

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESKİŞEHİR – ALPU VE TEKİRDAĞ – ÇERKEZKÖY KÖMÜR
HAVZALARININ GAZ İÇERİĞİ VE BİLEŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl SOYLU

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden İşletme Programı

Haziran 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESKİŞEHİR – ALPU VE TEKİRDAĞ – ÇERKEZKÖY KÖMÜR
HAVZALARININ GAZ İÇERİĞİ VE BİLEŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Anıl SOYLU
505151013**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden İşletme Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah FİŞNE

Haziran 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505151013 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Anıl SOYLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ESKİŞEHİR – ALPU VE TEKİRDAĞ – ÇERKEZKÖY KÖMÜR HAVZALARININ GAZ İÇERİĞİ VE BİLEŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kemal BARIŞ
Bülent Ecevit Üniversitesi



ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasını mümkün hale getiren danışmanım Doç. Dr. Abdullah FİŞNE'ye teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim süresince gerek tez için veriler elde etmemi sağlayan endüstriyel projelerle, gerekse İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Havalandırma ve İş Güvenliği Laboratuvarı'nın sahip olduğu imkanları kullanımına sunması ve çalışmalar sırasında yönlendirmeleri ile danışmanım olarak en büyük desteği sunmuştur. Yine bu tezin hazırlanmasında sayısız emeği olan Havalandırma ve İş Güvenliği Laboratuvarı'nda çalışan diğer araştırmacı arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu süreçte beni manevi yönden destekleyen ve çeşitli yardımlarıyla çalışmalarımı kolaylaştıran aileme ve Arş. Gör. Nuray YERLİ'ye teşekkür ederim.

Haziran 2018

Anıl SOYLU
(Maden Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması	5
2.2 Kömürün Gaz İçeriğinin Oluşumu, Depolanması ve Taşınması.....	9
2.3 Kömürün Gaz İçeriğinin Önemi.....	15
3. YÖNTEM.....	21
3.1 Numunelerin Alınması ve Hazırlanması	21
3.2 Desorbe Olan Gaz İçeriğinin Ölçümü	22
3.3 Kayıp Gaz Miktarı.....	24
3.4 Artık Gaz Ölçümü	25
3.5 Toplam Gaz Miktarı	26
3.6 Gaz Bileşimi Ölçümü	26
3.6.1 Kromatografi ve gaz kromatografisi yöntemleri.....	27
3.6.2 Numunelerin alınması ve cihaza verilmesi	29
3.6.3 Cihaz parametreleri	31
3.6.4 Cihaz kalibrasyonu.....	31
3.7 Numunelerin Kanisterlerden Çıkarılması ve Kısa Kimyasal Analizi	32
3.8 Sondajlar ve Havzaların Yapısı	33
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMELERİ.....	37
4.1 Kısa Analiz Sonuçları.....	37
4.2 Gaz İçeriği Sonuçları.....	38
4.3 Gaz Bileşimi Sonuçları.....	41
4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
Kaynaklar.....	57
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	69



KISALTMALAR

GC	: Gas Chromatography
ppm	: Part Per Million
ppb	: Part Per Billion
TCD	: Thermal Conductivity Detector
FID	: Flame Ionization Detecto



SEMBOLLER

Q_T : Toplam gaz içeriği [cm^3/g]

Q_1 : Kayıp gaz [cm^3]

Q_2 : Yayılan gaz [cm^3]

Q_3 : Artık gaz [cm^3]

M_K : Kanisterdeki kömür ağırlığı [g]

M_A : Öğütülen kömür ağırlığı [g]

α : Kömür gazı içerisinde karbon monoksitin metana oranı

β : Kömür gazı içerisinde karbon dioksitin metana oranı

γ : Kömür gazı içerisinde azotun metana oranı

θ : Kömür gazı içerisinde hidrojenin metana oranı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Kömürün ranklarına göre karbon ve hidrojen oranları (Viswanathan, 2016).....	8
Çizelge 2.2: Gazların kökenini belirten indeksler	13
Çizelge 2.3: Kömür ranklarına göre gaz taşıma kapasiteleri (Zou, 2017).....	15
Çizelge 2.4: Maden havasında karşılaşılan gazlar ve oluşum kaynakları (McPherson, 1993).....	16
Çizelge 2.5: Gaz rezervlerinin karşılaştırılması (Aminian & Rodvelt, 2014)	18
Çizelge 2.6: Kömür yatağı metanı üretimi uygunluğunun belirlenmesi için ölçülmesi gereken özellikler (Aminian & Rodvelt, 2014).....	18
Çizelge 3.1: Gaz kromatografında bulunan kolonların özellikleri	31
Çizelge 3.2: Cihaza yapılan kalibrasyonda kullanılan tüplerin gaz bileşimleri.....	32
Çizelge 4.1: Çerkezköy havzası numunelerinin kısa analiz sonuçları	37
Çizelge 4.2: Alpu havzası bazı kuyuların B damarına ait damar, tavan ve taban gaz yayılımı deneyi sonuçları	40
Çizelge 4.3: Çerkezköy havzasından alınan numunelerin gaz içeriği, derinlik ve litoloji bilgileri.....	41
Çizelge 4.4: Alpu havzası gaz bileşimi analiz sonuçları	42
Çizelge 4.5: Alpu havzası A damarı gaz bileşim analizi sonuçları	42
Çizelge 4.6: Alpu havzası B damarı gaz bileşimi analiz sonuçları.....	43
Çizelge 4.7: Alpu havzası C damarı gaz bileşimi analiz sonuçları.....	43
Çizelge 4.8: Alpu havzası D ve E damarları gaz bileşim analizi sonuçları	44
Çizelge 4.9: Alpu havzası balon numune sonuçları.....	44
Çizelge 4.9: Çerkezköy havzası gaz bileşim analizi sonuçları	45
Çizelge 4.10: Çerkezköy havzasına ait 3 numunenin gaz bileşim analizi sonuçları .	48



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kömürün oluşum süreci (Miller, 2017).....	6
Şekil 2.2: Kömürün Sınıflandırılması (Viswanathan, 2016)	7
Şekil 2.3: Dünyada ki rezervlerin oluşma çağları ve kömürleşme süreleri (Miller, 2017)	8
Şekil 2.4: Kömürün fiziksel özelliklerine göre rankı (Bryer, Havryluk, & Uhrin, 2014)	9
Şekil 2.5: Biyojenik gaz oluşumunun mekanizması (Zinder, 1993)	11
Şekil 2.6: Gazların sıcaklığa bağlı oluşumu	12
Şekil 2.7: Kömür rankları boyunca gaz oluşumu (Rightmire, 1984)	14
Şekil 2.8: Kömür rankları boyunca kümülatif gaz oluşumu (Rightmire, 1984).....	14
Şekil 2.10: Kömür yatağı metanı üretimine yönelik yatay sondaj düzenleri (Maricic, Mohaghegh, & Artun, 2005).....	19
Şekil 3.1: Doğrudan gaz yayılımı deneyi düzeneğinin şeması	23
Şekil 3.2: Doğrudan gaz yayılımı deneyi düzeneği	23
Şekil 3.3: Kayıp gaz miktarının tahmin edilmesi	24
Şekil 3.4: Artık gaz ölçümü deney düzeneği	25
Şekil 3.5: Kağıt kromatografisi deneyi (UCLA Chemistry & Biochemistry, 2018) .	28
Şekil 3.6: Agilent 7890A gaz kromatografisi cihazı (Agilent, 2010)	28
Şekil 3.7: Örnek gaz kromatogramı	29
Şekil 3.8: Gazların sıcaklığa bağlı oluşumu	30
Şekil 3.9: Kısa analizde kullanılan fırın ve etüvün fotoğrafları.....	33
Şekil 3.10: Alpu havzası sektörleri ve sondaj lokasyonları	34
Şekil 3.11: Alpu havzasındaki bazı kuyuların statigrafileri.....	35
Şekil 3.12: Çerkezköy havzası statigrafisi.....	36
Şekil 4.1: Alpu havzası A damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası	38
Şekil 4.2: Alpu havzası B damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası	39
Şekil 4.3: Alpu havzası C damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası	39
Şekil 4.4: Alpu havzası D damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası	40
Şekil 4.5: Alpu havzası gaz içeriğinde bulunan metan ve azotun negatif korelasyonu	47
Şekil 4.6: Çerkezköy havzası azot oranı ile gaz içeriğinin ilişkisi	47
Şekil 4.7: Alpu havzası azot oranı ile gaz içeriğinin dağılımı	48
Şekil 4.8: Alpu havzası karbon monoksit ve etan arasındaki ilişki	50
Şekil 4.9: Alpu havzasında bulunan metan ve etan oranlarının ilişkisi.....	51
Şekil 4.10: Çerkezköy havzası etan ile gaz içeriği arasındaki ilişki.....	51
Şekil 4.11: Alpu havzası, yüksek metan içeren(> %75) numunelerde etan ile gaz içeriği arasındaki ilişki	52
Şekil 4.12: Maden havasındaki metan oranına göre oksidasyon olmadan yangın oranlarının alacağı değerler(GR: Graham Oranı, YR: Young Oranı, JTR: Jones-Trickett Oranı, MR: Morris Oranı)	52



ESKİŞEHİR – ALPU VE TEKİRDAĞ – ÇERKEZKÖY KÖMÜR HAVZALARININ GAZ İÇERİĞİ VE BİLEŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Kömürün gaz içeriği, kömürleşme süreci sırasında varlık gösteren fiziksel ve kimyasal faktörler sonucunda oluşmakta, depolanmakta ve taşınmaktadır. Alpu/Eskişehir ve Çerkezköy/Tekirdağ kömür havzalarından alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları yorumlanarak hazırlanmış bu çalışmada, kömür yatağı metanının jeolojik, iş güvenliği ve gaz üretimi açısından özellikleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada öncelikle kömürün oluşum süreci ve kömürün gaz içeriğinin oluşum süreci, dünyada yapılmış diğer çalışmalarda elde edilen bulgular toplanarak açıklanmış ve yapılacak deney ve yorumlarda kullanılacak kısımlar özellikle irdelenmiştir. Kömür numuneleri yüzeyden yapılan sondajlardan alınmış ve yüzeye çıkar çıkmaz desorpsiyon kanisterlerine yerleştirilmiştir. Bu numuneler üzerine yayılan gaz tayini, artık gaz tayini, gaz bileşim analizi ve kısa analiz gibi deneyler yapılmıştır. Sonrasında bu deney sonuçları birbirileri ile ilişkilendirilmiş ve bu ilişkilendirmelere göre havzalarda gerçekleşmiş olan kömürleşme süreci, farklı gaz bileşiklerinin hangi şartlar altında oluşmuş olabileceği, bu sürecin hidrojeolojik aktivitelerle bağlantısı, ortaya çıkan tablonun muhtemel kömür madenciliği sürecinde olabilecek iş güvenliği yönleri ve kömür yatağı metanı üretimi gibi diğer açılardan değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere göre gaz bileşimi verilerinin dağılımının saçılımlı ya da kümelenmiş hallerinin, havzada farklı damarlar arasında gaz geçişi olduğu ve çatlaklar, hidrojeolojik durum vb. altyapısını hazırlayan faktörler olduğu görülmüştür. Bu sebepler ve gaz oluşumunun son dönemlerinde etkin faktörlere göre, kömürün gaz içeriğinin belirli bir bileşik ile doğru ya da ters orantıya sahip olabileceği ortaya konulmuştur. Çalışmaların yapıldığı havzalarda gaz içeriklerinin azot ile negatif, etan ile pozitif ilişkili olarak değiştiği görülmüştür. Bunlarla beraber azot ve karbon monoksit gazlarının hangi şartlar altında oluşmuş olabileceği açıklanmıştır. Kömürün ve yan kayaçların gaz içeriğinin bir çok farklı gaz molekülünden oluştuğu anlaşılmış ve buradan hareketle yeraltı madenlerinde, galerilere gönderilmesi gereken hava miktarının bu bileşiklerin hepsinin sınır değerleri gözetilerek belirlenmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Kömürün gaz içeriğindeki bu bileşikler, aynı zamanda kömürün kendiliğinden yanmasını izleme amaçlı kullanılan yangın oranlarını hesaplamak için kullanıldığı için, kömürün gaz içeriği bu oranları saptırmaktadır. Bu çalışmada kömürün gaz içeriğinin yangın oranlarına etkisini gidermek için denklemlerde iyileştirmeler yapılmış ve elde edilen denklemler açıklanmıştır.



AN ASSESSMENT OF GAS CONTENT AND COMPOSITION OF ESKİŞEHİR – ALPU AND TEKİRDAĞ – ÇERKEZKÖY COAL BASINS

SUMMARY

Coal seam gases, particularly methane, have significance in energy industry. One aspect of this is the health and safety concerns of mining operations performed in order to produce coal. Gas content of the seams may cause methane explosions that is generally resulted numbers of fatalities in an only one accident if not investigated and necessary precautions are taken properly. Furthermore, gas and dust outbursts during mining activities is directly related to gas content of the strata, its origin and generation process. Also, fire ratios utilized to monitor gob area of longwall mining is produced by several calculations performed on various gas composition values. On the other hand, if it is technically and economically feasible, this gas content can be utilized to produce natural gas that can be used to assist mining activities as energy supply or it can be sold to the energy market. Today, both coal and natural gas dominate energy industry in Turkey and in the World. And, it is hard to change these energy sources in the following decades. Another affect of coalbed methane is environmental results that even if this methane isn't produced or doesn't cause any mining accident, allowing it to escape atmosphere means increasing effect of greenhouse gases that methane is far more effective in causing global warming than carbon dioxide. These issues are covered in this thesis and basically, gas content and composition of coal seams and adjacent rock formations are studied.

Gas content of coal seam is generated through coalification process that takes up to hundreds of million years to be completed. Deposited organic material mostly coming from plants are become peat due to activities of microorganisms. Methane generation is started during this process with several other gas compounds. After this stage, the organic material becomes lignite. As coalification process continues gas content of the material increases. Also, carbon content as it is more and more locked in cyclic compounds and calorific value of coal increses. On the other hand, volatile compounds, moisture and content of other elements decreases. Then, lignite turns into bituminous ranked coals and finally, anthracite is formed. Methane generation is occured in all of these stages. Formation of other gases is occured depending on biologic activity, geologic factors, temperature and stress conditions. Some of formed gas content can be deposited in coal seam and rest of the content migrates to other formations and atmosphere. Because of this process, gas content with variety of compounds and coal features possess clues concerning coalification of the very basin.

Gas composition of coal gas content is dominated by methane. Carbon dioxide and nitrogen gases can also be found as dominating compounds. Beside of these, complex hydrocarbons, hydrogen, helium, carbon monoxide and hydrogen sulfide can be found in coal seams in trace amounts. Each of these gas compounds is formed in different conditions. Such as at specific temperature intervals, different gas compounds are generated. Stress may promote other chemical reactions to occur. And, available

element and compounds in buried organic material determines what sort of gas molecules can be formed in strata. Gas composition and amount are crucial parts of this thesis.

The gas content of coal is formed as a result of physical and chemical factors present during the carbonization process and it is also stored and transported by this way. In order to investigate gas content and compositions and also relationship between these gases, two coal basins are selected. These coal basins are located in Alpu/Eskişehir and Çerkezköy/Tekirdağ in Turkey. The coal seams in both basins show property of lignite rank with high moisture and volatile content. In this study, the properties of coal bed methane in terms of geological, occupational safety and gas production are evaluated. First of all, the process of coal and coal content formation are explained due to the studies which have been carried out on the world. In experimental studies, the coal samples are taken from the surface drillings and they are placed into the desorption canisters as soon as they reached the surface. The obtained samples are analysed by different methods. Gas emission, residual gas measurement, gas composition analysis and proximate analysis are realized to investigate the properties of them.

The methods used during these works are firstly gas content measurement by direct desorption measurement as gas content is determined in three parts. These parts are desorbed gas, residual gas and lost gas before specimen is put into desorption canisters. In this method, lost gas is estimated. Gas concentration determination is applied on samples taken from desorbed gas. Then, the samples are introduced to a gas chromatograph which is capable of measure almost whole compounds. Since desorbed gas samples taken are contaminated with atmospheric air, normalization calculations are utilized. Proximate analysis experiments are done in order to understand the most basic properties of the coal basins.

According to the results, Çerkezköy basin is not gassy and Alpu basin coals gas content is relatively higher. Many gas compounds are found in both fields that methane, nitrogen, carbon dioxide, ethane and other hydrocarbons, hydrogen, helium and carbon monoxide in Alpu Basin. Methane and nitrogen are the first and the second dominating gases in both fields. Although Çerkezköy basins' gas composition is generally similar and in order, results of Alpu samples are highly scattered with high standard deviation caused by fracture and hydrogeologic mechanisms.

Gas content is firstly formed in coal seams and transported to close rock formations. Secondary transport from host back to home might occur via these fractures and groundwater. A secondary transport provides decreasing effect of gas content of coal and this interactions' footprints can be found in gas composition of coal and adjacent rock layers. Due to this, nitrogen ratio has a negative relation with gas content. On the other hand, ethane is positively correlated with gas content of both basins.

Origin of formation of almost each gas compound, which can be found in coal, is explained with examples in literature. Formation of less mentioned gas compounds such as nitrogen and carbon monoxide are explained. Nitrogen gas and ethane are found in basins showing biogenically generated gas signals. Carbon monoxide represents strong relation with ethane which can occur starting around hundreded celcius degree with thermogenic gas formation process.

Since many gas compounds are present in the fields, there will be extra criteria for each gases in order to determine air quantity that should be sent to underground. Also, concentration of some of the gas compounds present in gas content of coal are used in

calculations of fire ratios which used to monitor oxidation reactions on coal surfaces. Because of this, fire ratios can be highly misleading that this case is explained and shown with curves of fire ratios with respect to methane readings. One step further is improvements on fire ratio equations that based on eliminating coal gas content sourced gases from readings and recalculating fire ratios.



1. GİRİŞ

Endüstriyel ve teknolojik gelişmelerle beraber çeşitli ürünlerin üretimindeki artış enerjiye talebi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek daha yaygın hale gelse de elektrik üretiminde kullanılan başlıca enerji kaynakları günümüzde kömür ve doğalgazdır. Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yayınladığı veriye göre doğalgazdan elektrik üretimi, toplam üretimin % 34'ünü oluşturmakta ve kömürden elektrik üretimi % 31 ile aynı şekilde başı çekmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017). Bir diğer örnek ekonomisi temel olarak üretime dayalı olan Çin Halk Cumhuriyeti'dir. Mevcut durumda Çin, elektrik üretiminin % 72'sini kömürden üretmektedir ve dünyanın en fazla kömür tüketen ülkesidir. Bu oranın 2040 yılına kadar % 47 seviyelerine düşmesi beklenmektedir (U.S. Energy Information Administration, 2017). Bu her ne kadar gerileme gibi görünse de devasa miktarlarda kömür üretim ve tüketiminin devamı anlamına gelmektedir. Ayrıca gelecekte daha fazla enerji talep edileceği ve tüketileceği düşünüldüğünde kömür üretiminin dünya çapında azalması bir yana artmaya devam etmesi olasıdır. Bu sebeple halen gerek muhtemel iş kazalarını önlemek, kömür yatağı metanı üretimi gibi yöntemleri araştırarak kömür rezervlerinin daha verimli üretimi ve kullanımını değerlendirmek, gerekse taş kömürü ve linyit hakkındaki bilimsel bilgi birikimimizi arttırmak için bu alanla ilgili çalışmalar yapma ihtiyacı mevcuttur. Bunların yanı sıra uzak gelecekte kömürün şu an bilmediğimiz kullanım alanları oluşabilir.

Kömür madenciliği iş güvenliği açısından ele alındığında bir çok risk barındırdığı görülebilir. Kömür madenciliğinde yaşanan kazaların sebepleri genel olarak metan ve toz patlamaları, yangınlar, ani gaz ve toz püskürmeleri, kör soluk, toksik gaz püskürmesi, ani su baskınları, göçük altında kalma ve şev kaymalarıdır. Bunlarla beraber elektrikli ekipmanlar, makinalardan kaynaklı kazalar ve kayıp düşme vb. durumlar meydana geldiğinde görece daha az sayıda ölümle sonuçlanan kazalardır. Kazaların büyük bölümü metan ve toz patlaması olaylarıdır (Saleh & Cummings, 2011). Bu sebeple kömür damarlarının gaz içeriği ve bileşimi arama safhasına belirlenmeli ve havzaya ait parmak izi ortaya konulmalıdır. Ancak bu yapıldıktan sonra mevcut durumla nasıl ilgilenilmesi

gerektiğine karar verilebilir. Aynı şekilde bahsedilen diğer hususlarla ilgili de arama çalışmaları sırasında eşit önem verilmelidir.

Kömürün madenlerde üretilmesinden çeşitli şekillerde işlenerek kullanımına kadar verimliliği ve değeri arttırmaya yönelik yaklaşımlar yine doğrudan fayda ya da olumsuz yönlerin azaltılması ile dolaylı fayda sağlamaktadır. Bu duruma en iyi örneklerden birisi kömür yatağı metanı üretimi olabilir. Böylece dünyada günümüzde en önemli metallerden birisi olan doğalgaz üretimi yapıp ekonomik kazanç elde edilebileceği gibi önceden bünyesinde patlayıcı özellik gösteren gaz bulunduran formasyonların drenajı sağlanmış olur (Bryer, Havryluk, & Uhrin, 2014). Ayrıca madencilik için mevcut teknik imkanlarla yapılamayacağı gaz içeren formasyonlardan gaz üretimi yapılarak bu kaynakların değerlendirilmesi sağlanmış olmaktadır (Boger, Marshall, & Pilcher, 2014). Bunların yanı sıra karbon dioksit gazına göre misliyle etkili bir sera gazı olan metanın madencilikte doğrudan havalandırılarak seyreltilmesi suretiyle atmosfere salınması büyük ölçüde engellenmiş olmaktadır.

Dünyada gerek kömür yatağı metanı üretimi olsun gerek madencilik için yapılacak rezervin havalandırma ihtiyacının belirlenmesi için olsun, gaz arama çalışmaları onlarca yıldır yapılmaktadır. 1980'li yıllarda kömür yatağı metanı ticari bir doğalgaz kaynağı haline gelmeye başlamış ve günümüzde Amerika Birleşik Devletleri'nin doğalgaz üretiminin % 10'unu kömür yatağı metanı üretimi oluşturmaktadır (Boger, Marshall, & Pilcher, 2014). Türkiye'de gaz arama çalışmaları 2015 yılında Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nde değişiklik yapılarak, EK-3 kısmına 12.5.1 maddesinin eklenmesi neticesinde hız kazanmıştır. Bu maddeye göre kömür havzalarının gaz içeriği belirlenmeli ve havzanın durumu bu açıdan bilimsel bir şekilde yorumlanmalıdır.

Bu çalışmada kömür damarında ve yan kayaçlarda mevcut bulunan gaz üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Havalandırma ve İşgüvenliği Laboratuvarı tarafından yürütülen proje kapsamında numuneler alınmıştır. Bu numuneler Alpu, Eskişehir ve Çerkezköy, Tekirdağ bölgelerinde bulunan kömür havzalarında yapılan yüzey sondajları sırasında elde edilen karot örnekleridir. Bu karot numuneler yüzeye çıkarılır çıkarılmaz desorpsiyon kanisterlerine koyulmuş, bundan hemen sonra desorbe olan gaz miktarı ve bileşimi ölçülmüştür. Karot örnekleri içerdikleri gazı saldıktan sonra kanisterlerden çıkarılarak bir takım diğer testler yapılarak veriler toplanmıştır. Bu veriler ışığında havzaların gaz içeriği konusunda karakteristik özellikleri, bu gazın bileşimi ve diğer özellikleri değerlendirilerek çeşitli

bulgulara ulaşılmış ve bu bulgular tartışılmıştır. Ayrıca havzaların kömür yatağı metanı üretimi potansiyeli değerdendirilmiştir. Elde edilen sonuçların önümüzdeki mevcut süreçte Türkiye ve Dünya çapında kömür madenciliğine katkıda bulunması amaçlanmaktadır.





2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde kömürün oluşumu süreci, bu süreçte hangi fiziksel ve kimyasal etkiler altında kaldığı ve nasıl bir değişime uğradığı açıklanmış sonrasında bu oluşum sürecinde gaz içeriğinin nasıl oluştuğu hangi gaz moleküllerinin ne sebeplerle oluştuğu açıklanmıştır. Bunlarla beraber bu gaz içeriğinin önemli olduğu madencilik ve mühendislik konuları hakkında bilgi verilmiştir. Bu konularda çalışmalar yapmış kişilerin bulguları, birbirileri üzerine inşa edilerek bu tez kapsamında yapılan deneylerin sonuçları ve bu sonuçlar hakkındaki değerlendirmeler için bir temel oluşturulması amaçlanmıştır.

2.1 Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması

Kömür organik ve inorganik bileşikleri farklı oranlarda içeren heterojen yapılu tortul bir kayadır. Kömürü oluşturan temel element karbondur. Bu fosilleşmiş karbon genellikle bitkisel kökenli olup bunlar ağaçlar, kökler, yapraklar, polen ve sporlardır (Fuchsman, 1980). Tamamiyle organik bozunması gerçekleşmeden bataklıkların dibinde biriken bu malzemeler kimyasal ve fiziksel değişimlere uğrayarak turbayı oluşturur. Bu sürecin bir çok parametreye bağlı değişiklik gösterebileceği de düşünüldüğünde doğada köken, kompozisyon, yapı veya doku yönüyle birbirine özdeş iki kömür oluşması neredeyse olanaksızdır (Özpeker, 1991). Kömürün inorganik yapısını oluşturan mineraller değişmekle beraber genelde kil grubu mineraller, silikatlar, tuzlar, pirit gibi demirli mineraller vb. olmaktadır. Turbalaşma safhasında bakteri ve mantarlar aktif rol oynarlar (Miller, 2017). Bu organizmaların pH, derinlik vb. farklı şartlar altındaki ortamlarda farklılaşan aerobik ve anaerobik metabolik faaliyetleri sonucu yine değişik kimyasal kompozisyonlarda turbalaşma gerçekleşme ve bu şekilde kömürün oluşumunun başlangıcı yapılmış olmaktadır (Özpeker, 1991).

Turbalaşmayı ikinci safha olarak kömürleşme takip eder. Dünyadaki kömür havzaları farklı zamanlarda oluşmaya başlamış ve yaşları değişmekle birlikte 50 ile 300 milyon yıl arasındadır. Bu sürecin ilk safhalarında turba, linyite dönüşmektedir. Bu süreçte

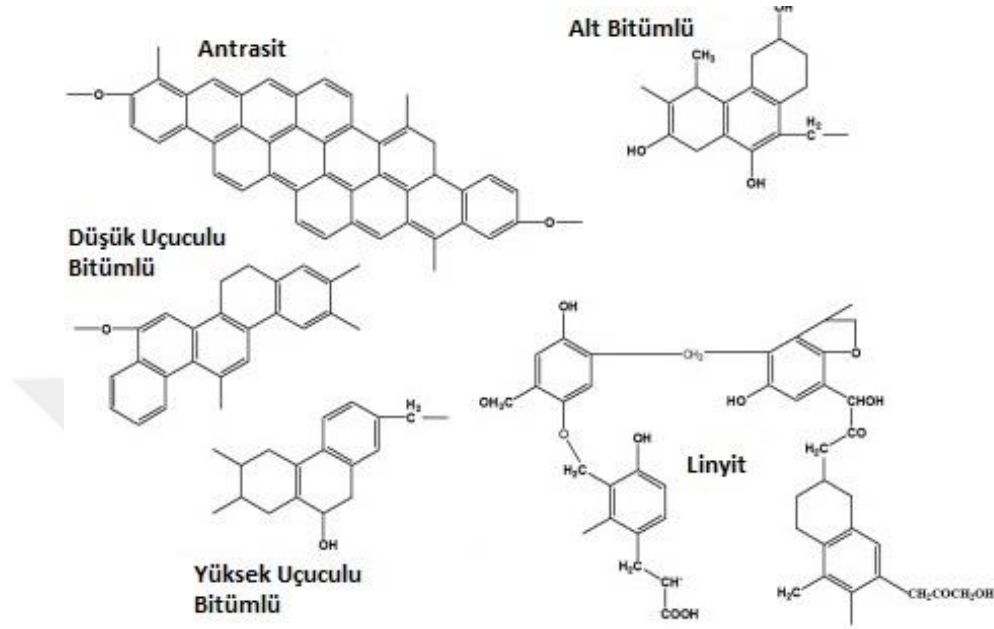
oksidasyonla beraber dekarboksilasyon ve dehidrasyon görülür. Linyit daha sonra bitümlü kömüre dönüşürken aromatik halka sistemleri büyür ve kömür bünyesindeki hidrojenleri kaybetmeye devam eder. Antrasitlerde bu halka sistemleri oldukça büyük olmakla beraber hidrojen miktarı oldukça azdır. Bu sürecin en son aşaması birbirleriyle çift bağ ile bağlanmış karbon halka yapılarından oluşan saf karbon içeren grafitin oluşmasıdır (Miller, 2017). Şekil 2.1’de bu süreç gösterilmektedir.

Malzemeler	Kısmi prosesler	Ana kimyasal reaksiyonlar
Çürüme		
Bitkiler		
↓	Turbalaşma	Bakteriyel ve fungal yaşam döngüleri
Turba kömürü		
↓	Linyitleşme	Havanın oksidasyonu, bunu takiben dekarboksilasyon ve dehidrasyonu
Linyit		
↓	Bitümleme	Dekarboksilasyon ve hidrojen oranının bozulması
Bitümlü kömür		
↓	Ön antrasitleşme	Küçük aromatik ring halkalarına kondenzasyon
Yarı antrasit		
↓	Antrasitleşme	Küçük aromatik ring halkalarından büyük olanlara kondenzasyon; dehidrojenasyon
Antrasit		
	Grafitizasyon	Tamamen karbonlaşma

Şekil 2.1: Kömürün oluşum süreci (Miller, 2017)

Kömürleşme süreci aynı zamanda kömürleride kendi içerisinde sınıflandırmış olmaktadır. Kömür rankları bu süreç içerisinde temel olarak karbon ve enerji içeriğine göre birbirilerinden ayrılmış olmaktadır. Bunlarla beraber başka bir çok parametre ranklar arasında ayırt edici bir şekilde değişmekle beraber gittikçe karbon harici elementlerin azaldığı ve halkalı yapının arttığı bir kimyasal yapı oluşmaktadır. Bu kimyasal yapılar Şekil 2.2’de temel yapıları itibariyle verilmiştir (Viswanathan, 2016). Kömür ranklarının tamamı

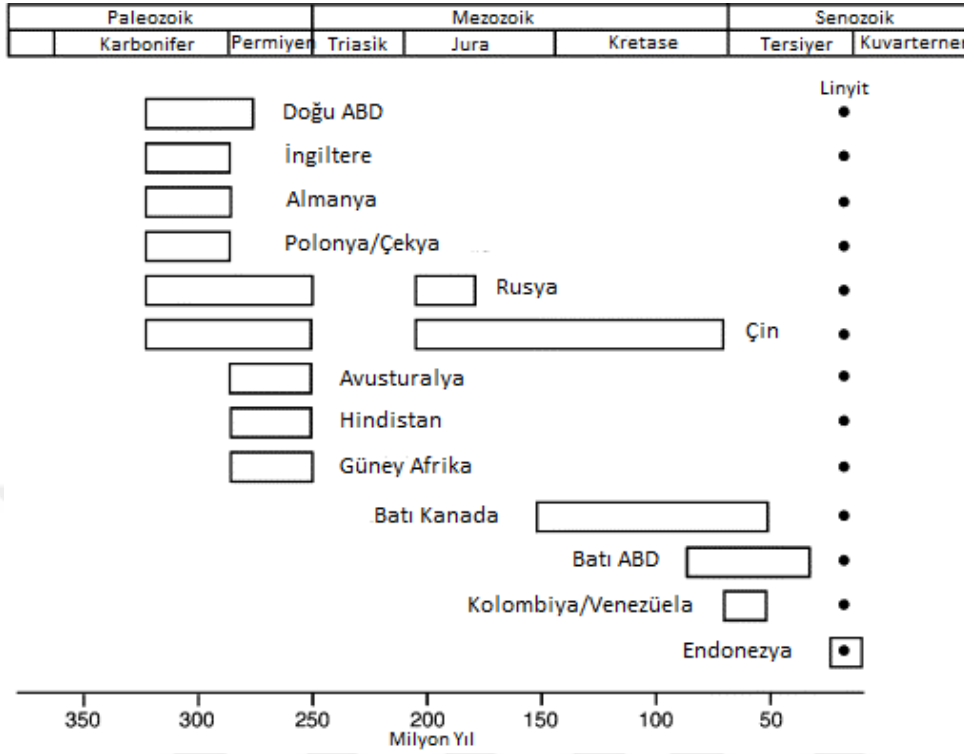
karbon içeriği artan bir sıralama ile D388 standardına göre: linyit(A, B), alt bitümlü(A, B, C), yüksek uçuculu(A, B, C), orta uçuculu, düşük uçuculu, yarı antrasit, antrasit ve meta antrasit olarak isimlendirilmiştir (ASTM International, D388-18, Standard Classification of Coal by Rank, 2018).



Şekil 2.2: Kömürün Sınıflandırılması (Viswanathan, 2016)

Kömürleşmeyi etkileyen çeşitli parametreler bulunmaktadır. Kömürün oluşumunun milyonlarca yıl sürmesi sebebiyle jeolojik diğer bütün yapıların şekillenmesini sağlayan sıcaklık ve basınç yine başroldedir. Bu ikisi arasında sıcaklık kömürleşmeyi sağlayan en büyük sebeptir (Teichmüller & Teichmüller, 1966). Bununla beraber termal sıvılar ya da volkanik intrüzyonlar gibi sıcaklığın yükselmesini sağlayan kaynakların oluşturabileceği kontakt metamorfizması etkisini gözardı ettiğimizde kömür geçen zaman içerisinde derinlere gömüldükçe termal gradyanla beraber aynı şekilde basınç artmaktadır. Bu sebeple sıcaklık ve basıncı birbirinden ayırmak pek mümkün değildir (Damberger, 1991). Yinede basınçtan dolayı deformasyona uğramış bölgelerin rankı deforme olmamış bölgelere göre daha yüksektir. Basınç yüksek ranklara ait kimyasal özellikleri oluşturmaya da yüksek ranklı kömürlerin sergilediği fiziksel özelliklerin oluşumunu sağlamaktadır (Cao, Li, & Deng, 2009). Bunlarla beraber tektonik hareketler rastlantısal ve kısıtlı rank yükselmesine sebebiyet vermektedir. Jeolojik zaman sıcaklık ve basınç şartlarının yükselmesi olmaksızın bir etkiye sahip olmasa da yüksek sıcaklıkta daha uzun süre geçiren kömür daha yüksek ranka sahip olmaktadır. Bununla beraber çok yaşlı olmasına rağmen yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalmaması sebebiyle rankları görece düşük olan sahalar bulunmaktadır

(Teichmüller & Teichmüller, 1966). Dünyada ki rezervlerin oluşma çağları ve kömürleşme süreleri Şekil 2.3’de verilmiştir.

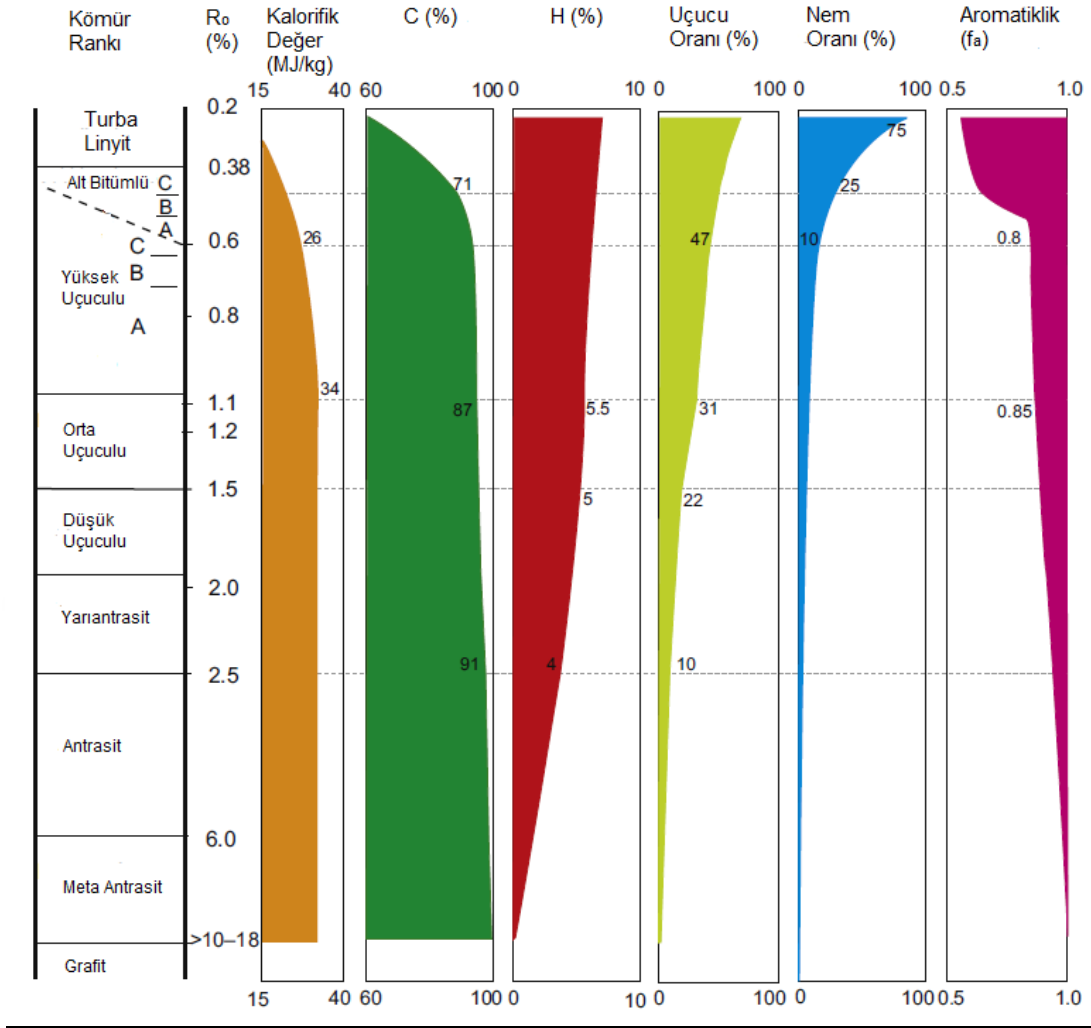


Şekil 2.3: Dünyada ki rezervlerin oluşma çağları ve kömürleşme süreleri (Miller, 2017)

Kömürleşme sürecinde zaman geçtikçe kömürün çeşitli özellikleri değişime uğrar. Bu süreçte kömürün karbon oranı, kalorifik değeri, gaz içeriği ve yoğunluğu gibi bir takım özellikleri artarken, hidrojen oranı, nem oranı, uçucu oranı azalır. Bu fiziksel özellikler kömürün hangi ranka ait olduğu hakkında doğruluğu çok yüksek olan bilgiler verir. Yine de kömürün rankının en net ifadesi vitrinit yansıtma yüzdesidir. Kömürün kalitesi, bir enerji kaynağı olarak kullanılması sebebiyle genel olarak ısı değerine bağlıdır. Kömürlerin ısı değerleri arttıkça rankları artmakta buna bağlı olarak vitrinit yansıtma yüzdesi de artacağı için basitçe parlaklığı artmaktadır. Kömür ranklarına göre karbon ve hidrojen içeriğinin birbirine oranı Çizelge 2.1’de verilmektedir. Aynı şekilde diğer özelliklerin birbirine göre değişimleri, sayısal değerleri ve bunların görselleştirilmiş hali Şekil 2.4’te verilmektedir.

Çizelge 2.1: Kömürün ranklarına göre karbon ve hidrojen oranları (Viswanathan, 2016)

Kömür Rankı↓	H/C Oranı	Isıl Değeri (MJ/kg)
Turba	1.2	7–9.3
Linyit	0.9	14.6–19.3
Alt Bitümlü Kömür	0.8	19.3–26.7
Bitümlü Kömür	0.7	26.7–32.5
Antrasit	0.4	>32.5



Şekil 2.4: Kömürün fiziksel özelliklerine göre rankı (Bryer, Havryluk, & Uhrin, 2014)

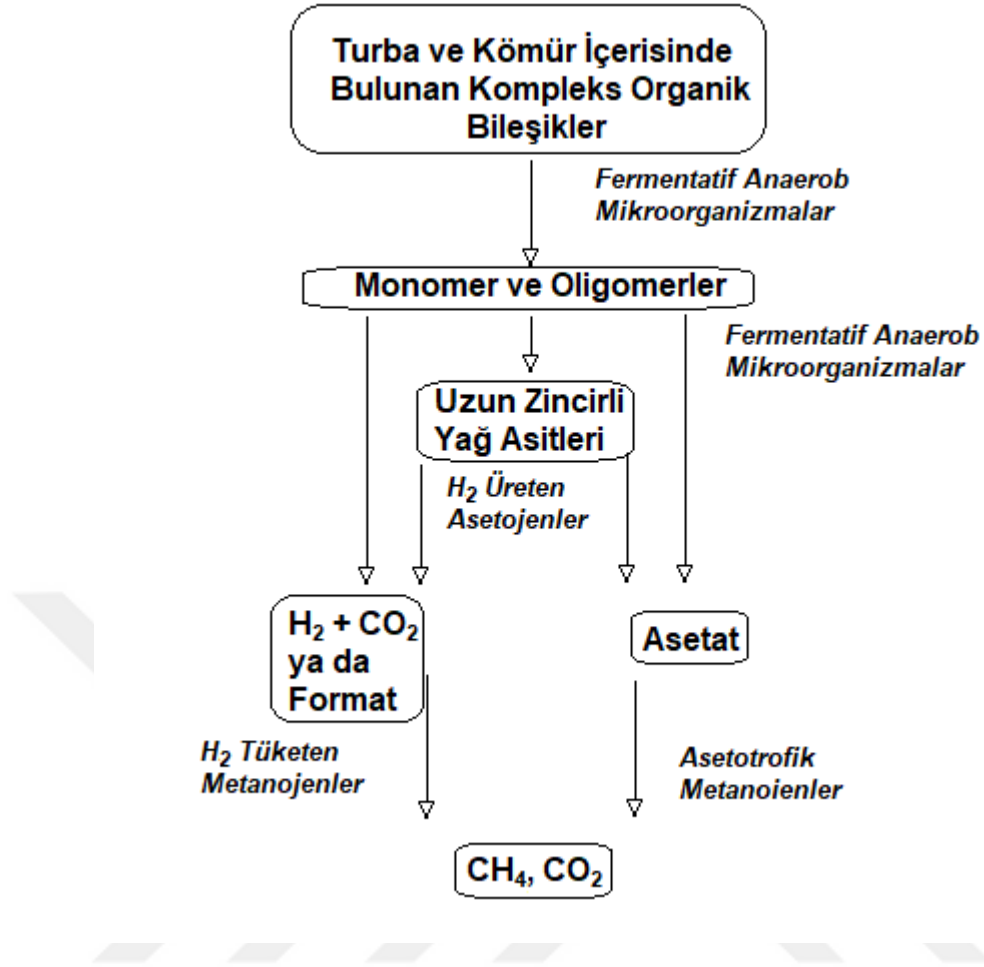
2.2 Kömürün Gaz İçeriğinin Oluşumu, Depolanması ve Taşınması

Kömürleşme sürecinde gaz oluşumu ilk safhalardan itibaren başlar. Bir açıdan bataklık gazı olarak oluşmaya başlayan metan, turbalaşma sürecinde mikroorganizmaların organik malzemeyi fermentasyona uğratması sebebiyle oluşur. Bu safhada kömür sıg seviyelerde yer almakta ve sıcaklık düşüktür (Scott, Kaiser, & Ayers Jr, 1994). Bu süreçte oluşan metan biyojenik kökenlidir. Daha sonra kömür derinlere gömüldükçe termal gradyan ve intrüzyonlardan kaynaklı sıcaklık artması sebebiyle mikroorganizmalar sterilize edilir (Hunt, 1979) (Rice, D D; Claypool, G E, 1981). Sıcaklığın yükselmesi ile farklı derecelerde çeşitli gazlar üretilir (Rice, 1993) (Strapoc, Mastalerz, & Schimmelmann, Characterization of the origin of coalbed gases in southeastern Illinois Basin by compound-specific carbon and hydrogen stable isotope ratios, 2007) (McIntosh, Martini, Petsch, & Nüsslein, 2008). Kömürün gaz içeriğinin oluşmasının bu ikinci safhasında oluşan metan termojenik

kökenlidir. Kömür geçirdiği süreçlerin sonunda bünyesinde farklı zamanlarda oluşan gazların bir karışımını ve küçük bir kısmını taşır.

Kömürün gömülmeye başlamasından sonraki ilk safhalarda oluşan metan ve diğer gazlar primer biyogenik gazlardır (Rice, 1993). Bu gazlar düşük sıcaklık ve basınç koşullarında, mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu oluşur. Biyogenik gazların 56 °C'ye varan sıcaklıklarda oluştuğu belirlenmiştir. Optimum oluşma sıcaklıkları ise yaklaşık 30 °C'dir (Scott, Kaiser, & Ayers Jr, 1994) (Strapoc, ve diğerleri, 2008) (Green, Flanagan, & Gilcrease, 2008) (Stams & Hansen, 1984). Sonraki süreçte kömür yer kabuğunda derinlere gömülmekte, bu ve başka sebeplerle sıcaklığı yükselmektedir. Bu yüksek sıcaklıklar bakteri faaliyetlerini durdurucu bir etki oluşturmakta ve kayaç yapılarında ki mevcut mikroorganizmaların temizlenmesini sağlamaktadır. Bu aşamada biyogenik gaz oluşmaz. Ancak yeryüzünün hareketi neticesinde tekrar düşük sıcaklıklar ve basınç şartlarına sahip olan kömür damarlarına yeraltı suyu aracılığı ile tekrar bakteriler taşınarak yaşamsal faaliyetlerini devam ettirirler. Bu süreçte oluşan gazlar ise sekonder biyogenik gazlar olarak isimlendirilir (Rice, 1993) (Scott, Kaiser, & Ayers Jr, 1994). Her ne kadar her ranktan kömürün sığ seviyelerde ve düşük sıcaklıklarda bulunup mikroorganizmaların bünyesinde bulunma ihtimali varsa da vitrinit yansıtması % 0.8'den yüksek kömürlerin yapılarındaki aromatik ve birbirine bağlanmış makro moleküllerin fermante edilmesi daha zordur. Biyogenik gazların oluşumlarının görüldüğü derinlikler 750 m'den daha sığ seviyelerdir (Strapoc, ve diğerleri, 2008) (Gao, Mastalerz, & Schimmelmann, 2014). Bunların yanında yeraltı yapıları ve süreksizliklerin konumları ve yayılımları biyogenik aktiviteyi şekillendiren önemli bir etkidir. Bunun sebebi atmosferden kökenlenmiş meteorik yeraltı suyunun kömür içerisine organizmaları temas edebildiği bölgelere taşıyor olmasıdır (Ulrich & Bower, 2008).

Turba içerisinde biyogenik gaz oluşumunun mekanizması bakterilerin yaşamsal faaliyetlerine göre oluşur. Bir takım kimyasal reaksiyonlar sonucu kompleks organik bileşikler, yapıtaşlarına ayrışırken yan ürün olarak çeşitli gazlar oluşur. Bu kimyasal reaksiyonlar temel olarak asetik asit oluşumu, bu asetik asitin metan ve karbon dioksit'e ayrışması, hidrojen oluşumu ve asetik asitin ayrışması ile oluşan karbon dioksitin tekrar oluşan hidrojen gazı ile reaksiyona girerek metan ve su ortaya çıkarması olarak özetlenebilir (Rice, 1993). Şekil 2.5'te bu sürecin görsel hali verilmiştir (Zinder, 1993) (Gao, Mastalerz, & Schimmelmann, 2014).

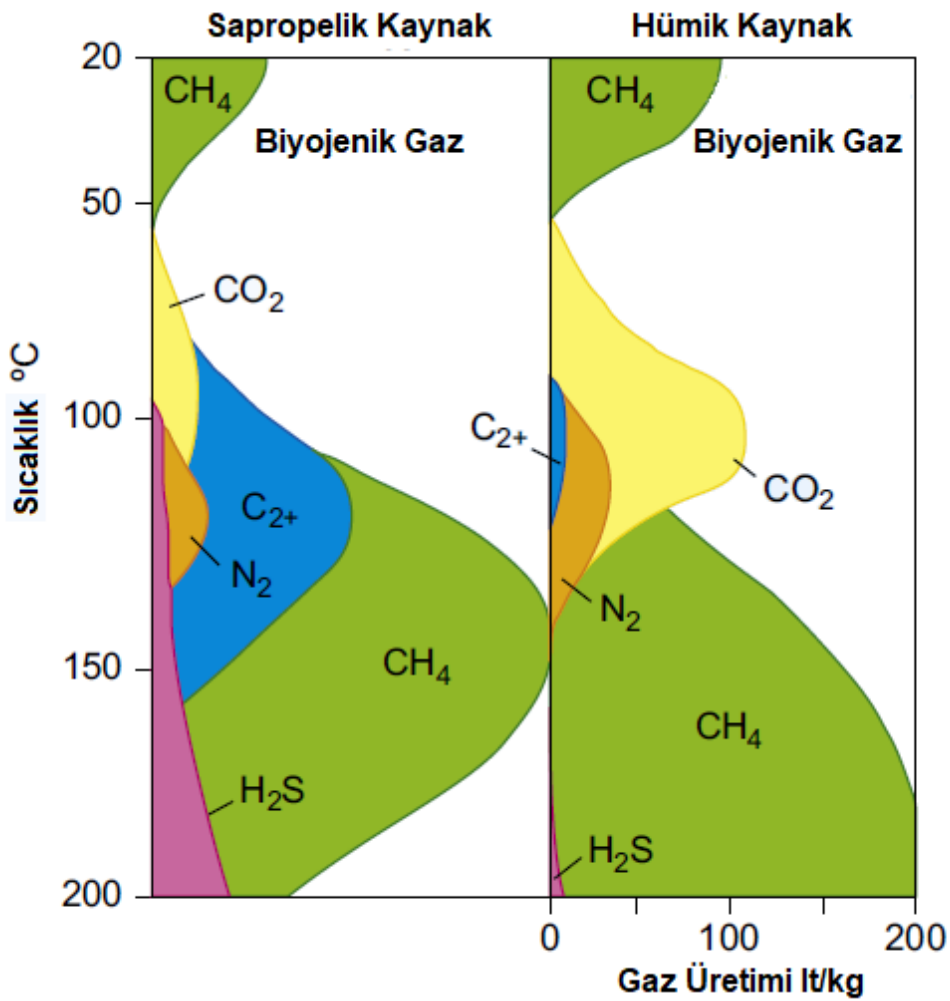


Şekil 2.5: Biyogenik gaz oluşumunun mekanizması (Zinder, 1993)

Kömürleşme sürecinde sıcaklığın artması ile termojenik kökenli gazlar oluşmaya başlar. Termojenik kökenli gazların oluşum sürecinde kendi içerisinde iki safhaya ayrılabilir. Bu safhalardan ilkinde kömür rankı, hidrojen zengin olan yüksek uçuculu bitümlüdür. Bu süreçte etan ve propan gibi görece yüksek karbonlu gazların da oluşumu gerçekleşerek yağ gaz oluşmuş olur (Scott, Kaiser, & Ayers Jr, 1994). Bu süreçte yüksek gaz oluşumunda dekarboksilizasyonun ve dehidrasyonun rolü ile karbon dioksit ve su, yan ürünler olarak oluşur (Hunt, 1979) (Cook & Struckmeyer, 1986). Daha sonraki milyonlarca yıl içinde derinlere gömülen kömür üzerindeki basıncın ve sıcaklığın artması sebebiyle, bünyesindeki hidrojenleri kaybederek karbon oranı artar ve bu hidrojen, hidrokarbonları oluşturur. Kömürün vitrinit yansımasının % 0.8 ve % 1.2 olduğu bu süreçte sıvı hidrokarbon ve yağ gazların oluşumu tepe noktasındadır. Böylelikle kömür yüksek uçuculu bitümlüden düşük uçuculu bitümlüye dönüşmüş olur. Vitrinit yansıma yüzdesinin dahada yükseldiği zaman diliminde sıvı hidrokarbon üretimi durma noktasına gelir ancak metan oluşumu devam eder. Ayrıca birden daha fazla karbona sahip hidrokarbonlar da ısıl parçalanma yaşayarak metan oluşumunu destekler. Kömür bünyesindeki gaz bileşiminde birden daha fazla

karbona sahip hidrokarbonlar azaldığı için kuru gaz oluşmuş olur. Bu şekilde metan oluşumu % 1.8 vitrinit yansıtmaya sahip ranka kadar devam eder. Daha sonrasında gaz oluşumu hızlı bir şekilde azalır (Gao, Mastalerz, & Schimmelmann, 2014).

Termojenik gaz oluşmuş havzalarda metan, etan, propan, bütan, azot, karbon dioksit, hidrojen sülfür gibi gazlar bulunur. Sıcaklığın, gaz oluşumundaki ana aktör olduğu düşünüldüğünde ve önceki paragraflarda açıklanan bilgiler göz önünde bulundurulduğunda belirli gazların oluşumunun belirli sıcaklıklarda oluşacağı anlaşılabilir. Sıcaklıklara göre oluşan gazların özet grafiği Şekil 2.6'da verilmiştir (Miller, 2017) (Hunt, 1979) (Rice, 1993).



Şekil 2.6: Gazların sıcaklığa bağlı oluşumu

Şekil 2.6'da görülen ve önceki kısımlarda bahsedilen gaz bileşiklerinin haricinde karbon monoksit yine dünyada çeşitli havzalarda rastlanmıştır, kömür bünyelerinde bulunan bir gazdır (Zhu, Chang, & Wang, 2017) (Dudzińska, Cygankiewicz, & Włodarek, 2017). Karbon monoksit literatürde diğer gazlara göre daha az bahsedilmekte ve görece yeni

yayınlanmış olan çalışmalarda yer almaktadır. Bunun sebebi hem karbon monoksitin tespiti için kullanılan ekipmana(Gaz Kromatografi) özel ayarlamalar gerekmede hem de önceki çalışmalarda belki de tespit edilmiş olan karbon monoksitin kömür bünyesinden gelmiş olduğuna tam güvenilememesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü karbon monoksit özellikle kömürün kendiliğinden yanması sonucu karşılaşılan bir gazdır. Gaz ölçüm işlemi sırasında rastlanılan karbon monoksitin deney düzeneğinde yapılan bir hatadan kaynaklı oksidasyon sonucu oluşmuş olabileceğinin varsayımının yapılması bu anlamda normaldir. Yine yapılan başka çalışmalarda, elde ki örneklerin büyük bir kısmında, kömürün yayılan gaz bileşiminde karbon monoksite rastlanmıştır (Hongqing, Mingran, & Haiyan, 2017). Bu çalışmadan anlaşılabileceği gibi karbon monoksit, metan gibi kömürün gaz içeriğinde her numunede bulunması gereken bir gaz olmayıp aynı havzadan alınmış numunelerin bir kısmında rastlanılabilen bir gaz olduğu görülmüştür.

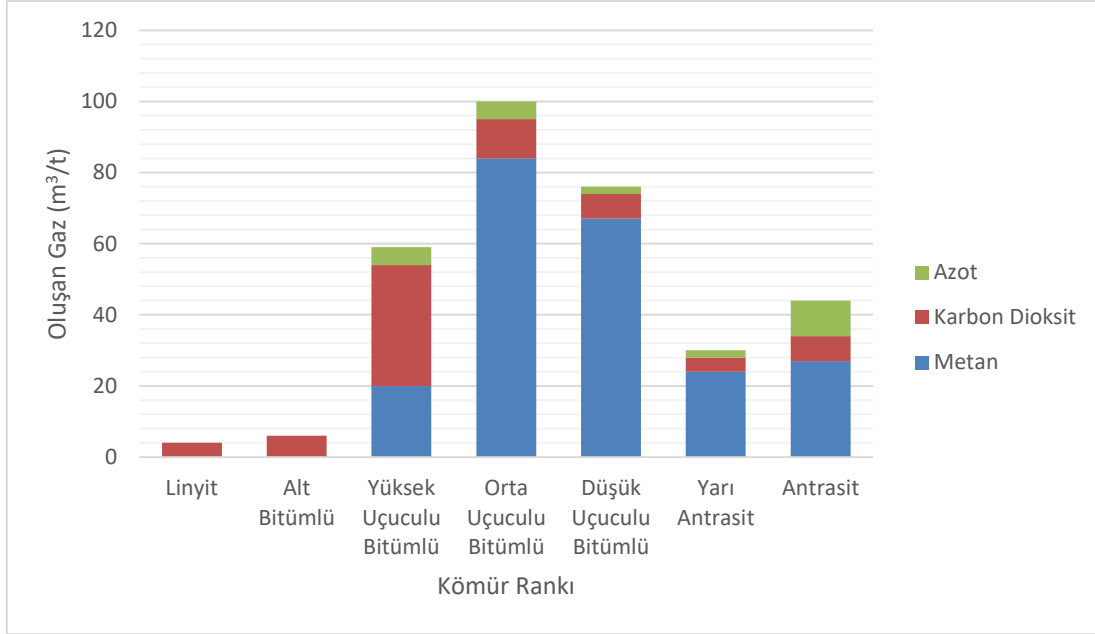
Herhangi bir sahada mevcut bulunan gazın kökenini belirlemek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler stabil izotop analizleri (Whiticar, Faber, & Schoell, Biogenic methane formation in marine and freshwater, 1986) (Whiticar, Carbon and hydrogen isotope systematic of bacterial formation and oxidation of methane, 1999) (Schoell, 1980) ve gaz kompozisyonu analizleridir (Rice, 1993) (Strapoc, ve diğerleri, 2008) (Smith & Pallasser, 1996) (Dai, Shi, & Wei, 2001). Bileşimi belirlenen bir gaz numunesinde farklı gazların konsantrasyonlarının birbirine görece çoklukları sahadaki gazın kökeni hakkında doğrudan kuvvetli bir fikir vermektedir. Bütün bu karşılaştırma yöntemleri çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2: Gazların kökenini belirten indeksler

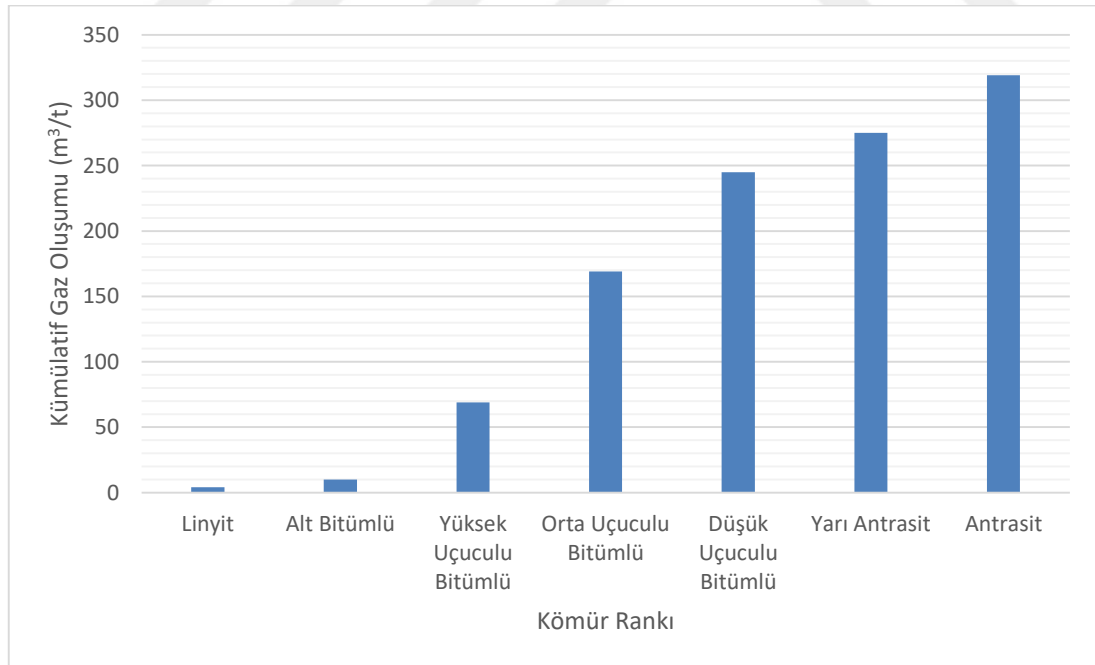
Parametreler	Termojenik Köken	Biyojenik Köken
Vitrinit Yansıma R_o (%)	% 0.6 – 3.0	% 0.3-0.8
Hidrokarbon İndeksi [$CH_4/(C_2H_6 + C_3H_8)$]	<20	>1000
Gaz Yaşlık İndeksi [$(C_2H_6 + C_3H_8 + C_4H_{10} + C_5H_{12}) / (CH_4 + C_2H_6 + C_3H_8 + C_4H_{10} + C_5H_{12})$]	>% 3	<% 3
CO ₂ İçeriği	% 2–15	<% 5
CDMI Değeri [$100 \times CO_2 / (CO_2 + CH_4)$]	> % 60	< % 15

Kömürün gaz içeriğinin oluşumu süresince, oluşan gazın çok büyük bir kısmı çevredeki kayalar ve atmosfere geçmektedir. Kömür bütün ranklar boyunca ideal bir kömürleşme süreci sonunda ortalama 319 m³/t (Rightmire, 1984)gaz meydana gelmekte ancak kömür

yataklarında gaz içeriği yüksek ranklı kömürlerde 28.3 m³/t (Simpson, 2017) olmaktadır. Böylelikle kömürleşme sürecinde oluşan gazın kabaca % 91'i kömür bünyesinden uzaklaşmıştır. Ranklar boyunca oluşan gaz miktarları Şekil 2.7'de verilmiştir. Aynı değerler Şekil 2.8'de kümülatif karbon oluşumunu gösterecek şekilde ifade edilmiştir.



Şekil 2.7: Kömür rankları boyunca gaz oluşumu (Rightmire, 1984)



Şekil 2.8: Kömür rankları boyunca kümülatif gaz oluşumu (Rightmire, 1984)

Kömürün ürettiği gazın büyük bir bölümü kömürleşme sürecinde çevre kayalara geçer. Bu çevre kayalar volkanik olmayan tortul kayalardır. Bu sebeple şeyl, kil, kumtaşı gibi kayaların, sahanın litolojik yapısına göre gaz içerdiği gözlemlenmiştir. Bünyesinde gaz

bulunduran diğ er bir yeraltı yapısı olan bu kayaçlar kömürden bazı farklılıklar göstermektedirler. Bu litolojik yapılara gaz basınç gradyanı ile taşınırken kömürde gaz basınç gradyanının yanında konsantrasyon gradyanı ile taşınmaktadır. Bunun sebebi kömürün içindeki mikro boşluklarda gaz mevcut bulunan y zeyeye adsorbe olmaktadır. Kömür bünyesindeki gazın % 98'i yüzeylerde adsorplanmış vaziyettedir (Gray, 1977). Adsorplanan gaz miktarı basınç ile artmaktadır. Ancak kaynak kayaç olmayan diğ er litolojik yapılarda sıkışma etkisi ile gazlar tutulmaktadır. Bu gazların bulunduğ  boşluklar yan kayaçlarda rastgele dağılımlı yapılar olsada kömürde homojen dağılıma sahip birbirine bağılı levhalar şeklinde boşluklar(cleat) ve porlar içinde ve bu boşluklara bakan yüzeylerde tutulmaktadır (Aminian & Rodvelt, 2014) (Kim, 1977) (Seldon, 1934). Bu davranış sebebiyle kömür numunelerine yapılan desorpsiyon testlerinde bünyelerindeki gazın büyük bir kısmını kısa bir süre içerisinde bırakmalarına rağ men bu sürecin tamamlanması çok daha fazla sürmekte, buna karşılık yan kayaçlardan alınan numunelerin ilk başta yüksek miktarlarda gaz bırakmalarına rağ men tamamıyla gaz içeriklerini bo altmaları çok daha kısa sürmektedir. Kömür ranklarına göre ortalama gaz taşıma kapasiteleri  izelge 2.3'te verilmiştir (Zou, 2017).

Çizelge 2.3: Kömür ranklarına göre gaz taşıma kapasiteleri (Zou, 2017)

Kömür Rankı	Gaz Taşıma Kapasitesi (m³/t)
Antrasit	15.60
Az Uçuculu Bitümlü	13.34
Orta Uçuculu Bitümlü	7.96
Yüksek Uçuculu Bitümlü A	4.36
Yüksek Uçuculu Bitümlü B	2.79
Yüksek Uçuculu Bitümlü C	1.28

Sahalarda karşılaşılan gaz bileşimleri hakkında çeşitli araştırmalar yapılmış (Zhang, Zhuang, & Zhang, 2002) bunlara göre gaz oranlarının değ erlerinin  u aralıklarda değı tiğ  tespit edilmiştir: metan % 66.55 ile % 99.98, karbon dioksit % 0 ile % 35.58 ancak genelde % 2'nin altında, azot çok değı mekle beraber genellikle % 10'un altında olduğ  g r lm  tir. Bunların dışında % 1'in altında daha önceki paragraflarda bahsedilen gazlara da rastlanmaktadır.

2.3 Kömürün Gaz İçeriğinin  nemi

 nceki başlıklarda bahsedildiğ  üzere kömürün gaz i eriğ  jeolojik süreçler sonucunda oluşmakta ve bu süreçlerin izlerini taşımaktadır. Bu sebeple havzada bulunan formasyonların gaz i eriğ  ve bileşiminin analiz edilip yorumlanması ile havzanın oluşum

süreçleri hakkında yorumlar yapılabilir. Kömürün gaz içeriği bir çok farklı alanla ilişkilendirilebilecek olsa da özellikle iki konuda karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birisi madencilikle ilişkili hususlar, diğer konu ise, bazı şartların da uygun olması ile bu gazın üretimidir.

Maden havası gazlarının geldiği kaynaklar çizelge 2.4'te verilmiştir. Bu kaynakların büyük bir kısmı madencilik faaliyetleridir. Bu faaliyetlerin yanında jeolojik yapılar madenlerde karşılaşılan gazların kökeni olabilmektedir. Bu durum kömür madenciliği için daha fazla geçerlidir. Çizelge 2.4'te verildiği üzere jeolojik yapılardan metan, azot, hidrojen ve hidrojen sülfid gazları yeraltındaki katmanlardan gelmektedir (McPherson, 1993). Bunların haricinde önceki bölümlerde bahsedildiği gibi karbon dioksit, karbon monoksit, helyum ve maden havası şartlarında gaz halinde bulunabilen bir çok hidrokarbondur. Bu gazların iş sağlığı ve güvenliği açısından insan hayatı üzerinde çeşitli etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler boğuculuk, patlayıcılık veya zehirleyiciliktir (Chaulya & Prasad, 2016).

Çizelge 2.4: Maden havasında karşılaşılan gazlar ve oluşum kaynakları (McPherson, 1993)

Gaz Adı	Oluşum Kaynağı
Oksijen	Atmosfer
Azot	Atmosfer, zemin
Metan	Zemin
Karbon dioksit	Oksidasyon, yangın, patlama, içten yanmalı motorlar, patlatma, solunum
Karbon monoksit	Yangın, patlama, içten yanmalı motorlar, patlatma, kendiliğinden yanma
Sülfür dioksit	Sülfid minerallerinin oksidasyonu, sülfid cevherleri ile asidik su tepkimesi, içten yanmalı motorlar
Nitrik oksitler	Patlatma, içten yanmalı motorlar, kaynak işlemi
Hidrojen sülfid	Asidik suyun sülfid cevheri ile tepkimesi, durgun su, zemin, organik materyalin çürümesi
Hidrojen	Akü dolumu, zemin, akkor malzeme, patlamalar

Karşılaşılan gazların insan sağlığına bu etkilerini veya patlayıcı seviyelere ulaşmalarını engellemek adına yapılabilecek ilk şeylerden birisi bu gazları yeraltına hava göndermek suretiyle seyreltmektir. Yeraltına gönderilecek hava miktarı belirlenirken çeşitli koşullar göz önüne alınmaktadır. Bunlar belirlenirken çalışan insanlar için gerekli hava miktarı, toz, dizel emisyonları, kullanılan patlayıcı madde miktarı, hava hız kriterleri ve tabakalardan kaynaklanan gaz emisyonları göz önüne alınır (Skochinsky & Komarov, 1969) (Ayvazoglu, 1986).

Kömür tabakalarında karşılaşılabilecek gazları ele aldığımızda bu gazlara ait sınır değerler gözetilerek galerilere hava gönderilmesi gerektiği gibi bu gazlardan karbon dioksit, azot, karbon monoksit ve hidrojen aynı zamanda yangın oranları hesaplanırken kullanılır. Bu gazlar hem kömür gaz içeriğinde bulunmakta hemde kömürün kendiliğinden yanması sonucu açığa çıkmakta veya konsantrasyonu önemli ölçüde değişmektedir. Metan her ne kadar kömürün kendiliğinden yanması esnasında ortaya çıksa da % 0.1 seviyesinden aşağıda bir konsantrasyona sahip olmaktadır (Wu & Wu, 2011). Bunun haricinde özellikle karbon dioksit ve karbon monoksit en baskın yanma ürünü gazlardır. Azot konsantrasyonu ise oksijenin tüketilmesi sonucu değişimlere uğrayarak yanma aktivitesinin bir diğer ayak izi olmaktadır. Günümüze kadar bir çok yangın oranı tanımlanmış olsa da bunlar arasında en çok öne çıkanları; Graham oranı (Graham, 1914), Jones ve Trickett oranı (Jones & Trickett, 1955), Willet oranı (Willet, 1952), Young oranı (Baemish & Jabouri, 2005) ve Morris oranıdır (Morris, 1988). Bu oranların hesaplanış formülleri, denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilmiştir. Bunların yanında yanma sırasında açığa çıkan hidrokarbonların birbirine oranlanması gibi farklı yangın oranları da üretilmiştir (Feng & Adamus, 2014).

$$\text{Graham Oranı (\%)} = (\text{CO} \times 100) / \text{Oksijende Azalma} \quad (2.1)$$

$$\text{Young Oranı} = \text{CO}_2 / \text{Oksijende Azalma} \quad (2.2)$$

$$\text{Jones-Trickett Oranı} = (\text{CO}_2 + 0,75 \times \text{CO} - 0,25 \times \text{H}_2) / \text{Oksijende Azalma} \quad (2.3)$$

$$\text{Morris Oranı} = \text{Azot Fazlalığı} / (\text{CO} + \text{CO}_2) \quad (2.4)$$

$$\text{Azot Fazlalığı} = \text{N}_2 - 3,73 \times \text{O}_2 \quad (2.5)$$

$$\text{Oksijende Azalma} = \text{N}_2 / 3,73 - \text{O}_2 \quad (2.6)$$

$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2 - \text{N}_2 / 2232 \quad (2.7)$$

Kömürün gaz içeriğinin, kömür madenciliği ile bahsedilen ilişkilerinin yanında teknik ve ekonomik anlamda uygulanabilir olduğu takdirde bu gazın drenajı yapılarak hem enerji üretimi yapılmış olmakta hem de aynı gazı seyreltmek için harcanacak elektrik enerjisinden ve bunun maliyetinden tasarruf edilebilir. Bunların yanında kömür havzalarının bir çoğunun durumunda olduğu gibi üretimi yapılamayacak ince, ısı değeri düşük veya sorunlu zemine sahip damarlardan fayda sağlanması mümkündür. Çizelge 2.5'te verildiği gibi kömür yatağı metanı gibi geleneksel olmayan gaz rezervleri, geleneksel gaz rezervlerinden çeşitli özellikleri ile farklılaşmaktadır.

Çizelge 2.5: Gaz rezervlerinin karşılaştırılması (Aminian & Rodvelt, 2014)

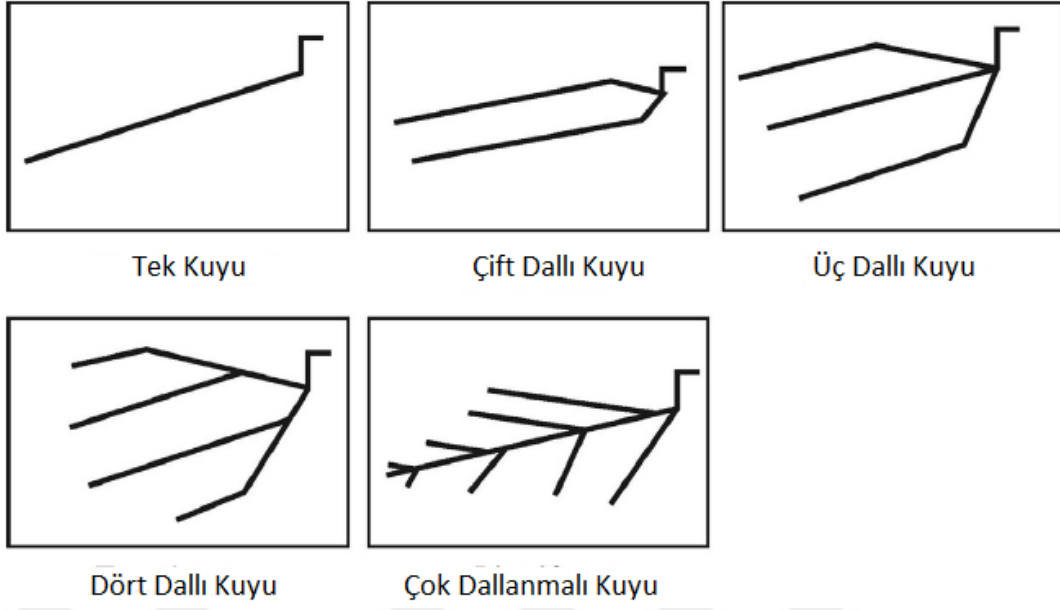
	Geleneksel Gaz Rezervleri	Kömür Yatağı Metanı Rezervleri
Gaz Oluşumu	Gaz kaynak kayada oluşup rezervuara taşınır	Gaz kömür bünyesinde oluşur ve burada kalır
Yapı	Rastgele dağılıma sahip kırık ve çatlaklar	Tekdüze dağılıma sahip levha şekilli boşluklar(cleat)
Gaz Depolama Mekanizması	Sıkıştırma	Adsorpsiyon
Gaz Taşınma Mekanizması	Basınç gradyanı	Konsantrasyon ve basınç gradyanları
Gaz Üretim Karakteristiği	Gaz geliri başta yüksek ve su üretimi yoktur, gaz-su oranı zamanla azalır	Önce su geliri yüksektir, gaz-su oranı zamanla artar
Mekanik Özellikleri	Elastisite Modülü $\sim 10^6$ Gözenek Sıkıştırılabilirliği $\sim 10^{-6}$	Elastisite Modülü $\sim 10^5$ Gözenek Sıkıştırılabilirliği $\sim 10^{-4}$

Bir havzanın veya belirli bir bölgesinin kömür yatağı metanı üretimine uygun olup olmadığının belirlenebilmesi için bu tez kapsamında yapılmış olan deneylerin bir kısmının yapılması gerektiği gibi başka bir çok deney ve ölçümlerin de yapılmış olması gerekir. Bu deney ve ölçümlerin listesi çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6: Kömür yatağı metanı üretimi uygunluğunun belirlenmesi için ölçülmesi gereken özellikler (Aminian & Rodvelt, 2014)

Özellik	Ölçüm Kaynağı
Gaz Depolama Kapasitesi	Karot Ölçümleri
Gaz İçeriği	Karot Ölçümleri
Yayılma Gücü	Karot Ölçümleri
Gözenek Hacimi Sıkıştırılabilirliği	Karot Ölçümleri
Toplam Kalınlık	Kuyu Logları
Efektif Kalınlık	Kuyu Logları
Basınç	Kuyu Testleri
Mutlak Geçirimsizlik	Kuyu Testleri
Bağıl Geçirimsizlik	Simülasyon
Gözeneklilik	Simülasyon
Akışkan Özellikleri	Bileşim ve Korelasyonları
Gaz Bileşimi	Üretilen veya Yayılan Gaz
Drenaj Hacimi	Jeolojik Çalışmalar

Bu deney ve ölçümler yapıldıktan sonra bu gazın nasıl değerlendirileceği ile ilgili gerek aynı havzada yapılacak olan kömür madenciliği ile uyumlu olacak şekilde gerekse sadece gaz üretimine yönelik detaylı planlama yapılır. Bu planlamaya göre havzanın çeşitli yerlerinde inşa edilecek yatak sondaj kuyuları vasıtasıyla, yeraltında bulunan bu gazlı tabakaların geçirimsizliğini arttırmaya yönelik hidrolik çatlatma gibi işlemler yapılarak bu gazın üretimi sağlanır. Bazı sondaj düzenleri şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10: Kömür yatağı metanı üretimine yönelik yatay sondaj düzenleri (Maricic, Mohaghegh, & Artun, 2005)



3. YÖNTEM

Bu tez kapsamında Alpu(Eskişehir) ve Çerkezköy(Tekirdağ) havzalarından çeşitli veriler toplanmış ve incelenmiştir. Toplanan verilerin çok büyük kısmı sahalardan alınan kömür numunelerine yapılan testler sonucu elde edilmiştir. Bu bölümde bu testlerin genel özellikleri ve parametrelerinden, kullanılan araç ve ekipmanlardan, bu veriler üzerinde yapılan işlemlerden bahsedilmiştir.

3.1 Numunelerin Alınması ve Hazırlanması

Numuneler sahaların yüzeylerinde yapılan arama sondaj çalışmalarının sırasında yer altından çıkarılan karotlardır. Bu karotların alınıp hazırlanması sırasında direct desorpsiyon yöntemine göre hazırlanmış, kömürün gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılan, D7569-10 numaralı ASTM standartı esas alınmıştır (ASTM International, D7569/D7569M-10, Standard Practice for Determination of Gas Content of Coal - Direct Desorption Method, 2015). Buna göre karotlu sondaj makinalarının formasyonlar içerisinde hareketi takip edilmiş ve karot örnekleri gaz sızdırmazlık testleri yapılmış kanisterlere yerleştirilmişlerdir. Gaz içeren bölgelerde numune almak için bu ekipmanların manevra başlangıç, bitiş, karotların yüzeye çıkarılması ve kapalı kanisterlere yerleştirilme zamanları kayıt edilmiş, bu yapılırken kömür örneklerinin mümkün olan en kısa sürede bu kapalı haznelere alınmasına özen gösterilmiştir. Bunun yapılmasının sebebi kömürün gazının direkt olarak atmosfere salınmasına engel olmak ve ölçülememiş, bu sebeple tahmin edilmesi gereken kayıp gaz miktarını minimum seviyede tutmak amaçlanmıştır.

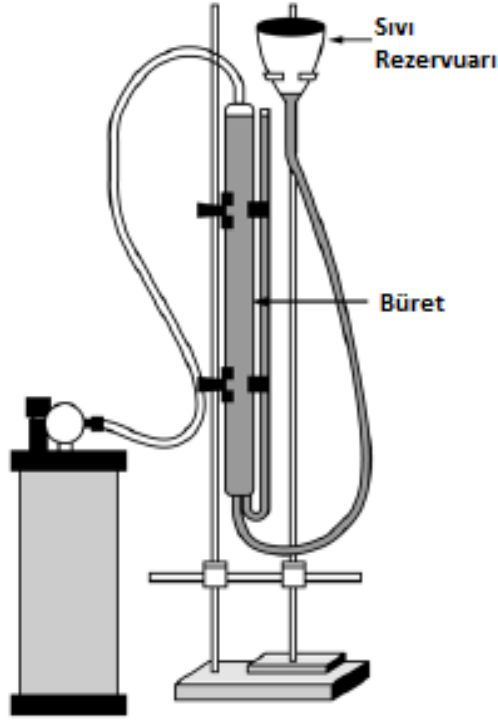
Alpu havzasından alınan karotlar 40 cm ve 60 cm boyunda bütün veya kırıklı malzeme olmaktadır. Çerkezköy havzasından sadece 60 cm boyunda numuneler alınmıştır. Numuneler alınırken genellikle kömür damarlarında farklı mineralleri en az içeren kısımlar seçilmiş ancak farklı litolojik yapılardan, yarı kömür içeren veya hiç içermeyen numunelerde mevcut durumun anlaşılması açısından seçilmiştir. Bu farklı jeolojik yapılar muhtemel açılacak yer altı galeri ile etkileşimde olacak taban ve tavan taşlarıdır. Basitçe bu kritere uygun kömür damarları belirli bir kalınlığın üzerinde olmalıdır. Numuneler

alınırken 1-2 m civarı belirli bir uzunluğu veya derinliği temsil edecek karotlar veya bir damarın tavan, orta seviye ve taban derinliklerini temsil edebilecek örnekler seçilmiştir.

Üzerindeki sondaj çamurundan arındırılan parçaların uzunlukları ölçülmüş, fotoğraflanmış ve kanisterlerin içine yerleştirilmiştir. Yerleştirildikten sonra bu kanisterler saf su ile doldurulmuş, bu yapılırken alınan numunelerin üzerinde olabilecek bir mikroorganizmanın faaliyetinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Neredeyse hiç boşluk bırakmayacak şekilde saf su ile doldurulmuş kanisterlerin ağzı kapatılmış ve diğer ölçümler yapılmak üzere sabit sıcaklıkta bulunan havuzlara yerleştirmek üzere nakliye edilmiştir.

3.2 Desorbe Olan Gaz İçeriğinin Ölçümü

Kömür gaz içeriğinin ölçümünde standartta da belirtildiği gibi (ASTM International, D7569/D7569M-10, Standard Practice for Determination of Gas Content of Coal - Direct Desorption Method, 2015) iki ana ölçüm yöntemi vardır. Bunlar doğrudan ve dolaylı ölçüm yöntemleridir. Bunlardan dolaylı ölçüm yöntemi bu tez kapsamında kullanılmamış olsada genel anlamıyla önceden öğütülmüş ve degaz işlemi yapılmış kömür numunelerinin metan adsorpsiyon izotermi çıkartılarak gaz içeriğinin belirlenmesidir. Adsorpsiyon izotermi kömürün değişen basınç şartları altında adsorbe olmuş metan miktarı arasında bulunan ilişki ve basınç fonksiyonu grafiğidir. Bu deneyin yanında yerinde kömür basıncı ve sıcaklığı ölçümü yapılması gerekir. Bu parametreler üzerinden kömürün gaz içeriği hesaplanır. Sahalarda ve İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Havalandırma ve İş Güvenliği Laboratuvarında yapılan gaz ölçüm deneyleri, doğrudan ölçüm yöntemi ile yapılmıştır. Uygulanan doğrudan yöntemde kömürün gaz içeriği üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar yayılan gaz, kayıp gaz ve artık gazdır. Yayılan gaz ve artık gaz ölçülmüş, kayıp gaz yayılan gaz verisi üzerinden hesaplanmıştır. Yayılan gaz ölçümünde Şekil 3.1’de verilen deney düzeniği kullanılmıştır (ASTM International, D7569/D7569M-10, Standard Practice for Determination of Gas Content of Coal - Direct Desorption Method, 2015). Bu düzenekte kanisterin vanalı ağzı, bir hortum vasıtasıyla bürete bağlanmaktadır. Bu büret ve yanında hortumla yüksek seviyede tutulan sıvı rezervuarı U borusu işlevi görmektedir ve gaz basıncına maruz kaldığında sıvı seviyesinde değişikliğe yol açmaktadır. Bu hacim farkı ölçülerek yayılan gaz hesaplanmaktadır. Bunların yanında ortamdaki açık hava basıncı ve kanister iç sıcaklığı ölçülmektedir.



Şekil 3.1: Doğrudan gaz yayılımı deneyi düzeneğinin şeması

Doğrudan yöntem Fransız Kömür Araştırma Merkezi CHERCHAR'da geliştirilmiş (Bertard, Bruyet, & Gunther, 1970) daha sonra yöntemin uygulama alanı genişletilerek iyileştirmeler yapılmıştır (Diamond & Levine, 1981). Yapılan çalışmalar yayılan toplam gaz hacminin zamanın karekökü ile doğru orantılı değiştiğini göstermiştir.

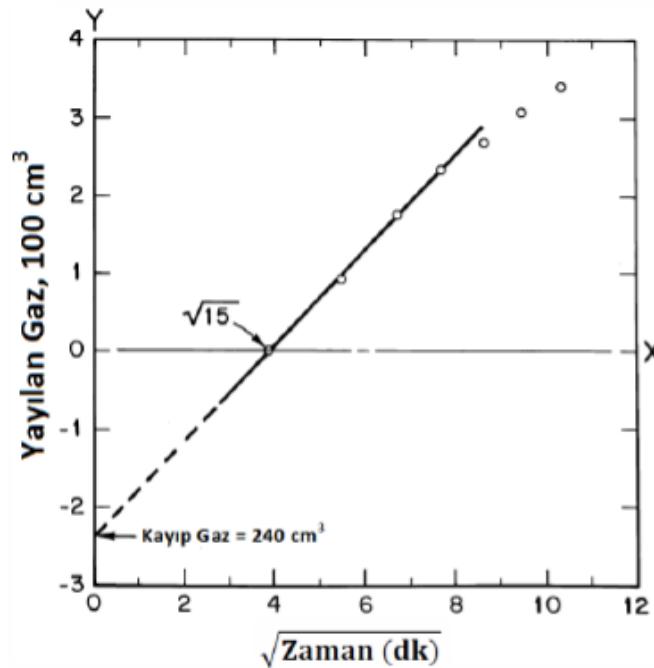


Şekil 3.2: Doğrudan gaz yayılımı deneyi düzeneği

Kömürün yaydığı gaz miktarının ölçümü sırasında kullanılan düzeneğe ait bir fotoğraf Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu düzeneğe kanisterler bir havuz içerisine yerleştirilmekte ve havuzda bulunan suyun sıcaklığı 25 °C’de sabit tutulmaktadır. Daha sonra okumalara başlanmaktadır. Bu okumaların ilk saatinde okuma sıklığı her 5 dakikada bir ölçüm şeklindedir. Sonraki saatlerde 10, 15, 30 dakikada bir ölçüm alınmış, ardından saatlik olarak tekrarlanmıştır. Belirli bir süre sonra, zaman aralıkları daha da açılarak günlük hale gelmiştir. Ölçüm aralıklarının açılması gitgide yayılma hızı azalan gazın depolanması için vakit tanımaktadır. Bu sebeple gelen gaz miktarına göre deneyin gerçekleştirildiği esnada bazı numuneler için bu aralıklar dahada esnetilmiştir.

3.3 Kayıp Gaz Miktarı

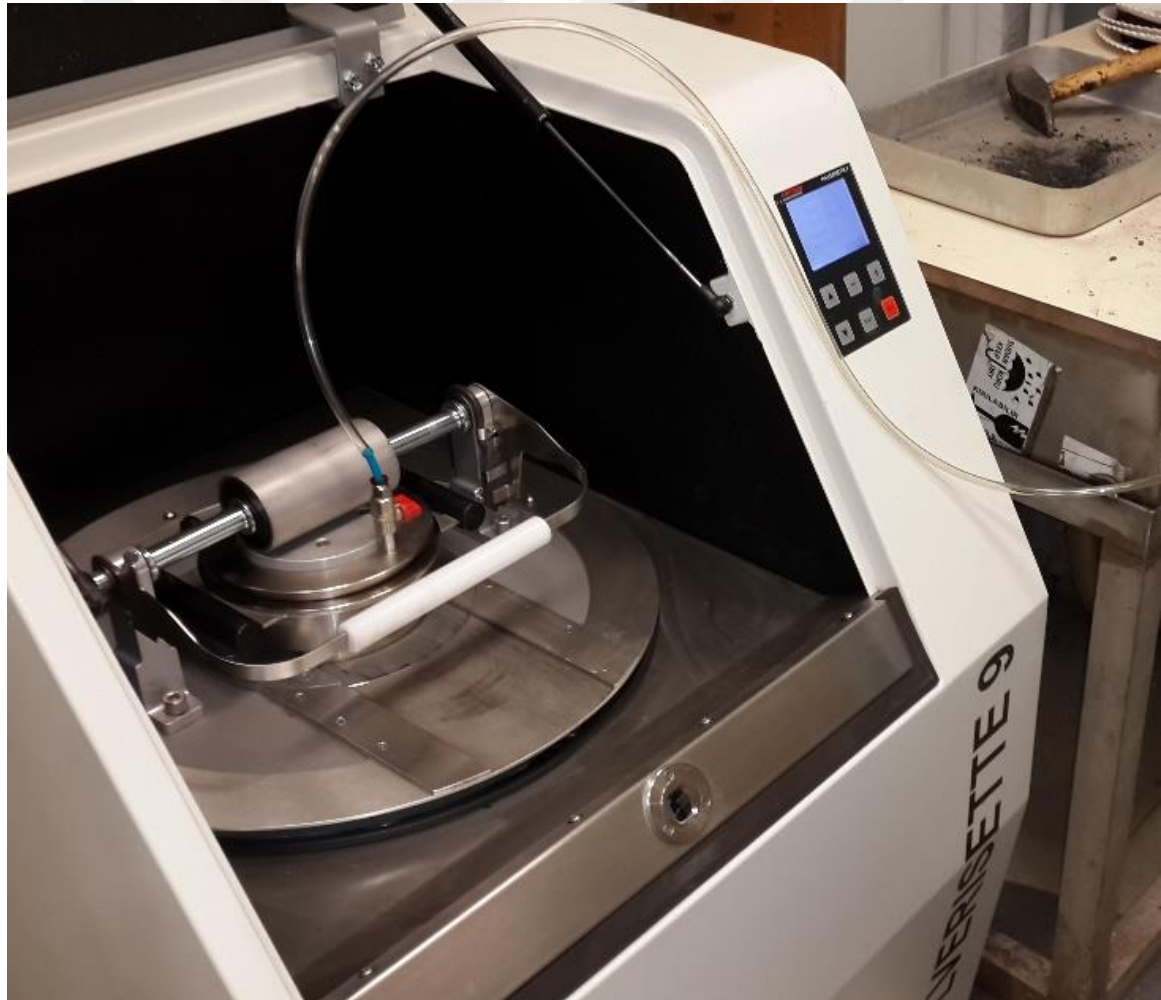
Kayıp gaz kömür numunesinin damardan alındıktan sonra kanister içine koyulana kadar geçen sürede yayılan gazdır. Bu gaz miktarı, kömürün toplam gaz içeriğinin önemli bir parçasıdır. Kayıp gaz miktarı ölçüme başladıktan sonra ilk okumalardan tahmin edilmektedir. Şekil 3.3’te zamanın karekökünün yayılan gaz hacmi ilişkisinin doğrusal olduğu anlaşılabılır. Ayrıca grafik üzerinde noktalı çizilmiş bölgede ilk ölçümden itibaren geriye gidilerek kayıp gazın nasıl belirleneceği gösterilmektedir. Kayıp gaz miktarının doğru ölçümü için kömürün en kısa sürede kanisterlere alınması gerekir.



Şekil 3.3: Kayıp gaz miktarının tahmin edilmesi

3.4 Artık Gaz Ölçümü

Artık gaz por matriksi içerisinde hapsolmuş gazdır. Bu sebeple ölçülebilmesi için kömürün öğütülmesi gerekmektedir. Bu deney gerçekleştirilirken kömür tane boyu dağılımı -200 meş seviyelerine getirilerek artık gaz ortaya bir hazne içerisinde ortaya çıkarılmakta daha sonra hacmi ölçülmektedir. Bu deney yapılırken Şekil 3.4'te görülen Pulverisette 9 halkalı değitmen kullanılmıştır. Değirmenin hücresi sızdırmaz özellikte olup küresel vanalı ağızı hortum ile bürete bağlanarak ölçülmektedir. Değirmen hücresi 100 cm^3 hacime sahiptir ve yapılacak deneyin kendi numunesinin hazırlanması sırasında, yayılan gaz ölçümünden sonra kanisterlerden çıkarılan karotlardan alınan 50 g parçalanmış kömür kullanılmıştır. Bu parçalanmış kömürlerin tane boyu dağılımı -1 cm seviyelerindedir. Artık gaz miktarının tayini için her kanisterden 3 numune alınmış ve ölçülmüştür.



Şekil 3.4: Artık gaz ölçümü deney düzeneği

3.5 Toplam Gaz Miktarı

Bu üç işlemten sonra elde edilen sonuçlar denklem 3.1’de verildiği gibi toplanarak kömürün gaz içeriğinin tamamı hesaplanmaktadır. Denklem ile üretilen sonuç hacmin kütleye oranı olacak şekilde farklı birimlerle ifade edilebilir. Toplam gaz içeriğinin bileşenlerinden biri olan artık gaz her ne kadar bilimsel bir anlam ortaya koysa da madencilik faaliyetleri esnasında etkisi bulunmamaktadır.

$$Q_T = \frac{Q_1 + Q_2}{M_K} + \frac{Q_3}{M_A} \quad (3.1)$$

Q_T = Toplam gaz içeriği [cm^3/g]

Q_1 = Kayıp gaz [cm^3]

Q_2 = Yayılan gaz [cm^3]

Q_3 = Artık gaz [cm^3]

M_K = Kanisterdeki kömür ağırlığı [g]

M_A = Öğütülen kömür ağırlığı [g]

3.6 Gaz Bileşimi Ölçümü

Kömürün gaz bileşiminin değişen ranklara göre neler olabileceği hakkında bilgiler kömürün gaz içeriğinin oluşumu, depolanması ve taşınması başlığı altında bahsedilmiştir. Buna göre çoğunluğu metandan oluşan, bunun yanında havzasına ve kökenine göre yüksek konsantrasyonlarda karbon dioksit ve azot ile beraber farklı bir çok gaz molekülü az oranlarda bile olsa kömürün gaz içeriğinde mevcut bulunmaktadır. Bu moleküller arasında kömür yüzeyinde oksidasyona neden olan oksijen gazı bulunmamaktadır.

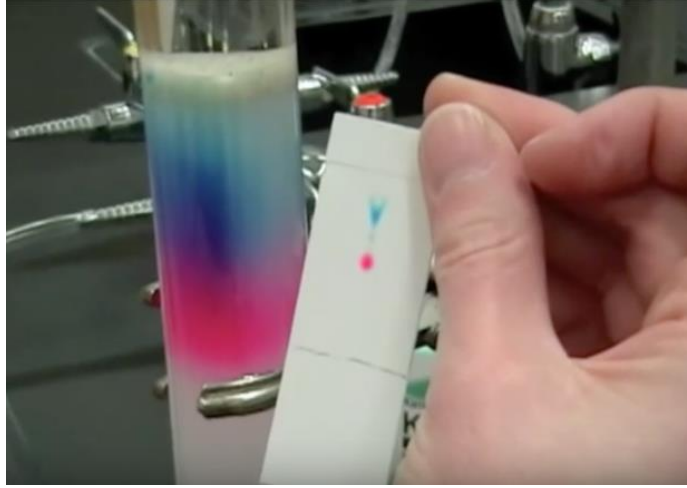
Yöntem belirlenirken, ölçümü yapılacak numunelerin kantitatif değer aralıkları dikkate alınmıştır. Günümüzde gaz ölçümü için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlardan detektör tüp ve elektronik sensör içeren ekipmanlar gerek yüksek hacime sahip numuneye ihtiyaç duydukları gerekse ortam havası ölçümlerinde daha etkili oldukları için tercih edilmemişlerdir. Bu yöntemlerden detektör tüp zayıf hassasiyeti, tek kullanımlık ve pahalı olması sebebiyle avantajlı bir seçenek olmamaktadır. Termal, optik ve elektrokimyasal ölçüm yöntemleri esas alınarak üretilmiş sensörleri barındıran elektronik cihazlarda (Liu,

ve diğerleri, 2012) sadece belirli konsantrasyon aralıkları ölçülebilmekte ve bu cihazlar daha çok ortam havası ölçümünde kullanılmakla beraber mevcut ticari cihazlar yüksek hacimli numune gerektirmektedir. Ayrıca bütün bu yöntemler belirli bir bileşiğin konsantrasyonu hakkında bilgi vermekte, bütün kompozisyonu ölçememektedirler. Bunların yanında elektronik cihazların kalibrasyonu kolaylıkla bozulabilmektedir.

Bu yöntemlerin aksine gaz kromatografi cihazı ile yapılan ölçümlerde 5 ml hacmine sahip numune ile deneyler yapılabilen, bu deneylerde seçeneğe bağlı olarak bir bileşik hariç bütün kompozisyonun ölçümü diğer yöntemlere göre görece çok daha yüksek doğruluğa sahip olacak şekilde ölçülebilir. Her bir bileşik için ölçüm aralığı ppm veya % 0.1 seviyelerinden başlayıp % 100'lere kadar ölçülebilirler. Bu tezin içerdiği gaz bileşimi analiz sonuçları gaz kromatografi (GC) ile üretilmiştir.

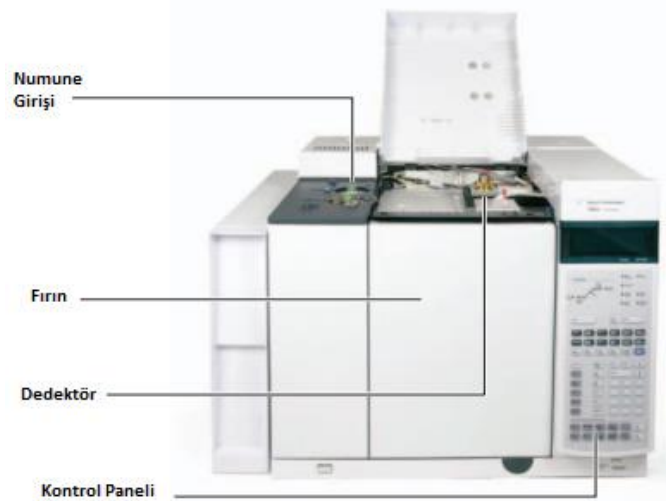
3.6.1 Kromatografi ve gaz kromatografisi yöntemleri

Kromatografi renklerin birbirinden ayrılmasının oluşturduğu görüntü anlamına gelir. Yöntem ilk olarak sıvı karışımlarının sabit bir faz üzerinde hareket ederken renklerin birbirinden ayrılması olarak gözlemlendiği için böyle isimlendirilmiştir. Bu ayrılan renklerin farklı bileşiklere ait olduğu anlaşılmıştır. Zamanla saydam ve aynı renge sahip farklı bileşiklerin de birbirinden ayrılmasını gözlemlemek için bu yöntem altbaşlığında çeşitli yöntemler üretilmiştir. Kromatografi deneyleri akışkanlara uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları kağıt kromatografisi, kolon kromatografisi, ince tabaka kromatografisi, yüksek basınçlı sıvı kromatografisi, gaz-sıvı kromatografisi ve gaz kromatografisidir. Bu yöntemlerin hepsinin dayandığı ana esas deney düzeneği içinde numuneyi içeren hareketli fazın, sabit bir faz üzerinden geçerken moleküllerinin çekim kuvvetlerine maruz kalacağı ancak bu kuvvetlerin her tür molekül için farklı şiddette olacağı için hareketlerini farklı hızlarda devam ettireceğidir. Kendi özgün yapılarına göre yeterince uzun bir sabit faza sahip bir düzenek bütün bileşikleri birbirinden ayırır. Daha sonra ayrılan bu bileşikler üzerinden kalitatif ve kantitatif çıkarımlar yapılır. Şekil 3.5'te kağıt kromatografisi görülmektedir (UCLA Chemistry & Biochemistry, 2018).



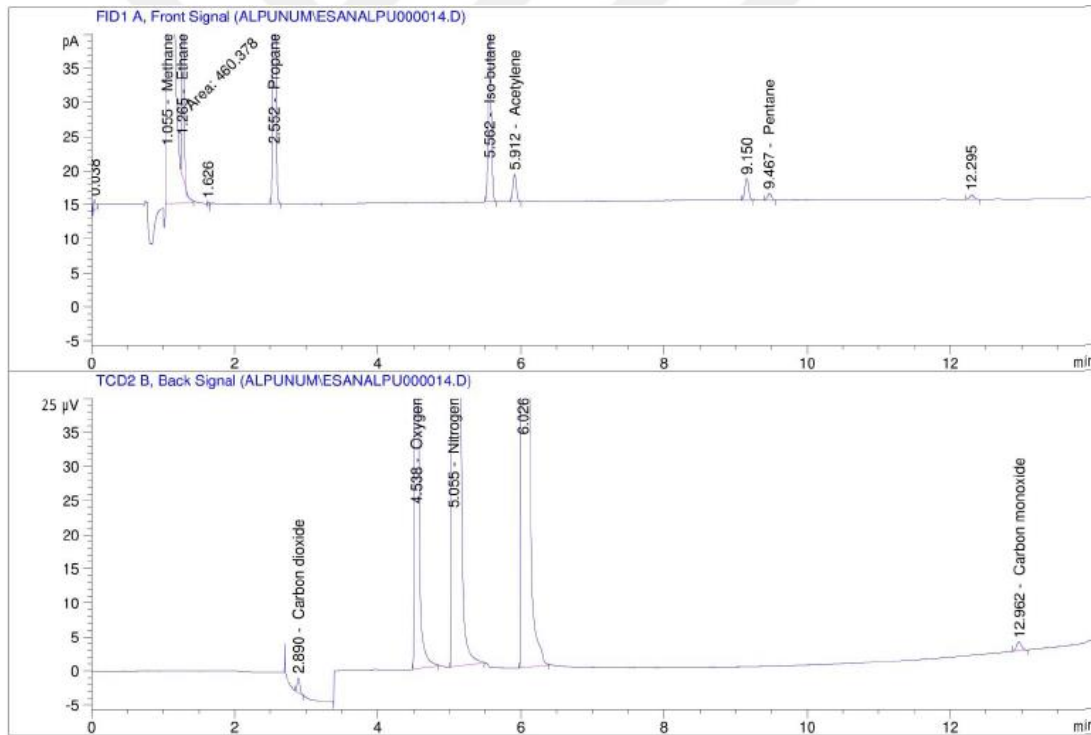
Şekil 3.5: Kağıt kromatografisi deneyi (UCLA Chemistry & Biochemistry, 2018)

Gaz kromatografisinde maddenin hali sıvı olmadığı için aynı esaslara dayanan iyileştirmeler yapmak gerekmiştir. Bu yöntemde gaz numunesi bir taşıyıcı gaz vasıtası ile kalınlıklara sahip(~0,5 mm) boru içerisinde geçirilmektedir. Bu borunun iç cidarı püskürtülen özel bir malzeme ile kaplanabilir veya yüksek karbon yada başka bileşik içeren bir madde ile dolgulu halde üretilebilir. Her halükarda numunenin bileşimine uygun bir sabit faz özelliği göstermesi umulmaktadır. Ayrıca helyum, argon, azot gibi gazlar hareketli faz olarak kolon olarak isimlendirilen sabit faz üzerinde belirli bir akış hızında hareket ederler. Bu akışın içerisinde karışan numune kolon boyunca(15 – 100 m) hareket ederken bileşikler birbirinden ayrılır ve kolonun sonundaki dedektörlerden geçerler. Bu dedektörlerin normalde ürettiği sinyalde değişikliğe yol açarak farklı bir bileşik olduğu anlaşılır. Ayrıca bu sinyalin integrali alınarak sinyal ve zaman cinsinden bir karışım oranı sayısı oluşturulmuş olunur. Böylece kantitatif analiz yapılabilir.



Şekil 3.6: Agilent 7890A gaz kromatografi cihazı (Agilent, 2010)

Şekil 3.6’da deneylerin yapımında kullanılmış olan Agilent 7890A kromatograf gösterilmektedir (Agilent, 2010). Kolon veya kolonlar şekilde gösterilen fırın kısmında yer almaktadır. Burada kolona sıcaklık ayarlaması yapılarak düşük sıcaklıkta birbirinden ayrılmakta veya yüksek sıcaklıkta kolon temizlenip deney daha erken bitirilebilir. Bu cihazlarda deneylerin bir çok parametresi bulunmaktadır. Ayrıca numunede bulunabilecek bileşiklere göre bir dedektör seçimi yapılmaktadır. Piyasada pek çok dedektör ticari olarak bulunmaktadır ve bunlar üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bunlardan başlıcaları termal iletkenlik dedektörü(TCD), alev iyonlaştırma dedektörü(FID), ışık iyonlaştırma dedektörü(PID), helyum iyonlaştırma dedektörü(HID), elektron yakalama dedektörü(ECD), ve alev fotometrik dedektörü(EPD) gibi dedektörlerdir (Laird & Verhappen, 2010). Ayrıca Şekil 3.7’de cihazda yapılan deneylerde bu dedektörlerden TCD ve FID ile üretilen sinyaller sonucu oluşan örnek kromatogram verilmiştir.

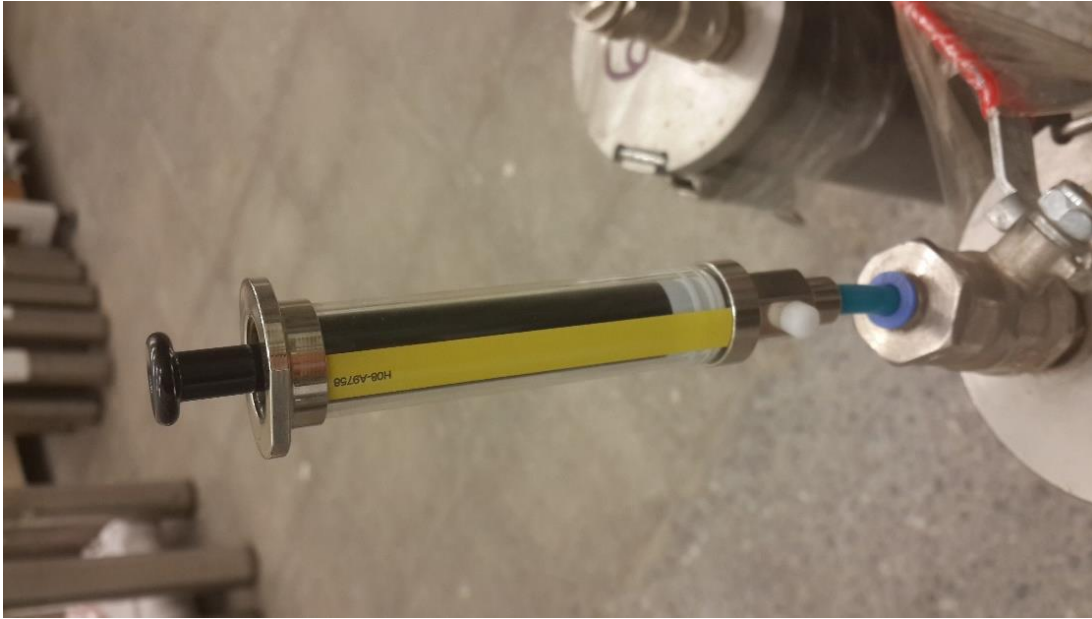


Şekil 3.7: Örnek gaz kromatogramı

3.6.2 Numunelerin alınması ve cihaza verilmesi

Numuneler doğrudan yayılan gaz analizi sırasında ölçümlerden birini yapmayıp mühürlenebilir gaz şırıngasına kanisterin ağzından gaz emilmesi işlemi ile yapılmıştır. Şekil 3.8’de görülebileceği gibi kanisterin ağzına mümkün olan en kısa hortum ile şırınga bağlanarak vana açılıp gaz emilmektedir. Her ne kadar sistem sızdırmaz durumda olsa da,

gerek hortumun kendisinden kaynaklı gerekse doğrudan yayılan gazın ölçümü işleminde kanister ve bürete bağlı hortum arasında çift yönlü gaz geçişi gerçekleştiği için atmosferik havanın numuneyi kontamine etmesi söz konusudur. Bunun yanında numunenin cihaza verilmesi işlemi sırasında her ne kadar el çabukluğu yapılsada orada da bir miktar ortam havası kontaminasyonu olmaktadır. Kromatografa numune verilmeden önce cihazın haznesinde bulunan başka deneylerden kalan gazlar argon ile süpürülmektedir. Bu gaz taşıyıcı gaz ile aynı olması için seçilmiştir. Süpürme işleminden sonra el çabukluğu ile argon şırınga ile değiştirilmektedir.



Şekil 3.8: Gazların sıcaklığa bağlı oluşumu

Numunelerde meydana gelen atmosferik kontaminasyon, normalizasyon hesaplamaları ile sonuçlardan temizlenebilmektedir. Bunu yapmak için kömürün gaz içeriği ve atmosferin birbirinden farkı olabilecek gaz oksijen gazıdır. Ölçülen değerlerden oksijen gazının kendisine eşdeğer olan azot ve karbon dioksit hesaplardan yüzde değerlerinden çıkartılarak arta kalan değerlerin kendi içerisinde tekrar yüzdelik dağılımı yapılmaktadır. Normalizasyon hesaplamalarında kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir.

$$N_2 \text{ İçeriği(\%)} = N_2 \text{ Ölçümü (\%)} - O_2 \text{ Ölçümü (\%)} \times 3.73 \quad (3.2)$$

$$CO_2 \text{ İçeriği(\%)} = CO_2 \text{ Ölçümü(\%)} - O_2 \text{ Ölçümü (\%)} \times 0,00167 \quad (3.3)$$

3.6.3 Cihaz parametreleri

Kullanılan Agilent 7890A gaz kromatografı kömürün gaz bileşimi sebebiyle üç adet kapiler kolona sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu kolonların özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kolonlarda taşıyıcı gaz olarak argon, durgun faz olarak polisiloksan kullanılmıştır. Ejektörden kolona taşınan gazlar kolon içerisinde molekül ağırlıkları ve polaritelerine göre birbirinden ayrıldıktan sonra dedektörden geçerek kullanılan ChemStation yazılımı tarafın değerlendirilmekte ve gösterilmektedir. Kolonların içinde bulunduğu fırın sıcaklığı 35 °C ile başlayıp 2 dakika sonra doğrusal şekilde yükselmekte ve 15. dakikada 190 °C olmaktadır. Sonrasında 2 dakika daha kolonların içinde numune kalmaması için çalıştırılan cihaz deneyi sonlandırmakta ve fırını soğutmaktadır.

Çizelge 3.1: Gaz kromatografında bulunan kolonların özellikleri

Kolon Tipi	Kolon Uzunluğu (m)	Kolon İç Çapı (mm)	Sabit Faz Film Kalınlığı (µm)
PLOT/Q	30	0,53	40
MOLESIEVE	30	0,53	50
19095P-S23	30	0,53	15

Ayrıca cihazda ejektör sıcaklığı 150 °C seviyesinde ve dedektörler 250 °C sıcaklıkta çalışmaktadır. Cihazda iki dedektör mevcuttur. Bunlar TCD ve FID dedektörleridir. Genel olarak FID, yanıcı özelliği bulunan hidrokarbonların tespitinde kullanılmakta, çok yüksek hassasiyete sahip olup 100 ppb seviyesindeki konsantrasyonlarda dahi sinyal üretebilmelerine rağmen bu sinyal ile gerçek değer arasındaki fark % 10 seviyelerindedir. Diğer taraftan, TCD dedektörü çok yüksek doğruluk oranına sahip olmasına rağmen bazı gazlarda 100 ppm seviyesinin altında değere sahip sinyal üretememektedir.

3.6.4 Cihaz kalibrasyonu

Cihazı kalibre etmek için 3 adet gaz tüpü kullanılmıştır. Bu tüpler her bir bileşiğin yüksek ve düşük konsantrasyonlardaki değerlerini içermektedir. Bu değerler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Sertifikalı olarak gelen bu tüplerin içerdiği gaz bileşimi değerlerinin doğruluğu hakkında tedarikçi firma tarafından % 2,5 hata payı garantisi verilmektedir. Bu tüplerle kalibre edilen cihazın farklı bir tüpteki gaz bileşimini doğru okuduğu ayrıca ortam havası

ile yapılan deneylerde taşıyıcı gaz olduğu için argonun değeri çıkartılıp tekrar normalize edildiğinde dünyaca bilinen değerlerin(< % 0.1) çok yüksek bir doğruluk değeri ile ölçüldüğü görülmüştür. Metan hariç diğer hidrokarbonlarda bu hata payı çok daha yüksektir.

Çizelge 3.2: Cihaza yapılan kalibrasyonda kullanılan tüplerin gaz bileşimleri

Gaz Bileşenleri	Düşük Konsantrasyon	Yüksek Konsantrasyon
Karbon dioksit (%)	1,04	20,03
Helyum (ppm)	205	1787
Hidrojen (ppm)	206	1779
Nitrojen (%)	57,96	98,61
Karbon monoksit (ppm)	304	2992
Metan (%)	1,04	19,94
Etan (ppm)	219	1978
Asetilen (ppm)	211	2587
Etilen (ppm)	163	2097
Propan (ppm)	211	1966
i-Bütan (ppm)	204	2521
n-Bütan (ppm)	162	1738
n-Pentan (ppm)	206	2992
Hekzan (ppm)	189	2010

3.7 Numunelerin Kanisterlerden Çıkarılması ve Kısa Kimyasal Analizi

Numunelerden gaz yayılımı durduktan sonra kanisterler açılmakta ağırlık ve boy ölçümleri yapılmakta, fotoğrafları çekilmekte ve kısa analiz, artık gaz ölçümü, depo amaçlı kullanılacak kısımlar ayırılmaktadır. Ağırlık ölçümleri ile karotun bütününe özkütlesi bulunmaktadır.

Kısa analizler ASTM standartlarına göre yapılmış (ASTM International, Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis: D2013/D2013M, 2013) (ASTM International, Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal: D3174-12, 2012) (ASTM International, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke: D3173/D3173M-17a, 2017) (ASTM International, Standard Test Method for Volatile Matter in Analysis Sample of Coal and Coke: D3175-17, 2017) ve deneyler yapılırken Şekil 3.9’da görülen modellerde fırın ve etüv kullanılmıştır.



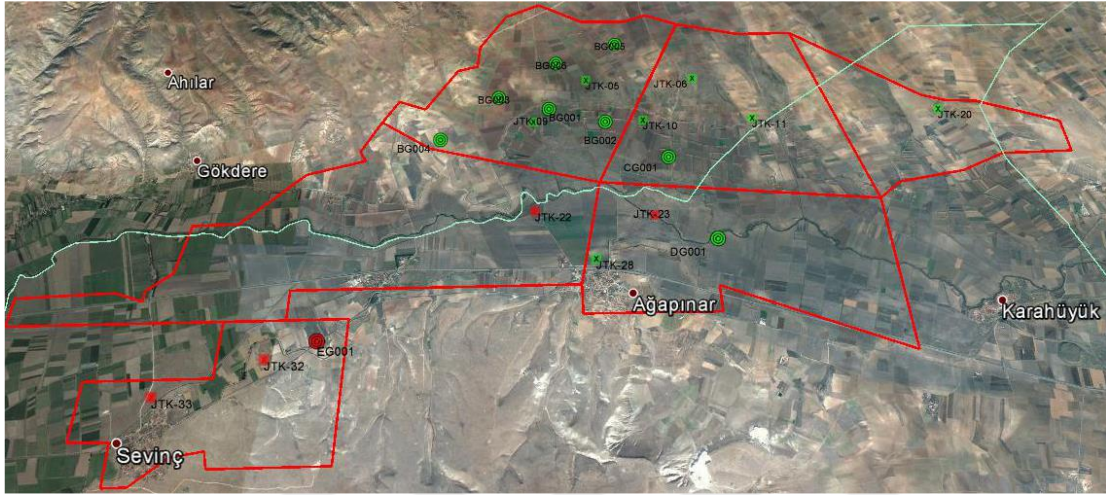
Şekil 3.9: Kısa analizde kullanılan fırın ve etüvün fotoğrafları

Deneyler sırasında 1 g kömür numunesi 107 °C’de etüvde ısıtılarak bünye nemi uzaklaştırılmakta ve deney öncesi ve sonrasındaki tartımlarla kütle kaybı hesaplanarak nem içeriği belirlenmektedir. Kül analizi için 750 °C’ye ısıtılmış fırın içine krozellerle koyulan 1 g kömür numuneleri kala kül miktarı tartılarak yüzdesi hesaplanmaktadır. Uçucu madde miktarı 950 °C’de 7 dakika ısıtılarak tartımı ile kaybolan uçucu oranı hesaplanmaktadır. Daha sonra bütünü sonuncu parçası olan sabit karbon diğer birimlerin çıkarılması ile bulunur.

3.8 Sondajlar ve Havzaların Yapısı

Çalışılan sahalardan Alpu’da 20 kuyudan numuneler alınmış bunların çoğu doğrudan yayılım testi amacıyla kullanılmıştır. Bu numunelerin bir kısmında gaz bileşimi analizi

yapılmıştır. Çerkezköy havzasında 3 kuyudan numuneler alınmış ve bir ruhsat sahası incelenmiştir. Çerkezköy havzasında alınan numunelerin tamamına doğrudan yayılan gaz içeriği testi uygulanmış ve bunların bir kısmına gaz bileşimi analizi yapılmıştır. Alpu havzasındaki sondaj lokasyonları proje kapsamında gelen talepler doğrultusunda ve sahanın durumu göz önünde bulundurularak seçilmiş ve bu lokasyonlar Şekil 3.10'da verilmiştir.

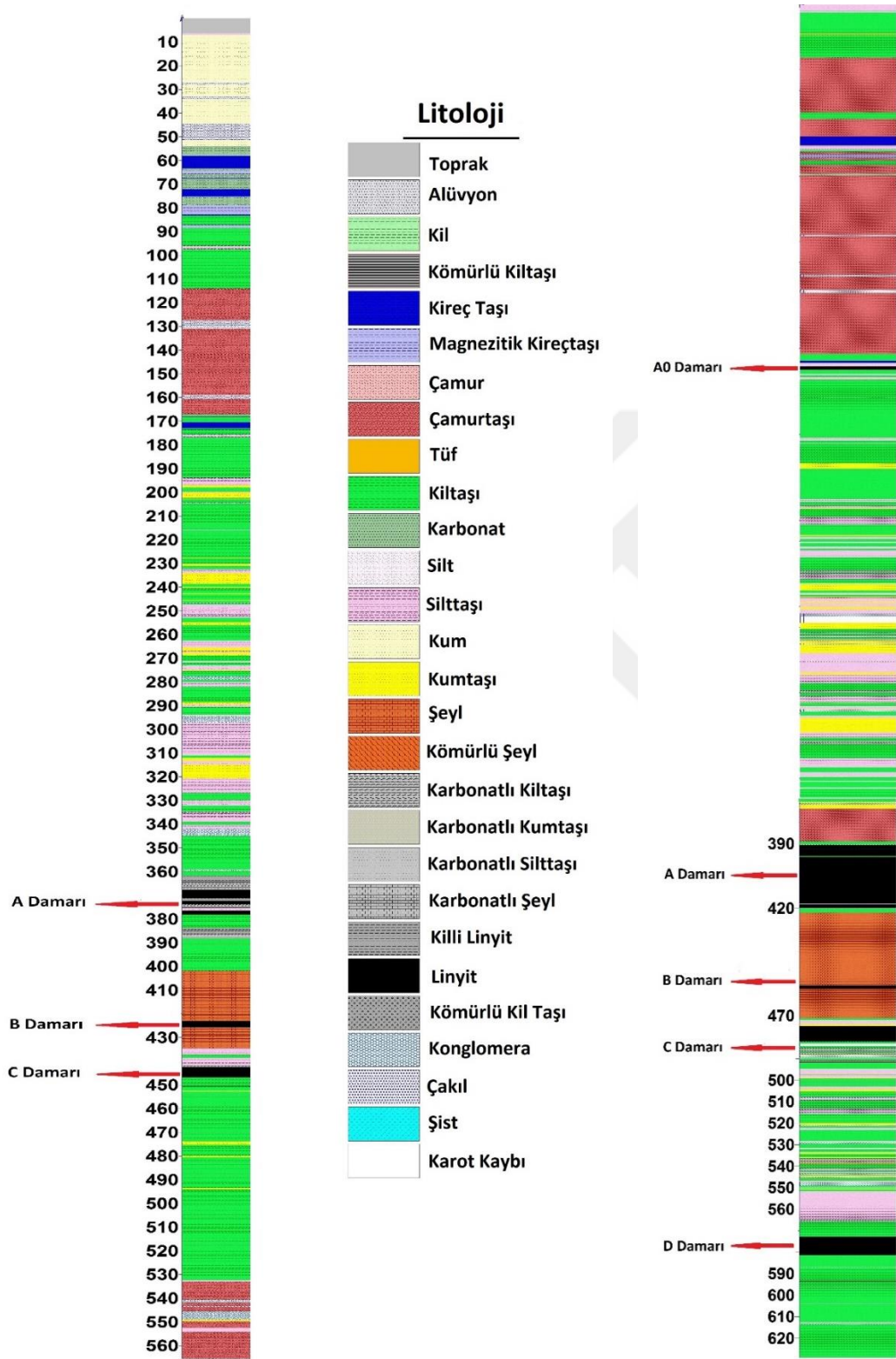


Şekil 3.10: Alpu havzası sektörleri ve sondaj lokasyonları

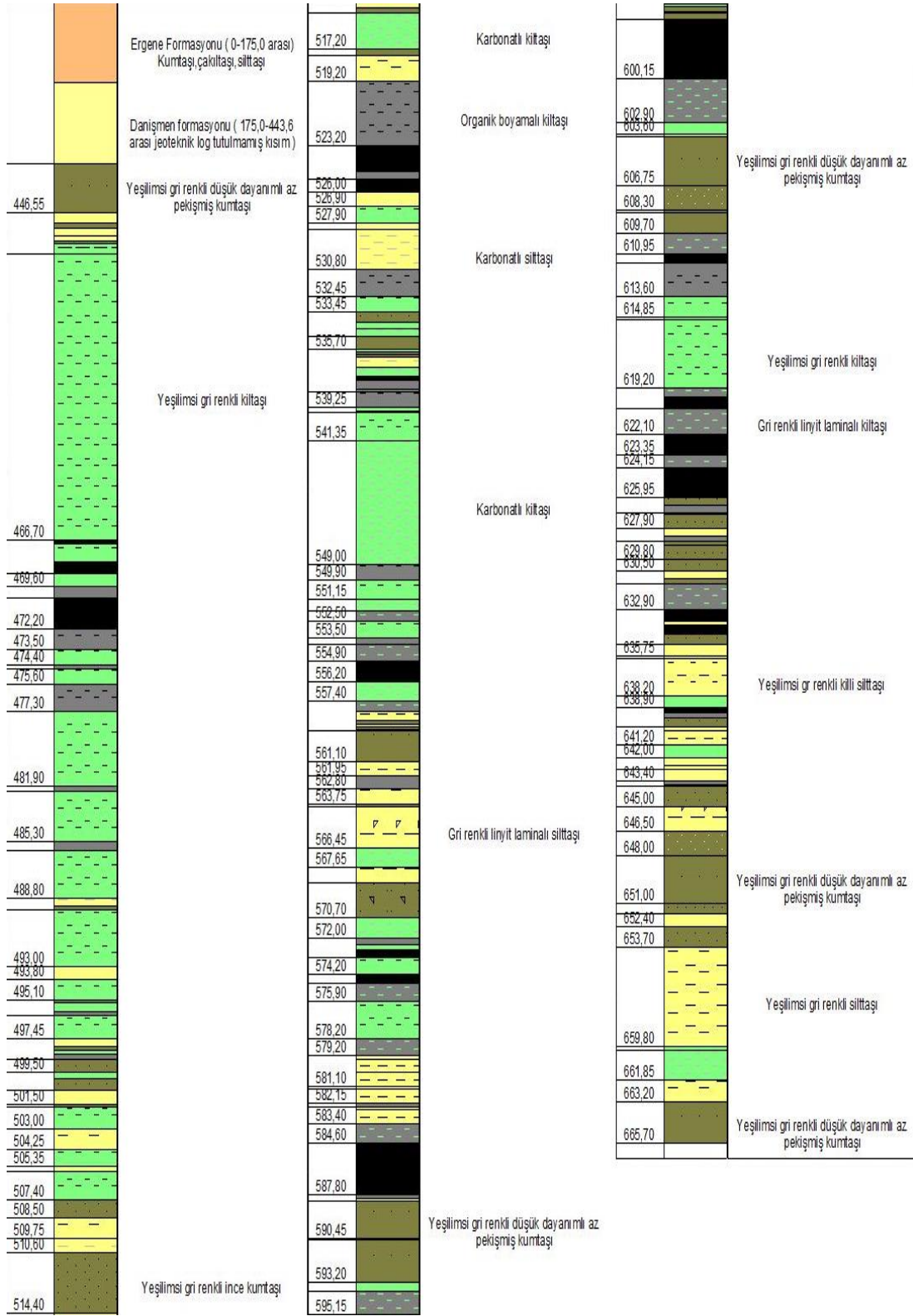
Her iki havzada ince ve kalın bir çok damar mevcuttur. Alpu havzasında kayda değer ölçüde varlık gösteren 6 damar mevcuttur. Bunlar A0, A, B, C, D ve E damarları olarak isimlendirilmiştir. Bu damarlardan A0 ve E damarlarına havzanın belirli kesimlerinde rastlanmaktadır. Havzanın genel yapısını sunan stratigrafik korelasyonlar Şekil 3.11'de verilmiştir. Bu şekilde soldan sağa doğru ATA-27 ve ATA-21 kuyularında karşılaşılan litojik yapılar görülmektedir. Sahada tortul kayaçların bir çoğuna rastlanmaktadır. Bunlar öncelikle kömür damarlarının üstünde yer alan kalın çamurtaşı yapıları A0 damarından sonra gelmeyen başlayan çoğunlukla kilitaşı ile beraber silttaşı ve kumtaşı içeren yapılar, A damarından sonra B damarını tabandan ve tavandan çevreleyen kalın şeyl formasyonu sonraki damarları çevreleyen kilitaşı ağırlıkta olmak üzere diğer tortul kayaçlardır.

Çerkezköy havzasına numune alınan kuyulara yakın konumlu bir kuyuya ait stratigrafik korelasyon Şekil 3.12'de verilmiştir. Şekil üzerinde görülebileceği gibi linyit içeren yapılar saçılım göstermiş, kalınlıkları değişmekte ayrıca görülebileceği gibi diğer tortul kayaç formasyonlarının içinde varlık göstererek iç içe geçmektedir. Sahada mevcut olan litojik yapılar baskın olarak kilitaşı olmakla beraber, kumtaşı ve silttaşı gibi diğer tortul

formasyonlar mevcuttur. Bu formasyonların damarlara yakın derinliklerde linyit içerdiği, dolayısıyla gaz içeriği olduğu sahada yapılan çalışmalar esnasında görülmüştür.



Şekil 3.11: Alpu havzasındaki bazı kuyuların statigrafileri



Şekil 3.12: Çerkezköy havzası statigrafisi

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMELERİ

4.1 Kısa Analiz Sonuçları

Alpu sahasından alınan 279 numunenin linyit olan 241 tanesine kısa analiz deneyleri ve önceki bölümde bahsedildiği gibi kanister içine alınmış karotların bütününe özkütlesini tayin etmek için tartımlar yapılmış ve A, B, C ve D damarları için bu deneylerin sonuçlarının ortalama ve standart sapma değerleri EK B’de verilmiştir. Saha çalışması sırasında madencilik yöntemleri ile üretime uygun kalınlıklara sahip olan bu damarlardan çok sayıda numune alınmasına karşın hem her sektörde rastlanmayan hemde kömür üretimi açısından olumsuz şartlara sahip olduğu düşünülen A0 ve E damarları hakkında da bilgi toplamak amacıyla kısıtlı sayıda numune alınmıştır. Bu damarlara ait kısa analiz sonuçları ve özkütle bilgileri yine EK B’de verilmiştir.

Çerkezköy havzasından alınmış 17 numunenin 15 tanesi linyit içermesi sebebiyle bu numunelerde aynı deneysel süreçten geçmiş ve sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu numunelerden V4 numaralı kanister kil ile karışık linyit içermekte ve çizelge sonuçları üzerinde de bu durum görünür bir fark oluşturmaktadır.

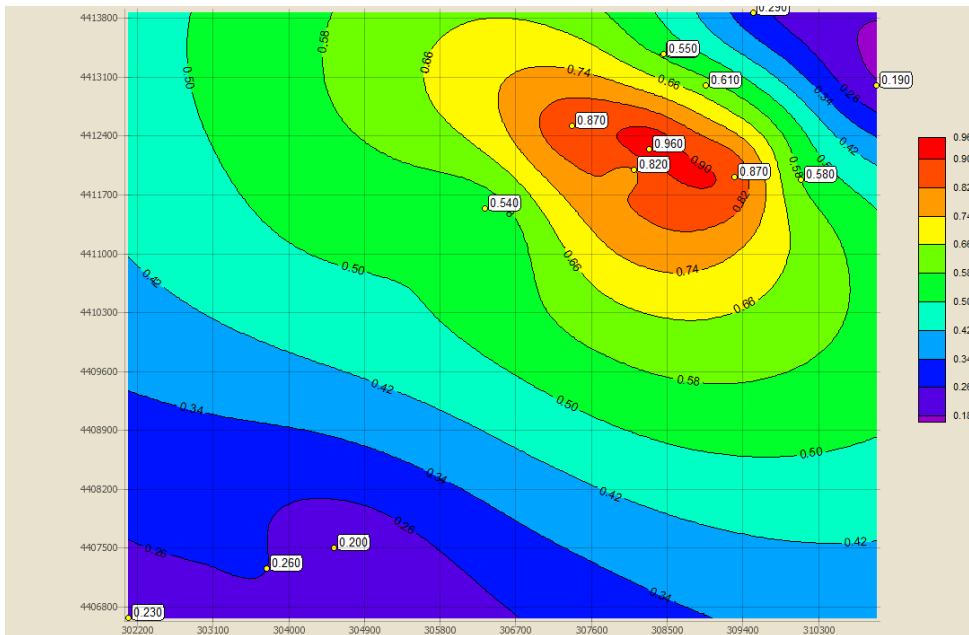
Çizelge 4.1: Çerkezköy havzası numunelerinin kısa analiz sonuçları

Kanister No	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu (%)	Sabit Karbon (%)	Özkütle
V4	23,86	50,33	17,21	8,59	1,3
K601	31,04	24,94	24,93	19,09	1,5
M2	31,73	14,56	28,84	24,87	1,3
R3	28,94	53,9	14,23	2,93	1,6
V1	27,46	43,3	19,11	10,14	1,5
V21	29,9	37,39	22,29	10,42	1,6
V24	30,11	23,88	26,05	19,95	1,4
R38	42,24	9,97	30,01	17,78	1,4
V19	31,62	7,04	32,54	28,8	1,3
V25	33,81	16,25	28,89	21,05	1,4
D15	34,23	26,66	24,91	14,19	1,5
K605	39,76	11,82	30,91	17,51	1,3
K611	34,86	44	16,84	4,29	1,5
R37	37,08	17,97	28,56	16,39	1,3
V2	31,59	27,24	24,61	16,56	1,6

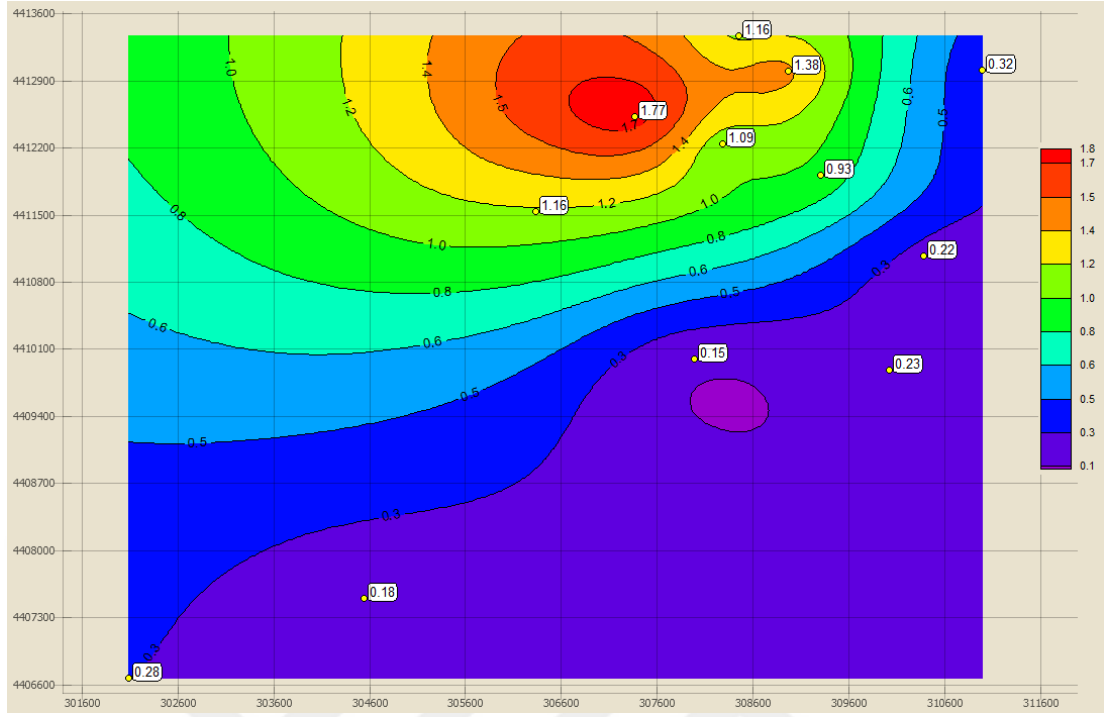
Kısa analizleri yapılmış bu iki havzaya ait numunelerin kuru ve külsüz bazda uçucu içerikleri % 50'nin üzerindedir. Ayrıca nem değerleri genel olarak % 20 ile % 40 arasında değişmektedir. Bu sebeple bu havzalarda bulunan kömürler rank olarak linyit özelliği göstermektedir. Alpu havzasına ilişkin kısa analiz sonuçları incelendiğinde A sektörünün genel anlamıyla bütün damarlarında en düşük uçucu içeriğe sahip olması sebebiyle en yüksek kömürleşme bu sektördedir. Aynı şekilde EK B'de görülebileceği gibi kömür damarlarında derinlere inildikçe uçucu içeriği azalmakta ancak nem içeriği bu kömürleşme göstergesini tam anlamıyla takip etmemektedir.

4.2 Gaz İçeriği Sonuçları

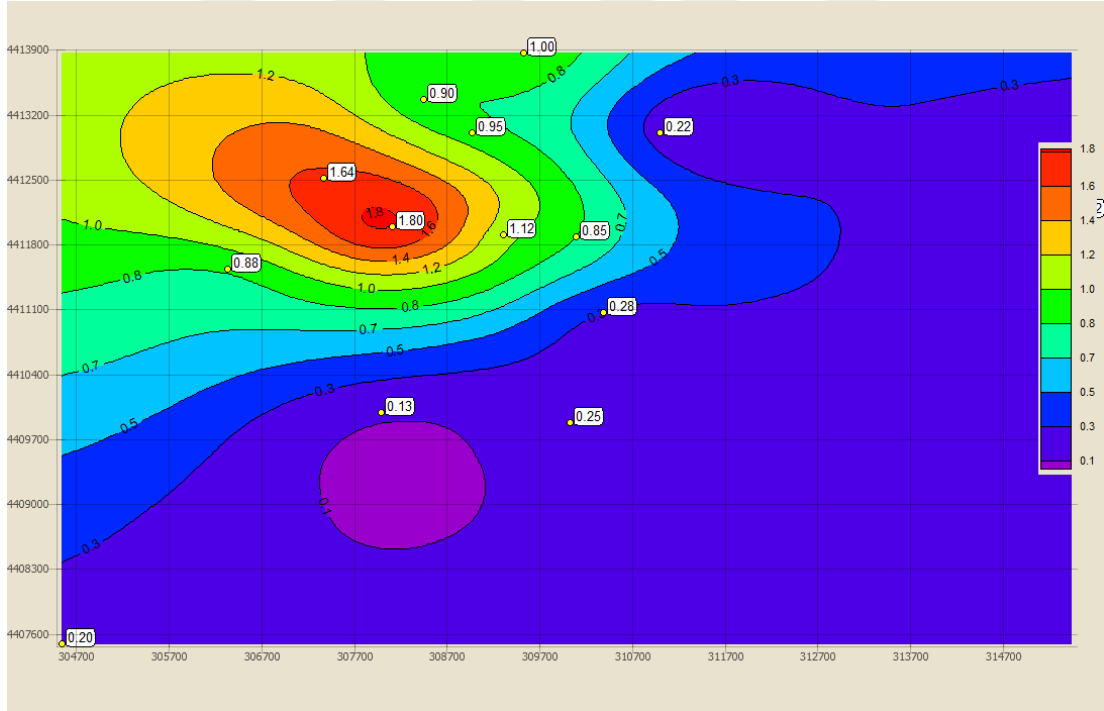
Yapılan gaz içeriği ölçüm çalışmalarına göre farklı sektörlerde farklı gaz miktarları belirlenmiş ve havzada bulunan sektörler arasında B sektörü en çok gaz içeriği ile ön plana çıkmıştır. Ölçümlere göre A sektörünün gaz içeriği $0,12 \text{ m}^3/\text{ton}$ ile $0,57 \text{ m}^3/\text{ton}$ arasında, B sektörü $0,09 \text{ m}^3/\text{ton}$ ile $2,07 \text{ m}^3/\text{ton}$, C sektörü $0,10 \text{ m}^3/\text{ton}$ ile $0,88 \text{ m}^3/\text{ton}$, D sektörü $0,17 \text{ m}^3/\text{ton}$ ile $0,27 \text{ m}^3/\text{ton}$, E sektörü $0,03 \text{ m}^3/\text{ton}$ ile $0,29 \text{ m}^3/\text{ton}$ ve F sektörü $0,18 \text{ m}^3/\text{ton}$ ile $0,24 \text{ m}^3/\text{ton}$ arasında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek gaz içeriğine sahip numuneler, B sektörünün ardından sırayla C ve A sektörüdür. Gaz içeriği değerlerinin gösterdiği gibi geriye kalan sektörlerin gaz içerikleri görece düşük olarak diğerlerini takip etmektedir. Gaz içeriklerinin damarlara göre dağılımı Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.



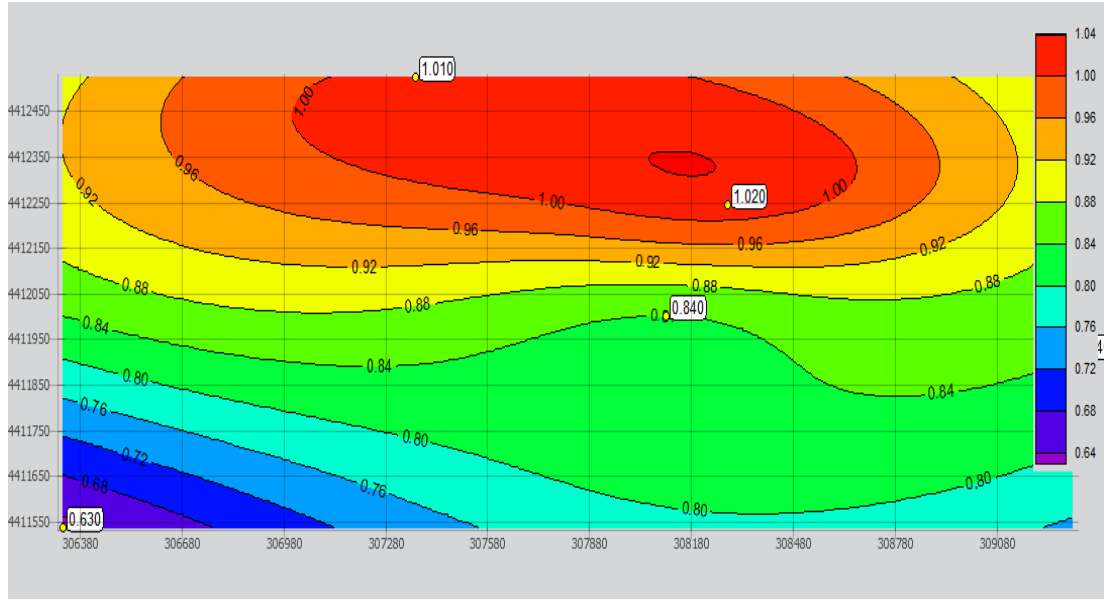
Şekil 4.1: Alpu havzası A damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası



Şekil 4.2: Alpu havzası B damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası



Şekil 4.3: Alpu havzası C damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası



Şekil 4.4: Alpu havzası D damarı eş gaz içeriği eğrisi haritası

Damarlara ait eş gaz içeriği eğrilerinin verildiği şekillerde görüldüğü gibi gaz belirli bölgelerde yoğunlaşmış ve bütün damarların en yoğun gaz içerdiği bölgelerin koordinatları birbirine çok yakındır. Bu bölgeler en yüksek gaz içeriğine sahip B sektörünün içinde yer almaktadır. Damarlar birim gaz içeriği yönüyle kıyaslandığında en yüksek gaz içeriği B damarı olmakta ve sırasıyla C, D, A damarları tarafından takip edilmektedir. Bu damarlardan en kalın olanı ve en sığ seviyede bulunanı A damarı, sonra C ve D damarları benzer kalınlıklarda ve bunları içlerinde en ince olan B damarı takip etmektedir. Ancak B damarının kendisine göre muazzam kalınlığa sahip olan tavan ve taban taşları şeylden oluşmuştur. Çizelge 4.2’de verilen değerler B sektöründe sondaj yapılmış üç kuyudan, B damarına ve tavan/tabani taşı olan şeyl formasyonlarından alınan karotlara ait gaz içeriği değerlerini göstermektedir. Bu çizelge hakkında sonraki bölümlerde bahsedilecektir.

Çizelge 4.2: Alpu havzası bazı kuyuların B damarına ait damar, tavan ve taban gaz yayılımı deneyi sonuçları

Kuyu	Litoloji	Derinlik (m)	Yayılan Gaz (m ³ /t)	Kayıp Gaz (m ³ /t)	Artık Gaz (m ³ /t)	Toplam Gaz (m ³ /t)
BG 01	Şeyl	401,70	0,12	0,11	0,09	0,32
BG 01	Linyit	418,42	0,66	0,28	0,15	1,09
BG 01	Şeyl	419,20	0,45	0,47	0,18	1,10
BG 02	Şeyl	374,00	0,30	0,13	0,16	0,59
BG 02	Linyit	377,10	0,53	0,24	0,16	0,93
BG 02	Şeyl	383,20	0,32	0,23	0,18	0,73
BG 03	Şeyl	356,20	0,35	0,29	0,05	0,69
BG 03	Linyit	372,30	1,25	0,34	0,18	1,77
BG 03	Şeyl	373,50	1,00	0,64	0,19	1,83

Çerkezköy havzası, Alpu havzasına göre daha düşük gaz içeriğine sahiptir. Yine bu havzada karşılaşılan jeolojik yapının onlarca metre içerisinde ince ve kalın birçok damar içermesi Alpu havzası ile rankı dışında başka bir benzer özelliğidir. Bu havzadan alınmış olan 17 numunenin gaz içeriği, derinlik ve litoloji bilgileri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu değerler yine jeolojik heterojenlik ve diğer faktörler sebebiyle hatları keskin bir eğilim belirtmemekle birlikte, saha hakkında genel bir manzara ortaya koymaktadır. Değerler üzerinde görülebileceği gibi killi formasyonun gaz içeriği, linyit örneklerine göre çok daha düşüktür.

Çizelge 4.3: Çerkezköy havzasından alınan numunelerin gaz içeriği, derinlik ve litoloji bilgileri

Kuyu Adı	Litoloji	Kanister No	Gaz İçeriği (m ³ /t)	Derinlik (m)
Kuyu 1	Kil	H13	0,03	657,8
Kuyu 1	Kil	H22	0,02	629
Kuyu 1	Kil+Linyit	V4	0,09	597,9
Kuyu 1	Linyit	K601	0,14	568
Kuyu 1	Linyit	M2	0,46	659,3
Kuyu 1	Linyit	R3	0,13	598,4
Kuyu 1	Linyit	V1	0,2	623,3
Kuyu 1	Linyit	V21	0,16	675,2
Kuyu 1	Linyit	V24	0,56	653,3
Kuyu 2	Linyit	R38	0,16	449
Kuyu 2	Linyit	V19	0,27	443,8
Kuyu 2	Linyit	V25	0,39	425,8
Kuyu 3	Linyit	D15	0,14	442,3
Kuyu 3	Linyit	K605	0,22	457,8
Kuyu 3	Linyit	K611	0,13	514,2
Kuyu 3	Linyit	R37	0,12	419,2
Kuyu 3	Linyit	V2	0,19	503,6

4.3 Gaz Bileşimi Sonuçları

Alpu sahasından gaz bileşimi belirleme amaçlı yayılan gaz ölçümü için alınan numunelerin 24 tanesi için GC ile gaz analizi yapılmıştır. Yöntem bölümünde bahsedildiği gibi kromatogram sonuçlarına % 20'ye yakın seviyelerde atmosferik hava kontaminasyonu olmuş ve bu sonuçlar normalize edilerek kömürün yaydığı gazın konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Ayrıca gaz bileşiklerinin oranları üzerinden genel bilgiler bölümünde bahsedilen yöntemler kullanılarak ölçülen gazın kökeni hakkında değerler belirlenmiştir. Alpu havzası için gaz bileşim analizi sonuçları EK C'de verilmiştir. Havza geneli için ortalama değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4: Alpu havzası gaz bileşimi analiz sonuçları

	Ortalama	Standart Sapma	Maks.	Min.
Karbon dioksit (%)	3,08	3,41	9,79	0
Helyum (ppm)	54	73	273	0
Hidrojen (ppm)	1232	5740	28758	0
Nitrojen (%)	39,91	25,20	90,20	4,68
Karbon monoksit (ppm)	2313	2365	6756	0
Metan (%)	56,4934	23,8631	92,3811	7,0341
Etan (ppm)	1470	1212	4249	304
Asetilen (ppm)	8	13	61	0
Etilen (ppm)	2	8	41	0
Propan (ppm)	112	258	1178	0
i-Bütan (ppm)	38	55	218	0
n-Bütan (ppm)	4	5	17	0
n-Pentan (ppm)	1	3	10	0
Hegzan (ppm)	0	1	3	0
CDMI	5,84	7,67	28,16	0
C1/(C1-5)	99,73	0,14	99,91	99,47
C1/(C2+C3)	506,42	263,80	1181,59	186,85

Bununla beraber havzada mevcut damarlar için ortalama değerler Çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Bu değerlerde görüleceği gibi sahada en baskın varlık gösteren gaz metan olmakla birlikte azot oranları ikinci sırada ve oldukça yüksek değerlerle bulunmaktadır. Bunlarla beraber yüksek oranlarda karbon dioksit bulunmaktadır. Gaz içeriği sonuçlarında bahsedildiği gibi yüksek gaz içeriğine sahip B damarı aynı zamanda en yüksek metan oranına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5: Alpu havzası A damarı gaz bileşim analizi sonuçları

A Damarı	Ortalama	Standart Sapma	Maks.	Min.
Karbon dioksit (%)	2,85	2,61	7,10	0
Helyum (ppm)	61	75	178	0
Hidrojen (ppm)	4793	10718	28758	0
Nitrojen (%)	38,36	21,16	63,76	4,96
Karbon monoksit (ppm)	2095	2151	4843	0
Metan (%)	57,92	19,54	89,70	32,61
Etan (ppm)	1529	831	2556	598
Asetilen (ppm)	8	11	31	0
Etilen (ppm)	7	15	41	0
Propan (ppm)	152	211	470	0
i-Bütan (ppm)	53	63	167	0
n-Bütan (ppm)	1	3	8	0
n-Pentan (ppm)	2	4	10	0
Hegzan (ppm)	1	1	3	0
CDMI	3,99	3,27	9,92	0
C1/(C1-5)	99,72	0,11	99,89	99,53
C1/(C2+C3)	440,48	211,47	872,84	227,86

Çizelge 4.6: Alpu havzası B damarı gaz bileşimi analiz sonuçları

B Damarı	Ortalama	Standart Sapma	Maks.	Min.
Karbon dioksit (%)	6,72	3,86	9,79	1,27
Helyum (ppm)	27	38	82	0
Hidrojen (ppm)	0	0	0	0
Nitrojen (%)	16,95	6,28	22,42	8,16
Karbon monoksit (ppm)	4207	2997	6756	0
Metan (%)	75,60	5,81	80,94	67,53
Etan (ppm)	2954	1394	4249	1019
Asetilen (ppm)	3	4	8	0
Etilen (ppm)	0	0	0	0
Propan (ppm)	31	37	83	0
i-Bütan (ppm)	11	16	33	0
n-Bütan (ppm)	4	6	12	0
n-Pentan (ppm)	0	0	0	0
Hegzan (ppm)	0	0	0	0
CDMI	8,09	4,61	11,88	1,60
C1/(C1-5)	99,60	0,19	99,86	99,47
C1/(C2+C3)	380,89	274,05	768,46	186,85

B damarında olduğu gibi yüksek değerlerde gaz içeren ve daha derinlerde bulunan C damarında metan oranı daha düşük çıkmış, daha derinlerde yer alan D ve E damarlarının metan ortalaması ise en düşük seviyelerdedir.

Çizelge 4.7: Alpu havzası C damarı gaz bileşimi analiz sonuçları

C Damarı	Ortalama	Standart Sapma	Maks.	Min.
Karbon dioksit (%)	3,76	3,43	9,41	0,01
Helyum (ppm)	70	91	273	0
Hidrojen (ppm)	46	62	176	0
Nitrojen (%)	40,87	25,88	90,20	4,68
Karbon monoksit (ppm)	1982	2000	5698	0
Metan (%)	55,05	25,24	89,20	7,03
Etan (ppm)	1167	1076	3514	304
Asetilen (ppm)	2	3	7	0
Etilen (ppm)	0	0	0	0
Propan (ppm)	1	2	6	0
i-Bütan (ppm)	8	14	43	0
n-Bütan (ppm)	2	4	11	0
n-Pentan (ppm)	0	0	0	0
Hegzan (ppm)	0	0	0	0
CDMI	9,21	10,54	28,16	0,01
C1/(C1-5)	99,78	0,13	99,91	99,57
C1/(C2+C3)	627,36	297,94	1181,59	231,52

Çizelge 4.8: Alpu havzası D ve E damarları gaz bileşim analizi sonuçları

D & E Damarı	Ortalama	Standart Sapma	Maks.	Min.
Karbon dioksit (%)	0,45	0,43	1,35	0
Helyum (ppm)	37	38	93	0
Hidrojen (ppm)	66	118	322	0
Nitrojen (%)	51,50	25,82	83,48	6,10
Karbon monoksit (ppm)	2080	2281	6565	0
Metan (%)	47,69	25,66	92,38	16,45
Etan (ppm)	1124	1056	3439	390
Asetilen (ppm)	19	19	61	6
Etilen (ppm)	0	0	0	0
Propan (ppm)	277	412	1178	0
i-Bütan (ppm)	83	62	218	29
n-Bütan (ppm)	8	6	17	0
n-Pentan (ppm)	2	4	10	0
Hegzan (ppm)	0	1	2	0
CDMI	1,53	2,44	6,94	0
C1/(C1-5)	99,72	0,12	99,85	99,47
C1/(C2+C3)	453,73	161,23	710,03	200,10

Ayrıca çizelgelerde yer alan değerlerin standart sapmaları oldukça yüksek çıkmakta ve sahanın özellikle gaz bileşimi konusunda, jeolojik heterojenlik özelliği ön plana çıkmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde oldukça hemen hemen bütün gaz bileşikleri için saçılımlı bir tablo ortaya çıkmaktadır. Bu saçılımlı sahaya öyle nüfuz etmiştir ki derinlik değeri bakımından art arda gelen iki numunenin bile tamamıyla farklı bileşimlere sahip olduğu yapılan deneyler neticesinde görülmüştür.

Desorpsiyon kanisterlerden alınan gaz numunelerinin analizinin yanında, bu çalışmalar sırasında Alpu bölgesinde ikamet eden yöre halkı bir kuyudan gaz geliri olduğunu farketmiştir. Bununla kalmayıp gelen gaz ile ateş yakıp kullanmaya başlamışlardır. Bu kuyudan gelen gazdan vanalı balonlara 3 numune alınmış ve analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu sonuçlarda metan oranlarının yüksek çıkmış ve B damarı için yapılan ölçümlerle uyuşmaktadır. Numuneler yaklaşık 15 dakika ara ile alınmış olsalarda kendi aralarındaki konsantrasyon değerleri farklılaşmaktadır. Bunun yine ölçümlerle anlaşılmış olan heterojen bir şekilde gaz bileşimi, özellikle metan ve azot değerlerinin saçılımlı yapısının ortaya konulduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9: Alpu havzası balon numune sonuçları

	Balon 1	Balon 2	Balon 3
CO ₂	0,199992	0,031098	0,032436
CH ₄	83,42348	92,93765	92,81216
C ₂ H ₆	0,110479	0,075848	0,076273
C ₃ H ₈	0,001593	0,000251	0,000269

N₂	16,23232	6,921161	7,04682
He	0,032135	0,033996	0,032043
C₁/(C₂+C₃)	744,368	1221,281	1212,559
CDMI	0,239157	0,03345	0,034935
C₁/C_{1..5}	99,86584	99,91819	99,9176

Bunun aksine Çerkezköy havzasındaki gaz değerleri farklı damarlar, derinlikler ve lokasyonlardan alınmış numuneler dahi olsa aynı litoloji için benzer değerler ürettiği ve bütün linyit numuneleri için tutarlı bir yapı ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Çerkezköy havzasının linyit numunelerine ait bileşim değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Ayrıca normalize edilmiş tüm konsantrasyon değerlerinin yer aldığı çizelge EK C’de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde kil veya killi linyit olan karot numunelerde bariz bir şekilde azot değerleri yüksek çıkmıştır. Linyit numunelerinde ise metan oranı minimum % 90 mertebelerinde iken ortalamada % 95’in üzerindedir ve standart sapma değerleri özellikle Alpu sahasına göre oldukça düşüktür.

Çizelge 4.9: Çerkezköy havzası gaz bileşim analizi sonuçları

Gaz Bileşiği	Birim	Ortalama	Standart Sapma
Karbon dioksit	(%)	0,494	0,320
Helyum	(ppm)	23,6	40,5
Hidrojen	(ppm)	5,5	8,0
Azot	(%)	4,023	2,998
Metan	(%)	95,443	2,843
Etan	(ppm)	281,2	95,4
Asetilen	(ppm)	23,7	6,7
Etilen	(ppb)	6070	9037
Propan	(ppm)	5,3	4,0
i-Bütan	(ppm)	20,3	1,9
Propilen	(ppb)	197	214
n-Pentan	(ppb)	950	2232
Hegzan	(ppm)	27,4	1,8
CDMI	(%)	0,51	0,3239
C₁ / (C_{1..5})	(%)	99,96	0,0098
C₁/(C₂+C₃)	(%)	3702	1194

4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

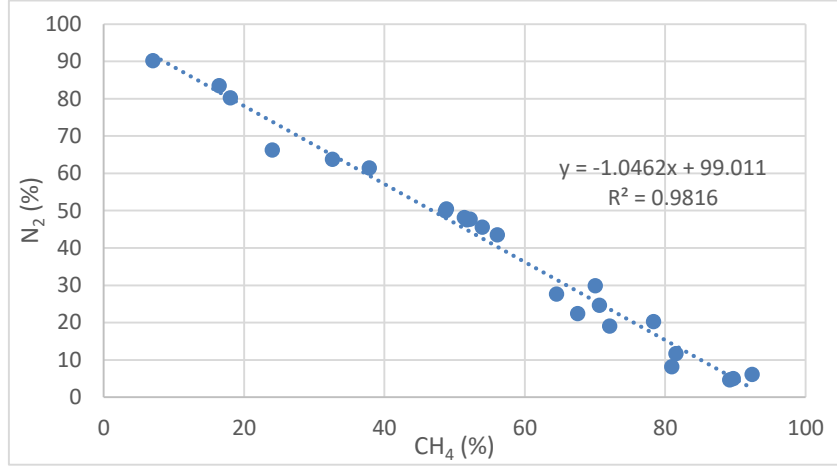
Her iki havzanın gaz bileşim analizleri sonuçları incelendiğinde havzaların kökeni hakkında biyogenik reaksiyonların izleri görülebilir. CDMI değeri karbon dioksit gazının hangi süreçler tarafından oluştuğunu gösterebilmektedir. Eğer bu değer % 60’tan büyük ise karbondioksitin inorganik yani sıcaklık ve basınç kaynaklı olduğu, eğer bu değer % 15’in altındaysa karbon dioksitin organik kökenli olduğu düşünülmektedir (Li, ve diğerleri, 2015). Çizelgelerde verilen CDMI değerleri incelendiğinde Alpu havzasında bütün

damarlardan alınan numunelerin neredeyse tamamında bu değer % 15'in altında olup sadece C damarında % 15'in üzerinde kalan ancak % 60'ı geçemeyen örnekler tespit edilmiştir. Çerkezköy havzasında ise CDMI değeri % 1'in altında kalarak biyojenik kökenlenmenin çok güçlü bir delili olmuştur. Bu indeks ile çok benzerlik gösteren bir diğer durum biyojenik kökenli havzalarda CO₂ oranları % 5'in altında çıkmaktadır. Bu kritere göre Çerkezköy havzası biyojenik kökenli görünmekte, bununla beraber Alpu havzası A, D ve E damarlarında da bu durum görülmektedir. Ancak B ve C damarlarından alınan bazı numunelerde yapılan analizler genelde bu koşulun sağlandığını göstermekle birlikte bazı kanisterler için % 5'in üzerinde değerler görülmektedir. Bu durum yine bu damarlar için biyojenik bir oluşuma işaret etse de buna aykırı örneklerin var olduğunu göstermektedir.

Metan gazının kökeni hakkında bilgi veren ve değeri, metan oranının, etan ve propan oranlarının toplamına bölümü ile belirlenen hidrokarbon indeksi ise 100'ün altında kaldığında, metan içeriğinin termojenik süreçler ile oluştuğu, bu değer 1000'in üstünde çıkması durumunda biyojenik süreçlerin etkili olduğunu göstermektedir. Alpu havzasının bütün damarlarında bu indeks 100 ile 1000 arasında olup bu açıdan sonuçsuz kalmaktadır. Diğer bir taraftan gaz yaşlık indeksi değeri incelendiğinde tablolarda verilen değerler düzgün bir biçimde % 97'nin üzerinde kalması sebebiyle biyojenik kökeni işaret etmektedir. Çerkezköy havzasında gaz yaşlılık indeksi değerleri % 100'e çok yakın değerler olarak biyojenik köken göstermektedir. Bu yaşlık indeksi değerleri aynı zamanda bu havzalardan üretilebilecek kömür yatağı metanının kuru olacağını gösterir. Çerkezköy havzasındaki hidrokarbon indeksi değerleri ise ortalamada 3702 olduğu belirlenmiş ve biyojenik köken göstermektedir.

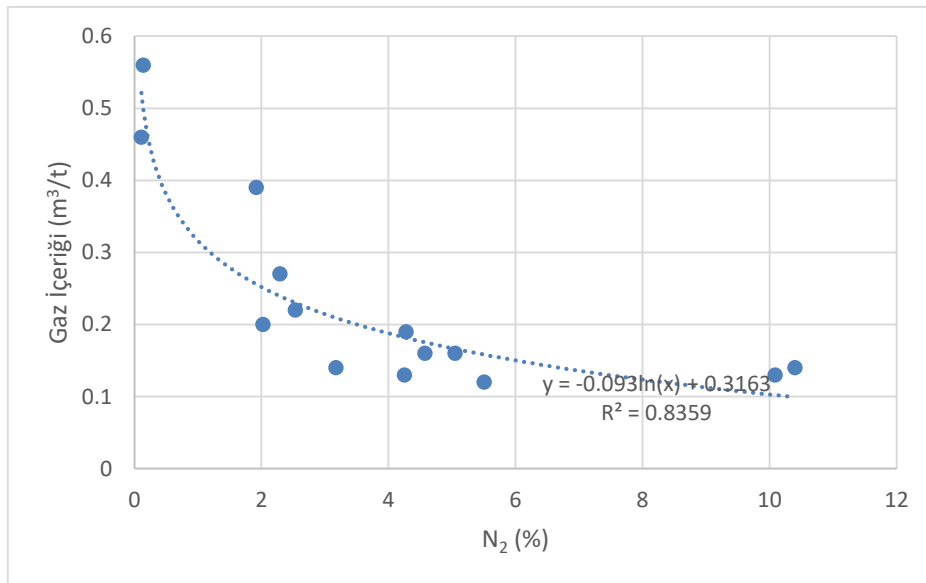
Azot gazı her iki havza için ikinci dominant gazdır. Alpu havzasında çok yüksek konsantrasyonlara ulaşabilen azot, bütün damarlarda çok yüksek standart sapma değerlerine sahiptir. Benzer gaz bileşimi değerlerine sahip dünyanın farklı yerlerinde yapılan çalışmaları değerlendiren araştırmacılar (Tao , ve diğerleri, 2005) tarafından azot ile metan arasında negatif korelasyonun varlığı için bakteri içeren yüzey sularının kömür yatağına sızdığının işareti olduğu yorumu yapılmıştır. Aynı durum başka araştırmacılar (Li, ve diğerleri, 2015) tarafından kömürün oluşumunun sonraki aşamalarında atmosferik etki olarak yorumlanmıştır. Bahsedilen negatif korelasyona ait grafik Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca 'kömür yatağına sızan sular', saha çalışması esnasında bir kuyuda şahit olunan ve yer yüzeyinden 1-2 m daha yüksek seviyeye ulaşan su püskürmesi deneyimi ile birleşerek

bu yorumun doğru olabileceği ve azot ile metan arasında saçılım olmasının hidrojeolojik aktivite ile ilişkili olduğu düşüncesini doğurmaktadır.



Şekil 4.5: Alpu havzası gaz içeriğinde bulunan metan ve azotun negatif korelasyonu

Diğer bir taraftan Çerkezköy havzasında azot gazı ortalama % 4 civarında olmakla birlikte, kil içeren üç kanister numunesi farklı bir yorumu seslendirmektedir. Çizelge 4.10'da görülebileceği gibi % 30 ile % 70 arasında bir değer olarak, bu numunelerle benzer ya da farklı bir çok derinlik seviyelerinden alınmış linyit numuneleri ile belirgin bir farka sahiptir. Bunun sebebinin kilde depolanmış olan gaz olduğu gözlemlenebilmektedir. Ayrıca bu numunelerin gaz içerikleri linyit numunelerine göre oldukça düşük çıkmıştır. Bundan hareketle azot oranı ile gaz içeriği değerleri Çerkezköy havzasında karşılaştırılmış ve azot oranı arttıkça gaz içeriğinin azaldığı bir ilişki tespit edilmiştir. Bu ilişki Şekil 4.6'de verilmiştir.

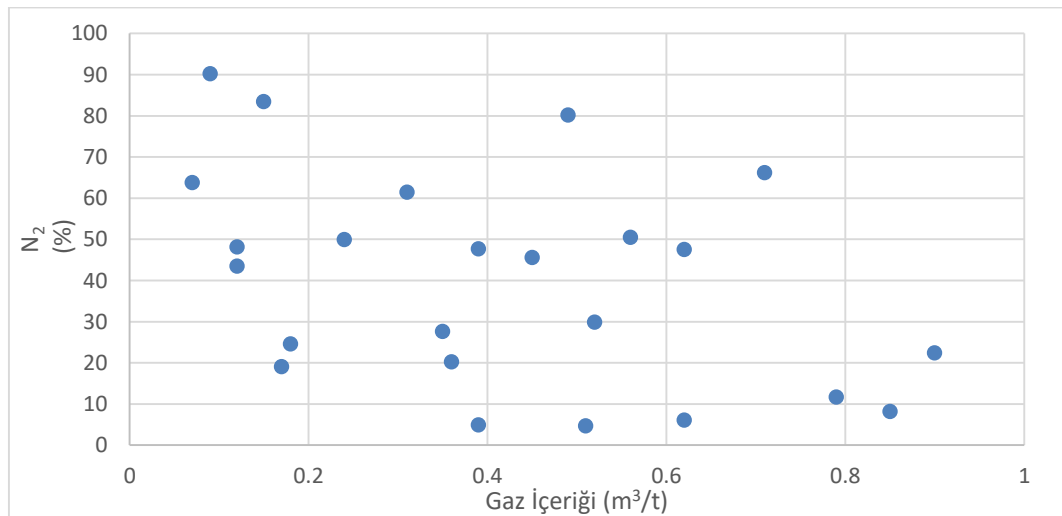


Şekil 4.6: Çerkezköy havzası azot oranı ile gaz içeriğinin ilişkisi

Çizelge 4.10: Çerkezköy havzasına ait 3 numunenin gaz bileşim analizi sonuçları

Kanister		H13	H22	V4
Litoloji		Kil	Kil	Kil+Linyit
Derinlik	m	657,8	629	597,9
Gaz İçeriği	m ³ /t	0,03	0,02	0,09
CO ₂	(%)	0,535608	0,338858	1,251275
He	(ppm)	83,09849	71,00765	28,39298
H ₂	(ppm)	8,721437	6,279267	4,461196
N ₂	(%)	29,48733	34,10694	66,47927
CH ₄	(%)	69,93206	65,51058	32,24205
C ₂ H ₆	(ppm)	283,1754	276,0831	157,1564
C ₂ H ₂	(ppm)	23,87477	27,68228	21,65566
C ₂ H ₄	(ppb)	0	0	18430,07
C ₃ H ₈	(ppm)	4,976116	2,990127	2,666313
iC ₄ H ₁₀	(ppm)	19,01776	22,00104	17,09041
C ₃ H ₆	(ppb)	0	0	130,064
nC ₅ H ₁₂	(ppb)	1124,92	204,5876	299,1473
C ₆ H ₁₄	(ppm)	26,0452	29,88553	23,7757

Alpu bölgesinde azotun saçılımlı dağılıma sahip, kömür bünyesinde oluşmuş olan gazın, yan kayaçlara taşınıp sonrasında tekrar oluştuğu kayaç ile çatlaklar vasıtasıyla temasa geçerek bu hale geldiği, özellikle Çerkezköy havzasına ait bileşim sonuçları ile beraber değerlendirilerek anlaşılabılır. O halde, nasıl Çerkezköy havzasında gaz bileşimindeki azot oranının gaz içeriği ile negatif ilişkisi var ise aynı şekilde Alpu havzasında da bu durum gözlemlenebilir olmalıdır. Bu durum şekil 4.7’de görülen dağılım ile ortaya koyulmaktadır. Her ne kadar eksenler arasında bulunan bağlantı bir eğri oluşturabilecek düzgünlükte olmasa da bir bant şeklinde yüksek azot içeriğine sahip bir noktada yüksek gaz içeriğine rastlanmayacağı söylenebilir. Bu saçılımlı yapı önceki kısımlarda bahsedildiği gibi çatlaklar üzerinden gaz nakliyatının düzensiz olmuş olması ile açıklanabilir.



Şekil 4.7: Alpu havzası azot oranı ile gaz içeriğinin dağılımı

Kömürleşme sürecinde ranklar boyunca ilerlenirken kömür yatağı içerisinde üretilen gaz giderek artmaktadır. Bu gaz oluşurken farklı şartlar altında farklı bileşimler meydana gelmektedir. Kilin gaz bileşiminde azotun bu derece yoğun olması erken dönemlerde oluşmuş ve kil tabakalarına taşınmış gazın azot içeriğinin yoğun olması ile veya kilin yüzeysel özelliklerinin azot adsorplamaya daha yatkın olması ile açıklanabilir. Bunların yanında gazın oluşum kaynağı olan kömürün, yüzeyinde metanı, azot gazına göre daha fazla tutma eğiliminde olduğu söylenebilir. Her durum için Çerkezköy havzasında düzenli bir durum vardır ve Alpu havzasında yine kalın kil tabakaları olmasına rağmen linyit ile benzer bileşim dağılımında gaz gözlemlenmiştir. Bu şartlar altında şu yorum yapılabilir: yeraltı sularının tabakalara erişim sürecinde dikey yolların, yani jeolojik süreksizliklerin varlığı kayaçların içerdiği gazı belirli bir ölçüde nakledebilme imkanı oluşturmaktadır. Ayrıca azot saçılımına ilişkin durumun, yapılmış çalışmalarda bahsedildiği gibi atmosferik etki olmasından ziyade birbirine yakın tabakalar arasında gaz alışverişi olduğuna ilişkin bir delil olduğu gözlemlenebilir. Çünkü gazın yüzlerce metre yol almasındansa birkaç metre yol alması daha kolaydır. Ayrıca atmosferik etki daha çok kayaçların gaz içeriği için tahliye işlevi görebilirdi. Bunun yanı sıra, bahsedilen negatif korelasyon zaten belirli bir yüzdeliği tamamlayan iki dominant gaz arasında bulunmak zorundadır. Önemli olan bu değerlerin saçılımı ve standart sapmanın yüksek olmasıdır. Bu denli düzensizlik ayrıca çatlak oluşumunun düzensizliği ile açıklanabilir.

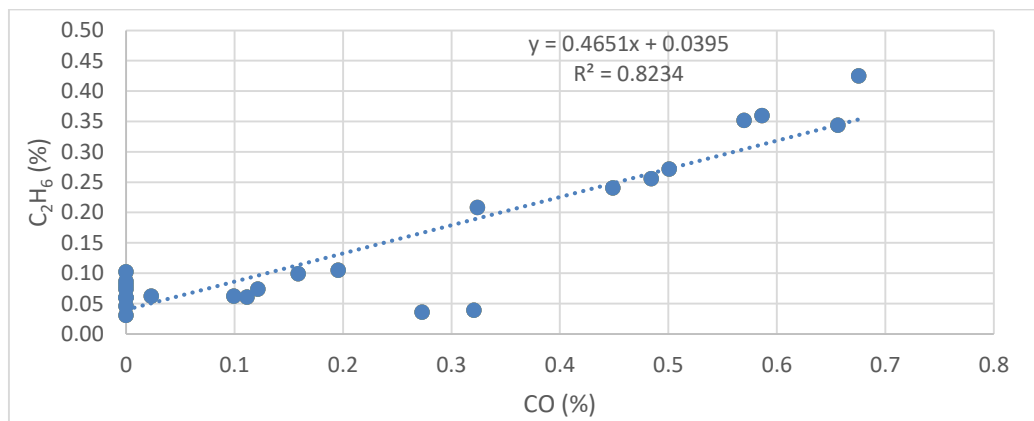
Bu yorumdan hareketle gaz arama çalışmalarında bir kuyudan numuneler alırken farklı tabakaların gaz bileşimleri belirlenmeli ve saçılım/düzensizlik durumu fay vb. varlığının işareti olarak algılanmalı ve bu durumun hem hidrojeolojik etüt yapılmasını gerekçelendirmesi hem de bu çatlaklı tabakaların, geçirimsizlik özelliklerinin yüksek olduğu anlaşılmalıdır. Bütün bu özelliklerin madencilik sırasında su geliri, gaz geliri, kendiliğinden yanma eğilimi ve sahada üretilecek kömür yatağı metanı için gerekecek çatlatma vs. ihtiyacını etkileyeceği çıkarımı yapılabilir.

Ayrıca Alpu havzasında açılmış ve bitirilmiş olan bir kuyudan daha sonra alınmış olan balon numunelerin analiz sonuçları dikkate alındığında bu gazın, yüksek konsantrasyonu sebebiyle B damarından gelmiş olması muhtemeldir. B damarının hem tavan hem de taban taşı gaz içeriği yüksek, kalın bitümlü şeylden oluşmaktadır. Delme çalışmaları bittikten aylar sonra halen böylesine bir durumda gaz geliri olması, B damarını çeviren şeyl katmanlarının, uygun bir geçirimsizlik ile gaz üretimi için bazı açılardan uygun olduğuna

dair bir işaret sayılabilir. Bu sebeple bu katmanlar, üretim uygulanabilirliğine yönelik, genel bilgiler bölümünde bahsedilmiş olan diğer deneyler ile araştırılmalıdır.

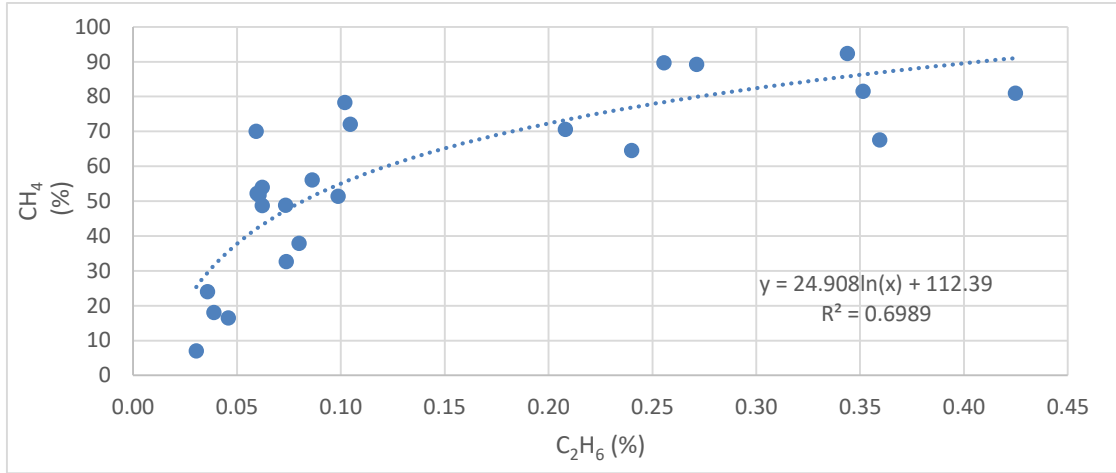
Genel bilgiler bölümünde karbon monoksit gazının yükselen sıcaklık ve stress şartları altında kömür tabakalarında oluşabileceğine ilişkin çalışmalardan bahsedilmiştir. Havzaların gaz bileşimleri birbirileri ile karşılaştırıldığında aralarında bulunan farklardan biri, Alpu sahasında karbon monoksit yüksek oranlarda bulunmasına karşın, Çerkezköy havzası numunelerinin hiç birinde karbon monoksit tespit edilmemiştir. Yüksek sıcaklık ve basınç şartları, termojenik kökenli gaz oluşumuna sebep olması, Çerkezköy havzasının net olarak biyojenik kökenli gaz özellikleri göstermesine karşın, Alpu'da bu durumun bazı noktalarda belirsizlik sergilemesi, ayrıca damarlar arasında hidrokarbon indeksleri azaldıkça (termojenik seviyelere yaklaşıldıkça), karbon monoksit değerleri artmaktadır. Bu sebeple Alpu havzasının az şiddette de olsa sıcaklık ve basınca maruz kaldığı, bunun neticesinde karbon monoksit oluşumunun gerçekleştiği söylenebilir.

Bunun yanında Alpu havzasında, karbon monoksit ile etan gazının konsantrasyonları Şekil 4.8'de görüldüğü gibi karşılaştırıldığında iki molekül arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Bu grafiğe göre oluşan karbon monoksit gazının kabaca her 2 molüne karşılık 1 mol etan gazının oluştuğu söylenebilir. Bu iki molekülün beraber oluşumu termojenik kaynaklı olsada grafik üzerinde görüldüğü gibi hiç karbon monoksit oluşmadığında da bir miktar etan oluşmaktadır. Bu durumda etanın aynı zamanda biyojenik süreçler tarafından da oluşturulabileceği çıkarımı yapılabilir. Ayrıca genel bilgiler bölümünde sıcaklık değerlerine göre oluşan gaz moleküllerinin verildiği Şekil 2.6'da bakıldığında bu şekil karbon monoksit gazını içermese de hümik ortamda birden fazla karbon içeren hidrokarbonların 100 °C yakınlarında oluştuğu söylenebilir. Dolayısıyla havzanın bu sıcaklık değerine benzer seviyelerde belirli bir süre kaldığı yorumu yapılabilir.



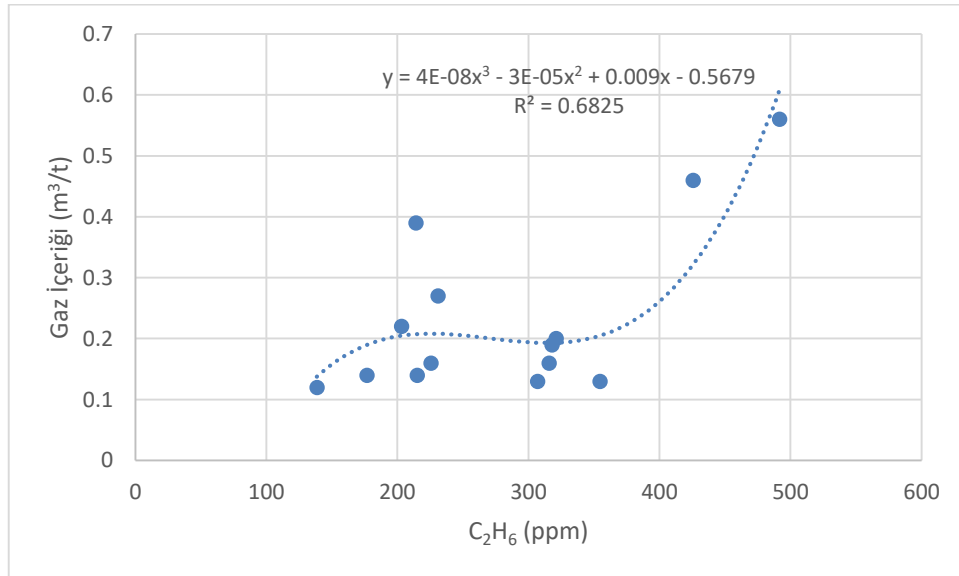
Şekil 4.8: Alpu havzası karbon monoksit ve etan arasındaki ilişki

Bunlarla beraber genel bilgiler bölümünde bahsedildiği gibi metan gazı hem biyojenik hemde termojenik süreçler tarafından oluşturulmaktadır. Dolayısı ile bu durumda metan ile etan arasında da havzada bir korelasyon bulunmalıdır. Bu korelasyonun yer aldığı grafik Şekil 4.9’da verilmiştir.

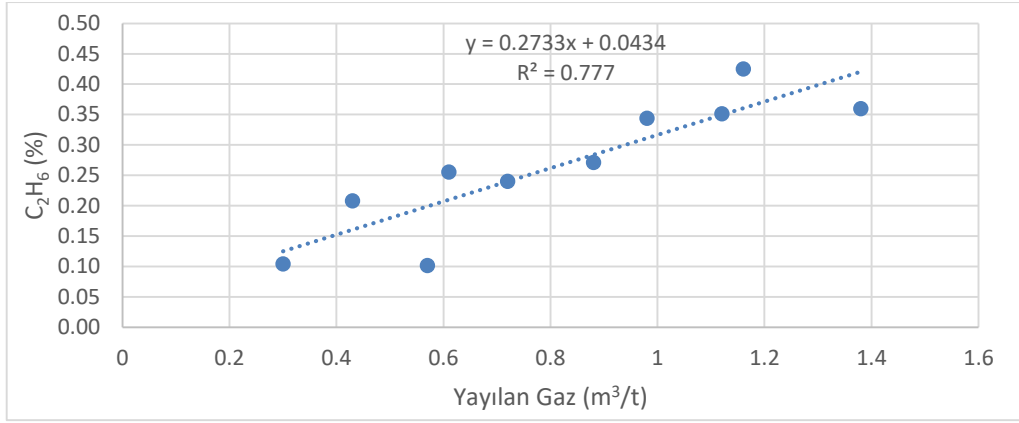


Şekil 4.9: Alpu havzasında bulunan metan ve etan oranlarının ilişkisi

Alpu ve Çerkezköy havzalarında gaz içeriğinin çeşitli gazların oranı ile ilişkili olup olmayacağı sorgulanmış ve her iki havzada etan oranının gaz içeriği ile ilişkili olduğu görülmüştür. Ancak Alpu’da bu ilişki belirli bir metan oranı seviyesinden sonra kendini göstermektedir. Önceki paragraflarda bahsedilmiş olan hidrojeolojik faaliyetler sonucunda seyrelmiş durumlarda gaz içeriğinin daha düzensiz görülmesi normal karşılanmıştır. Bu ilişkilere ait grafikler Şekil 35 ve 36’da verilmiştir.

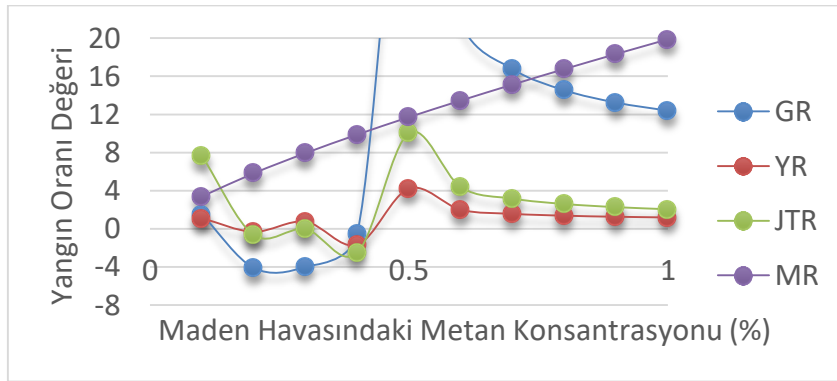


Şekil 4.10: Çerkezköy havzası etan ile gaz içeriği arasındaki ilişki



Şekil 4.11: Alpu havzası, yüksek metan içeren(> %75) numunelerde etan ile gaz içeriği arasındaki ilişki

Kömürün gaz içeriğinin tamamıyla belirli bir gaz molekülünden oluşmanın aksine bir çok bileşikten bu denli anlamlı bir şekilde değişik seviyelerde oluşmuş olması, bu havzada yapılacak madencilik faaliyetlerinde ocağa gönderilmesi gereken hava miktarı belirlenirken fazladan kriter koymanın yanı sıra (metan hariç diğer gazlara ait sınır değerler), kendiliğinden yanma reaksiyonlarının izlenmesi amacıyla kullanılan yangın oranlarında da belirli bir sapma oluşturacağı ortadadır. Bu sapmayı göstermek amacıyla, durum şu şekilde basitleştirilebilir; metan oksidasyon sonucu yüksek miktarlarda oluşan bir gaz değildir, bu sebeple maden havasında bulunan metanın tamamının tabakaların içerdiği gazdan geldiği varsayılabilir. Aynı şekilde maden havasında kurallar gereği metan konsantrasyonu % 1 seviyesinin altında olmalıdır ve bir çok yerde bu değer sıfıra yakındır. O halde örnek olarak Alpu havzasında ölçtüğümüz gaz bileşimi değerlerini maden havasında metanın oranı 0 ile % 1 arasında olacak şekilde karıştırır ve bu karışım oranını diğer gaz bileşiklerine de uyarlırsak ve buna bağlı yangın oranlarını hesaplırsak şekil 4.12’de görülen eğriyi elde ederiz.



Şekil 4.12: Maden havasındaki metan oranına göre oksidasyon olmadan yangın oranlarının alacağı değerler (GR: Graham Oranı, YR: Young Oranı, JTR: Jones-Trickett Oranı, MR: Morris Oranı)

Bu değerlerden görülebileceği gibi kömürün veya yan kayaçların gaz içeriği yangın oranlarını çok fazla saptırmakta, bu oranlar manasız veya oksidasyon olmadığı halde belirli bir ısınmayı işaret eden değerlerde çıkmaktadır. Bu anlamda kömürün gaz içeriğinin kendiliğinden yanmanın gaz izlenmesi suretiyle takibini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple bir kömür madeni için gaz bileşimini belirlemenin gerekliliği sadece gaz riskinden kaynaklanmamakta, kömürün kendiliğinden yanması riski de ortaya yeni bir gereklilik koymaktadır. Yukarıda ki eğrilerin benzerleri aynı hesap yöntemi ile bütün yangın oranları ve gaz bileşimleri için çizdirilebilmektedir. Yeraltında ölçülen değerler ile bu eğri kıyaslanarak, oksidasyon tepkimelerinin ne durumda olduğu hakkında daha iyi bir fikir edinilebilir. Ayrıca bununla kalmayıp, kömürün gaz bileşimi ile mevcut yangın oranlarının hesaplanışları aşağıda verilmiş olan denklem 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te ki gibi iyileştirilebilir.

$$\text{Graham Oranı} = \frac{CO-CH_4 \times \alpha}{\text{Oksijendeki Azalma}} \quad (4.1)$$

$$\text{Young Oranı} = \frac{CO_2-CH_4 \times \beta}{\text{Oksijendeki Azalma}} \quad (4.2)$$

$$\text{Jones Trickett Oranı} = \frac{(CO_2-CH_4 \times \beta) + 0,75(CO-CH_4 \times \alpha) - 0,25(H_2-CH_4 \times \theta)}{\text{Oksijendeki Azalma}} \quad (4.3)$$

$$\text{Morris Oranı} = \frac{N_2 - 3,73 \times O_2 - CH_4 \times \gamma}{CO + CO_2 - CH_4(\alpha + \beta)} \quad (4.4)$$

$$\text{Oksijendeki Azalma} = 3,73^{-1} \times N_2 - O_2 - CH_4 \times \gamma \quad (4.5)$$

α : Gaz içeriğinde karbon monoksitin metana oranı

β : Gaz içeriğinde karbon dioksitin metana oranı

γ : Gaz içeriğinde azotun metana oranı

θ : Gaz içeriğinde hidrojenin metana oranı



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Alpu ve Çerkezköy sahalarında yapılan gaz arama çalışmalarından elde edilen veriler incelenmiş, yorumlanmış ve ilişkilendirilmiştir. Kömürün oluşma süreci yapılan çalışmaları temellendirecek şekilde ortaya konulmuş, kömürün ve yan taşların gaz içeriğinin ve bileşiminin oluşum mekanizması açıklanmıştır. Bu bilgilere, standartlara ve literatüre dayanarak gaz arama çalışmasında izlenecek yöntem, nedenleri, teorisi ve pratik yönü ile izah edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulguların ilgili verileri çizelge ve şekillerle gösterilmiştir.

Bu bulgularla kömürleşme sürecinde oluşan gazların, oluşum mekanizması her bir gaz molekülü için açıklanmış, bu mekanizmalardan yaygın olarak bilinenleri sahalar üzerinde bir kez daha test edilerek teyit edilmiş, bilinmeyen/az bilinen moleküller için yaygın kabul gören veya farklı kaynaklarca doğrulanmış bilgiler üzerine inşa etmek suretiyle bu süreçler açıklanmıştır. Bunun yanında gaz içeriğinin derinlik gibi bilinen faktörlerin dışında ne gibi etmenler tarafından belirlendiği ve anlaşılabilceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca sahalardaki bulgularla, gaz içeriği ve bileşimini etkileyebilecek tektonik ve hidrojeolojik faaliyetlerin ne şekilde bunu gerçekleştirdiği açıklanmıştır.

Bu çalışma sonucu elde edilen bulgu ve gelecekte yapılabilecek farklı çalışmalar için bu bulgulara dayanarak çeşitli önerilerde bulunmuştur. Bu bulgu ve öneriler şöyledir:

- Aynı kömür damarına ait kömürlerin gaz içeriği genellikle derinlere inildikçe artmaktadır. Farklı kömür damarlarında yaşlanma süreçlerinde farklılaşmalar olacağı için bütün bir havzada bu durum söz konusu olmayabilir, çünkü her bir damar, kendine özgü komşu kayaçlara sahiptir.
- Farklı tortul kayaçlarda farklı bileşimlerde gaz birikmektedir. Sahanın şartlarına göre farklı kömür damarları da farklı içeriğe sahip olabilmektedir.
- Sahalarda tespit edilen azot gazı örneğinde olduğu gibi gaz analizi değerlerinde düzensizlikler ve yüksek standart sapma değerleri, tabakalar arasında gaz transferleri yani sahada yoğun hidrojeolojik aktivitenin habercisi olabilir.

- Bu hidrojeolojik aktivitelere müsaade eden süreksizliklerin varlığı gaz analizleri ile teyit edilip yoğunlaştığı alanlar tespit edilebilir.
- Çatlakların varlığı durumunda komşu tabakalar arasında gaz alışverişi olmaktadır.
- Birbirileri ile alışveriş yapan farklı kayaçlar, farklı jeolojik zamanlarda gaz oluşturduğu ve/veya depoladığı için farklı gaz içeriklerine sahip olmaktadır. Dolayısı ile belirli bir gaz değeri ile ters orantılı olarak gaz içeriği değişebilmektedir.
- Aynı şekilde gaz içeriği, belirli bir havzanın oluşum süreçlerine göre belirli bir gaz molekülünün oranı ile ilişkili olabilir. Alpu ve Çerkezköy havzalarında etan gazının bu özelliği gösterdiği anlaşılmıştır.
- Karbon monoksit gazının oluşumunu termojenik bir süreç sağlayabilmektedir.
- Termojenik ve biyojenik süreç birbirine tamamen zıt iki durum olmak yerine bir spektrumun sınır noktalarıdır. Bu sebeple kömürleşme sürecine iki eğilimde farklı oranlarla katılmaktadır.
- Bir havzada gaz arama çalışmaları yapılırken öncelikle ilk kuyularda gaz içerebilecek bütün tabakalardan numuneler alınmalı, gaz içerenler belirlenmeli, içerdikleri gaz miktarı ve bileşimleri belirlenirken kömürün oluşum şartları açıklanmalıdır.
- Gaz bileşiminin düzensiz ve/veya standart sapmasının yüksek olması durumu hidrojeolojik yapı daha yakından incelenmelidir.
- Kömürün gaz içeriği yangın oranlarını saptırmaktadır.
- Kendiliğinden yanma izlenmesi amaçlı kömürden gelen gazın bileşimi belirlenmelidir. Bu bileşimin alabileceği değerlere göre yangın oranlarının hangi değerlere ulaşabileceği ortaya konulmalıdır.
- Gaz bileşimine göre yangın oranları denklemlerinde α , β , γ ve θ değerleri belirlenerek denklemler iyileştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Agilent.** (2010). *Agilent 7890A Gas Chromatograph Operating Guide*. Agilent Technologies:
<https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/Public/G3430-90011.pdf> adresinden alındı
- Aminian, K., & Rodvelt, G.** (2014). Evaluation of Coalbed Methane Reserves. P. Thakur, S. Schatzel, & K. Aminian içinde, *Coalbed Methane from Prospect to Pipeline* (s. 63-91). San Diego, Waltham: Elsevier.
- ASTM International.** (2012). *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal: D3174-12*.
- ASTM International.** (2013). *Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis: D2013/D2013M*.
- ASTM International.** (2015). *D7569/D7569M-10, Standard Practice for Determination of Gas Content of Coal - Direct Desorption Method*. West Conshohocken, PA.
- ASTM International.** (2017). *Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke: D3173/D3173M-17a*.
- ASTM International.** (2017). *Standard Test Method for Volatile Matter in Analysis Sample of Coal and Coke: D3175-17*.
- ASTM International.** (2018). *D388-18, Standard Classification of Coal by Rank*. West Conshohocken, PA.
- Ayvazoglu, E.** (1986). *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet*. İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi Ofset Atölyesi.
- Baemish, B. B., & Jabouri, I.** (2005). Factors Affecting Hot Spot Development in Bulk Coal and Associated Gas Evolution. *Coal2005 Conference* (s. 187-193). Brisbane: QLD.
- Bertard, C., Bruyet, B., & Gunther, J.** (1970). Determination of desorbable gas concentration of coal(direct method). *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* , 43-65.
- Boger, C., Marshall, J. S., & Pilcher, R. C.** (2014). Worldwide Coal Mine Methane and Coalbed Methane Activities. P. Thakur, S. Schatzel, & K. Aminian içinde, *Coal Bed Methane* (s. 351). San Diego: Elsevier.
- Bryer, C., Havryluk, I., & Uhrin, D.** (2014). Coalbed Methane: A Miner's Curse and a Valuable Resource. P. Thakur, S. Schatzel, & K. Aminian içinde, *Coalbed Methane From Prospect to Pipeline* (s. 1). San Diego: Elsevier.

- Cao, D., Li, X., & Deng, J.** (2009). Coupling effect between coalification and tectonic-thermal events— geological records of geodynamics of sedimentary basin. *Earth Science Frontiers*, 52-60.
- Chaulya, S. K., & Prasad, G. M.** (2016). *Sensing and Monitoring Technologies for Mines and Hazardous Areas Monitoring and Prediction Technologies*. Amsterdam New York London: Elsevier.
- Cook, A. C., & Struckmeyer, H.** (1986). The role of coal as a source rock for oil. R. C. Glenie içinde, *Proceedings 2nd Southeastern Australia Oil Exploration Symposium* (s. 19-32).
- Dai, J. X., Shi, Q., & Wei, Y. Z.** (2001). Summary of the inorganic origin theory and abiogenic gas pools(fields). *Acta Pet. Sin.*, 5-10.
- Damberger, H. H.** (1991). Coalification in North America Coal Fields. H. J. Gluskoter, D. D. Rice, & R. N. Taylor içinde, *Economic Geology, the geology of North America* (s. 503-522). Geological Society of America.
- Diamond, W. P., & Levine, J. R.** (1981). Direct method determination of the gas content of coal: procedures and results. *U.S. Bureau of Mines Report of Investigations 8515*, 36.
- Dudzińska, A., Cygankiewicz, J., & Włodarek, M.** (2017). Natural content of gases: Carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen and unsaturated hydrocarbons of ethylene, propylene and acetylene in selected bituminous coal seams . *International Journal of Coal Geology*, 110-121.
- Feng, X., & Adamus, A.** (2014). Overview of Research and Use of Indicator Gases of Coal Spontaneous Combustion in China. *GeoScience Engineering*, 55-65.
- Fuchsman, C. H.** (1980). *Peat, industrial chemistry and technology*. New York London Toronto Sydney San Francisco: Academic Press.
- Gao, L., Mastalerz, M., & Schimmelmann, A.** (2014). The Origin of Coalbed Methane. P. Thakur, S. Schatzel, & K. Aminian içinde, *Coal Bed Methane From Prospect to Pipeline* (s. 7-29). San Diego: Elsevier.
- Graham, J. I.** (1914). The absorption of oxygen by coal: Part V. The influence of temperature on rates of absorption by different parts of Barnsley Bed. *Transaction of the Institution of Mining Engineers*, 521-534.
- Gray, I.** (1977). Reservoir Engineering in Coal Seams: Society of Petroleum Engineers Preprints. *SPE Paper*, 319-335.
- Green, M. S., Flanagan, K. C., & Gilcrease, P. C.** (2008). Characterization of a methanogenic consortium enriched from a coalbed methane well in the Powder River Basin, USA. *International Journal of Coal Geology*, 34-45.
- Hongqing, Z., Mingran, C., & Haiyan, W.** (2017). Study on primal CO gas generation and emission of coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*, 973-979.
- Hunt, J. M.** (1979). *Petroleum Geochemistry and Geology*. San Francisco: W.H. Freeman and Co.

- Jones, J. H., & Trickett, J. C.** (1955). Some observations on the examination of gases resulting from explosions in collieries. *Transaction of the Institution of Mining Engineers*, 768-791.
- Kim, A. G.** (1977). *Estimating methane content of bituminous coal from adsorption data*. U.S. Bureau of Mines Reports of Investigations .
- Laird, C. K., & Verhappen, I.** (2010). Chemical Analysis: Gas Analysis. W. Boyes içinde, *Intrumentation Reference Book* (s. 401-428). Burlington, Oxford: Elsevier.
- Li, Q., Ju, Y., Yuan, B., Yan, Z., Li, X., & Sun, Y.** (2015). Composition, Origin and Distribution of Coalbed Methane in Huabei Coalfield, China. *Energy&Fuels*, 546-555.
- Liu, X., Cheng, S., Liu, H., Hu, S., Zhang, D., & Ning, H.** (2012). A Survey on Gas Sensing Technology. *Sensors*, 9635-9665.
- Maricic, N., Mohaghegh, S. D., & Artun, E.** (2005). A Parametric Study of on the Benefits of Drilling Horizontal and Multilateral Wells in Coalbed Methane Reservoirs. *Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference and Exhibition*, SPE 96018.
- McIntosh, J. C., Martini, A. M., Petsch, S., & Nüsslein, K.** (2008). Biogeochemistry of the Forest City Basin coalbed methane play. *International Journal of Coal Geology*, 111-118.
- McPherson, M. J.** (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. London: Chapman and Hall.
- Miller, B. G.** (2017). *Clean Coal Engineering Technology*. Oxford, Cambridge: Elsevier.
- Morris, R.** (1988). A new fire ratio for determining conditions in sealed areas. *Mining Engineer*, 369-375.
- Özpeker, I.** (1991). Kömür Oluşumu, Petrografisi ve Sınıflandırılması. O. Kural içinde, *Kömür* (s. 8-68). İstanbul: Kurtiş Matbaası.
- Rice, D D; Claypool, G E.** (1981). Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas. *AAPG Bulletin* 65, 5-25.
- Rice, D. D.** (1993). Composition and origins of coalbed gas. (D. D. Rice, & B. E. Law, Dü) *AAPG Studies in Geology*, 38, 159-185.
- Rightmire, C. T.** (1984). *Coalbed Methane Resources of United States*. American Association of Petroleum Geologists .
- Saleh, J. H., & Cummings, A. M.** (2011). Safety in the mining industry and the unfinished legacy of mining accidents: Safety levers and defense-in-depth for addressing mining hazards. *Safety Science*, 764-777.
- Schoell, M.** (1980). The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 649-661.
- Scott, A. R., Kaiser, W. R., & Ayers Jr, W. B.** (1994). Thermogenic and secondary biogenic gases, San Juan Basin, Colorado and New Mexico -

implications for coalbed gas producibility. *AAPG Bulletin* 78, 1186-1209.

- Seldon, R. F.** (1934). *The occurrence of gases in coal*. U.S. Bureau of Mines Report of Investigations.
- Simpson, D. E.** (2017). *Practical Onshore Gas Field Engineering*. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier.
- Skochinsky, A., & Komarov, V.** (1969). *Mine Ventilation*. Moscow: MIR Publishers.
- Smith, J. W., & Pallasser, R. J.** (1996). Microbial origin of Australian coalbed methane. *AAPG Bulletin* 80, 891-897.
- Stams, A. J., & Hansen, T. A.** (1984). Fermentation of glutamate and other compounds by *Acidaminobacter hydrogeniformans* gen. nov. sp. nov., an obligate anaerobe isolated from black mud. Studies with pure cultures and mixed cultures with sulfate-reducing and methanogenic bacteria. *Archives of Microbiology*, 329-337.
- Strapoc, D., Mastalerz, M., & Schimmelmann, A.** (2007). Characterization of the origin of coalbed gases in southeastern Illinois Basin by compound-specific carbon and hydrogen stable isotope ratios. *Organic Geochemistry*, 267-287.
- Strapoc, D., Picardal, F. W., Turich, C., Schaperdoth, I., Macalady, J. L., Lipp, J. S., Schimmelmann, A.** (2008). Methane-producing microbial community in a coal bed of Illinois Basin. *Applied Environmental Biology*, 2424-2432.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2017, Temmuz). *Bilgi Merkezi*. Februray 2018 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik adresinden alındı>
- Tao, M., Wang, W., Xie, G., Li, J., Wang, Y., Zhang, X., & Gao, B.** (2005). Secondary Biogenic Coalbed Gas in Some Coal Fields of China. *Chinese Science Bulletin*, 24-29.
- Teichmüller, M., & Teichmüller, R.** (1966). Geological Causes of Coalification. R. F. Goyld içinde, *Coal Science Advances in Chemistry* (s. 133-155). Washington DC: American Chemical Society.
- U.S. Energy Information Administration.** (2017, Eylül 27). *Chinese coal-fired electricity generation expected to flatten as mix shifts to renewables*. February 1, 2018 tarihinde U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=33092> adresinden alındı
- UCLA Chemistry & Biochemistry.** (2018). *Chromatography*. <http://www.chem.ucla.edu/~harding/IGOC/C/chromatography.html> adresinden alındı
- Ulrich, G., & Bower, S.** (2008). Active methanogenesis and acetate utilization in Powder River Basin coals, United States. *International Journal of Coal Geology* 76, 25-33.
- Viswanathan, B.** (2016). *Energy Sources Fundamentals of Chemical Conversion Processes and Applications*. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier.

- Whiticar, M. J.** (1999). Carbon and hydrogen isotope systematic of bacterial formation and oxidation of methane. *Chemical Geology* 161 , 291-314.
- Whiticar, M. J., Faber, E., & Schoell, M.** (1986). Biogenic methane formation in marine and freshwater. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50, 693-759.
- Willet, H. L.** (1952). The interpretation of samples from behind stoppings with a view to re-opening. *Transaction of the Institution of Mining Engineers*, 629-651.
- Wu, Y., & Wu, J.** (2011). Experimental study on significant of coal spontaneous combustion bu temperature programmed(TP). *International Symposium on Mine Safety Science and Engineering* (s. 120-125). Taiyuan: Taiyuan University of Technoloji.
- Xiao, C., Wei, C., Guo, L., & Shen, J.** (2016). Effect of temperature and stress on molecular structure and carbon monoxide generation of lignite from Kailuan mining area. *International Journal of Mining Science and Technology*, 437-441.
- Zhang, X., Zhuang, J., & Zhang, S.** (2002). Coalbed Methane Resource Assessment in China. *Science Press*, 294.
- Zhu, H., Chang, M., & Wang, H.** (2017). Study on primal CO gas generation and emission of coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*, 973-979.
- Zinder, S. H.** (1993). Physiological ecology of methanogens. J. G. Ferry içinde, *Methanogenesis* (s. 128-206). New York: Chapman & Hall.
- Zou, C.** (2017). *CBM*. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier.



EKLER

EK A: Alpu havzası numune bilgileri

Sondaj Adı	Sektör	Damar Adı						Toplam
		A0	A	B	C	D	E	
ATA-21	A	4	15	4	7	8		38
ATA-27	A		9	3	6			18
JTK-22	A		2	3	2			7
BG-01	B		10	3	1	6	2	22
BG-02	B		6	3	4	4		17
BG-03	B		8	3	7	6		24
BG-04	B		8	2	7	8	3	28
BG-05	B		8		10			18
BG-06	B		10	3	3			16
BG-06A	B		3					3
JTK-05	B		9	1	9	1		20
JTK-09	B	1	4		5	3	1	14
CG-01	C			2	4			6
JTK-06	C		4	1	3			8
JTK-10	C	1	2		4			7
JTK-23	D			2	2			4
JTK-32	E		5		1			6
JTK-33	E		3		1			4
EG-01	E		8	3	4			15
JTK-20	F			1	3			4
Toplam		6	114	34	83	36	6	279

EK B: Alpu Havzası Kısa Analiz Sonuçları

Alpu havzası A damarı kısa analiz sonuçları

Sektör	Nem (%)	St. Sap.	Kül (%)	St. Sap.	Uçucu (%)	St. Sap.	Sabit Karbon (%)	St. Sap.	Özküt.	St. Sap.
A	21,34	2,55	45,83	12,42	28,24	4,16	24,19	7,43	1,41	0,09
B	33,91	11,14	30,79	11,14	20,58	4,64	14,72	6,53	1,45	0,09
C	36,50	9,66	24,72	9,66	22,74	3,30	16,05	5,05	1,40	0,08
E	29,67	11,97	22,64	11,97	25,91	3,40	21,78	6,52	1,58	0,19

Alpu havzası B damarı kısa analiz sonuçları

Sektör	Nem (%)	St. Sap.	Kül (%)	St. Sap.	Uçucu (%)	St. Sap.	Sabit Karbon (%)	St. Sap.	Özkütle	St. Sap.
A	29,99	3,83	8,85	2,15	31,29	0,36	29,87	2,05	1,39	0,10
B	31,75	9,57	22,90	20,08	25,15	5,16	20,21	6,14	1,30	0,13
C	32,06	7,73	37,88	26,77	20,31	9,72	9,77	9,32	1,52	0,23
E	29,40	2,56	17,17	9,53	32,81	1,64	20,63	5,33	1,43	0,07

Alpu havzası C damarı kısa analiz sonuçları

Sektör	Nem (%)	St. Sap.	Kül (%)	St. Sap.	Uçucu (%)	St. Sap.	Sabit Karbon (%)	St. Sap.	Özkütle	St. Sap.
A	24,13	5,63	15,69	10,70	30,43	2,90	29,75	4,97	1,35	0,09
B	34,07	3,92	26,40	17,62	22,11	5,93	17,42	9,11	1,43	0,14
C	36,10	3,24	21,46	11,97	23,24	4,07	19,20	5,32	1,38	0,10
D	35,16	0,47	4,58	0,55	30,79	0,31	29,48	0,40	1,30	0,05
E	28,04	0,94	37,74	7,28	18,89	1,69	15,33	4,66	1,66	0,01
F	37,69	2,23	35,80	5,18	16,65	1,27	9,86	2,09	1,48	0,07

Alpu havzası D damarı kısa analiz sonuçları

Sektör	Nem (%)	St. Sap.	Kül (%)	St. Sap.	Uçucu (%)	St. Sap.	Sabit Karbon (%)	St. Sap.	Özkütle	St. Sap.
A	23,28	4,94	33,26	18,80	23,93	5,50	19,54	9,26	1,48	0,14
B	29,15	3,64	40,48	10,16	19,49	4,60	10,99	5,99	1,53	0,13

Alpu havzası A0 ve E damarları kısa analiz sonuçları

Damar		Nem(%)	Kül(%)	Uçucu(%)	Sabit Karbon(%)	Özkütle
A0	Ortalama	29,24	36,24	19,94	14,57	1,47
	Standard Sapma	1,30	13,10	5,69	8,15	0,09
E	Ortalama	20,52	36,11	23,16	14,99	1,42
	Standard Sapma	10,39	21,44	6,67	4,93	0,02

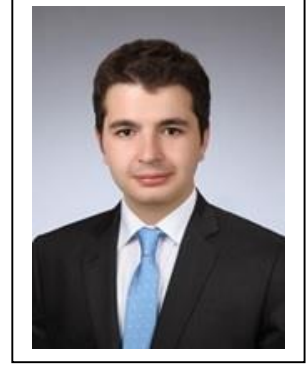
EK C: Alpu havzası gaz bileşim analizi sonuçları

Kuyu Adı	Damar	Kanister	Derinlik	CO ₂	He	H ₂	N ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	nC ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	CDMI	C1 / (C1..5)	C1/(C2+C3)
BG-04	B	C403	326,76-327,16	1,27	82	0	20,27	0	78,34	1019	8	0	0	33	12	0	0	1,60	99,86	768,46
BG-04	C	K21	410,70-410,90	9,41	273	176	66,22	2730	24,01	359	0	0	0	0	0	0	0	28,16	99,85	668,15
BG-04	D	K20	506,64-506,84	1,35	0	75	80,22	3207	18,06	390	8	0	0	29	7	0	0	6,94	99,76	462,92
BG-04	D	K18	522,10-522,30	0,00	69	0	83,48	0	16,45	459	13	0	0	66	17	0	0	0,00	99,66	358,42
BG-04	D	K17	544,50-544,63	0,34	61	0	43,48	0	56,07	863	8	0	109	66	13	0	0	0,60	99,81	577,00
BG-04	E	E1	556,15-556,30	0,17	0	0	48,15	1589	51,39	987	17	0	255	72	0	3	0	0,34	99,74	413,91
BG-04	E	Y1	602,50-603,30	0,34	0	322	6,10	6565	92,38	3439	61	0	1178	218	0	10	2	0,37	99,47	200,10
BG-04	E	E12	603,30-603,40	0,48	93	0	47,55	1116	51,77	606	6	0	124	48	10	0	0	0,91	99,85	710,03
BG-05	C	C402	404,50-404,90	0,01	51	133	29,86	0	70,05	593	2	0	0	6	0	0	0	0,01	99,91	1181,59
BG-05	C	K4	421,75-421,90	0,45	88	50	50,51	1215	48,82	734	7	0	0	23	11	0	0	0,91	99,84	665,04
BG-06	A	C401	286,77-286,90	0,60	38	0	61,46	0	37,85	799	10	0	0	47	8	0	0	1,57	99,77	473,48
BG-06	A	H22	298,90-299,50	7,10	0	0	27,63	4490	64,51	2401	0	41	431	167	0	10	3	9,92	99,53	227,86
BG-06	B	R8	356,00-356,60	9,79	0	0	8,16	6756	80,94	4249	0	0	83	0	0	0	0	10,79	99,47	186,85

BG-06	C	D14	387,20- 387,80	5,82	0	0	11,72	5698	81,54	3514	0	0	6	0	0	0	0	6,66	99,57	231,66
JTK-5	A	R36	311,10- 311,72	4,15	0	0	24,62	3239	70,63	2081	31	0	470	101	0	0	0	5,55	99,62	276,97
JTK-5	B	H18	395,14- 395,74	9,10	0	0	22,42	5865	67,53	3595	0	0	9	0	0	0	0	11,88	99,47	187,37
JTK-5	C	K15	443,60- 443,70	1,25	39	0	49,93	233	48,72	622	6	0	0	43	6	0	0	2,50	99,86	783,79
JTK-10	A	H4	360,60- 361,15	4,61	0	0	4,96	4843	89,70	2556	5	0	13	0	0	1	1	4,88	99,71	349,10
JTK-10	A	NO3	361,15- 361,25	0,00	151	0	47,72	0	52,20	598	0	0	0	0	0	0	0	0,00	99,89	872,84
JTK-10	C	H24	409,40- 409,95	5,35	0	0	4,68	5008	89,20	2713	0	0	5	1	0	0	0	5,66	99,70	328,16
JTK-10	C	K9	413,50- 413,60	0,32	0	0	45,58	996	53,94	622	0	0	0	2	0	0	0	0,58	99,88	867,41
JTK-6	A	K10	361,45- 361,55	0,67	178	28758	63,76	0	32,61	737	0	0	0	0	0	0	0	2,00	99,77	442,64
JTK-6	C	K14	447,30- 447,40	2,71	178	58	90,20	0	7,03	304	0	0	0	0	0	0	0	27,85	99,57	231,52
CG-01	C	R2	409,35- 409,95	8,52	0	0	19,09	1956	72,09	1046	0	0	0	0	0	0	0	10,57	99,86	688,90



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Anıl Soylu
Doğum Tarihi ve Yeri : 21/11/1988 - Niğde
E-posta : anilsoylu2@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, O.D.T.Ü., Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2018, İ.T.Ü., Maden İşletmesi Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-Günümüz İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.
- 2015-2016 Bayar Endüstriyel Hizmetler şirketinde maden mühendisi olarak çalıştı