edilen metan miktarının değişimi (Kim, 1977).

3.5.4. Sıcaklık

Kömürlerin metan adsorpsiyon kapasitesi ile sıcaklık arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Sıcaklığı artan kömür numunelerinin adsorbe edebilecekleri maksimum metan miktarı düşmektedir (Yalçın, 1983). Şekil 3.6 sıcaklık ve metan adsorpsiyonu arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak göstermektedir.

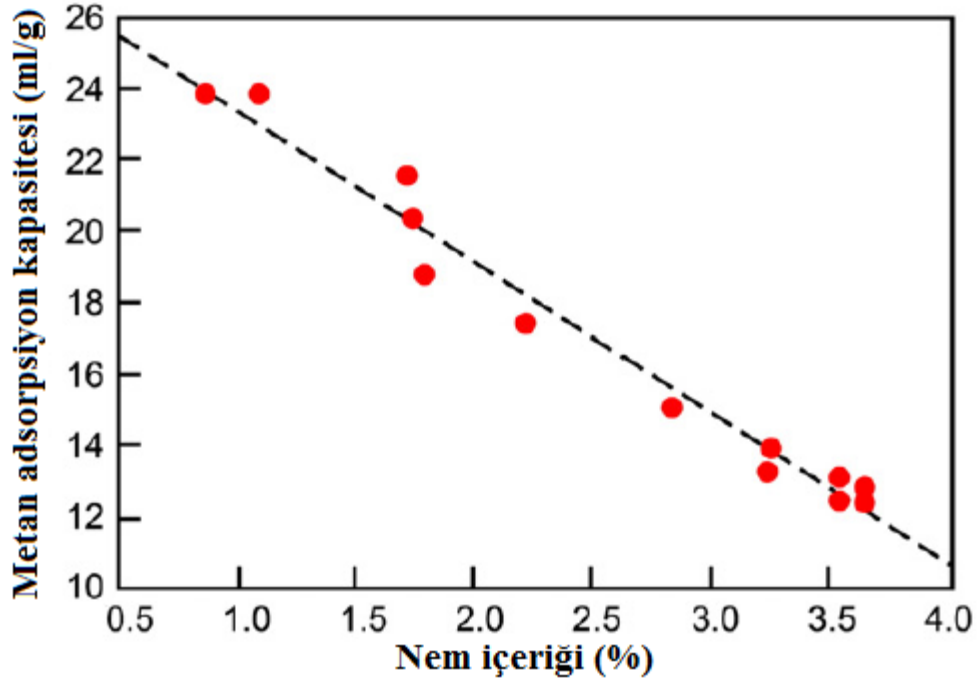


Şekil 3.6. Kömürlerin farklı sıcaklıklarda adsorbe ettikleri metan miktarı değişimi (Kim, 1977).

3.5.5. Nem içeriği

Kömürlerin nem içeriği, metan adsorpsiyon kapasitesini etkilemektedir. Nem içeriği sıfır olan kömür örneklerinin metan adsorpsiyon kapasitesi maksimum değere ulaşmaktadır. Artan

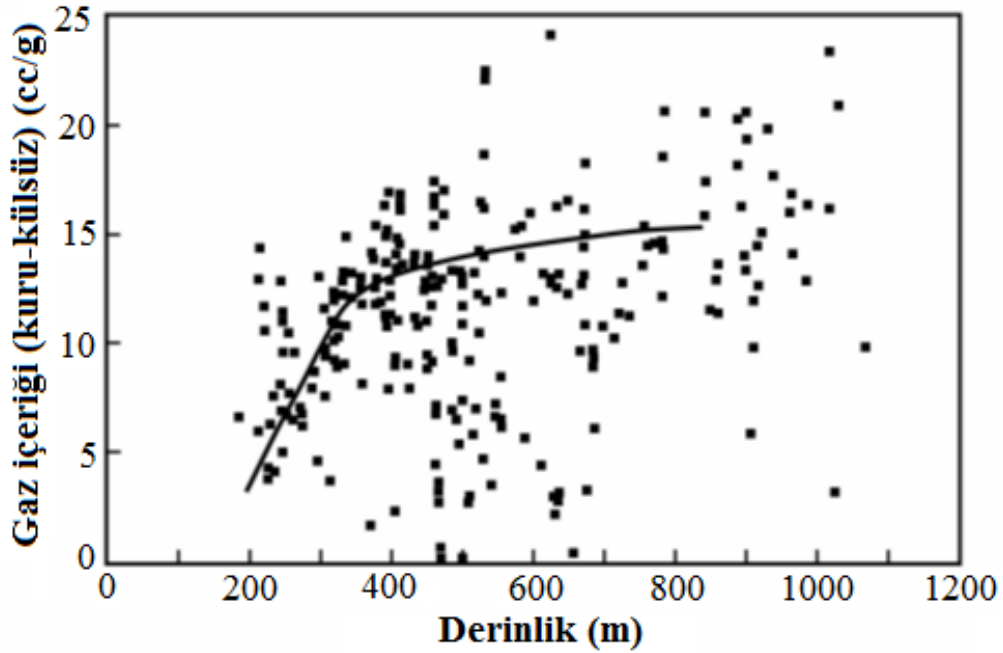
nem içeriği ile bu değer azalmakta ve maksimum nem tutma kapasitesine ulaşıldıktan sonra değişmemektedir (Crosdale vd., 2008). Şekil 3.7’de sabit sıcaklık ve basınç (5 MPa, 30 °C) koşullarında nem içeriği ile maksimum metan adsorpsiyon kapasitesi arasındaki ilişki grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Nem içeriği ile metan adsorpsiyon kapasitesi arası ilişki (Moore, 2012).

3.5.6. Derinlik

Kömür içinde depolanan gaz miktarını etkileyen bir diğer faktör ise derinliktir. Kömürün bulunduğu derinlik arttıkça üzerinde bulunan tabakaların da kalınlığı artmakta ve gazın dışarı kaçmadan kömür içinde daha fazla depolanması mümkün olmaktadır (Irving ve Tailakov, 2001). Ayrıca aynı kömürleşme derecesine sahip, farklı derinliklerde bulunan kömürler incelendiğinde, mikrogözenekliliğin eşit olduğu ancak daha derinde bulunan kömürlerde artan basınçtan dolayı büyük boyutlu gözeneklerin daha az olduğu saptanmıştır (Gürdal ve Yalçın, 1992). Şekil 3.8’de bir kömür havzasında derinliğe bağlı olarak kuru ve külsüz bazdaki gaz içeriğinin değişimi grafik halinde gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Bir kömür havzasında derinliğe bağlı olarak gaz içeriğinin değişimi (Irving ve Tailakov, 2001).

3.5.7. Petrografik bileşim

Genel olarak vitrinit yönünden zengin olan (parlak görümlü) kömürlerin, inertinit yönünden zengin olan (mat görümlü) kömürlere göre daha fazla metan adsorbe etme kapasitesine sahip olduğu deneylerle saptanmıştır. Ancak, herhangi bir farkın olmadığı, hatta bazen kömür tipine göre tam tersi durumların olduğu da gözlemlenmiştir. Gözenek yapıları incelendiğinde, mat kömürlerin daha fazla gözenek hacmine sahip olduğu, ancak parlak kömürlerde mikrogözenekliliğin ve dolayısıyla içsel yüzey alanının daha çok olduğu görülmektedir (Crosdale vd., 1998).

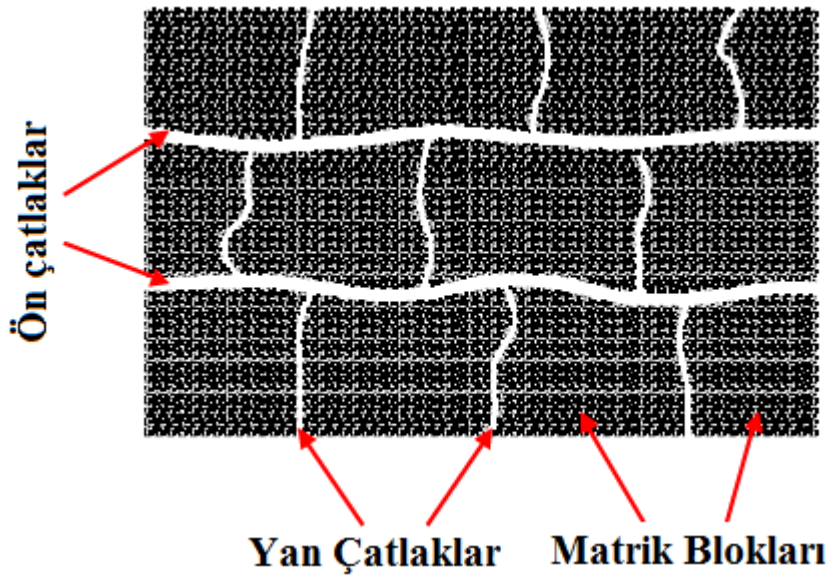
3.5.8. Kül miktarı

Esas olarak kömür içerisinde bulunan mineral maddeler (kül) kömür gazlarını adsorbe edebilen bir yapıya sahip değildirler (Crosdale vd., 1998). Bu nedenle kül miktarının fazla olması, birim tüvenan kömürün adsorbe edebileceği gaz miktarını azaltıcı yönde etki göstermektedir.

3.6. Kömürlerin Geçirgenliği

Gözenekli bir malzeme içerisinde bir basınç gradyanı etkisinde akışkan geçişini tanımlayan fiziksel özelliğe geçirgenlik adı verilmektedir. Ayrıca bir tabakanın, içinden gaz geçişine karşı gösterdiği direnç olarak da tanımlanabilir (Mordecai ve Morris, 1974).

Kömür, gerek gözenekli yapısı gerekse gaz depolama ve gaz akış mekanizması ile eşsiz bir karaktere sahiptir. Çiftli gözenek sistemine sahip olan kömürün birincil gözenek sistemi mikrogözeneklerden oluşmaktadır ve kömür matriksi ile alakalıdır. Kömür matriksi toplam gaz içeriğinin %95 civarını adsorbe halde barındırmaktadır. İkincil gözenek sistemi ise makrogözeneklerden oluşan ve kömür matriks bloklarını çevreleyen mikro çatlak (cleat) sistemidir. Mikro çatlak sistemi gaz ve su için akış yollarını oluşturmaktadır (Pillalamarry vd., 2011). Kömür içinde iki çeşit mikro çatlak sistemi bulunmaktadır. Bunlar ön (face) ve yan (butt) çatlak olarak adlandırılmaktadır. Ön çatlaklar yan çatlaklara göre daha uzundur. Kömürün geçirgenliğindeki anizotropi, yani geçirgenliğin yönlere göre değişmesi ön ve yan çatlakların yapısından kaynaklanmaktadır. Çatlak yoğunluğu arttıkça geçirgenlik de artar. Kömürün geçirgenliği neredeyse tamamen bu çatlakların yoğunluğuna, genişliğine ve devamlılığına bağlıdır (Dabbous vd., 1974). Şekil 3.9 kömürlerin mikro çatlak sistemini görsel olarak açıklamaktadır. Mikro çatlak sistemi dışında, yataklanma düzlemleri ve yüzeyleri de kömür içerisinde mevcut olan başka bir çatlak sistemidir. Ancak, üst tabakaların ağırlığı nedeniyle kömür içi gaz iletimi konusunda çok etkin olduğu söylenemez (Ma vd., 2011).



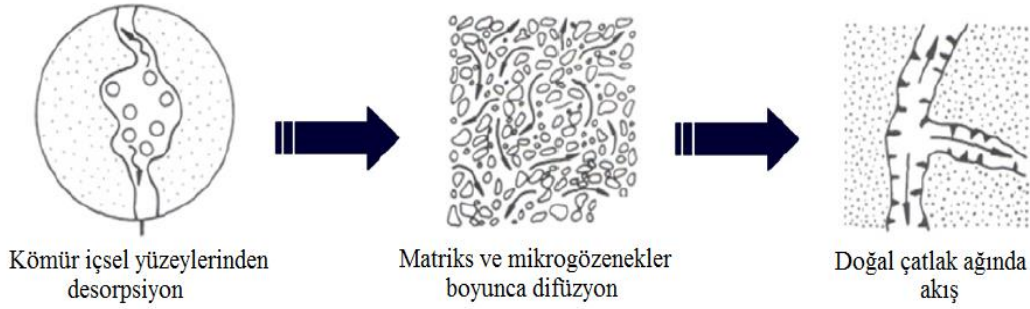
Şekil 3.9. Kömürün mikro çatlak sistemi gösterimi (Gu ve Chalaturnyk, 2010).

3.7. Ocak İçerisinde Gaz Yayılımı ve Etkili Olan Parametreler

Kömürleşme süreci sonucunda oluşan metan gazı kömür içerisindeki gözenek yüzeylerinde adsorbe halde ve serbest gaz halinde bir denge durumunda bulunmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin başlaması ile kömür damarları içerisinde çatlaklar oluşur. Denge durumunun bozulmasıyla metan gazı, basıncı yüksek olan kömür damarından atmosfer basıncında olan çalışma alanlarına doğru çatlaklar boyunca hareket etmeye başlar. Metan akışının iki aşamada gerçekleştiği varsayılmaktadır (Ediz, 1991).

- 1- Kömürün mikrogözenek yapısı içerisinde difüzyon yoluyla,
- 2- Kömür içerisinde birbirleriyle kesişen kırık ve çatlak yapısı boyunca akış şeklinde gerçekleştiği varsayılmaktadır.

Difüzyon teorisi metan gazının kömür içerisinde bir yerden başka bir yere nasıl hareket ettiğini, yani metan moleküllerinin bir çatlak ile karşılaşınca kadar gözenekler arasında nasıl hareket ettiğini açıklamaktadır (Moore, 2012). Kömür matrisi boyunca gerçekleşen difüzyonun derişim farkıyla oluştuğu varsayılmaktadır ve Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılarak modellenmektedir. Mikrogözenek difüzyonu, 3 tip difüzyonun birleşimi olan tek bir süreç olarak düşünülmektedir. Knudsen difüzyonunda molekül-duvar çarpışması daha baskındır. Yüzey difüzyonunda fiziksel olarak adsorbe olunan tabaka boyunca iletim gerçekleşir. Gövde difüzyonunda ise molekül-molekül çarpışması baskın olmaktadır (Pillalamarry vd., 2011). Teorik olarak kömür damarlarında difüzyon olayı oldukça yavaştır. Mikro çatlak yapıları olmadan, gaz moleküllerinin kömür içerisinde 20 °C sıcaklıkta 12 metrelik bir mesafe boyunca difüzyon yoluyla iletilmesi için yaklaşık 50 milyon yıllık bir süre gereklidir. Bu nedenle kömür içi gaz akışının olabilmesi için kırık ve çatlak sistemlerinin bulunması zorunludur. Gaz molekülleri çatlak sistemine ulaştıktan sonra basınç gradyanı etkisinde bir akış başlar. Bu akışa laminar akış veya Darcy akışı denir (Davidson vd., 1995). Darcy yasasına göre katı bir yüzey boyunca gerçekleşen sıvı akışı viskoz olur ve yüzeye yapışma durumu ortaya çıkar. Ancak, gazlarda yapışma olmaz ve çatlak yüzeyleri boyunca gaz molekülleri kayarak ilerler. Bu nedenle Darcy yasasına göre hesaplanan değerlerden daha yüksek bir akış oranı gerçekleşir (Ediz, 1991). Şekil 3.10 kömür damarları içerisinde gaz akış mekanizmasını göstermektedir.



Şekil 3.10. Kömür içi gaz akış mekanizması (Pillalamary vd., 2011).

Kömürün gaz geçirgenliği konusunda 3 noktaya önemle değinmek gereklidir (Davidson vd., 1995).

- 1- Kömür damarı üzerindeki basınca bağlı olarak mikro çatlak aralıkları kapanabilir ve geçirgenliğin düşmesine neden olabilir.
- 2- Ön çatlaklar yan çatlaklara göre daha gelişmiş olduğundan geçirgenlik anizotrop bir özellik gösterir ve ön çatlaklara paralel yönde daha fazladır.
- 3- Mikro çatlaklar mineraller içerdiğinde gaz akışı engellenmekte ve geçirgenliği düşürücü yönde etki göstermektedir.

Kömürün geçirgenliği su varlığına bağlı olarak da değişmektedir. Su basıncı mikro çatlakların kapanmasına neden olan toplam baskıyı azaltıcı yönde etki etmektedir. Su uzaklaşınca üst tabakaların basıncı nedeniyle çatlaklar küçülmekte ve geçirgenlik ilk olarak azalmaktadır. Ancak kömür damarı içerisindeki çatlaklarda bulunan su azaldıkça gazların dışarı çıkabilmesi için daha fazla yer açılmaktadır. Su ve gazın uzaklaşması ile kömür matriksinde bir büzüşme meydana gelmekte ve mikro çatlaklar tekrar açılmaktadır. Sonuç olarak damar üzerindeki toplam baskının azalması ve kömürün büzüşmesi ile geçirgenliği arttırıcı bir etki oluşmaktadır (Kissell ve Edwards, 1975). Genel olarak nem içeriğindeki artış kömürlerin geçirgenliğini azaltıcı yönde etki göstermektedir (Bartosiewicz ve Hargraves, 1985).

4. GAZ İÇERİĞİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Günümüzde kömür damarları açık işletme veya yeraltı işletmesi şeklinde üretilmektedir. Kömür damarları içerdiği metan gazı nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir. Birçok ülkede kömür damarlarından metan gazı üretilerek ekonomik olarak değerlendirilmektedir. Eğer kömür kaynaklı metan gazı üretimi yapılacaksa veya kömür damarları yeraltı işletmesi şeklinde üretilcekse, kömür gaz içeriğinin tespit edilmesi önemli bir konu haline gelmektedir. Özellikle yeraltı işletmelerinde ocak havasına karışacak metan gazı miktarının üretim öncesinde bilinmesi hem emniyet hem de ekonomi açısından önemli bir husustur. Kömür damarının ani gaz püskürmesine yatkınlığının belirlenmesi, yeraltında yapılacak havalandırmanın planlanması ve metan drenaj yöntemlerinin gerekli olup olmadığının belirlenmesi konusunda, damarların içerdiği gaz miktarının önceden bilinmesi daha doğru kararlar alınmasına yardımcı olacaktır.

Genel olarak kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi doğrudan yöntemler ve dolaylı yöntemler ile yapılmaktadır. Ayrıca matematiksel bazı formüller kullanarak az sayıda deney ile kömür gaz içeriğinin tespit edilmesine yönelik görgül yöntemler de geliştirilmiştir (Didari ve Ökten, 1989). Günümüzde en çok kullanılan doğrudan yöntemdir (Didari vd., 2015).

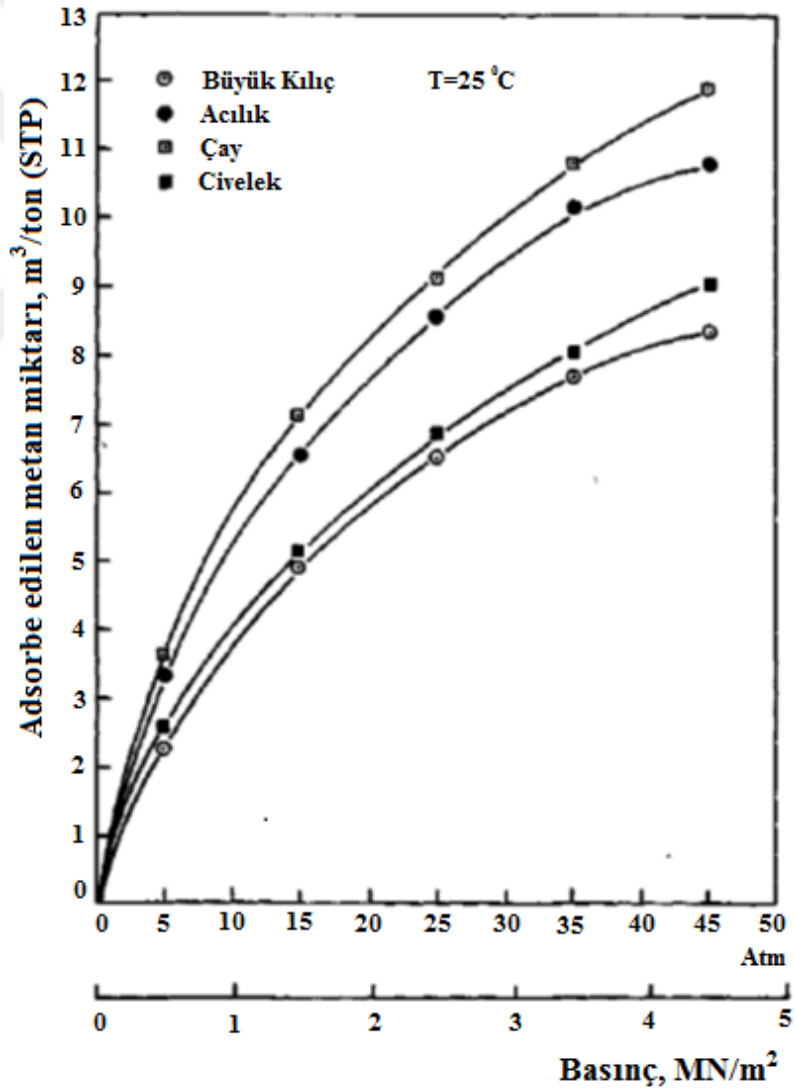
4.1. Dolaylı yöntemler

Bu yöntemde kömür damarlarından alınan örnekler kullanılarak laboratuvarda eşsıcaklık eğrileri çizilmektedir. Oluşturulan eğrilerden, kömür damarının sahip olduğu sıcaklık ve basınçta içerebileceği maksimum metan miktarı belirlenmekte ve o damarın gaz içeriği olarak kabul edilmektedir (Didari ve Ökten, 1989).

Kömür damarının yerinde gaz basıncını ölçmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Temel olarak kömür damarı içine yeraltından veya yeryüzünden açılmış bir sondaj deliğinin sızdırmazlığının sağlanması ve bir manometre yardımıyla basınç değerinin okunması şeklinde gerçekleştirilmektedir (Didari ve Ökten, 1989).

Kömürlerin metan adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesinde yani eşsıcaklık eğrilerinin oluşturulmasında çeşitli yöntemler mevcuttur. Birçok araştırmacı farklı yöntemler önermiştir. Ancak farklı yöntemlerle elde edilen sonuçların karşılaştırılması konusunda zorluklar yaşanmaktadır. Nandi ve Walker (1975) tarafından önerilen yöntemde toz halindeki kömür numunesi sızdırmaz bir kap içerisine konulmakta ve vakum uygulanarak kabın havası boşaltılmaktadır. Sonrasında kap belli bir sıcaklıkta sabit tutularak, belirlenmiş bir denge

basıncına kadar metan gazı ile doldurulmaktadır. Bir süre beklendiğinde kap içindeki basınç düşmekte ve tekrar denge basıncına kadar metan gazı verilmektedir. Basınç dengesi sağlanıncaya kadar bu şekilde devam edilmektedir. Daha sonra kap açılarak boşluklarda basınçlı bir halde bulunan metan gazının tahliyesi sağlanmakta ve atmosfer basıncına ulaşıldığı anda sistem bir su ölçeğine bağlanarak desorbe olan metan gazı miktarı ölçülmektedir. Tespit edilen metan gazı hacmi, standart sıcaklık ve basınç (STP) koşullarına dönüştürülerek örnek ağırlığına bölünmekte ve elde edilen değerler kullanılarak eşsıcaklık eğrileri oluşturulmaktadır (Yalçın, 1983). Şekil 4.1'de Zonguldak'ta bulunan dört farklı kömür damarı için oluşturulmuş eşsıcaklık eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.1. Çay, Acılık, Civelek ve Büyük Kılıç damarları numunelerinin eşsıcaklık eğrileri (Yalçın ve Durucan, 1984).

Örneklerin alındığı noktanın yüzeyden derinliğine bağlı olarak damar sıcaklığı tahmin edilmekte ve deneylerde uygulanacak sıcaklık değeri belirlenmektedir. Bir diğer önemli nokta ise deneylerde kullanılan örneğin sahip olduğu nem içeriğidir. Kömür örneklerinin sahip olduğu nemi kaybetmesi daha fazla metan adsorbe etmesine yol açmakta ve kömür damarının içerebileceği gaz miktarının olduğundan daha fazla olarak tahmin edilmesine neden olmaktadır (Moore, 2012).

4.2. Görgül Yöntemler

Kömür damarlarının içerdiği gaz miktarını belirlemek için laboratuvar imkanlarının sağlanamadığı durumlarda kullanılmak üzere bazı ampirik formüller geliştirilmiştir. Kömür analiz sonuçları, kömürleşme derecesi, kömür damarı sıcaklığı ve gaz basıncı gibi özellikler formüllerde kullanılarak kömürün yerinde içerebileceği gaz miktarı tahmin edilmektedir (Didari ve Ökten, 1989).

Langmuir tarafından kömür içsel yüzeylerinde, tek tabaka halinde soğurulmuş gaz miktarını tahmin etmek amacıyla Eşitlik 4.1 ile verilen formül tanımlanmıştır (Ediz, 1991).

$$V = \frac{V_m b'P}{1+b'P} \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

V=soğurulan gaz hacmi (m³/ton),

P=gaz basıncı (MPa),

V_m=soğurulabilir maksimum gaz hacmi (m³/ton),

b'=desorpsiyon katsayısı (m²/MN)

Ettinger vd., (1958) tarafından, kömürlerin metan adsorpsiyon kapasitelerini tespit etmek amacıyla önerilen formül Eşitlik 4.2'de verilmektedir. Burada yer alan sabitler çeşitli bağıntılar, abaklar ve grafikler kullanılarak elde edilmektedir (Yalçın ve Durucan, 1987).

$$V = \frac{65.5}{\left(\frac{a}{P}-C\right)V_m^{0.146}} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{0.02t}{0.993+0.007P}\right)}} \cdot \frac{(100-A-W)}{100} \cdot \frac{1}{1+0.31W} \quad (4.2)$$

Eşitlikte;

V: soğurulan metan miktarı (m³/ton)

V_m: kuru-külsüz kömürde uçucu madde miktarı (%)

a ve C: sabit

P: metan basıncı (atm)

e: 2,71828

t: sıcaklık (°C)

W: kömürün yerinde nem içeriği (%)

A: kömürün yerinde kül içeriği (%)

Kim (1977), yaptığı çalışmada nem, kül, sıcaklık ve basınç değerlerini kullanarak kömürün yerinde içerebileceği metan miktarını belirlemek için Eşitlik 4.3'te yer alan formülü önermektedir.

$$V = \frac{100 - \%nem - \%kül}{100} (0.75) [k_o (0.096h)^{n_o} - b \left(\frac{1.8h}{100} + 11 \right)] \quad (4.3)$$

Eşitlikte;

V: kömürün yerinde gaz içeriği (cm³/g)

k_o: adsorpsiyon sabiti (cm³/g.atm)

n_o: sabit

b: sıcaklık sabiti (cm³/g°C)

h: kömür damarı derinliği (m)

Yalçın ve Durucan (1987) yaptıkları çalışmada Zonguldak'ta bulunan Çay, Acılık, Civelek ve Büyük Kılıç damarlarından aldıkları örnekleri kullanarak adsorpsiyon deneyleri yapmışlardır. Sonrasında Eşitlik 4.2 ve 4.3'te verilen formülleri kullanmışlar ve deneysel olarak elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak formüllerde kullanılan sabitler ve katsayılar, eğer ilgili damarda yapılan deneylerden elde edilmemiş ise sonuçların güvenilir olmadığını belirtmişlerdir.

4.3. Doğrudan Yöntemler

Doğrudan yöntemler, kömür damarından sondaj yardımıyla veya el ile alınan numunelerin mümkün olan en kısa süre içinde sızdırmaz bir kap içine konulması ve desorbe olan gazın ölçülmesi, daha sonra ise örneğin öğütülerek çıkan toplam gaz miktarının belirlenmesi şeklinde uygulanmaktadır. İlk olarak Fransa'da (Cerchar Laboratuvarlarında) ortaya çıkan

yöntem daha sonra ABD'de (Bureau of Mines) değiştirilerek uygulanmıştır (Didari ve Ökten, 1989).

Doğrudan yöntemler genel olarak toplam gaz içeriğini üç ayrı bileşen halinde ayırmaktadır. Bu üç bileşen kayıp gaz, desorbe olan gaz ve kalıntı gaz şeklinde tanımlanır. Farklı teknikler kullanılarak tespit edilen bileşenlerin toplamı kömürün toplam gaz içeriğini vermektedir (Diamond ve Schatzel, 1998).

4.3.1. Kayıp gazın belirlenmesi

Bu bileşen, kömür damarından örneğin alındığı andan itibaren sızdırmaz kap içine konulmasına kadar geçen sürede desorbe olan ve ölçülemeyen gaz miktarıdır. Kömür numunesi sondaj ile damardan kesildiği andan itibaren sahip olduğu gaz içeriğini kaybetmeye başlar. Bu nedenle mümkün olan en kısa sürede numunenin sızdırmaz kap içine konulması kayıp gaz miktarını ve dolayısıyla hata miktarını azaltacaktır. Numunenin alınma süresi, fiziksel özelliği, sondajda kullanılan sıvının özelliği, suya doygunluk ve serbest gaz oranı gibi faktörler kayıp gaz miktarını etkilemektedir (Diamond ve Schatzel, 1998).

Kayıp gaz miktarı, numunelerin sızdırmaz kap içine kapatıldıkları andan itibaren yapılan desorpsiyon ölçümleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Ancak bu tahmin yöntemleri yalnızca desorbe olan gaz miktarını tahmin etmeye yöneliktir ve gözeneklerde serbest halde bulunan gaz miktarının ne kadarının kaybolduğunu belirlemede yeterli değildir. Kömür örneği ne kadar az parçalanmış olursa kayıp gaz miktarı o kadar az olacaktır. Kırılgan kömürlerde kayıp gaz miktarı, büyük parça halindeki kömürlere göre daha fazla olmaktadır (Diamond ve Schatzel, 1998).

4.3.2. Desorbe olan gazın belirlenmesi

Sızdırmaz kap içerisine alınan kömür örneğinden desorbe olan gaz miktarının doğrudan ölçülmesi ile elde edilen bileşendir. Çıkan gaz çoğunlukla ters çevrilmiş bir su ölçeği kullanılarak belli aralıklarla ölçülmektedir. USBM tarafından geliştirilmiş daha hassas ölçümler yapabilen bir cihaz da mevcuttur (Diamond ve Schatzel, 1998).

4.3.3. Kalıntı gazın belirlenmesi

Kömür örneklerinden desorbe olan gaz miktarı belli bir süre sonra oldukça azalmaktadır. Desorpsiyon oranı belirlenmiş bir seviyenin altına indiğinde, desorpsiyon ölçümleri sona erdirilmektedir. Düşük difüzyon oranları nedeniyle hala kömür içinde bulunmakta olan gaz, kalıntı gaz adını almaktadır. Kalıntı gaz miktarını belirlemek için, sızdırmaz bir cihaz içerisinde kömür öğütülmekte ve çıkan gaz miktarı ölçülmektedir (Diamond ve Schatzel, 1998).

4.4. Doğrudan Yöntemlerin Uygulanmasında Kullanılan Teknikler

Bertard vd. (1970) tarafından ilk olarak Fransa'da ortaya çıkarılan doğrudan yöntemin uygulanması, Kissell vd. (1973) tarafından bazı değişiklikler yapılarak devam etmiştir. Dünya genelinde uygulanan doğrudan yöntemle gaz içeriği belirleme çalışmaları temel olarak bu çalışmalara dayanmakta ve bazı farklılıklar içermektedir.

4.4.1. Cerchar tekniği

Doğrudan yöntem ilk olarak Bertard vd. (1970) tarafından Fransa'da Cerchar Laboratuvarları'nda kömürün desorbe olabilen gaz içeriğini belirlemek üzere geliştirilmiştir. Deneylede kullanılan örneklerin mümkün olduğunca gazı kaçmamış olan bölgelerden alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Çalışılan kömür damarı yüzeyinin 2-6 metre derinliklerinden alınan numunelerin gaz içeriğini muhafaza ettiği varsayılmaktadır (Bertard vd., 1970).

Kömür numunelerinin gaz içeriği, kayıp gaz (Q_1), desorbe gaz (Q_2) ve kalıntı gaz (Q_3) olmak üzere üç ayrı bileşen halinde belirlenmektedir. Toplam gaz içeriği bu üç bileşenin toplanmasıyla elde edilmektedir (Bertard vd., 1970).

Kayıp gaz miktarı belirlenirken, desorpsiyonun ilk aşamalarında desorbe olan gaz miktarının zamanın karekökü ile orantılı olduğu prensibi temel alınmaktadır. Kayıp gaz zamanı (t_1), numunenin damardan sondaj ile kesildiği andan sızdırmaz kap içerisine yerleştirildiği ana kadar geçen süre olarak kabul edilmektedir. Desorpsiyon ölçer denilen bir düzenek ile yapılan ölçümlerden yararlanılarak kayıp gaz miktarı belirlenmektedir. Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5 ile verilen matematiksel formüller yardımıyla kayıp gaz miktarı hesaplanmaktadır (Bertard vd., 1970).

$$Q_1 = q(2 + \sqrt{2}) \quad (4.4)$$

Eşitlikte;

Q_1 : kayıp gaz miktarı (cm^3)

q : (t_1) ile ($2t_1$) süreleri arasında desorbe olan gaz miktarı (cm^3)

Burada yer alan q değeri Eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$q = k\sqrt{2t_1} - k\sqrt{t_1} \quad (4.5)$$

Eşitlikte;

k : desorpsiyon ölçer kullanılarak tespit edilen sabit

Kayıp gaz miktarının belirlenmesinin hemen ardından kömür numunesi transfer edilmek üzere ayrı bir kaba yerleştirilmektedir. Belirlenen kayıp gaz miktarı örnek alınan yerde mevcut olan sıcaklık ve basınç değerlerinde ifade edilmektedir (Bertard vd., 1970).

Transfer sürecinde numuneden desorbe olan gaz miktarı Q_2 olarak adlandırılmaktadır. İki farklı teknik kullanılarak Q_2 miktarı belirlenmektedir. İlk yöntemde numune sızdırmaz bir kap içine konulmakta ve Eşitlik 4.6 kullanılarak Q_2 miktarı hesaplanmaktadır. İkinci yöntemde ise özel olarak tasarlanmış bir cam test tüpü içerisine kömür numunesi yerleştirilmekte ve Q_2 miktarı belirlenmektedir. (Bertard vd., 1970).

$$Q_2 = V(x - x_0)(1 + x) \quad (4.6)$$

Eşitlikte;

Q_2 : sızdırmaz kap içinde desorbe olan gaz miktarı (cm^3)

V : sızdırmaz kap içi boşluk hacmi (cm^3)

x_0 : yeraltında kapak kapatıldığında sızdırmaz kap içindeki metan yüzdesi (%)

x : laboratuvarında kapak açıldığı anda sızdırmaz kap içindeki metan yüzdesi (%)

Son olarak kalıntı gaz miktarının (Q_3) belirlenmesi amacıyla kömür numunesinin bir kısmı alınarak metal bir kap içinde öğütülmektedir. Öğütme işlemi gaz desorpsiyonu tamamen bitene kadar devam ettirilmektedir ve desorbe olan gaz miktarı ters çevrilmiş bir su ölçeği kullanılarak belirlenmektedir (Bertard vd., 1970).

Ölçümler sonucu elde edilen Q_1 , Q_2 ve Q_3 değerlerinin yeraltı koşullarında veya standart koşullarda ($273 \text{ }^\circ\text{K}$ ve 760 mm-Hg) ifade edilmesi için gerekli dönüşümler yapılmalıdır. Toplam gaz içeriği Eşitlik 4.7 kullanılarak hesaplanmaktadır (Bertard vd., 1970).

$$Q_T = \frac{Q_1 + Q_2}{m} + \frac{Q_3}{m'} \quad (4.7)$$

Eşitlikte;

Q_T : toplam gaz içeriği (cm^3/g)

m : başlangıçta sızdırmaz kap içerisinde konulan numune ağırlığı (g)

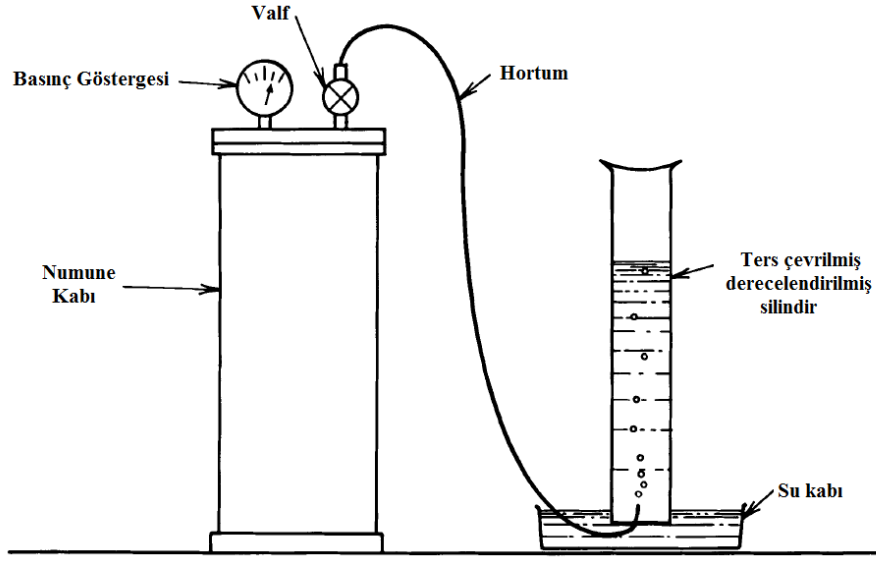
m' : öğütülen numune ağırlığı (g)

4.4.2. USBM tekniği

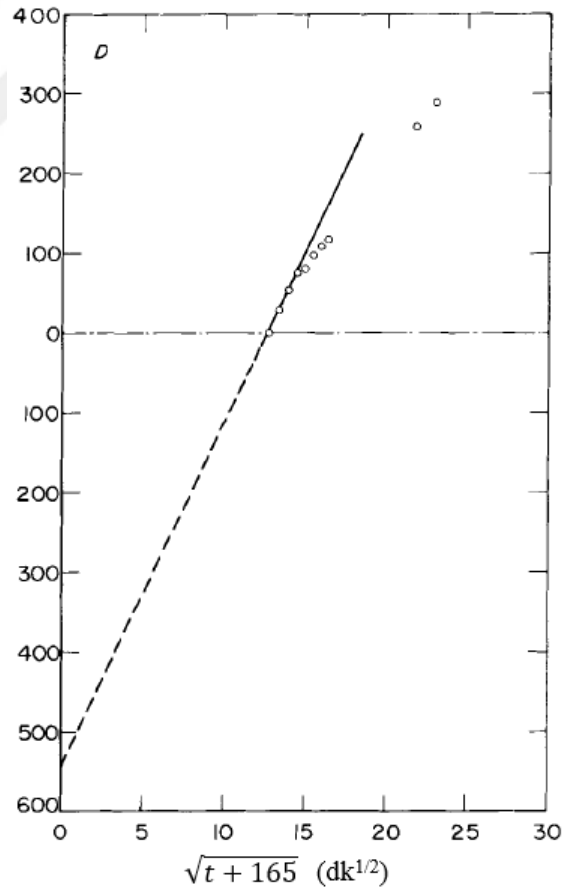
Bertard vd. (1970) tarafından ortaya çıkarılan doğrudan yöntem sonradan geliştirilerek Amerika Birleşik Devletleri'nde USBM tarafından uygulanıştır. USBM yöntemi temel olarak aynı olsa da bazı farklılıklar içermektedir.

Kissell vd. (1973) yaptıkları çalışmada, parça boyutunun, kömürün kırık ve çatlak ağından büyük olması koşuluyla, desorbe olan gaz miktarının zamanın karekki ile orantılı olarak değiştiğini yaptıkları deneyler sonucu belirlemişlerdir. Buna bağlı olarak yeryüzünden yapılan sondajlardan elde edilen numunelerin, kömür gaz içeriği belirleme çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Kayıp gaz ve desorbe olan gaz ölçümlerinde Şekil 4.2'de çizimleri verilmiş olan düzenek kullanılmaktadır. Sondaj ile alınan silindirik kömür numunesi sızdırmaz kap içerisine konulmakta ve hemen desorbe olan gaz ölçümlerine başlanmaktadır. Kayıp gaz miktarının belirlenmesi amacıyla grafiksel bir metod kullanılmaktadır. Desorpsiyonun ilk aşamalarında kısa aralıklarla yapılan ölçümlerden elde edilen değerler zamanın kareköküne karşılık gelecek Şekilde çizilerek grafik oluşturulmaktadır. Kömür numunesinin gaz kaybetmeye başladığı zamana bağlı olarak, grafik üzerinde oluşan doğrusal kısım ekstrapolasyon yoluyla uzatılmakta ve dikey ekseni keştiği nokta kayıp gaz miktarı olarak belirlenmektedir. Sondaj sırasında hava kullanılıyorsa kayıp zaman başlangıcı olarak numunenin kömür damarından kesildiği an kabul edilmektedir. Eğer sondaj sıvısı olarak su kullanılıyorsa numunenin sondaj deliğinin yarı mesafesine ulaştığı an kayıp zaman başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Şekil 4.3'te kayıp gaz miktarının belirlenmesinde kullanılan örnek bir grafik görülmektedir (Kissell vd., 1973).



Şekil 4.2. USBM yönteminde kullanılan sızdırmaz kap ve gaz ölçüm düzeneği (Kissell vd., 1973).



Şekil 4.3. Kayıp gaz miktarının belirlenmesinde kullanılan bir grafik örneği (Kissell vd., 1973).

Kayıp gaz miktarının belirlenmesine yetecek kadar bir süre ölçüm alındıktan sonra sızdırmaz kap üzerindeki valf kapatılıp laboratuvara götürülmektedir. Burada, kömürden desorbe olan gaz miktarı ihmal edilebilir bir seviyeye düşünceye kadar belli aralıklarla desorbe olan gaz ölçümleri devam etmektedir. Sonrasında ise kömür örneğinin tamamı veya bir kısmı alınarak sızdırmaz bir ortamda -200 mesh boyuta öğütülmekte ve çıkan gaz ölçülerek kalıntı gaz miktarı elde edilmektedir (Kissell vd., 1973).

İlk ölçümlerin ekstrapolasyonu ile elde edilen kayıp gaz miktarı, numune kabında desorbe olan gaz miktarı ve öğütme sırasında çıkan gaz miktarının toplamı, o kömür numunesinin toplam gaz içeriğini vermektedir (Kissell vd., 1973).



5. MATERYAL VE METOD

5.1. Sızdırmaz Kap Tasarımı

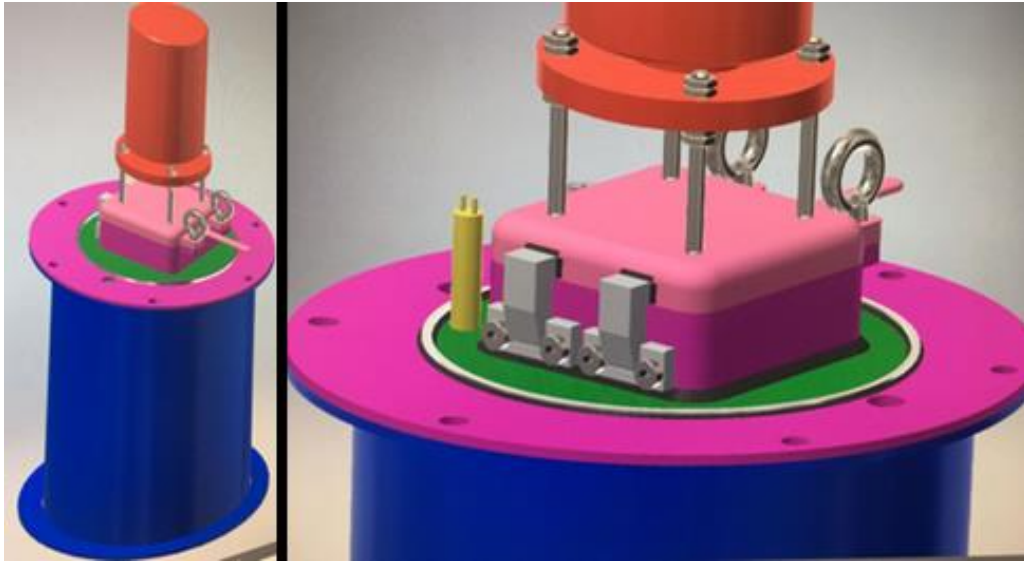
Doğrudan yöntemle gaz içeriği belirleme çalışmalarında kayıp, yayılan ve kalıntı gaz bileşenleri belirlenmekte ve bunların toplamı kömürün gaz içeriği değerini vermektedir. Farklı bileşenler belirlenirken kömür numuneleri farklı kaplara aktarılmaktadır. Aktarma işlemi sırasında kömür numunesinden gaz kaybı olmakta ve elde edilen sonuçlarda hata oluşmasına yol açabilmektedir. Çalışma kapsamında kayıp, yayılan ve kalıntı gaz bileşenlerini herhangi bir gaz kaybı oluşmadan aynı kap içerisinde ölçmeyi mümkün kılan bir tasarım yapılmıştır. Yeraltında oluşabilecek olumsuz koşullara dayanıklı, nakliye sırasında gelebilecek herhangi bir darbe ile sızdırmazlığı etkilenmeyecek sağlamlığı yüksek ve uzun ömürlü bir tasarım hedeflenmiştir.

Doğrudan yöntem kullanılarak gaz içeriği belirlenecek olan kömür numunelerinin parçalanmamış silindirik karotlar şeklinde olması önerilmektedir (Australian Standard, 2016). Bütün haldeki örneklerde kayıp gaz oranı daha az olmakta ve elde edilen sonuçların doğruluğu artmaktadır. Bu nedenle yapılan tasarımda en önemli husus, karot şeklinde alınmış olan kömür örneğinin kalıntı gaz belirleme aşamasında 200 mesh elek altına geçecek şekilde öğütülebilmesidir. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunmakta olan bilyeli ve çubuklu değirmen kullanılarak ön deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deneylerde asıl amaç, tasarımı yapılan sızdırmaz kabın boyutlarını belirlemektir. Laboratuvarda bulunan ve boyutları bilinen değirmen ile karot şeklindeki numune herhangi bir kırma işleminden geçirilmeksizin istenen boyuta öğütülebilirse, sızdırmaz kap boyutlarının bu değirmen ile aynı olmasının sorun oluşturmayacağı düşünülmüştür. Bu amaçla Garp Linyitleri İşletmesi tarafından işletilmekte olan açık ocaktan blok halinde kömür örnekleri alınarak laboratuvara getirilmiştir. Burada, blok halindeki kömürlerden NX karotiyer kullanılarak 54,7 mm çapa sahip yaklaşık 10 cm uzunluğunda kömür örnekleri hazırlanmıştır. Öğütme deneyleri aynı değirmende farklı öğütücü ortamlar kullanılarak farklı sürelerde yapılmıştır. Yapılan deneylere ait bilgiler Çizelge 5.1'de sunulmuştur. Ön deneyler sonucunda kömürün %90'lık kısmının -200 mesh boyuta öğütülebildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Ön çalışma olarak yapılan deneylere ait sonuçlar.

Örnek No	Karot Ağırlığı (gr)	Çapına Göre Çubuk Adedi (çap=mm)					Çapına Göre Bilye Adedi (çap=mm)					Süre (dk)	Devir (d/dk)	-200 mesh (%)
		30	24	18	16	14	40	30	25	20	15			
1	326	-	-	-	-	-	25	30	26	73	94	60	75	-
2	332	-	-	-	-	-	25	30	26	73	94	120	90	-
3	365	1	-	4	1	3	16	15	15	50	80	110	75	-
4	363	-	1	6	2	7	10	10	10	20	70	240	75	56
5	267	-	-	-	-	-	25	30	26	73	94	480	75	79
6	375	-	1	5	-	5	-	25	25	70	90	240	75	76
7	398	-	1	5	-	5	-	25	25	70	90	240	100	69
8	334	-	1	5	-	5	-	25	25	70	90	360	50	56
9	335	-	1	5	-	5	-	25	25	70	90	360	75	83
10	328	-	1	5	-	-	-	25	25	70	90	360	75	90

İmalat öncesi bilgisayar ortamında üç boyutlu modelleme programı kullanılarak sızdırmaz kaba ait çizimler yapılmıştır (Şekil 5.1). Sızdırmaz kap boyutları, ön deneylerde kullanılan değirmen boyutları ile aynı alınmıştır. 20 cm iç çap ve 35 cm uzunluğunda silindir şeklinde bir tasarım yapılmıştır. Çizimler iç içe geçmiş iki silindir şeklinde yapılmıştır. İçteki silindir, kömür örneğinin içine konulacağı sızdırmazlığı sağlamış olan esas kısımdır. İç silindirin çevresi bakır serpantin borularla donatılmıştır. Dıştaki silindir ise gelebilecek darbelere karşı koruma amaçlı tasarıma eklenmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan tasarımda, silindirin bir yüzeyinde kapak, ısı algılayıcı problar ve kapak üzerinde de 4 geçişli döner akışkan iletimi sağlayan bir parça olması planlanmıştır.



Şekil 5.1. Sızdırmaz kap tasarımına ait üç boyutlu model çizimleri.

İmalat aşamasına geçildiğinde, sonradan sorunlara yol açabileceği düşünülerek bazı kısımlarda değişiklikler yapılmıştır. Ancak tasarımın ana hatları aynı kalmıştır. İmalata öncelikle iç silindirin yapımı ile başlanmıştır. Et kalınlığı 10 mm olan paslanmaz çelik malzemeden yapılmış iç silindir etrafına bakır serpantin borular donatılmıştır (Şekil 5.2). Silindirin bir yüzeyi sökülüp takılabilir vidalı bağlantılarla birleştirilecek şekilde imal edilmiştir. Herhangi bir sorun oluşması halinde silindirin iç yüzeyine rahatça ulaşabilmek adına burada kaynaklı bağlantı kullanılmamıştır. Bu yüzeyin içerisinde, su geçişini sağlayacak kanallar açılmış ve iç silindir etrafındaki bakır serpantin borulara akışkan iletimini sağlayabilecek şekilde montajı yapılmıştır. Sızdırmazlığı sağlamak için sıvı conta kullanılmıştır. Tasarım aşamasında bu yüzey üzerinde açılıp kapanabilir bir kapak ve kapağın üzerinde de döner akışkan iletim elemanı bulunması planlanmıştır. Ancak döner akışkan iletim elemanının öğütme esnasında kapak üzerinde fazla baskı oluşturarak sızdırmazlığı tehlikeye atabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle döner akışkan iletim elemanının doğrudan bu yüzey üzerine montajının yapılmasına ve kapağın diğer yüzeyde olmasına karar verilmiştir. Yüzeyin orta kısmında döner akışkan iletim elemanının yerleştirileceği bir yuva oluşturulmuş, vidalı bağlantılar ve sıvı conta kullanılarak döner akışkan iletim elemanı buraya sızdırmaz bir şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca sızdırmaz kap içerisindeki basıncı ölçmek üzere, yüzey üzerine bir manometre de yerleştirilmiştir. Şekil 5.2'de görülen 4 geçişli akışkan iletim elemanı hava, hidrolik ve vakum ortamlarında sızdırmaz bir şekilde çalışabilmektedir. En fazla 250 devir/dakika dönme hızında ve 80 °C sıcaklıkta çalışabilen parça 10 bar hava basıncı ve 60 bar hidrolik basıncına kadar sızdırmazdır. Yeraltı koşullarında gelebilecek herhangi bir darbeye karşı oldukça dayanıklı olan bu parça piyasadan hazır olarak temin edilebilmektedir. Bu parçanın tasarımı kullanım amacı öğütme esnasında su giriş-çıkışı ve gaz çıkışını sağlamaktır.



Şekil 5.2. Bakır serpantin borular ve 4 geçişli döner akışkan iletim elemanı.

İç silindirin diğer yüzeyi kaynaklı bağlantı kullanılarak monte edilmiştir (Şekil 5.3). Bu yüzeyin ortasına 130x130 mm boyutlarında bir boşluk açılmış ve üzerine vida-somun bağlantısı ile kapatılabilen bir kapak imal edilmiştir. Kapak ile yüzey arasına plastik bir katman yerleştirilmiş ve sızdırmazlık sağlanmıştır. Tasarım aşamasında ısı algılayıcı problemlerin döner akışkan iletim elemanı ile aynı yüzey üzerine yerleştirilmesi planlanmıştır. Ancak orada su geçiş kanallarının bulunması nedeniyle sızdırmaz kap içi sıcaklık değişikliklerinin doğru bir şekilde algılanamayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle ısı algılayıcı problemler kapağın bulunduğu yüzeyden sızdırmaz kap içerisine yerleştirilmiştir. Isı algılayıcı problemlerin öğütücü bilye ve çubuklardan zarar görmesini engellemek üzere, kap içine çelik bir muhafaza monte edilmiştir. Çelik muhafaza, ısı değişikliklerinin hızlıca algılanabilmesi adına, sızdırmaz kap içerisindeki havanın problemlarla temasını sağlayacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 5.3. Sızdırmaz kap imalatının son aşamaları.

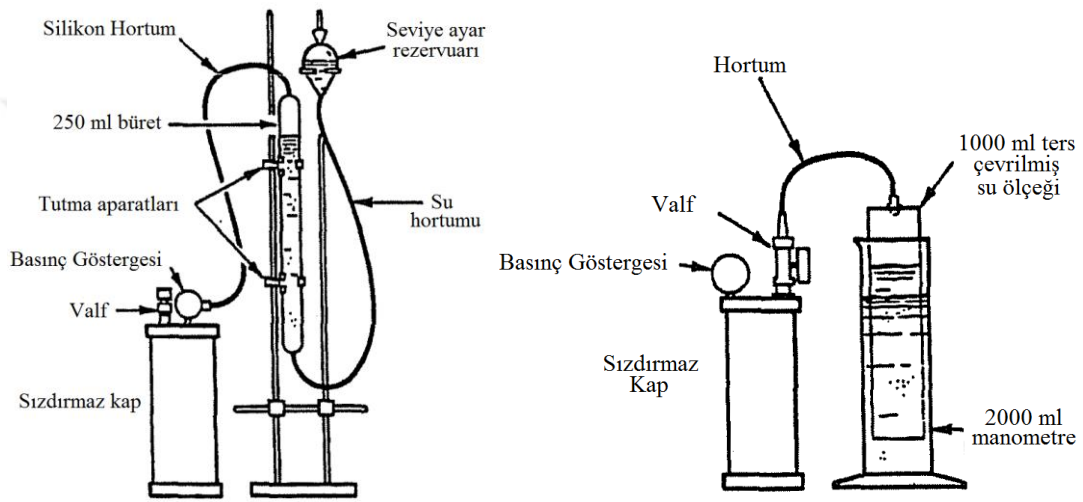
Tasarım aşamasında sızdırmaz kap etrafında ikinci silindirin olması planlanmıştır. Ancak imalat sonunda bunun ağırlığı çok fazla arttıracığı düşünülerek bunun yerine farklı bir çözüm getirilmiştir. Bakır serpantin boruların etrafına yeterli kalınlıkta yalıtım malzemesi sarılarak ince bir çelik levha ile vidalanmış ve dışarıdan gelecek darbelere karşı önlem alınmıştır.

İmalat sonunda sızdırmaz kap içerisine 3 bar basınçta hava verilerek su içerisine batırılmış ve sızdırmazlığı kontrol edilmiştir. Herhangi bir sızıntı olmadığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak imalatı yapılan sızdırmaz kabın öğütme esnasında dahi sızdırmazlığını koruyacağı anlaşılmıştır.

5.2. Yayılan Gaz Ölçümlerinde Kullanılan Su Ölçeği Tasarımı

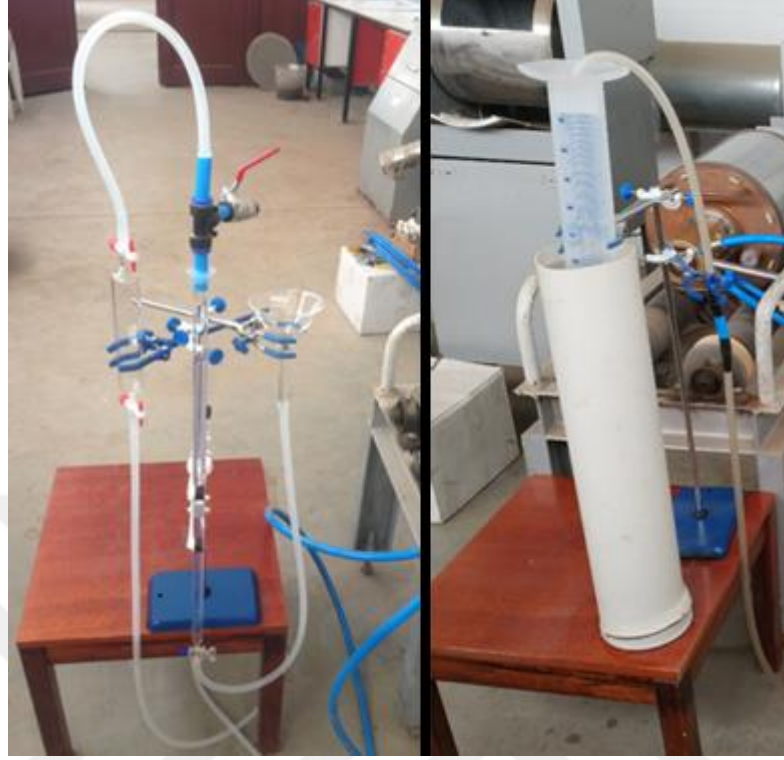
Kömür damarı gaz içeriğinin belirlenmesi için yapılan deneylerde, kayıp, yayılan ve kalıntı gaz miktarlarını belirlemek için genellikle su ölçeği kullanılmaktadır. Kömür örneklerinin içine konulduğu sızdırmaz kap ile su ölçeği bir hortum aracılığıyla birbirine bağlanmaktadır.

Sızdırmaz kap üzerinde bulunan valf açılarak çıkan gazın derecelendirilmiş su ölçeği içine dolması sağlanmakta ve gaz miktarı okunmaktadır. Daha önce yapılmış çalışmalarda çeşitli su ölçeği tasarımları kullanılmıştır. Su ölçeği düzeneğinde, eğer su seviyeleri arasında bir fark varsa matematiksel hesap yoluyla gerekli düzeltmelerin yapılması önemlidir. Su seviyesi farklarından kaynaklanacak hataları engellemek adına önerilmiş iki farklı tasarım Şekil 5.4'te görülmektedir. Bu tasarımlarda su seviyeleri birbirine eşit olduğundan dolayı yapılan tüm okumalar ortam basıncındaki gaz miktarını vermektedir.



Şekil 5.4. Gaz miktarı ölçümünde kullanılan su ölçeği tasarımları (Diamond ve Schatzel, 1998).

Kömürden yayılan gaz miktarının ölçümü için öncelikle Şekil 5.5'te görülmekte olan büret ve huninin silikon hortum ile birbirine bağlanmasıyla oluşan su ölçeği tasarımının kullanılması planlanmıştır. Bu tasarımda ölçüm alınacağı anda, huni yüksekliği el ile ayarlanarak büret içindeki ve huni içindeki su seviyeleri eşitlenmekte ve seviye farkından oluşacak hatalar önlenmektedir. Çıkan gaz miktarı hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Ancak uygulama aşamasında gaz çıkışının fazla olduğu durumlarda büret hacminin yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu nedenle Şekil 5.5'te görülmekte olan 1000 ml hacme sahip mezür kullanılarak oluşturulan diğer tasarıma geçilmiştir. 1000 ml hacimli mezür daha büyük hacimli bir su haznesi içinde ters çevrilmiş ve silikon hortum bağlantısı yapılmıştır. Sızdırmaz kap içerisinden çıkan gaz mezür içerisine doldukça su seviyeleri el ile eşitlenerek ölçümler yapılmıştır. Her iki tasarımda da ölçümler herhangi bir ek basınç veya vakum olmadan atmosfer basıncında yapılabilmektedir. Ayrıca kömürden çıkan gazdan örnek alabilmek amacıyla sızdırmaz kap ile su ölçeği arasına 100 ml hacme sahip teflon musluklu bir gaz numune alma pipeti yerleştirilmiştir.

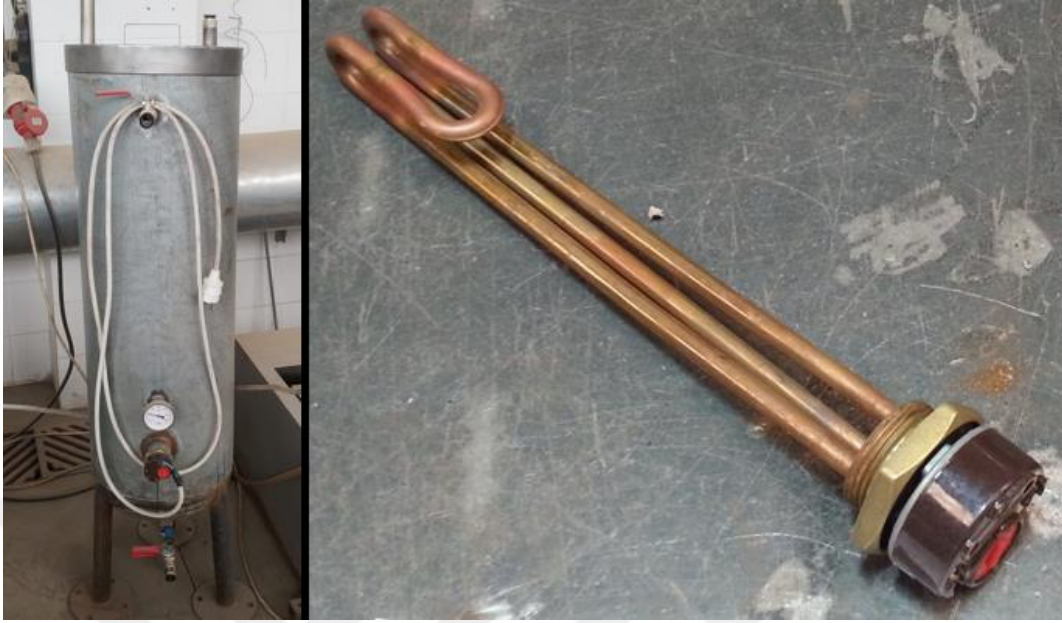


Şekil 5.5. Kullanılan farklı su ölçüğü tasarımları.

5.3. Sızdırmaz Kap Sıcaklık Kontrol Sistemi Tasarımı

Tasarımı yapılan yeni sistemde, tüm gaz içeriği belirleme süreci boyunca sıcaklığın sabit tutulması hedeflenmiştir. Kayıp, yayılan ve kalıntı gaz ölçümleri sırasında sızdırmaz kabın sıcaklığını istenilen derecede tutabilmek için, elektrik devreleri, ısı algılayıcı proplar, sirkülasyon pompaları ve çeşitli bağlantı elemanları kullanılarak bir sıcaklık kontrol sistemi oluşturulmuştur. Burada temel amaç sızdırmaz kap çevresinde dolaştırılmış olan bakır serpantin borular içerisinde sıcak veya soğuk su geçirilmesi ve kap içi sıcaklığın ayarlanmasıdır.

Sıcak su haznesi imalatı sızdırmaz kap ile aynı anda yapılmıştır. Çelik malzemeden imal edilen silindirik şeklindeki su haznesine, içerisindeki suyu ısıtmak amacıyla bir adet termostatlı su ısıtıcısı monte edilmiştir (Şekil 5.6). Termostat üzerinde bulunan ayar düğmesi ile su sıcaklığı 40-80 °C arasında istenen sıcaklıkta sabit tutulabilmektedir. Hazne içerisindeki suyun sıcaklığını görebilmek amacıyla bir sıcaklık göstergesi de imalat sırasında monte edilmiştir. Haznenin alt kısmında iki adet vana bulunmaktadır. Bunlardan birisi hazne içerisindeki tüm suyu tahliye etmek amacıyla kullanılmaktadır. Diğer vanaya ise sirkülasyon pompasına giden hortum bağlanmaktadır. Haznenin üst kısmında, kolayca çıkarılıp takılabilen bir kapak ve bir vana bulunmaktadır. Bu vanaya hortum bağlanarak haznenin doldurulması sağlanmaktadır.



Şekil 5.6. Sıcak su haznesi ve termostatlı su ısıtıcısı.

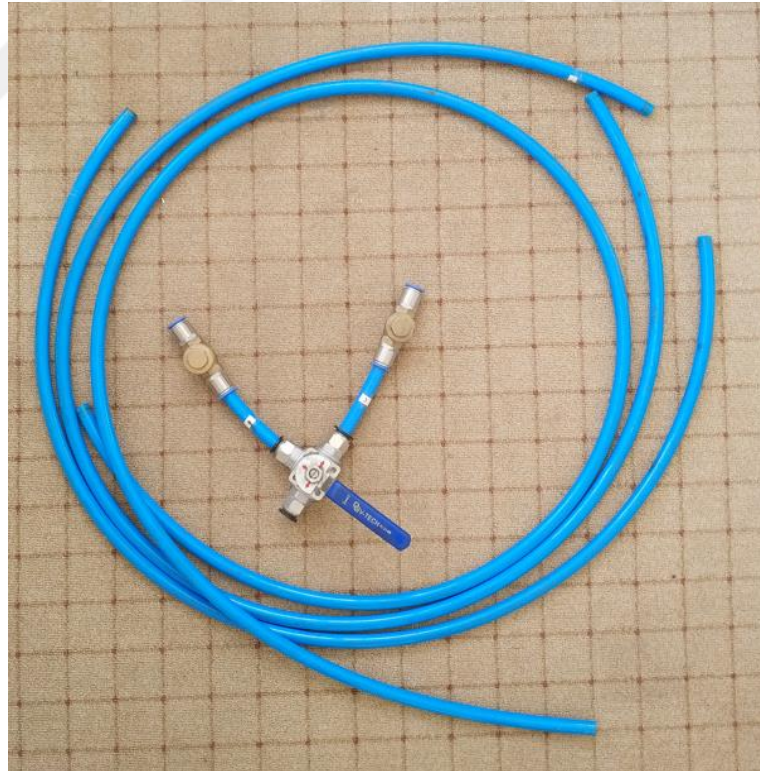
Sızdırmaz kap içerisindeki sıcaklık kontrolünün otomatik olarak sağlanması planlanmıştır. Bu amaçla Şekil 5.7’de görülen elektrik devreleri ve sirkülasyon pompasından iki adet kullanılmıştır. Sirkülasyon pompaları, üzerinde bulunan bir ayar düğmesi ile üç farklı debide su basacak şekilde çalışabilmektedir. Sızdırmaz kap içerisindeki sıcaklığın hızlı bir şekilde değişmesi istendiğinde debi arttırılmaktadır. Ancak sabit sıcaklık veya küçük sıcaklık değişimlerinin istendiği durumlarda debi azaltılarak kontrol sağlanmaktadır. Kullanılan iki adet pompadan birisi sıcak su çevrimini diğeri ise soğuk su çevrimini sağlamaktadır. Elektrik devreleri ayrı ayrı pompalara bağlanmıştır. Devreler, sızdırmaz kap içerisinde bulunan ısı algılayıcı proplardan gelen veriye bağlı olarak pompanın çalışmasını veya durmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.7. Isı kontrol devreleri ve sirkülasyon pompası.

Sızdırmaz kap içerisine yerleştirilen ve sızdırmazlığı sağlanan ısı algılayıcı proplar 0,1 °C hassasiyetle sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Kalıntı gaz belirleme işlemi sırasında sızdırmaz kabın döndürülmesi ile kap içinde bulunan çelik bilye ve çubukların kömürü öğütmesi sağlanmaktadır. Dönme hareketi sırasında sinyal iletimini devam ettirebilmek amacıyla ısı algılayıcı proplar ile elektrik devreleri arasında bir döner elektrik iletim parçası bağlanmıştır. Döner elektrik iletim elemanı maksimum 300 devir/dakika dönme hızında çalışabilmekte ve 240V, 2A akım iletimi sağlayabilmektedir. Saha ve laboratuvar çalışmaları sırasında kullanım kolaylığı sağlaması için, ısı algılayıcı proplar ile döner elektrik iletim elemanı arasında ve döner elektrik iletim elemanı ile elektrik devreleri arasında kolayca sökülüp takılabilen bağlantılar kullanılmıştır. Böylece sızdırmaz kap ve devreler ayrı olarak taşınabilmektedir.

Sistem içerisinde sıcak ve soğuk suyun dolaştırılması amacıyla çeşitli hortum ve bağlantı elemanları kullanılmıştır (Şekil 5.8). Hortumlar 10 bar basınca kadar sızdırmaz bir şekilde çalışabilmekte ve bağlantı elemanlarına kolayca takılıp çıkarılabilmektedir.

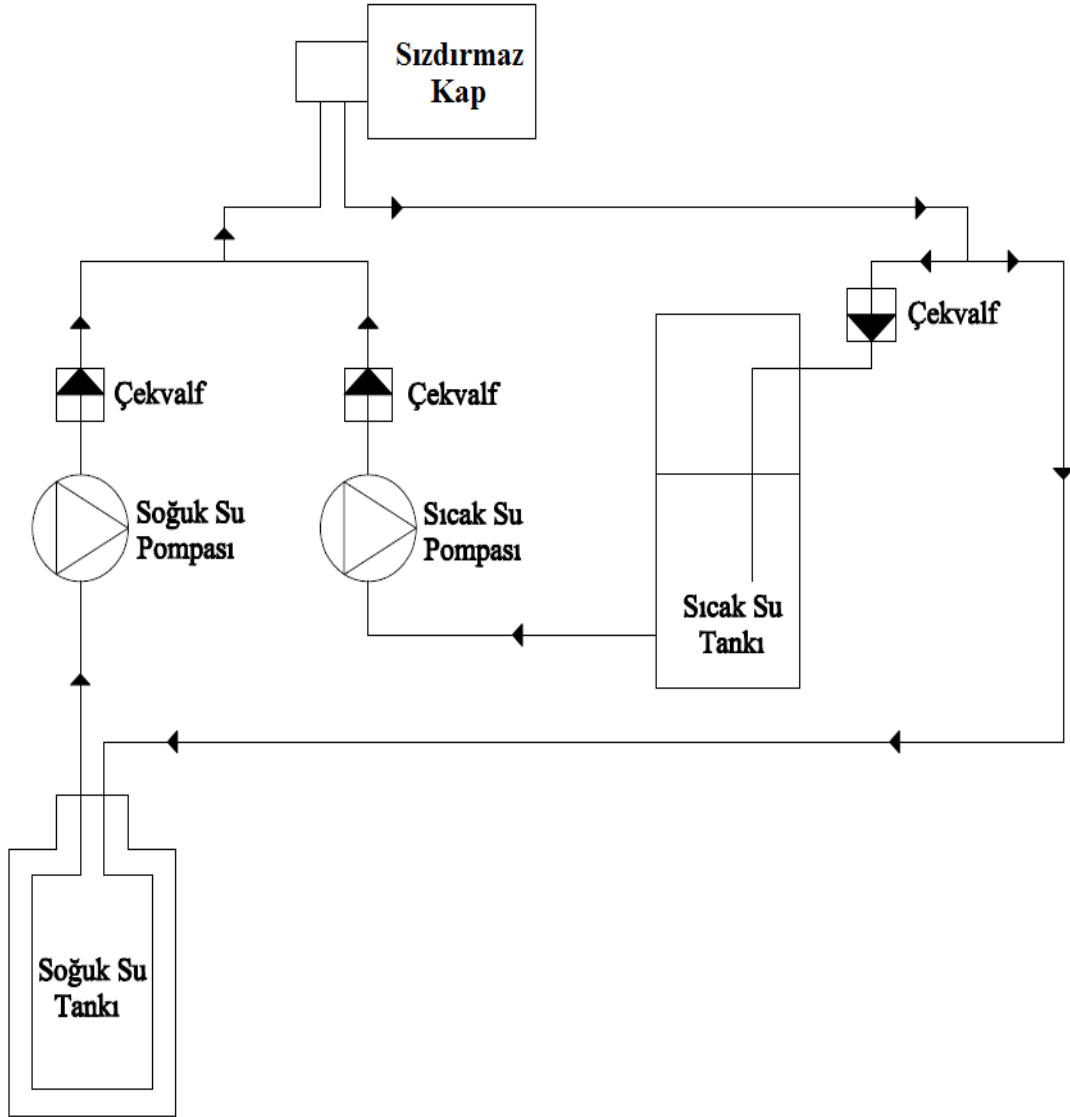


Şekil 5.8. Hortum ve bağlantı elemanları.

Sıcaklık kontrol sistemi sızdırmaz kap içerisindeki sıcaklığa bağlı olarak sıcak veya soğuk su pompalarını otomatik devreye almaktadır. Sadece elektrik devreleri üzerinde bulunan

düğmeler kullanılarak istenen sıcaklık değerini belirlemek yeterli olmaktadır. Sistem ayarlanan sıcaklığa ulaşıncaya kadar ilgili pompayı çalıştırmaktadır. İstenen sıcaklık değerine ulaşıldığında pompa durmakta, sıcaklık değiştiğinde tekrar ilgili pompa sistem tarafından çalıştırılmaktadır.

Sıcaklık kontrol sisteminde kullanılan hidrolik akım devresi Şekil 5.9'da görülmektedir. Sistem ısıtma yapacağı zaman elektrik devreleri tarafından sıcak su pompası çalıştırılmaktadır. Sıcak su haznesinden pompa vasıtasıyla çekilen su sızdırmaz kap etrafında bulunan bakır serpantin borulara basılmaktadır. Sıcak su ısını kaba vermekte ve sonra tekrar sıcak su haznesine gelerek ısınmaktadır. Sistem soğutma yapacağı zaman soğuk su pompası devreye girmektedir. Soğuk su pompası hortumlar içerisindeki suyu dolaştırmak için kullanılmaktadır. Kullanılan çekvalfler sayesinde, soğutma sırasında sıcak su haznesinden veya sıcak su pompasından su çekilmemektedir. Soğuk su tankına da herhangi bir su giriş-çıkışı olmamaktadır. Hortumlar soğuk su tankı içerisinde dolaştırılarak ısı değiştirici şeklinde çalışması sağlanmıştır. Sistemde dolaştırılan su sızdırmaz kap etrafındaki bakır serpantin borulardan geçerken kabın ısını almaktadır. Daha sonra soğuk su tankı içerisindeki hortumlardan geçerken ısını soğuk su tankına vererek tekrar soğumaktadır. Eğer soğuk su tankında bulunan su, gerektiği kadar ısı çekemezse soğuk su tankına buz veya soğuk su ilave etmek yeterli olmaktadır.

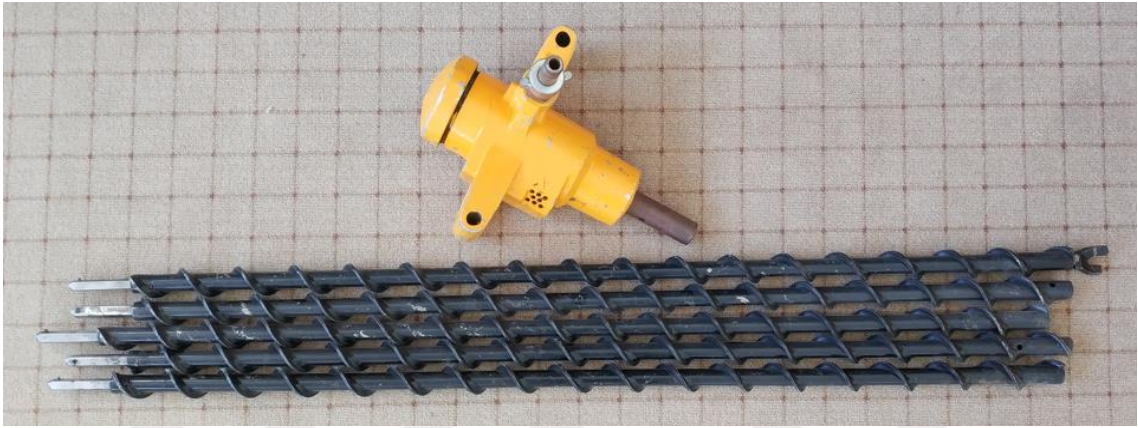


Şekil 5.9. Sıcaklık kontrol sistemi hidrolik akım devresi.

5.4. Numunelerin Elde Edilmesinde Kullanılan Makine ve Aparatlar

Kömür damarı gaz içeriği belirleme çalışmalarında kullanılan örnekler farklı şekillerde elde edilebilmektedir. Yeryüzünden yapılan sondajlarla alınan karot numuneler, yeraltında kömür damarı aynasından alınan parça halindeki numuneler ve ayna yüzeyinden damar doğrultusunda yapılan sondajlarla alınan karot halindeki veya kırıntı halindeki kömür numuneleri gaz içeriği belirleme çalışmalarında kullanılabilir (Australian Standard, 2016; Bertard, vd., 1970; Özer, vd., 2015). Çalışma kapsamında, yeraltında kömür yüzeyinden damar doğrultusunda yapılan sondajlarla alınan 55 mm çapında karot numuneleri kullanılmıştır.

Yeraltı kömür ocağında çalışmaya uygun anti-grizu özellikli basınçlı hava ile çalışan bir kömür delici kullanılmıştır (Şekil 5.10). Çizelge 5.2’de kömür delici makineye ait teknik özellikler verilmiştir. 1,20 m uzunluğunda birbirine eklenebilen spiral şekilli burgular ile makine kömür içerisinde 15 m derinlikte delikler delebilmektedir. Sertleştirilmiş çelikten imal edilen 45 mm çapında bir delici uç en öndeki burgunun ucuna takılmakta ve delikler delinmektedir. Burguların içerisinde delik dibine hava veya su iletimi sağlanamamaktadır. Oluşan kırıntılar burgular üzerindeki spiraller aracılığıyla delik dışına taşınmaktadır.



Şekil 5.10. Kömür delici makine ve spiral burgular.

Çizelge 5.2. Kömür delici makine teknik özellikleri.

Parametre	Değer
Kömürde delme çapı	45 mm
Delme derinliği	Maks. 15 m
Boy	280 mm
En	130 mm
Yükseklik	264 mm
Ağırlık	10,4 kg
Delme motoru gücü	5 HP
Çıkış devri	700 devir/dakika
Çalışma basıncı	4-6 bar
Hava sarfiyatı	2-6 m ³ /dakika
Tij (spiral burğu)	0.80-1.20-1.60-2.0-2.40 m

Kömür delici normalde sadece delik delmede kullanılan bir makine olduğundan dolayı karot numune almaya uygun hale getirebilmek adına bazı değişiklikler yapılmıştır. Öncelikle alınması istenen karot çapı 55 mm olduğundan dolayı makinenin bu işlem için uygun çapta delikler açıp açamayacağı yeraltında yapılan denemelerle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu denemelerde Şekil 5.11’de görülen 65 mm çaplı 3 kanatlı delici uç kullanılmıştır. Kömür delici makineye takabilmek adına, delici uç kaynaklı bağlantı ile spiral burguya monte edilmiştir. Yapılan denemeler sonunda makinenin kömür içerisinde 65 mm çapında delikler açmak için yeterli güçte olduğu tespit edilmiştir. Ancak kırıntıların uzaklaştırılması konusunda yetersiz kaldığından dolayı ilerleme çok yavaş olmuş ve delici ucun da aşırı ısındığı görülmüştür. Karot numune alma işlemi sırasında da aynı durumun ortaya çıkması sonucu yüksek ısının kömürden yayılan gaz miktarını yani dolayısıyla ölçülemeyen kayıp gaz miktarını artıracığı ve deneylerdeki hata oranını arttıracığı düşünülerek kömür delici makineyle sulu delik delinmesine imkan tanıyacak bir tasarım yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.11. Spiral burguya kaynak ile birleştirilmiş 65 mm çaplı 3 kanatlı delici uç.

Delik dibine gönderilecek suyun makine içerisinde sisteme verilmesi zor olacağından dolayı suyun doğrudan tijler içerisine verilmesi kararlaştırılmıştır. Bunu sağlayabilmek için tijler ile kömür delici arasına yerleştirilebilecek bir aparat tasarımı yapılmış ve imal edilmiştir. İmalatı yapılan aparat kömür deliciden gelen dönme hareketini tijlere doğrudan iletmektedir. Aparatın yan tarafında bulunan su girişine hortum bağlantısı yapılarak buradan verilen su delik dibine ulaşmaktadır. Ayrıca, spiral burgular içinden su veya hava iletebilecek özellikte olmadığından dolayı 5 adet 1 m uzunluğunda, birbirlerine manşonlar aracılığıyla eklenebilen tijler kullanılmıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Sulu sondajda kullanılan aparat, tijler ve karotiyer.

Karot halinde numune alabilmek için öncelikle Şekil 5.12’de görülebilen yeşil renkli karotiyer kullanılmıştır. Yeraltında kömür damarında yapılan denemeler sonucu karot numune almada başarılı olunmuştur. Ancak karotiyerin delici soket yapısından dolayı ilerleme çok yavaş olmuştur. Sürenin uzaması hem kayıp gaz zamanını arttırması yönünden hem de kömür delicinin el ile kullanılan bir makine olmasından dolayı sorun oluşturmuştur. Daha hızlı delik delinmesine imkan sağlayacak farklı delici soket tasarımına sahip bir karotiyer kullanılması zorunlu olmuştur. Karot alma işlemi için yumuşak zeminde kullanıma uygun iç çapı 55 mm, dış çapı 65 mm olan 50 cm uzunluğunda, sökülerek içindeki karotun kolaylıkla çıkarılabilmesine olanak sağlayan iki adet karotiyer özel olarak imal edilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Yumuşak zeminde kullanıma uygun özel imal edilen karotiyer.

5.5. Gaz Analizinde Kullanılan Cihaz ve Yöntemler

Kömür damarı gaz içeriği belirleme deneylerinde, çıkan gazdan numuneler alınmakta ve yapılan analizlerle hangi gazlardan ne miktarda içerdiği belirlenmektedir (Australian Standart,

2016). Çalışma kapsamında, kömür numunelerinden elde edilen gazın hacimsel olarak hangi oranlarda metan ve karbondioksit gazı içerdiğinin belirlenmesi planlanmıştır. Bu amaçla, gaz örneği alabilmek için sızdırmaz kap ile su ölçüğü arasına cam malzemeden imal edilmiş 100 ml hacimli ve teflon musluklu bir gaz numune alma pipeti koyulmuştur (Şekil 5.14). Alınan gaz numunesi, gaz kromatografisi yöntemi ile analiz edilmek üzere, muhafazalı bir kutu içerisinde Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne gönderilmiştir. Yapılan gaz analizi sonucunda numunede metan gazına rastlanmamıştır. Analiz sonucu değerlendirildiğinde gaz numune alma pipetlerinin yeterli sızdırmazlığı sağlayamadığı düşünülmüştür. Bundan dolayı gaz numunelerinin farklı bir yöntemle analiz edilmesine karar verilmiştir.



Şekil 5.14. 100 ml hacimli teflon musluklu gaz numune alma pipeti.

Elde edilen gaz örneklerinin uzak bir mesafeye taşınması veya uzun bir zaman boyunca bekletilmesi sonucunda sızıntı riskinin artmasından dolayı, gaz numunelerinin yerinde analiz edilmesine olanak sağlayacak bir yöntem araştırılmıştır. Yeraltı kömür işletmelerinde kullanılan mobil gaz ölçüm dedektörlerinin bu amaçla kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tahlisiye Merkezi'nde bulunan Drager X-am 5600 mobil gaz ölçüm dedektörü gerekli izinler alınarak gaz analizi çalışmalarında kullanılmıştır (Şekil 5.15). Cihaz, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), oksijen (O₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve karbon monoksit (CO) olmak üzere 5 farklı gazın ölçümünü aynı anda yaparak değerleri ekranda gösterebilmektedir. Ayrıca cihaz opsiyonel harici pompası sayesinde 20 metreye kadar uzunlukta hortumlarla çalışabilmektedir. Çizelge 5.3'te cihazın teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 5.15. Dräger X-am 5600 mobil gaz ölçüm dedektörü ve opsiyonel harici pompası.

Çizelge 5.3. Dräger X-am 5600 mobil gaz ölçüm dedektörü teknik özellikleri.

Sensör	Ölçüm Aralığı	Çözünürlük	Tepki Süresi
DrägerSensor İkili IR Ex/CO ₂	Hacimce %0-100 LEL	%1 LEL	20 sn
	Hacimce %0-100 Metan	Hacimce %0,1 CH ₄	20 sn
	Hacimce %0-5 CO ₂	Hacimce %0,01 CO ₂	20 sn
DrägerSensor XXS O ₂	Hacimce %0-25	Hacimce % 0,1	10 sn
DrägerSensor XXS CO	0 – 2000 ppm	1 ppm	25 sn
DrägerSensor XXS H ₂ S	0 – 100 ppm	1 ppm	15 sn

5.6. Numunelerin Kısa Analizinde Kullanılan Cihazlar

Kömür numunelerinin içerdiği nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarlarını tespit etmek üzere Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Cevher Hazırlama Laboratuvarı'nda bulunan etüv ve kül fırını kullanılmıştır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Kömürlerin kısa analizlerinde kullanılan kül fırını ve etüv.

5.7. Deneyleerde İzlenen Yöntem

Australian Standard (2016), kömür damarlarının gaz içeriğinin doğrudan yöntem ile belirlenmesi konusunu açıklayan bir standarttır. Standart kapsamında, deneylerde kullanılacak kaplar ve ölçüm aparatları hakkında açıklamalar, saha çalışmalarında ve gaz ölçümlerinde takip edilecek adımlar ve dikkat edilmesi gereken noktalar, toplam gaz içeriğinin hesaplanması ve raporlanması gibi bilgiler yer almaktadır. Çalışma kapsamında, standartta belirtilen kaplardan farklı olarak tüm ölçümlerin içerisinde gerçekleştirilmesine olanak sağlayan ve farklı kaplar arasında aktarma yapılmasına ihtiyaç bırakmayan ısı kontrollü yeni bir sızdırmaz kap tasarımı yapılmıştır. Standartta belirtilen hususlar, yeni tasarlanan sızdırmaz kap ile uygulanabilecek şekilde uyarlanmış ve deneyler standarda uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, kömür damarından alınan kömür numunesinin vakit kaybetmeden sızdırmaz bir kap içerisine konulması ve kömürden yayılan gazın ölçülmesi prensibine dayanan doğrudan yöntem uygulanmıştır. Doğrudan yöntemle gaz içeriği belirleme deneyleri de kendi içinde “hızlı desorpsiyon” ve “yavaş desorpsiyon” olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilmektedir. Yavaş desorpsiyon yönteminde, yayılan gaz (Q_2) miktarı belirlenirken, desorpsiyonun tamamen sonlanması veya çok düşük seviyelere inmesi beklenmektedir. Hızlı desorpsiyon yönteminde ise yayılan gaz (Q_2) miktarı, kayıp gaz miktarını belirlemeye yetecek kadar bir süre ölçülmekte ve sonrasında kalıntı gaz belirleme aşamasına geçilebilmektedir (Australian Standard, 2016). Çalışma kapsamında, doğrudan yöntem ve hızlı desorpsiyon metodu uygulanmıştır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

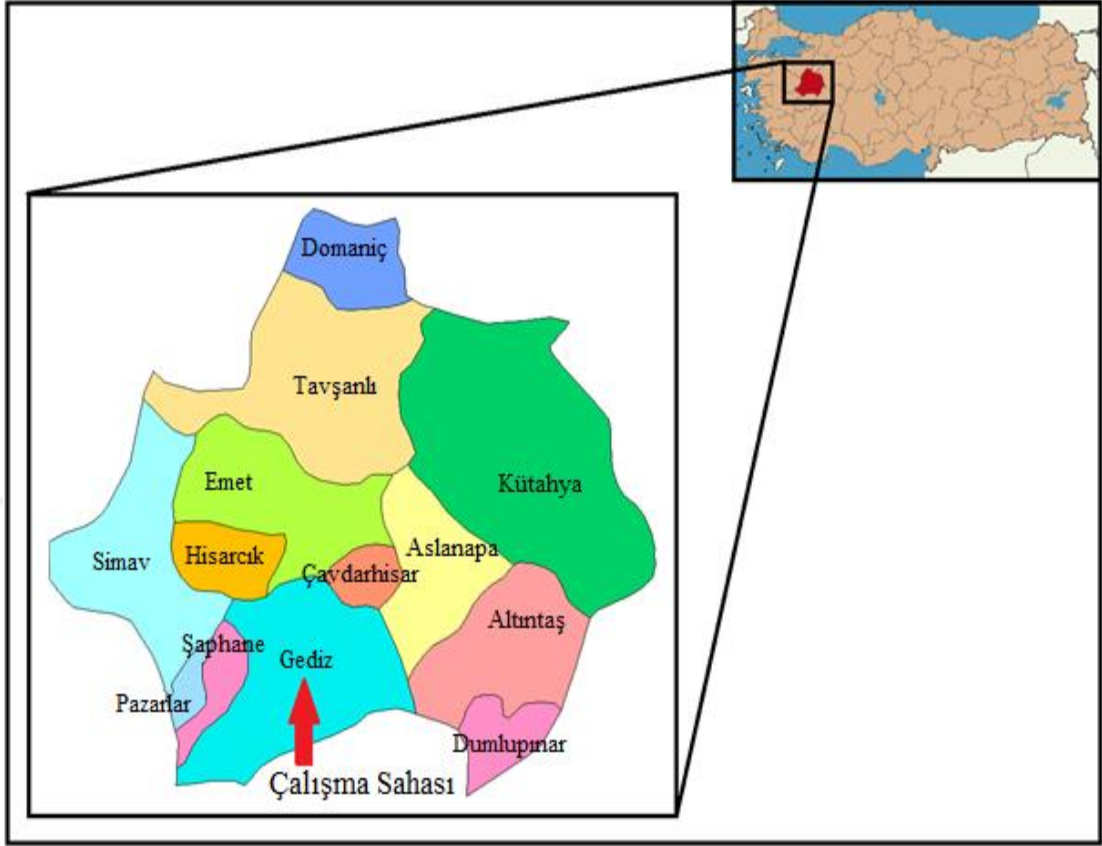
6.1 Çalışma Sahası ve Genel Jeolojisi

Gediz kömür bölgesi, Kütahya iline bağlı Gediz ilçesinin hemen doğusunda Ayçatı-Sazköy-Gökler arasında tersiyer formasyonları içeren dar bir bölgedir. Bölgede özel sektör tarafından yeraltı işletmeciliği yöntemiyle üretim yapılmaktadır ve bölgenin toplam rezervi yaklaşık 15 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Kömürlerin rengi gri-kahverengimsi siyahtan parlak siyaha kadar değişmektedir (Kural O, 1991:310).

Gediz yöresindeki kömürlerde yapılan bazı araştırmalar, bölge kömürlerinin çok iyi kaliteli linyit olduğunu ortaya koymuştur. Koklaşma yetenekleri zayıf olan Gediz bölgesi linyitleri ortalama olarak %4-10 nem, %20-25 kül, %3-6 kükürt ve %25-40 uçucu madde içermekte olup, alt kalorifik değeri 5800-6000 kcal/kg dır. Yıkandıktan sonra uçucu madde içeriği ve kalorifik değeri yükselen bu kömürler ASTM sınıflandırmasına göre değerlendirilecek olursa yarı-taşkömürü (subbitümlü) sınıfına dahil edilebilir (Ateşok, 1986:48-49).

Çalışma kapsamında, kömür numuneleri Cengiz Madencilik İTH. İHR. SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ. firmasına ait yeraltı kömür işletmesinden alınmıştır. Firma tarafından 2 adet yeraltı kömür damarında üretim yapılmaktadır. Deneyleerde kullanılmak üzere bu damarlardan toplam 9 adet örnek alınmıştır. Çalışma sahası Kütahya ilinin güneydoğusunda yer alan Gediz ilçesine bağlı Gökler beldesi sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 6.1). Uşak ve Kütahya üzerinden ilçeye ulaşım sağlanabilmektedir (Darıcı, 2014).

Çalışma alanında temel, Mesozoyik yaşlı rekrystalize kireçtaşları, şist ve ofiyolitik kayalardan oluşmaktadır. Genel olarak havzada iki damar görülmekte ancak havzanın güneyinde üçüncü damara da rastlanmaktadır. Üçüncü damar (Alt Damar) 0,60-0,90 m arasında kalınlığa sahiptir. Kalınlığı 1,20-1,40 m arasında değişmekte olan Orta Damar (Küçük Damar) ara kesmesizdir. Orta Damar'ın tabanında yeşil renkli kil, tavanında 3-4 m kalınlıkta serisitli kumtaşları ve bunların üzerinde de kalınlığı 2,00-8,00 m arasında değişmekte olan Üst Damar (Büyük Damar) yer almaktadır. Üst Damar tavanında 1,00-1,50 m'lik siyah kil, ince taneli kumtaşları kıltaşı bantlı olarak sıralanır. 50-250 m arasında kalınlığa sahip Miyosen üzerinde Pliyosen yaşlı birimler yer almaktadır. En üstte ise kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri bulunmaktadır (Darıcı, 2014). Şekil 6.2'de çalışma sahasına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit görülmektedir.



Şekil 6.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Ayrıca yapılan yeni tasarımı farklı bir damardan alınmış kömür numunelerinin gaz içeriği ölçümünde kullanabilmek adına Kütahya'nın Tavşanlı ilçesi Tunçbilek Bölgesi'nde faaliyetlerini sürdürmekte olan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Garp Linyitleri İşletmesi'ne başvurularak numune alımı için gerekli izinler alınmıştır. Park Teknik Elektrik Madencilik Turizm San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilmekte olan İğdekuzu Yeraltı Kömür Ocağı'ndan 2 adet numune alınarak gaz içeriği belirleme çalışmaları yapılmıştır. Tunçbilek havzasının temel kayaçlarını Paleozoyik yaşlı metamorfik şistler ile kristalize kireçtaşları ve mermerler oluşturmaktadır. Bu birimler üzerinde ise Kretase yaşlı ultrabazik kayaçlar ve radyolaritler yer almaktadır. Paleosen'de granit sokulumu görülmekte olup, bu granit sokulumu tüm eski kayaçları kesmektedir (Beyhan, 2008). Formasyon başlıca kömür, kıltaşı, marn, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, tuf ve kireçtaşından oluşmaktadır. Havzada 7-15 m kalınlıklarda ekonomik olarak işletilebilir linyit damarı bulunmaktadır.

				ÜST SİSTEM	AÇIKLAMALAR		
				SİSTEM	SERİ	LİTOLOJİK BİRİM (Kalınlık)	
MESOZOYİK	S E N O Z O Y İ K	T E R S İ Y E R	N E O J E N	KUVATERNER		?	
				M İ Y O S E N	ALT - ORTA	ÖRTÜ BİRİMİ	0-200
					ORTA	KÖMÜRLÜBİRİM	50-250
				TEMEL KAYAÇLAR			
<p>Alüvyon Kumtaşı, gri renkli, çapraz tabakalı, bol serisitli DİSKONDANS</p> <p>Konglemera, gri-beyaz renkli, kalın tabakalı, az pekişmiş, kanal dolgulu ve çapraz tabakalı kumtaşı, kıltaşı, kıraçtaşı ara tabakalı</p> <p>DİSKORDANS Kıraçtaşı; sarı-beyaz renkli, çatlaklı, fosilli</p> <p>Kumtaşı-kıltaşı; gri renkli, jips ara bantlı</p> <p>Kumtaşı; sarımsı-kahverenkli, ince tabakalı Kıltaşı; yeşilimsi renkli</p> <p>kıltaşı; gri renkli, bol serisitli</p> <p>Kömür (Büyük Damar) Kıltaşı Kömür izli killi kireçtaşı Kömür (Küçük Damar) Kumtaşı-kıltaşı; gri-yeşil renkli, yer yer çakıllı Konglomera; kırmızı renkli, polijenik bileşenli DİSKORDANS</p> <p>Rekristalize kireçtaşı, şist, ofiyolit</p>							

Şekil 6.2. Genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Darıcı, 2014).

6.2. Numunelerin Alınması

Kömür damarı gaz içeriği belirlenmesi amacıyla alınan kömür numunelerinin mümkün olduğunca bütün halde olması kayıp gaz oranını azaltmaktadır. Kırıntı halindeki kömür örneklerinin yüzey alanının fazla olması nedeniyle, sızdırmaz kap içerisine alınmaya kadar kaybettiği ve ölçülemeyen kayıp gaz miktarı fazla olmakta ve hata oranını arttırmaktadır. Bu nedenle, 55 mm çapında karot halindeki numuneler ile çalışılmasına karar verilmiştir.

Kömür örnekleri, çalışılmakta olan kömür damarı yüzeyinden içeri doğru damar doğrultusunda yapılan sulu sondajlarla alınmıştır. Sondaj sırasında basınçlı hava ve su akışında meydana gelen değişimler ve büyük çaplı delik delinmesi nedeniyle kömür delici gücünün yetmeyebileceği düşünülerek, kömür örnekleri 1,5-2,5 m arasındaki derinliklerden alınmıştır. Sondajlar kademeli olarak yapılmıştır. Öncelikle kömür numunesinin alınacağı derinliğe kadar 45 mm delici uç ve spiral burgular kullanılarak bir delik açılmıştır. Sonra sulu delik delinmesine imkan tanıyan aparat ve 65 mm çaplı üç kanatlı delici uç kullanılarak delik çapı genişletilmiştir. Son olarak özel imal edilmiş karotiyer kullanılarak delik dibinden 50 cm ilerleme ile karot alınmıştır. Karotiyer ile delme işleminin başladığı an, kayıp gaz miktarının belirlenmesinde kullanılmak üzere sıfır zamanı (t_0) olarak kaydedilmiştir. İşlem tamamlandığında karotiyer hemen delik dışına alınıp sökülerek içerisindeki kömür parçaları çıkarılmıştır. Kömür damarının kırıklı ve çatlaklı yapısı nedeniyle düzgün silindirik şekilli tek parça halinde karot numune alınması mümkün olmamıştır. Karotiyer içinden çıkan en büyük boyuta ve en fazla temiz kömür oranına sahip parçalar hızlıca seçilmiş ve yüzey nemi alınarak sızdırmaz kap içerisine yerleştirilmiştir. Karotiyer içerisinden çıkan kömür parçaları Şekil 6.3'te görülebilmektedir.



Şekil 6.3. Kömür damarından karotiyer aracılığıyla elde edilen kömür numuneleri.

Sondaj sırasında yeraltında bekletilen sızdırmaz kap içerisine yerleştirilen bir termometre ile sızdırmaz kap içi sıcaklık belirlenmiştir. Kömür numuneleri kap içerisine yerleştirileceği zaman termometre kaptan çıkarılarak sıcaklık değeri kaydedilmiştir. İçerisinde öğütücü bilye ve çubukların bulunduğu kap içine kömür örneklerinin yerleştirilmesinin ardından, hızlıca kapağın oturtulacağı yüzey temizlenmiş ve kapak yerine yerleştirilmiştir. Vida somun bağlantıları sıkılarak kapak sızdırmaz bir şekilde kapatılmıştır. Ardından gaz çıkışında yer alan vana da kapatılarak kapanma zamanı, ortam sıcaklığı ve ortam basıncı kaydedilerek, kayıp gaz ölçümlerini yapmak üzere sızdırmaz kap hızlıca yeryüzüne taşınmıştır.

6.3. Kayıp Gaz (Q_1) Ölçümü

Kayıp gaz miktarını belirlemek için ilk ölçümlerden elde edilen veriler kullanılmaktadır. Belli aralıklarla en az 10 ölçüm alınması ve bu süre boyunca vananın açık olarak tutulması önerilmektedir (Australian Standard, 2016). İlk ölçümlerden elde edilen veriler bir grafik haline getirilerek kayıp gaz miktarı tahmin edilebilmektedir (Kissell vd., 1973).

Sızdırmaz kap kapatıldıktan sonra vakit kaybetmeden yeryüzüne taşınarak sıcaklık kontrol sistemine bağlanmış ve 30 °C sabit sıcaklığa getirilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçümler

10-20 dakika zaman aralıklarında ve en az bir saat süre boyunca yapılmıştır. Her ölçüm alındığı anda, zaman, su ölçөгindeki gaz miktarı, sızdırmaz kap içi sıcaklık, ortam sıcaklığı ve ortam basıncı kaydedilmiştir. Yeterli ölçüm alındıktan sonra sızdırmaz kabın üzerindeki gaz çıkışına izin veren vana kapatılmıştır. Tüm sistem, yayılan gaz ölçümlerine devam etmek üzere Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'na taşınmıştır.

6.4. Yayılan Gaz (Q_2) Ölçümü

Çalışma kapsamında uygulanan hızlı desorpsiyon metoduna göre, kayıp gaz miktarını belirlemeye yetecek kadar bir süre ölçüm alındıktan sonra istenilen anda kalıntı gaz belirleme aşamasına geçilebilmektedir. (Australian Standard, 2016). Sistem laboratuvara getirildikten sonra tekrar sıcaklık kontrol sistemine bağlanmış ve 30 °C sabit sıcaklığa getirilmiştir. Sızdırmaz kap içinde bulunan kömürün nakliye süresi boyunca desorbe ettiği gaz miktarını belirlemek adına vana açılarak ölçüm alınmıştır. Sonrasında ise kalıntı gaz belirleme aşamasına geçilmiştir.

6.5. Kalıntı Gaz (Q_3) Ölçümü

Kömür örneğinin içinde mevcut bulunan tüm gazın desorbe olması için öğütme yapılmakta ve kalıntı gaz miktarı belirlenmektedir. Kömür numunesinin %95 lik bölümünün -212 µm boyuta öğütülmesi sonucunda desorbe olan gaz miktarı ölçülerek tespit edilmektedir (Australian Standard, 2016).

Sızdırmaz kap, içerisinde mevcut bulunan öğütücü ortam sayesinde kapağın açılmasına gerek kalmadan öğütme işlemini gerçekleştirebilmektedir. Kap içerisinde bulunan öğütücü ortam tasarım sırasında yapılan deneylerle belirlenmiş ve Çizelge 6.1'de sunulmuştur. Sızdırmaz kap, laboratuvarında bulunan değirmen döndürme ünitesi üzerine konularak sıcaklık kontrol sistemine bağlantısı yapılmıştır. Tasarım aşamasında yapılan deneylerde öğütme süresi olarak 360 dakikalık bir sürenin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Ancak sondajlarla alınabilen örneklerin daha küçük boyutlarda olması nedeniyle daha kısa sürede gaz çıkışının bittiği yani öğütmenin tamamlandığı gözlenmiştir. Bu nedenle kalıntı gaz ölçümleri 150 dakikalık bir süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Öğütme süresince sızdırmaz kap 75 devir/dakika hızda döndürülmüştür.

Çizelge 6.1. Sızdırmaz kap içerisinde bulunan öğütücü ortam.

	Çubuklar		Bilyeler			
Çap (mm)	24	18	30	25	20	15
Adet	1	5	25	25	70	90

Sızdırmaz kap üzerindeki döner akışkan iletim parçası sayesinde, dönme hareketi sırasında da kap içerisinden gaz çıkışı devam etmiştir (Şekil 6.4). Gaz çıkışını kontrol eden vana öğütme süresince açık kaldığından dolayı sızdırmaz kap içerisindeki basınç yükselmelerinin önüne geçilmiştir. Ayrıca döner elektrik iletim elemanı sayesinde kap içi sıcaklık değeri devamlı olarak kontrol edilmiştir. Sıcak ve soğuk su pompaları, otomatik olarak devreye girerek sızdırmaz kap içerisindeki sıcaklığın 30 °C de sabit tutulmasını sağlamıştır. Gaz çıkışını kontrol eden vana ile su ölçeği arasına, puar kullanılarak kurulan bir pompa düzeneği konulmuştur. Bu düzenek sayesinde 1000 ml hacimden fazla gaz çıkışı olursa ölçümlerin aksamaması için gazın bir kısmı su ölçeği dışına (gaz örnekleme torbaları içerisine vb.) alınabilmektedir. Öğütme için gerekli süre tamamlandığında kömürden yayılan gaz miktarı, sızdırmaz kap içi sıcaklık, ortam sıcaklığı ve ortam basıncı kaydedilmiştir.



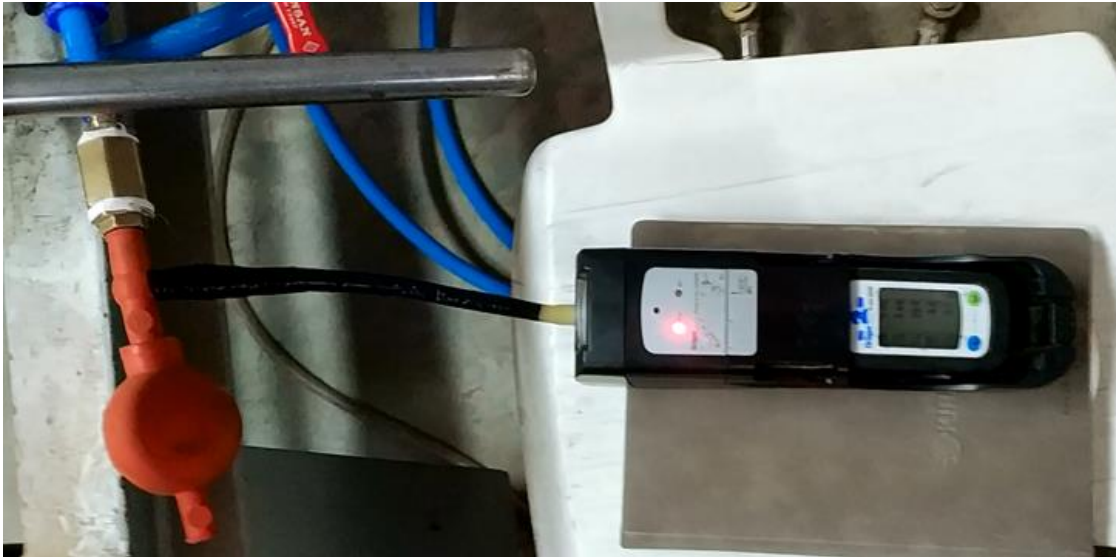
Şekil 6.4. Kalıntı gaz miktarının belirlenmesi.

6.6. Kömürden Yayılan Gazların Analizi

Kömür damarından alınan örneklerden zamana bağlı olarak farklı gazlar yayılabilmektedir. Desorpsiyonun ilk aşamasında yayılan gaz ve öğütme işlemi ile ortaya çıkan

kalıntı gaz farklı kompozisyona sahip olabilmektedir. Hızlı desorpsiyon metodu uygulandığında, kalıntı gaz miktarı (Q_3), yayılan gaz (Q_2) miktarına göre karakteristik olarak daha dikkate değerdir (Australian Standard, 2016). Bu nedenle çalışma kapsamında yapılacak gaz analizlerinin, öğütme sonucunda elde edilen gaz örnekleri üzerinde yapılmasına karar verilmiştir. Kömür örneklerinden birçok farklı gaz yayılabilmektedir. Ancak çoğunlukla bu gazların büyük bir kısmı metan ve karbondioksit gazları olmaktadır (Diamond ve Schatzel, 1998). Yapılan gaz analizleri ile gaz örneklerinin hacimsel olarak hangi oranlarda metan ve karbondioksit gazı içerdiği belirlenmiştir.

Öğütme işleminin sona ermesiyle, su ölçüğünde biriken gaz puar ile kurulan düzenek aracılığıyla sızdırmaz kap içerisine geri basılmıştır. Birkaç tur çevirmek suretiyle sızdırmaz kap içerisindeki gazın homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Gaz analizi çalışmalarında Drager X-am 5600 mobil gaz ölçüm dedektörü kullanılmıştır. Cihaz opsiyonel harici pompası içine yerleştirilmiş ve pompa ile sızdırmaz kap arasında hortum kullanılarak bağlantı sağlanmıştır (Şekil 6.5). Sızdırmaz kabın vanası açılarak, pompa ile emilen gazın analizi yapılmıştır. Cihazın ekranında görülen değerler, sensörlerin tepki süresine bağlı olarak en başta değişiklik göstermekte ve kısa bir süre içinde sabitlenmektedir. Sabitlenen değerler kaydedilerek kömür örneğinden yayılan gazın içerdiği metan ve karbondioksit gazlarının hacimsel oranları belirlenmiştir.



Şekil 6.5. Öğütme işlemi sonucunda elde edilen kalıntı gaz örneğinin analizi.

6.7. Kömür Örneklerinin Kısa Analizi

Kömür gaz içeriği belirleme çalışmalarında alınan kömür örneklerinin kısa analizleri yapılarak nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon oranları belirlenmektedir. Bu değerler

kullanılarak kömür gaz içeriği, ham (orijinal) bazlı, kuru bazlı, kuru-külsüz bazlı gibi farklı bazlarda ifade edilebilmektedir. Farklı bazlarda elde edilen gaz içeriği değerleri karşılaştırma amaçlı kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında kömür damarının içerdiği gaz miktarı, hem orijinal bazda kömür için hem de kuru ve külsüz bazda kömür için hesaplanarak m³/ton cinsinden ifade edilmiştir. Kısa analizlerde, Ateşok (1986), tarafından önerilen adımlar takip edilerek kömür örneklerine ait nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon oranları belirlenmiştir.

6.7.1. Nem tayini

Yeraltında kömür damarından sondaj ile numune alma aşamasında, spiral burgularla 45 mm çaplı delikler açılırken delik dışına taşınan kırıntılardan kilitli numune poşetleri içine bir miktar örnek alınmıştır. Laboratuvara getirilen örnekler vakit kaybetmeden tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Etüv içerisinde 105 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilen numuneler tekrar tartılarak numunenin içerdiği nem miktarı belirlenmiştir.

Gaz içeriği belirleme işlemlerinin tamamlanmasının ardından sızdırmaz kap içerisindeki numune dışarıya alınarak tartılmıştır. Etüvde 105 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar bekletilen numune tekrar tartılmış ve kuru numune ağırlığı belirlenmiştir. Kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarlarının belirlenmesi amacıyla sızdırmaz kap içerisinden çıkan kömür tozundan örnek alınmıştır.

6.7.2. Kül tayini

Sabit tartım yapabilmek için kül fırınına konulup 750 °C'de 2 saat bekletildikten sonra yarım saat desikatörde soğutulan ve darası alınan krozelerin içine nemi alınmış kömür numuneleri konularak tartılmıştır. Kül fırınında 750-850 °C'de 2 saat bekletildikten sonra yarım saat desikatörde soğutularak tekrar tartım alınmıştır. Elde edilen kül ağırlığının, krozeye konulan kömür numunesinin ağırlığına oranından kül miktarı belirlenmiştir.

6.7.3. Uçucu madde tayini

Darası alınan krozelerin her birine kuru kömür numunesinden yaklaşık olarak 1'er gram konulup üzerleri kapakla kapatıldıktan sonra 950 °C'deki kül fırınında 7 dakika bekletilmiştir. Fırından çıkarılan krozeler yarım saat desikatörde soğutulduktan sonra yeniden tartılmış ve aradaki farktan uçucu madde miktarı belirlenmiştir.

6.7.4. Sabit karbon tayini

Sabit karbon miktarı doğrudan ölçülememekte ve daha önce bulunan değerler kullanılarak hesaplanmaktadır. 100'den nem, kül ve uçucu madde yüzdeleri çıkarılarak sabit karbon yüzdesi belirlenmiştir.

6.8. Standart Sıcaklık ve Basınç Dönüşümleri

Gazların hacmi, sıcaklık ve basınç farklılıklarına bağlı olarak büyük oranlarda değişiklik göstermektedir. Kömür damarı gaz içeriği belirleme çalışmaları sonucunda elde edilen değerlerin hangi sıcaklık ve basınç değerlerinde tespit edildiği mutlaka verilmelidir. Başka çalışmalarla karşılaştırılabilmesi açısından, genellikle gaz içeriği değerleri standart sıcaklık ve basınç (20 °C ve 101325 Pa) koşullarında ifade edilmektedir (Austalian Standard, 2016).

Belirli bir anda sistemin tüm boşluklarında bulunan gazların standart koşullarda sahip olduğu hacim Eşitlik 6.1 ile verilen matematiksel formül kullanılarak belirlenmektedir (Austalian Standard, 2016).

$$V_i = \frac{293,1}{101,3} \left(\frac{V_b}{t_b+273,1} + \frac{V_t}{t_t+273,1} + \frac{V_{ci}}{t_c+273,1} \right) P_i \quad (6.1)$$

Burada;

V_b = sızdırmaz kap içi boşluk hacmi (tüm malzemelerin hacmi çıkarıldıktan sonraki boşluk) (cm³)

V_t = bağlantı hortumları ve aparatlarının iç hacmi (cm³)

V_{ci} = su ölçeği içindeki anlık boşluk hacmi (cm³)

P_i = sistem içi anlık mutlak basınç (kPa)

t_b, t_t, t_c = sızdırmaz kap, bağlantı hortumları ve su ölçeği sıcaklıkları (°C)

Çalışma kapsamında elde edilen değerlerin dönüşümleri Eşitlik 6.1 kullanılarak yapılmış ve standart sıcaklık ve basınç koşullarındaki gaz içeriği değerleri belirlenmiştir.

6.9. Bulgular

Çalışma kapsamında Kütahya'nın Gediz ve Tavşanlı ilçelerinde bulunan yeraltı kömür işletmelerinden alınan örnekler kullanılarak gaz içeriği ölçümleri, gaz analizleri ve kısa analizler yapılmıştır.

6.9.1. Kömür gaz içeriği ölçüm sonuçları

Sızdırmaz kap içerisine koyulan kömür numunelerinden yayılan gazı tespit etmek amacıyla ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Kayıp gaz miktarını tespit etmek amacıyla işletmede, örneklerin sızdırmaz kap içerisine alınmasının hemen ardından yapılan ölçümlerde veya laboratuvara getirilen örneklerden yayılan gazı belirlemek amacıyla yapılan ölçümlerde herhangi bir gaz çıkışına rastlanmamıştır. Kalıntı gaz miktarını belirlemek amacıyla yapılan öğütme sonucunda kömür örneklerinden yayılan gaz miktarları tespit edilmiştir. Sonuç olarak işletmelerden alınan kömür örneklerinin desorbe olabilir gaz içeriğine sahip olmadığı, yalnızca kalıntı gaz içerdiği belirlenmiştir. Orijinal bazda kömür örneklerinin standart sıcaklık ve basınç koşullarında içerdiği gaz miktarları, gerekli basınç ve sıcaklık dönüşümleri yapılarak hesaplanmış ve Çizelge 6.2’de sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Kömür numunelerine ait gaz içeriği ölçüm sonuçları.

Numune No	Alındığı Yer	Orijinal Bazda Numune Ağırlığı (gr)	Desorbe Olan Toplam Gaz (cm ³)	Gaz İçeriği (m ³ /ton)
Gediz-1	Büyük Damar	451	191	0,42
Gediz-2	Büyük Damar	930	298	0,32
Gediz-3	Büyük Damar	1031	220	0,21
Gediz-4	Büyük Damar	761	338	0,44
Gediz-5	Büyük Damar	1010	234	0,23
Gediz-6	Büyük Damar	1345	420	0,31
Gediz-7	Büyük Damar	1123	300	0,27
Gediz-8	Küçük Damar	960	252	0,26
Gediz-9	Büyük Damar	767	188	0,25
Tunçbilek-1	H-Pano	584	385	0,66
Tunçbilek-2	H-Pano	590	358	0,61

Çizelge 6.2 incelendiğinde orijinal bazda kömür örneklerinin içerdiği gaz miktarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Gediz’de örnek alınan bölgelerdeki kömür damarlarının daha önce üretim yapılmış olan eski imalat bölgelerine yakın olmasının gaz içeriğinin az olmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

6.9.2. Gaz analiz sonuçları

Kalıntı gaz belirleme işleminin sona ermesinin ardından kömürden yayılan gazların analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında metan ve karbondioksit gazlarının birbirlerine göre hacimsel oranları belirlenmiştir. Mobil gaz dedektörü kullanılarak yapılan ölçümler sonucu elde edilen oranlar Çizelge 6.3'te sunulmuştur. Ayrıca kömürden desorbe olan gazın neredeyse tamamının metan ve karbondioksit gazlarından oluştuğu varsayımıyla kömürün içerdiği gaz miktarları m³/ton cinsinden hesaplanarak Çizelge 6.3'te sunulmuştur.

Çizelge 6.3. Gaz analiz sonuçları.

Numune No	Orijinal Bazda Gaz İçeriği (m ³ /ton)	Gaz Bileşimi (%)		Gaz Miktarları (m ³ /ton)	
		CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
Gediz-2	0,32	1,2	98,8	0,004	0,316
Gediz-3	0,21	6,4	93,6	0,014	0,200
Gediz-4	0,44	3,2	96,8	0,014	0,430
Gediz-5	0,23	2,5	97,5	0,006	0,226
Gediz-6	0,31	1,1	98,9	0,003	0,309
Gediz-7	0,27	1,0	99,0	0,003	0,265
Gediz-8	0,26	2,4	97,6	0,006	0,256
Gediz-9	0,25	2,3	97,7	0,006	0,239
Tunçbilek-1	0,66	87,5	12,5	0,576	0,082
Tunçbilek-2	0,61	84,0	16,0	0,510	0,097

Gediz-1 örneğinden alınan gaz numunesinin Ege Üniversitesi'ne gönderilmesi sırasında yaşanan sorun nedeniyle bu örneğe ait gaz analiz değeri sunulmamıştır. Çizelge 6.3 incelendiğinde Gediz bölgesi kömürlerinin büyük oranda karbondioksit gazı içerdiği, Tunçbilek bölgesi kömürlerinin ise büyük oranda metan gazı içerdiği görülmektedir.

6.9.3. Kömür örnekleri kısa analiz sonuçları

Kömür örneklerine ait nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon miktarlarını belirleyebilmek için kısa analizler yapılmıştır. Orijinal kömür örneklerine ait sonuçlar Çizelge 6.4'te sunulmuştur. Kısa analiz sonuçlarının kuru-külsüz bazda değerleri ise Çizelge 6.5'te sunulmuştur.

Çizelge 6.4. Orijinal bazda kömür kısa analiz sonuçları.

Numune No	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)
Gediz-1	6,04	25,76	33,56	34,65
Gediz-2	5,73	17,15	34,27	42,85
Gediz-3	4,69	22,35	32,87	40,09
Gediz-4	9,53	11,15	32,50	46,82
Gediz-5	6,93	20,64	32,10	40,33
Gediz-6	7,65	21,46	31,35	39,54
Gediz-7	5,43	5,75	36,27	52,55
Gediz-8	9,14	13,60	33,40	43,86
Gediz-9	5,82	22,42	31,24	40,52
Tunçbilek-1	10,05	27,33	26,38	36,24
Tunçbilek-2	8,06	12,69	31,85	47,40

Çizelge 6.5. Kuru-külsüz bazda kömür kısa analiz sonuçları.

Numune No	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)
Gediz-1	49,20	50,80
Gediz-2	44,44	55,56
Gediz-3	45,06	54,94
Gediz-4	40,98	59,02
Gediz-5	44,32	55,68
Gediz-6	44,22	55,78
Gediz-7	40,83	59,17
Gediz-8	43,23	56,77
Gediz-9	43,54	56,46
Tunçbilek-1	42,13	57,87
Tunçbilek-2	40,19	59,81

6.9.4. Kuru ve külsüz bazda gaz içeriği sonuçları

Desorbe olabilir gaz içeriğinin kaynağı saf kömür olarak düşünülmektedir (Bertard vd, 1970). Bu nedenle kömür gaz içeriği değerleri kuru ve külsüz bazda kömür için de ifade edilmektedir. Kömür numunelerine ait hem orijinal bazda hem de kuru ve külsüz bazda gaz içeriği değerleri Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Kömür numunelerine ait orijinal bazda ve kuru-külsüz bazda gaz içeriği sonuçları.

Numune No	Orijinal Bazda Gaz İçeriği (m³/ton)	Kuru-Külsüz Bazda Gaz İçeriği (m³/ton)
Gediz-1	0,42	0,62
Gediz-2	0,32	0,42
Gediz-3	0,21	0,29
Gediz-4	0,44	0,56
Gediz-5	0,23	0,32
Gediz-6	0,31	0,44
Gediz-7	0,27	0,30
Gediz-8	0,26	0,34
Gediz-9	0,25	0,34
Tunçbilek-1	0,66	1,05
Tunçbilek-2	0,61	0,77

Sonuçlar incelendiğinde kuru-külsüz bazda gaz içeriği değerlerinin orijinal bazda gaz içeriği değerlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle gaz içeriği değerlerinin hangi bazda kömür için geçerli olduğunun belirtilmesi önemli bir husustur. Yeraltı şartlarında ocak havasına karışması muhtemel gaz miktarı, orijinal bazda kömür için belirlenmiş gaz içeriği miktarıdır.

7. SONUÇ

Ülkemizin çeşitli bölgelerinde bulunan yeraltı kömür kaynaklarının değerlendirilmesi, ülkemiz ekonomisi açısından önemli bir husustur. Emniyet yönünden büyük riskler barındıran yeraltı kömür madencilğinde, gerekli tüm önlemlerin alınması hem yeraltında çalışanların güvenliği hem de ekonomi açısından önemlidir. Özellikle kömür içerisinde doğal olarak bulunan metan gazı emniyet açısından hayati bir öneme sahiptir. Yeraltı kömür damarlarının, iş sağlığı ve güvenliği açısından sorunsuz bir şekilde üretilebilmesi için kömürün içerdiği metan gazı miktarının, maden planlama aşamasında veya üretim devam ederken doğru bir şekilde tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, doğrudan yöntem ile kömür damarları gaz içeriği belirleme çalışmalarında öne çıkan sorunların çözümüne yönelik ısı kontrollü yeni bir sistem tasarımı yapılmış ve yeraltından kömür numuneleri alınarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılanlar ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

1. Kömür damarı gaz içeriğini belirleme amacıyla yapılan kayıp, yayılan ve kalıntı gaz ölçümleri aynı kap içerisinde, kapak açmaya gerek kalmadan başarıyla gerçekleştirilmiş ve farklı kaplara aktarma esnasında oluşan gaz kayıplarının önüne geçilmiştir.

2. Öğütme de dahil olmak üzere tüm ölçüm süreci boyunca kömür numunelerinin sabit sıcaklıkta ve atmosfer basıncında tutulması sağlanmıştır. Böylece desorpsiyon oranına etki edebilecek sıcaklık ve basınç değişikliklerinin önüne geçilerek, yeraltı koşullarına mümkün olduğunca yakın şartlarda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

3. Yeraltı kömür damarından güvenli ve hızlı bir şekilde silindirik karot numuneler alınmasını sağlayan bir sondaj düzeneği tasarlanarak kullanılmış ve mümkün olduğunca büyük boyutlu numuneler alınarak kayıp gaz miktarının azaltılması sağlanmıştır.

4. Orijinal bazda kömür numuneleri kullanılarak yapılan kısa analiz sonuçlarına göre, Gediz bölgesinden alınan örneklerin ortalama %6,77 nem, %17,81 kül, %33,06 uçucu madde ve %42,36 sabit karbon içerdiği, Tunçbilek bölgesinden alınan örneklerin ise ortalama %9,06 nem, %20,01 kül, %29,12 uçucu madde ve %41,82 sabit karbon içerdiği tespit edilmiştir.

5. Kısa analiz değerlerine göre, Gediz bölgesi numunelerinin kuru-külsüz bazda ortalama %43,98 uçucu madde ve %56,02 sabit karbon içerdiği, Tunçbilek bölgesi numunelerinin ise kuru-külsüz bazda ortalama %41,46 uçucu madde ve %58,84 sabit karbon içerdiği belirlenmiştir.

6. Yayılan gaz ölçümleri sırasında gaz çıkışına rastlanmamıştır. Gediz bölgesi numunelerinin ortalama gaz içeriğinin orijinal bazda kömür için 0,30 m³/ton, kuru-külsüz bazda kömür için 0,40 m³/ton olduğu, Tunçbilek bölgesi numunelerinin ortalama gaz içeriğinin ise orijinal bazda kömür için 0,63 m³/ton, kuru-külsüz bazda kömür için 0,91 m³/ton olduğu tespit edilmiştir. Ortalama gaz içeriği değerleri incelendiğinde kömür örneklerinin oldukça düşük miktarda gaz içerdiği belirlenmiştir. Bu nedenle de kayıp ve yayılan gaz olmamasının normal olduğu sonucuna varılmıştır.

7. Yapılan gaz analizi sonuçlarına göre, Gediz bölgesinden alınan kömür örneklerinin metan içeriğinin çok düşük olduğu ve büyük oranda karbondioksit gazı içerdiği tespit edilmiştir. Tunçbilek bölgesinden alınan örneklerde ise büyük oranda metan içeriği belirlenmiş az miktarda da karbondioksit gazı tespit edilmiştir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 117M934 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

ASTM D388-99 (1999). Standard Classification of Coals by Rank. American Society for Testing and Materials International, West Conshohocken PA, 6s.

Australian Standard (2016). Determination of Gas Content of Coal and Carbonaceous Material-Direct Desorption Method, AS 3980:2016, Standards Association of Australia.

Ateşok, G. (1986). *Kömür Hazırlama* (Birinci Baskı). Türkiye: Kurtiş Matbaacılık, 1-50.

Ayers W. B. (2002). Coalbed Gas Systems Resources and Production and a Review of Contrasting Cases From the San Juan and Powder River Basins. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 86(11), 1853-1890.

Bartosiewicz, H., Hargraves, A. J. (1985). Gas Properties of Australian Coal. *Proceedings Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, 290(1), 71-77.

Beamish B. B., Crosdale P. J. (1998). Instantaneous Outbursts in Underground Coal Mines: An Overview and Association With Coal Type, *International Journal of Coal Geology*, 35(1-4), 27-55.

Bertard, C., Bruyet, B., Gunther, J. (1970). Determination of Desorbable Gas Concentration of Coal (Direct Method), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 7(1), 43-65.

Beyhan, S. (2008). G.L.İ. ve E.L.İ. Marn Kaya Malzemelerinin Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 224s.

Crosdale, P. J., Beamish, B. B., Marjorie, V. (1998). Coalbed methane sorption related to coal composition. *International Journal of Coal Geology*, 35, 147-158.

Crosdale, P. J., Moore, T. A., Mares, T. E. (2008). Influence of Moisture Content and Temperature on Methane Adsorption Isotherm Analysis for Coals from a Low-Rank, Biogenically-Sourced Gas Reservoir. *International Journal of Coal Geology*, 76, 166-174.

Dabbous, M. K., Reznik, A. A., Taber, J. J., Fulton, P. F. (1974). The Permeability of Coal to Gas and Water, *Society of Petroleum Engineers Journal*, 14(6), 563-572.

Darıcı, M. (2014). Cengiz Madencilik Kütahya-Gediz-Gökler (ATIL-AL) Kömür Ruhsat Sahasına Ait Jeoloji Raporu, Gediz, Kütahya.

Davidson, R. M., Sloss, L. L., Clarke, L. B. (1995). Coalbed Methane Extraction. *International Energy Agency Coal Research*. (76), 11-16.

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

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Diamond, W. P., Schatzel, S. J., Garcia, F. Ulery, J. P. (2001). The Modified Direct Method: A Solution for Obtaining Accurate Coal Desorption Measurements, *Proceedings of International Coalbed Methane Symposium*, May 14-18, Alabama, 331-342.
- Didari, V., Oskan, M., Barış, K. (2015). TTK Armutçuk Müessesesi Büyük Damar Gaz İçeriğinin Doğrudan Ölçme Yöntemiyle Belirlenmesi. *Madencilik*, 54 (2), 3-12.
- Didari, V., Ökten, G. (1989). Taş Kömürünün İçerdiği Gaz Miktarının Ölçülmesinde Uygulanan Yöntemler. *Madencilik*, 28(1), 17-23.
- Ediz, İ. G. (1991). An Application of Numerical Methods to the Prediction of Strata Methane Flow in Longwall Mining, PhD Thesis, University of Nottingham, England, 160s.
- Ettinger, I. L., Lidin, G. D., Dimitriev, A. M. Zhupakhina, E. S. (1958). Systematic Handbook for the Determination of the Methane Content of Coal Seams from the Seam Pressure of the Gas and the Methane Capacity of the Coal. National Coal Board No: A1606, Moscow.
- Gu, F., Chalaturnyk, R. (2010). Permeability and Porosity Models Considering Anisotropy and Discontinuity of Coalbeds and Application in Coupled Simulation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 74, 113-131.
- Gürdal, G., Yalçın, M. N. (1992). Kömürde Gaz Birikmesini Kontrol Eden Parametreler – Genel Bakış. *Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 307-318.
- Harpalani, S., McPherson, M. J. (1986). Retention and Release of Methane in Underground Coal Workings. *International Journal of Mining and Geological Engineering*, 4, 217-233.
- International Labour Organization (2000), Official Website, www.ilo.org Switzerland.
- Irving, W., Tailakov, O. (2001). CH₄ Emissions Coal Mining and Handling. In: Gillet, M. (Ed), *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Montreal, 129-144.
- Kim, A. G. (1977). Estimating Methane Content of Bituminous Coalbeds from Adsorption Data. *United States Bureau of Mines Report of Investigations 8245*, Washington DC.
- Kissell, F. N., Edwards, J. C. (1975). Two-Phase Flow in Coalbeds. *United States Bureau of Mines Report of Investigations 8066*, 22s.
- Kissell, F. N., McCulloch, C. M., Elder, C. H. (1973). The Direct Method of Determining Methane Content of Coalbeds for Ventilation Design. *United States Bureau of Mines Report of Investigations 7767*, Washington, 17s.
- Kural, O. (1991). Linyit ve Kullanım Alanları. O. Kural (Ed.), *Kömür*. İstanbul, Kurtiş Matbaası, 294-326.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ma, Q., Harpalani, S., Liu, S. (2011). A Simplified Permeability Model for Coalbed Methane Reservoirs Based on Matchstick Strain and Constant Volume Theory. *International Journal of Coal Geology*, 85, 43-48.

Moore, T. A. (2012). Coalbed methane: A review. *International Journal of Coal Geology*, 101, 36-81.

Mordecai, M., Morris, L. H. (1974). The Effect of Stress on the Flow of Gas through Coal Measure Strata, *Mining Engineer*, 33, 435- 443.

Nakoman, E. (1998). *Kömür* (Üçüncü Baskı). Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 57-131.

Nandi, S. P., Walker P. L. (1975). Activated Diffusion of Methane from Coals at Elevated Pressures. *Fuel*, 54(2), 81-86.

Özer, S. C., Ergenekon, Ö. A., Esen, O., Fişne, A. (2015). Zonguldak Taşkömürü Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Belirlenmesi. *MT Bilimsel, Yeraltı Kaynakları Dergisi*, 7, 51-66.

Pillalamarry, M., Harpalani, S., Liu S. (2011). Gas Diffusion Behavior of Coal and Its Impact on Production from Coalbed Methane Reservoirs. *International Journal of Coal Geology*, 86, 342-348.

Saghafi, A., Williams, D. J. Battino, S. (1998). Accuracy of Measurement of Gas Content of Coal Using Rapid Crushing Techniques. *Proceedings of the 1st Australian Coal Operators' Conference*, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 551-559.

Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, (2013). Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği. *Gazete Tarihi / Sayısı: 19.09.2013 / 28770*.

Waechter, N. B., Hampton, G. L. Shipps, J. C. (2004). Overview of Coal and Shale Gas Measurement: Field and Laboratory Procedures. *Proceedings of the 2004 International Coalbed Methane Symposium*, The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama.

Yalçın, E. (1983). An Investigation into the Desorbable Methane Capacities of Zonguldak Coals and the Factors Affecting Methane Adsorption, Master's Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 120s.

Yalçın, E., Durucan, Ş. (1984). Zonguldak Kömürlerinin Açığa Çıkabilen Metan İçerikleri. *Türkiye 4. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, 319-331.

Yalçın, E., Durucan, Ş. (1987). Ampirik Metan Adsorpsiyon Eşitliklerinin Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması. *Türkiye Madencilik ve Bilimsel 10. Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 163-178.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı :ÖZGÜR Ahmet
Doğum tarihi ve yeri :08.04.1989 - BURSA
e-mail :ahmet.ozgur@dpu.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü	15.06.2012
Lisans	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	15.04.2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-...	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Beyhan, S., Özgür, A. (2015). Farklı Su Tipleri ve Donma-Çözülmenin Mermer Dayanımı Üzerinde Etkisi. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 14-17 Nisan 2015, Antalya, Türkiye, 658-662.

Beyhan, S., Özgür, A. (2015). Investigating the anisotropy of rocks depending on the indirect tensile strength. *Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium*, 7-10 October 2015, Austria.

Beyhan, S., Özgür, A. (2017). Doğal Yapı Taşlarının Basınç Dayanımında Örnek Boyutu ve Suyun Etkisi. *Türkiye 9. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi (MERSEM 2017)*, 13-15 Aralık, Antalya, Türkiye.

Beyhan, S., Şensöğüt, C., Özgür, A., YUVKA, Ş. (2018). The Effect of Freeze & Thaw Cycles on Physico-Mechanical Properties of Tuff. *4th International Conference on Engineering and Natural Science*, 2-6 May, Kiev, Ukraine.

Uysal, Ö., Yuvka, Ş., Özdemir, M., Özgür, A. (2016). Bir Taş Ocağında Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi. *8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 13-14 Ekim, Kütahya, Türkiye, 113-117.

