T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ KAYA GAZI REZERVLERİ KAYA GAZI ÇIKARTMA YÖNTEMİ

NABİ KETEN

YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOÇ. DR. OKTAY HACIHAFIZOĞLU

EDİRNE 2015

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof.Dr. Mustafa ÖZCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr.Taner TIMARCI

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU

Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):	İmza
Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK	
Doç. Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU	
Yrd. Doç. Dr. Mesut BOZ	

Tarih: 22/01/2015

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

22/01/2015

Nabi KETEN

Yüksek Lisans Tezi

Dünya ve Türkiye'deki Kaya Gazı Rezervleri, Kaya Gazı Çıkartma Yöntemi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Yer küre üzerinde yeraltı enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi ve alternatif enerji kaynaklarının yetersizliği veya mevcutta kullanılmayışı, ülkeleri yeni enerji kaynakları aramaya itmiştir. Hızla tüketilen yer altı enerji kaynaklarına uzun süre soluk aldıracak yeni bir enerji kaynağı dünya ülkelerinin gündemine oturmuştur. Bu çalışmada kaya gazının kimyasal yapısı bakımından doğal gazdan farksız oluşu, yer küre üzerindeki oluşum biçimi ve çıkartılma yönteminin ise farklı oluşundan bahsedilecektir. Kaya gazı rezervleri Dünyamızda ve Türkiye'de büyük ehemmiyet arz etmektedir. Bu çalışmada kaya gazının nasıl meydana geldiğini, Dünya'da ve ülkemizde kaya gazı rezervlerinin ekonomik boyutu ve enerji ihtiyacımızın ne kadarını karşılayacağı konusunda fikir oluşturulmuştur. Kaya gazı çıkartma yöntemi olan hidrolik kırılma yönteminin kısımları hakkında bilgilere değinilmiştir. Bu yöntemin avantajları, dezavantajları hakkında bilgiler verilmiştir. Kaya doğal gazının, geleneksel olarak çıkartılan kaynaklarından biri olmadığı, yeni bir keşif olup, ince taneli ve kolaylıkla ince katmanlara bölünebilen tortul kayalardan çıkartıldığına değinilmiştir. Kaya gazı üretiminin önümüzdeki yıllarda sadece ABD'yi değil, diğer dünya ülkelerini de yakından ilgilendiren yeni bir enerji kaynağı olduğuna dikkat çekilmiştir.Yapılan çalışmalarda kaya gazı konusunda dünya ülkelerinden Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Çin gibi ülkeler için kaya gazının yeni bir durum olmadığı, bu devletlerde uzun yıllardan beri kaya gazı üretimi yapıldığı görülmüştür. Özellikle ABD, 2000′li yılların ilk zamanlarından itibaren bu duruma yoğunlaşmış ve yapmış olduğu çalışmalar ve yatırımlarla bugün en fazla kaya gazı üreten lider ülke konumuna gelmiştir. ABD'de son 5 yılda kaya gazı üretimi 200 milyar metreküpün üzerine çıkmıştır. Bu miktar doğal gaz ithalat devi Rusya'nın yıllık gaz satışından daha fazladır.

Önümüzdeki yıllarda kaya gazı üretimlerinin ABD'nin gaz ihtiyacının yarısını karşılayacağı gerçeğini ortaya koymuştur. Doğal gazdaki bu yeni buluş petrol ve gaz ihracatçısı ülkelerin tekel olarak dünya ülkelerine sürmüş olduğu doğal gaz satış pazarında petrol ve doğal gaz fiyatlarının düşeceği gerçeğiyle bu ülkeleri karşı karşıya getirmiştir. Her yıl yaklaşık 50 milyar dolardan fazla enerjiyi dışardan alan Türkiye'nin ise tahmini kaya gazı potansiyeli 2 trilyon metreküp civarındadır. Enerjide dışa bağımlı olan Türkiye için bu rakam 20-30 yıllık ihtiyacının karşılanması anlamına geliyor. Teoride çok önemli bir enerji kaynağı gibi gözükmese de azımsanmayacak kadar öneme sahiptir. Yer altı su kaynakları ve deprem fay hatlarını tetikleyen yöntemlerle yeryüzüne çıkartılıyor olması ise önemli bir durumdur. Bu durumda iyileştirme süreçleri ve yöntemlerin geliştirilmesi konusunda çalışmaların yapılıyor olması da sevindirici bir gelişmedir.

Yıl: 2015
Sayfa sayısı: 71
Anahtar kelimeler: Kaya gazı, Doğal gaz, Hidrolik kırılma yöntemi

Master Thesis

Gas Reserves in The World And in Turkey, Shale Gas Removal Method

Trakya University Instute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

The fast depletion of energy resources and lack of alternative enegry resources or lack of present usage have forced countries look for new energy resources. A new energy resource that will respite the rapidly consumed underground energy resources has been come out on all around the world countries which is shale gas. In this study, it will be mentioned that shale gas is structurally the same with natural gas but it is different in terms of formation on earth and its removal methods. Shale gas reserves has great importance not only on the world but also in Turkey. An idea was created about the economic aspects of shale gas reserves in our country and how much of our energy need will be met with that reserves. Some information was given about the parts of hydraulic fracturing method which is one of the ways to remove shale gas. The advantages and disadvantages of this method are explained. It is mentioned that shale gas is not one of the resources traditionally removed but it is a new discovery since it is removed from sedimentary rocks that are fine grained and can be easily divided into thin layers. It is pointed that shale gas production will be the new energy resource for not only USA but also for all the other world countries in coming years. As a result of the studies done, it is seen that shale gas is not a new issue for countries such as USA , Canada, China and Australia and for a long time shale gas production has been done. These countries, especially USA is concentrated on this area and it became a leader shale gas producer with its investments. In last five years, shale gas production in USA rose up to 200 billion cubic meters. This amount is more than annual sale of natural gas in Russia which has the greatest natural gas import. In coming years shale gas production may meet the half of the USA gas demand. The new discovery on natural

gas makes the oil and gas exporting countries face with the fact that their market prices will fall. Turkey, making energy import over 50 billion dollars each year, has approximately 2 trillion cubic meters of shale gas reserve. For Turkey depended on outside energy resources, even that figure means meet of 20-30 years of energy needs. Even if it is not seem to be an important energy reasource in theory; it is an important point that it is removed by methods effecting environment, earthquake fault lines and underground water sources. Recruitment processes and methods are tried to be improved which is a pleasing situation.

Year: 2015
Number of Pages: 71
Keywords : Shale Gas, Natural Gas, Hydraulic fracturing

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarıma yön veren hocam Sayın Doç. Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU'na ve bu tezde emeği çok büyük olan Sayın Prof. Dr. Ahmet CİHAN'a Trakya Bölgesi Doğal gaz Dağıtım A.Ş. Bölge Müdürüm Sayın Tamer AKASLAN'A, Tekirdağ ve Çerkezköy İşletme Müdürlerim Sayın Olcay GÖKKURT, Sayın Tanju KOÇAK'a ve biran olsun desteğini esirgemeyen ve beni sürekli çalışmaya teşvik eden sevgili eşime, değerli katkılarından dolayı Meryem GÜLOĞLU'na, beni bu günlere getiren, maddi manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme, teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i

ABSTRACT iii

TEŞEKKÜR iv

SİMGELER VE KISALTMALAR viii

TABLOLAR LİSTESİ ix

ŞEKİLLER LİSTESİ x

GRAFİKLER LİSTESİ xii

1. GİRİŞ 1

2. DOĞAL GAZ KAYNAKLARI 6

2.1. Tarihte Doğal Gaz Kaynakları 6

2.2. Doğal Gazın Doğada Bulunuşu 7

2.3. Konvansiyonel Petrol ve Gaz Kaynakları 12

2.3.1. Doğal Gazın Bileşimi 12

2.3.2. Doğal Gazın Özellikleri 13

2.3.3. Termojenik Metan 16

2.3.4. Biyojenik Metan 18

2.3.5. Abiyojenik Metan 19

2.4. Konvansiyonel Olmayan Doğal Gaz Kaynakları 20

2.4.1. Derin Doğal Gaz 20

2.4.2. Sıkışmış Doğal Gaz 20

2.4.3. Devonik Kaya (Shale) Doğal Gaz 21

2.4.4. Kömür Madeni Metanı…….....21

2.4.5. Jeopres Bölgeleri…….....21

2.4.6. Metan Hidratlar…….....21

2.5. Metan Hidratların Jeofizik Belirtileri ve Araştırılması.....25

3. KAYA GAZI (SHALE GAZI).....30

3.1. Kaya (Shale) Nedir……..……..…..31

3.2. Kaya Gazı Çıkartma Yöntemi……...……..….32

3.2.1. Delme Aşaması……...…….....……...38

3.2.2. Kırma Aşaması..……...……...……...39

4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE KAYA GAZI..... 45

4.1. Dünyada Kaya Gazı……...……..45

4.2. Türkiye'de Kaya Gazı…….....……...…….....54

4.2.1. Güneydoğu Anadolu Havzası …….....….....57

4.2.2. Trakya Havzası.....……...….....58

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....59

6. TARTIŞMA……...……..65

KAYNAKLAR…….....…….....68

ÖZGEÇMİŞ.....71

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

°C : Celcius

°F : Fahrenayt

R_0 : Vitrinit Yanması Aşınma miktarı (%)

P : Basınç (bar)

V : Debi (m^3)

T : Sıcaklık (K, °C)

KISALTMALAR

TPAO : Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

BOTAŞ : Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi

ARI : Advanced Resources International Inc.

TA : Transatlantic Petroleum

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

U.S.A : Amerika Birleşik Devletleri

Tcf : Trilyon Kübik Fit

Bcf : Milyon Kübik Fit

EIA : Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi Dairesi

TOC : Kayalardaki Toplam Organik Karbon (%)

AB : Avrupa Birliği Ülkeleri

M.Ö : Milattan Önce

API : Amerikan Petrol Enstitüsü

LNG : Sıvılaştırılmış Doğal gaz

BSR : Tabana Benzeyen Yansıtıcı

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Türkiye'de doğal gaz üretimi [4]..…….....11

Tablo 2.2 Doğal gazda bulunan hidrokarbonları…….....14

Tablo 2.3 Gaz hidrat içeren ortamların dalga hızları.....26

Tablo 4.1 Dünya'da bilinen bölge bazlı kaya gazı miktarları [3].....47

Tablo 4.2 Dünya ülkeleri doğal gaz ve kaya gazı rezervleri [26,24].....48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Dünyada doğal gaz rezervleri [2]……..…….…....8

Şekil 2.2 Türkiye doğal gaz boru hatları [3]……..……...….....9

Şekil 2.3 Türkiye'de yıllara göre imalatı gerçekleşmiş doğal gaz boru hatları [2].....10

Şekil 2.4 Türkiye iller bazlı doğal gaz boru hatları [2]……...…….....11

Şekil 2.5 İşlenmemiş doğal gazın ana unsurları …….……....…….....13

Şekil 2.6 Petrol ve doğal gazın oluşum aşamaları [5]…….…….....16

Şekil 2.7 Bir gaz hidrat yapısındaki birim hücre …….....22

Şekil 2.8 Metan hidratın yapısı.....…….....22

Şekil 2.9 Dünya rezervuarlarındaki organik karbonun dağılımı…….....23

Şekil 2.10 Doğal gaz kaynaklarının şematik görünümü [7]..…….....24

Şekil 2.11 Porüz kumtaşı…….…….....24

Şekil 2.12 Sıkı (Tight) kumtaşı…….…….....24

Şekil 2.13 Gaz hidrat tabakası [8].....25

Şekil 2.14 Gaz hidrat içeren ortamların sismik şekilleri [10].....27

Şekil 3.1 Kaya (Shale) Tabakaları [3]…….……..…….....32

Şekil 3.2 Kaya gazı çıkartma operasyonu kesiti [13].....37

Şekil 3.3 Hidrolik kırılma, delme aşaması betonlama işlemi.....38

Şekil 3.4 Kaya gazı çıkarmada kullanılan yatay sondaj ve suyla çatlatma operasyonunun şematik gösterimi [14].....42

Şekil 3.5 Hidrolik kırılma işlemi ve çatlayan kaya görüntüsü [15].....42

Şekil 3.6 Suyla kırılma işleminden bir görüntü.....43

Şekil 3.7 Klasik doğal gaz üretimi ile konvansiyonel olmayan doğal gaz üretimi yöntemi [16].....44

Şekil 4.1 Dünyada kaya gazı potansiyeline sahip ülkeler ve bölgelerin gösteri [18,19].46

Şekil 4.2 Konvansiyonel ve unkonvansiyonel kaynakların 15 ülke arasında dağılımı [25].....49

Şekil 4.3 2010 yılında dünya üzerinde kaya gazı üretmek için açılan kuyu sayısı [26].....50

Şekil 4.4 2011 yılında dünya üzerinde kaya gazı üretim bölgelerinin gösterimi [27].....50

Şekil 4.5 2035 yılına kadar kaya gazı potansiyeli yüksek olan ülkelerde üretim miktarı tahminleri [25].....52

Şekil 4.6 Türkiye'de üretim yapılması beklenen kaya gazı havzaları [29].....55

Şekil 4.7 Türkiye'de kaya gazı potansiyel alanları [30].....56

Şekil 4.8 Türkiye'de kaya gazı havza haritası.....58

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 2.1 Kömürleşme aşamalarında çıkan termojenik gazların grafiği…….....17

Grafik 2.2 Hidratların doğada bulunma koşullarını gösteren bir grafik…….....23

Grafik 2.3 Durağan gaz hidratların oluşum bölge şartları [11].....29

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sanayi devriminin başladığı 18. yüzyılda enerji denildiğinde ilk akla gelen kömür 19. yüzyılın sonlarına doğru yerini petrole devretmiştir. Sanayi devrimi ile ekonomik değeri ön plana çıkmış ve 20. yüzyılda tüm dünya ülkeleri nezdinde stratejik önemi bir kez daha vurgulanmıştır.

1990'lı yılların başına gelindiğinde doğal gaz da stratejik anlamda petrole rakip olacak düzeyde önem kazanmıştır. 80'li yılların sonunda Rusya, büyük bir strateji planı uygulayarak Doğu Avrupa bölgesinde bulunan askeri birliklerini hızlı bir şekilde geri çekip bunun yerine bütün Avrupa üzerinde kurduğu doğal gaz boru hattı ağlarıyla tüm bu bölgeyi kendine bağlı bir konuma getirmeyi başarmıştır. Gerçekçi fakat tezat bir açıdan baktığımızda Rusyanın doğal gazına Avrupa'nın büyük ihtiyaç duyması Avrupa açısından önemli bir güvenlik tehdidi oluşturmaktadır. Ancak doğal gaz konusuna bir tehdit unsuru olarak bakmanın da tarafların yararına olmayacağı açık bir gerçektir. Nitekim bunun yakın tarihte yaşanan en somut örneği 2006 yılında Ukrayna ile yaşanan gerginliktir. Bu gerginlik sırasında Rusya Avrupa'daki ülkelerin doğal gaz ihtiyaçlarını karşılayamamış ve mağduriyetler yaşanmıştır. Rusya'nın temel amacı güvenli ve ihtiyaçları uzun soluklu olarak karşılayabilecek bir kaynak olduğunu kanıtlama ve ülkelerin kendine bağımlılığını sürdürmektir. Bunun yanı sıra Rusya'nın bir diğer amacı da Kazakistan, Türkmenistan gibi doğal gaz üreten Orta Asya ülkelerini yanına alarak var olan transit yolları kendi lehine kapatma düşüncesinin varlığı da bilinmektedir. Rusya'nın bu planlarına karşılık olarak AB ve ABD'nin enerji kaynaklarını çeşitlendirip transit yollarını çoğaltarak karşı planlar geliştirdiği görülmektedir. Bu rekabetin olağan bir sonucu olarak Bakü-Ceyhan boru hattındaki mücadeleyi ve bunun sonucunda Türkiye'nin önemli bir enerji rotası olma hedefini batı desteklemiştir. Afganistan üzerindeki hakimiyet rekabeti, siyasi belirsizlik bölgenin kaynaklarını dünyaya tranfer edecek kanalların belirsizliğinin de bu güç savaşından kaynaklandığı söylenebilir. Yine bu rekabetin bir boyutu olarak Kazakistan ve Türkmenistan doğal gazının Avrupa'ya yönlendirilip bu pazarları beslemesi ve enerji sıkıntısı çeken Çin sanayisine ulaştırılma düşüncesi örnek gösterilebilir. Yıllık doğal gaz ihtiyacı 100 milyar metreküp olan Çin

bu rakamı son 10 yılda 4'e katlarken, 2035'de ihtiyacın 400 milyar metreküpe ulaşacak olduğunu düşündüğümüzde gelecek dönemlerde dünya üzerinde yaşanabilecek olan enerji savaşlarını tahmin etmek zor olmayacaktır. Bu tabloya bakıldığında günümüzde yalnızca enerji kaynaklarına sahip olmak yetmemekte, pazarlara ulaştıran kilit noktalara hakim olmak da ABD, Rusya, Çin gibi önde gelen devletlerin temel amaçları arasında bulunmaktadır.

20. yüzyılın sonlarında ise kullanım kolaylığı ve çevre dostu olması nedeniyle doğal gaz petrolün tahtına oturmuştur. Ancak doğal gaz, kullanıcı ülkeleri büyük bir bağımlılığa ittiğinden bütün dünyada sorunlar yaşanır olmuştur. Önemli bir ekonomik ve siyasal güç haline gelen doğal gaz nedeniyle tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji temininde yeni kaynak arayışlarına başlanmıştır. Potansiyel bakımından yerli kaynakların başında yer alan kömürde 2005 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan çalışmalar ile önemli rezerv artışları elde edilmiştir. Bu çalışmalar devam ederken derinlerde bulunan ve işletme güçlükleri söz konusu olan kömür yatakları için "kömürlerin gazlaştırılması" projeleri tartışılır olmuştur.

Enerjideki yaşanan arz talep dengesi, endüstrideki gelişmelerle doğru orantılı olarak arz yönünde gelişme gösterirken bu gelişmelerden kaynaklanan olumlu etkilere de değinmekte yarar bulunmaktadır. Enerji sektöründe yaşanan teknolojik gelişim ve ilerlemenin dünya üzerindeki dengeler bakımından ciddi etkiler yaratmış olması göz ardı edilemez bir gerçektir. Bilhassa son dönemlerde kaya gazı konusunda yapılan çalışmalarla enerji alanında büyük atılımlar yaşanmaktadır. Yeni teknolojilerin varlığı sayesinde yeni kaynaklar elde edilmesiyle petrol ve doğal gaz kaynaklarının tükendiğine dair yaygın varsayımlar nihayet yok edilmiş durumdadır. Zamanla rezervleri tükendiği düşünülen ve gitgide enerjide bağımlı hale geleceği iddia edilen Amerika Birleşik Devletleri kaya gazı çalışmaları sayesinde 2030'lu yıllara ihracatcı konumunda girecek olanagı yakalamış durumdadır. Mevcut konumda doğal gaz üretiminde kaya gazının payı % 40 olan ABD 2030'lu yıllara gelindiğinde bu üretim payını % 70'lere çıkarmayı hedeflemektedir. Bunun yanı sıra ABD'de bir miktar da olsa enerji bağımlılığını azaltacak, gelişmeler yaşanmaktadır. Şöyle ki bu konuda enerji tasarufunu öğretici programlar hazırlanmakta ve bu konuda araştırma yapılarak enerji konusuna katkı sağlanmaya çalışılmaktadır. Tüm bu çalışmaların getirisiyle düşük maliyetli ve yüksek miktarda kaynağa sahip olan ABD karşısında tüm diğer sanayileşmiş ülkeler güç kaybı yaşamaktadırlar. Buna somut bir örnek verecek olursak

ABD'de tüketilen doğal gazın yerine Avrupa üç katı, Japonya ise beş katı daha maliyetli enerji kullanmak durumundadır.

ABD'deki kaya gazı üretiminin 2010 senesinde 4,87 Tcf'ye ulaşarak, ülkedeki toplam üretimin % 23'ünü oluşturması bütün dünyanın ilgisinin bu yeni ve eşdeğer enerji kaynağına doğru çekilmesine sebep olmuştur. 2000 yılındaki kaya gazı çıkarımının yalnızca 0,39 Tcf kadar olduğu göz önünde bulundurulduğunda kaya gazı üretimindeki bu hızlı artış sürecinin, ABD adına, ne denli mühim olduğu anlaşılmaktadır. İthal gaza olan ihtiyacın zamanla zayıflaması ve gaz fiyatlarının ucuzlaması yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'ni değil, bütün dünyayı etkisi altına alacak bir aşama olarak değerlendirilebilir. EIA'nın (U.S. Energy Information Administration) [1] 2012 yılı verilerinde kaya gazı çıkarımının 2035 yılında 13,6 Tcf'e ulaşacağı ve bunun Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam gaz çıkarımının % 46'sınıkapsayacağı tahmin edilmektedir. Yine EIA'nın bir başka raporunda kaya gazı olarak isimlendirilen bu eş değer enerji kaynağının Amerika Birleşik Devletleri ile sınırlandırılmadığı, 32 değişik ülkenin 48 değişik bölgesinde belirli bir potansiyelin (5750 Tcf teknik olarak üretilebilir rezerv) var olduğu iddia edilmiştir. Dünyadaki konvansiyonel gaz kaynaklarının uzun süreçte yalnızca birtakım Ortadoğu ülkeleri ile Rusya'da kalacağı göz önünde bulundurulduğunda, kaya gazının bu dengeleri temelden değiştiren ve yalnızca ekonomiyi değil, uluslararası politikayı da etkisi altına alacak alternatif bir enerji kaynağı olduğu anlaşılacaktır.

Son yıllarda adından sıkça söz edildiği üzere, kaya gazı adı verilen ve önümüzdeki tarihlerde dünya doğal gaz piyasasının dengelerini değiştirebilecek güçte olacağı öngörülen bir enerji kaynağının varlığı dile getirilmektedir. Metan gazı (CH_4) adını taşıyan bu enerji kaynağının varlığını insanoğlu geçtiğimiz yüzyıldan itibaren bilmekteydi. Ancak bu gaz türü doğada bulunuş itibariyle daha farklı bir biçim taşımakta, doğal gaz olarak bilinen ve ülkemizde ve bütün dünyada yaygın biçimde kullanılan enerji kaynağından farklılık gösteren bir jeolojik başkalaşımdan geçmiş bulunmaktadır. Doğal gaz kaynakları daha çok gözenekli ve geçirimliliği yüksek,kumtaşı gibi kayaçlar içinde bulunurken, kaya gazına ise; bunun aksine neredeyse geçirimsiz ya da daha az gözenekli kayaçlar içinde rastlanmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı kaya gazının eldeki teknolojiler ile yeryüzüne çıkarılması ve işlenmesi maliyetli bulunduğu için bütün dünyaca ihmal edilmiş ve ilgi gösterilmemiştir. Tüm bunlara karşılık Amerika'da 1990'lı yıllarda kaya gazı çıkarmaya

ve işlemeye yönelik geliştirilen teknolojiler ve çalışmalar sonucunda, nihayet günümüzde kaya gazını ekonomik fiyatlarla kullanıma sunma alanağı yakalanmıştır.

Kaya gazının daha iyi anlaşılması için öncelikle, kaya gazına yataklık yapan ve aynı adla anılan kaya tabakalarının ne olduğu ve nasıl oluştuğu konusunda bilgilere yer verilecektir. Milyonlarca yıldan beri yeryüzü tabakası rüzgâr ve su ile aşındırılmaktadır. Bu yolla koparılan parçalar sürüklenerek deniz, göl ve nehir yataklarına çökelmişlerdir. Yıllar içinde tabakalar halinde üst üste çökelen bu erozyon malzemesinin basınç altında sıkışması ile çökelti kayalarının oluştuğu bilinmektedir. Tabiatta bulunan kireç taşı, kum taşı, çakıl kayaç, Breccia ve shale bu yolla oluşan kaya türleridir. Shale; kil, silt ve çamurun jeolojik çağlar boyunca deniz, göl ve sel yataklarından çökelmesi sonrasında oluşmuştur. İçinde mineral olarak yüksek oranda kil mineralinin yanı sıra kuartz, mika gibi diğer mineralleri de barındırmaktadır. Shale birbirine paralel ince tabakalardan oluşmaktadır.

Kayayı oluşturan mineral tanelerinin çok küçük olması nedeniyle homojen bir görüntüye sahiptir. Minerallerin gözle tespiti mümkün değildir. Ancak mikroskop altında görülebilirler. Dokunulduğunda düz ve yağlı bir his oluşturan kayalar, bıçak gibi sivri uçlu bir aletle çizilip kazınacak kadar yumuşaktır. Genellikle gri bir renge sahip olan Shale, kırmızı pembe yeşil ve siyah renklerde de olabilir. Bu kaya tabakası içindeki organik maddelerin milyonlarca yıl boyunca basınç ve sıcaklık etkisi ile metan gazına dönüştüğü bilinmektedir. Shale kayaların içerdiği doğal gaz miktarı, kayanın oluşumu esnasında bünyesinde kalan organik madde miktarı ile doğru orantılıdır. Bünyesinde ekonomik sayılacak kadar gaz barındıran Shale kayaçlarının genel bir özelliği olarak organik madde oranın % 25'e kadar tırmandığı tespit edilmiştir. Kömür yataklarında kömür tabakalarının arasında hapsedilmiş olarak bulunan metan gazının da jeolojik olarak oluşumu aynı kapsamda değerlendirilmektedir. Nitekim Shale kayaçları ile kömür yataklarında hapsedilmiş metan gazı yeryüzüne Amerika'da son yıllarda geliştirilen yöntem kullanılarak çıkarılmaktadır.

Uzun yıllardır varlığı bilinen bu çalışma teknolojideki çeşitli ilerlemeler sayesinde nihayet 2000'li yıllarda önemli bir yer altı kaynagı olarak gündeme oturan kaya gazı konusunun Dünya'da ve Türkiye'deki durumunu incelemek üzere hazırlanmıştır. Bu çalışmada; klasik yöntemlerle üretilemeyen gaz kaynaklarının üretilmesiyle ilgili kaya

gazının tanımlanması, oluşumu ve üretimi Türkiye'deki ve Dünya'daki rezervleri hakkında bilgi verilecektir. Konuyu daha detaylı ve anlaşılır sunabilmek amacıyla öncelikle petrol ve doğal gaz oluşumunun ana noktaları ile klasik petrol ve doğal gaz rezervlerinden bahsedilecektir.

BÖLÜM 2

DOĞAL GAZ KAYNAKLARI

2.1 Tarihte Doğal gaz

Doğal gaz insanlar tarafından tanınmadan ve kullanılmadan önce ilginç ve keşfedilmeyi bekleyen bir kavram gibi görünmüştür. Doğal gaz tarihin eski medeniyetlerince bilinmezden evvel yerin derinliklerinde gaz kaynaklı yaşanan pekçok hadise de batıl inaçlara kaynaklık etmiştir. Öyle ki insanoğlu yerin derinliklerinde yaşanan gaz sızıntılarını, şimşek çakmaları sonucu gazın yanmaya başlamasını ilahi bir işaret olarak algılamıştır. Bu yanmalar sonucu açığa çıkan alevlerin en çok bilineni Antik Yunan'daki Parnasus dağında (M.Ö. 100) bir çoban tarafından görülmüş ve bu durumun bir kehanet olduğu zannedilerek alevlerin oluştuğu bölgeye bir tapınak yapılmıştır. Mabette Delhi Kahini diye adlandırılan bir kadın papaz bulunur ve alevden yayılan kehanetleri insanlara bildirirmiş. Bu gibi alev kaynaklarına Hindistan, Yunanistan ve Eski İran'da da doğaüstü güçler tarafından gerçekleştirildiğine inanılan ve batıl inançlara kaynaklık eder şekilde rastlanmıştır. M.Ö. 500 yıllarına gelindiğinde Çinliler gaz sızıntılarının bulunduğu alanlara bambulardan boru hatları oluşturmuşlar ve gazı değişik bölgelere taşıyarak alevlerden, deniz suyunu ısıtıp tuzundan arındırarak içme suyu elde etme işinde faydalanmışlardır.

Kömür yapısından elde edilen doğal gaz, ilk defa Britanya'da (1785) sonra da Amerika'da (1816) evleri ve sokakları aydınlatmak amacıyla kullanıldı. Ancak kömürden elde edilen doğal gaz, yeraltında kendiliğinden doğal yapıda oluşan doğal gaz gibi yüksek verimli ve kaliteli değildir. Ayrıca çevre kirliliği açısından da çok olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Doğal gaz endüstrisi ilk olarak Amerika'da 70 feet derinlikte bir doğal gaz kuyusunun açılmasıyla başladı. 1885 yılında Robert Bunzen hava+doğal gazla yanan, kullanımı son derece güvenli olan ve ısıtma ve yemek pişirmede kullanılan Bunzen bekini icat etti. Doğal gazın ısıtma özelliğinden daha fazla yararlanılmaya ise sıcaklık ayarı yapılabilen termostatik cihazların icadıyla başlandı.

1891 yılında boru hatlarıyla doğal gaz taşınmaya başladı ve dolayısıyla kullanım alanları da genişledi. Evler, iş yerleri, sanayi ve elektrik üretimi alanlarında da hızla yayıldı ve gelişti. Zamanla taşıma ve depolama yöntemlerinin de geliştirilmesiyle doğal gaz bilinen,tanınan ve uygun olan alanlarda kullanımı en çok tercih edilen bir enerji kaynağı oldu.

2.2 Doğal gazın Doğada Bulunuşu

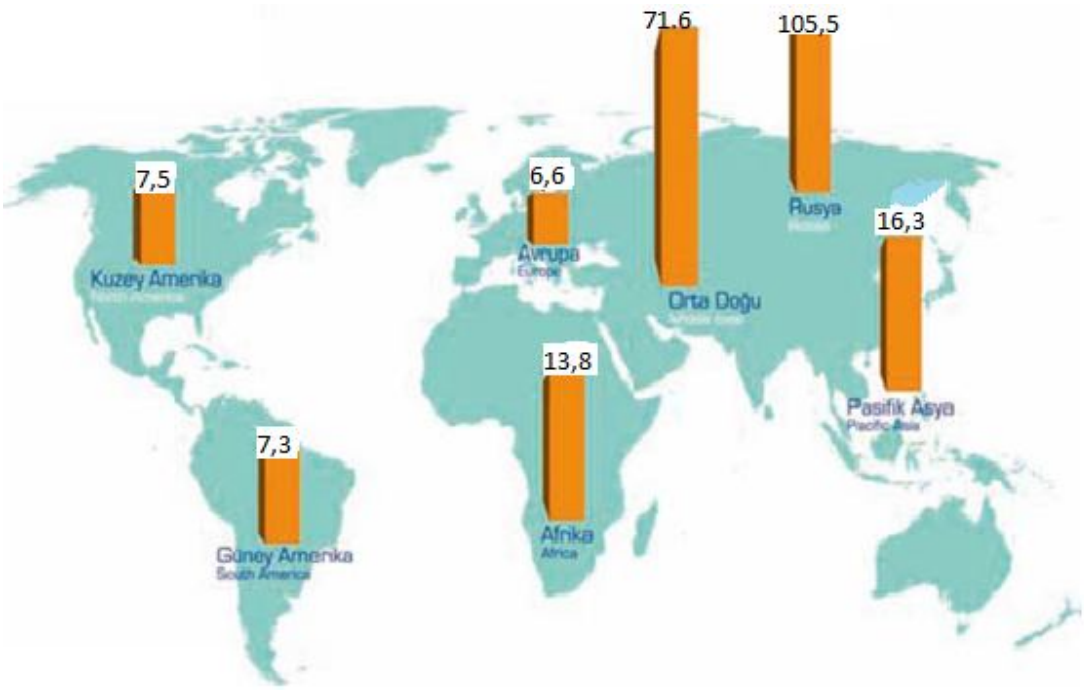
Petrolün içinde bulunan hidrokarbon bileşikleri doğal gazın içinde bulunur. Doğal gaz, yeraltında tek başına bulunabileceği gibi petrol ile birarada da bulunabilir. Doğal gaz da petrol gibi kayaçların mikroskobik gözeneklerinde bulunur ve kayaçlar içerisinde hareket ederek üretim kuyularına doğru ilerler. Doğal gaz yer kabuğunun içinde bulunan bir çeşit fosil kaynaklı yanıcı gaz karışımıdır. Petrolün bir çeşididir. Fosil kaynaklı yakıtların önemi konusunda bir sıralama yapılacak olursa doğal gaz ham petrolden sonra ikinci sırada gelir. Doğal gazı oluşturan gaz karışım oranları söylenecek olursa büyük bölümü % 70-90'ı metan gazı (CH_4) adı verilen hidrokarbon bileşiğinden oluşmaktadır. Diğer bileşenleri ise; etan (C_2H_6), propan(C_3H_8), bütan (C_4H_{10}) gazlarından oluşmaktadır. İçeriğinde çok az oranda karbondioksit (CO_2), azot (N_2), helyum (He) ve hidrojen sülfür (H_2S) de bulunur.

Doğal gazı oluşturan hidrokarbon bileşikleri, yeraltındaki petrolün de yapısını oluşturan bileşenlerdir. Doğal gaz geçmişte petrol üretimi esnasında ortaya çıkan yararsız bir atık olarak görülmüş ve petrol üretim tesislerinde yakılarak arındırılmıştır. Bugün ise doğal gaz paha biçilemez ölçüde değerli ve stratejik bir enerji kaynağı olarak çokça konutlarda ve sanayi tesislerinde kullanılmaktadır. Doğal gaz Antarktika hariç dünya üzerinde diğer altı kıtada üretilmektedir. Doğal gazın dünyadaki en büyük üreticisi Bağımsız Devletler Topluluğu'dur. Bunun yanı sıra ABD, Kanada ve Hollanda ve İran da önemli doğal gaz üreticileridir.

Doğal gaz en verimli ve en ucuz şekilde boru hattı yöntemiyle taşınır. Dünya ülkelerinden örnek verecek olursak, doğal gaz kullanımı çok eskilere dayanan ve doğal gaz teknolojisi çok gelişmiş olan ABD'de büyük kısmı II. Dünya Savaşı sırasında döşenmiş yaklaşık 3,2 milyon km doğal gaz boru hattı bulunmaktadır. Boru hattı yönteminin yanında yüksek basınçla sıvılaştırılmış doğal gaz tanklarla da taşınmaktadır.

Sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) taşıma sırasındaki dezavantajı ise çok yüksek basınç altında ve düşük sıcaklıklarda tutulması zorunluluğudur. Bu da taşıma yöntemini boru hattı yöntemine göre daha az tercih edilir kılmaktadır.

Enerji ihtiyacını karşılayan kaynaklar incelendiğinde, fosil kökenli yakıtların bu kaynakların başında geldiği görülmektedir. Petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil kökenli enerji kaynakları toplam enerji ihtiyacının % 80'ninden fazlasını karşılamaktadır. Fosil kökenli kaynakların dörtte birinden fazlasını ise doğal gaz oluşturmaktadır. Günümüzde toplam enerji tüketiminin % 24'ünü karşılayan doğal gaz; stratejik değeri fazla olan önemli bir ekonomik kaynaktır. Yeryüzünde mevcut teknoloji ile ispat edilen toplam 180 trilyon metreküp doğal gaz rezervi bulunmaktadır. Yılda, bu doğal gazın yaklaşık olarak 3 trilyon m³'lük bir kısmı çıkarılıp tüketilmektedir. Tüketilen bu doğal gazın 750 milyar metreküplük bir kısmı ise çıkarıldığı ülke sınırlarının dışına iletilmektedir. Yeryüzündeki kanıtlanmış doğal gaz rezervleri ve tüketim trendlerini incelediğimizde, yaklaşık 60 yıl yetebilecek kadar doğal gaz miktarı olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 2.1 Dünyada doğal gaz rezervleri [2]

Dünyanın kanıtlanmış gaz rezervlerinin yaklaşık dörtte üçü Rusya ve Orta Doğuda bulunmaktadır.

Sadece Rusya, İran ve Katar dünya doğal gaz rezervinin yaklaşık % 60'ına sahiptir. ABD dünya doğal gaz rezervinin sadece % 3'üne sahip olmasına rağmen dünya doğal gaz üretiminin % 20'den fazlasını yapmaktadır. Avrupa, doğal gaz ihtiyacının % 38'ini üye ülkelerin üretimlerinden karşılamaktadır. Doğal gaz tüketimi konusunda üretimi iç talebi karşılamayan AB, doğal gaz ihtiyacının % 24' ünü Rusya'dan, % 17'sini Norveç'ten % 10'unu Cezayir'den, % 2'sini Libya'dan, % 2'sini Nijerya'dan ve % 2'sini Mısır'dan ithal etmektedir. Geri kalan az bir kısmını ise körfez ülkeleri ve Trinidad-Tobacco gibi diğer ülkelerden karşılamaktadır. Avrupa'da kullanılan doğal gazın % 23'ü enerji santrallerinde, % 32'si sanayi tesislerinde, % 42'si yerleşim alanlarındaki konut ve ticari işletmelerde tüketilmektedir. Ülkemizde birincil enerji kaynağı olarak doğal gazın oranı sürekli yükselmektedir. Elektrik santrallerinde, sanayi tesislerinde, gübre üretiminde ve konutlarda kullanılan doğal gazın birincil enerji kaynakları içindeki payı % 22'ye yükselmiştir. Ülkemizde doğal gaz kullanımındaki artış oranı AB ülkeleri ve dünya ortalamasının çok üzerindedir. BOTAŞ'ın doğal gaz ithal etmeye başladığı 1987'den bu yana doğal gaz kullanımı sürekli artış göstermiştir. Ancak, Türkiye'nin doğal gaz rezervleri ne yazık ki çok azdır. Kanıtlanmış toplam doğal gaz rezervimiz ülkemizin bir yıllık doğal gaz tüketimini karşılayabilecek miktarda bile değildir. Doğal gaz ihtiyacını karşılamak konusunda dışa bağımlı olan Türkiye bu ihtiyacının büyük bir kısmını boru hatları ile Rusya ve İran'dan, geri kalan kısmını ise LNG olarak Cezayir ve Nijerya'dan karşılamaktadır. 2006 yılında tükettiği doğal gazın 19,6 milyar m³ 'ünü Rusya'dan temin etmiştir. Bu da toplam tüketimin % 63'üne karşılık gelmektedir. Nijerya ve Cezayir'den ithal edilen LNG miktarı 5,3 milyar m³ 'tür.

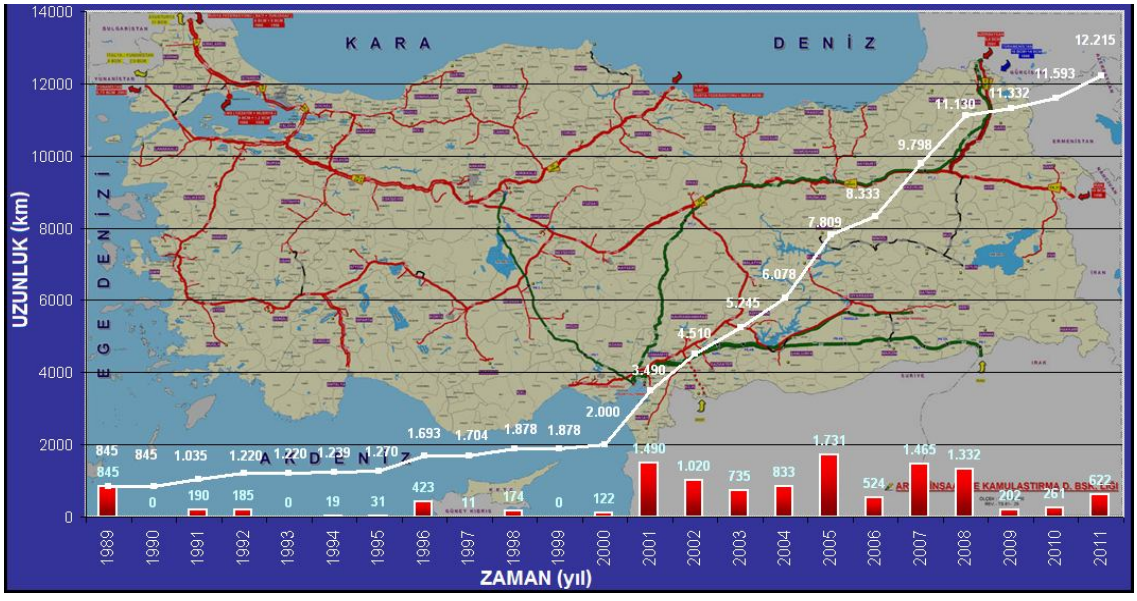


Şekil 2.2 Türkiye doğal gaz boru hatları [3]

Türkiye'de tüketilen doğal gaz büyük oranda elektrik santrallerinde kullanılmaktadır. Bu oran 2005 yılı içerisinde % 57'dir. Türkiye toplam elektrik tüketiminin % 45'ini doğal gaz ile çalışan santrallerden elde etmekte iken, bu alanda dünya ortalaması % 15 civarındadır.

Türkiye'de doğal gazın varlığı 1970 yılında Kırklareli Kumrular bölgesinde tespit edilerek, 1976 yılında Pınarhisar Çimento Fabrikası'nda kullanılmaya başlanmıştır. 1975 yılında Mardin Çamurlu sahasında bulunan doğal gaz, 1982 yılında Mardin Çimento Fabrikası'na verilmiştir. Kaynaklardaki rezervlerin sınırlı olması tüketimin genişlemesini önlemiştir. Doğal gazın sanayi ve şehir şebekelerinde kullanımı çalışmalarına, 84/8806 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla 1984 yılında SSCB ile imzalanan doğal gaz sevkiyatı anlaşmasının ardından başlanmıştır. Doğal gaz şehiriçi evsel ve ticari olarak ilk kez 1988'de Ankara'da kullanılmış, 1992 yılında İstanbul, Bursa, Eskişehir ve İzmit'te doğal gaz pazarı genişlemiştir.

Şehirlerdeki doğal gaz dağıtım faaliyetleri Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından yapılan ihaleler ile özel işletmeler tarafından yapılmaktadır. Türkiye de tüm dağıtım bölgelerinde ihaleler sonuçlanmıştır. İstanbul ve Ankara şehirlerinde ise dağıtım faaliyetleri şehir belediyeleri tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de doğal gaz dağıtım faaliyetleri aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi ciddi anlamda 2000'li yıllardan sonra artışa geçmiş şuan itibariyle 69 il merkezine doğal gaz ulaşmış durumdadır.



Şekil 2.3 Türkiye'de yıllara göre imalatı gerçekleşmiş doğal gaz boru hatları [2]



Şekil 2.4 Türkiye iller bazlı doğal gaz boru hatları [2]

Ülkemizde doğal gaz rezervlerinin az olduğunu daha önce de ifade etmiştik. Yıllara göre üretim yapılan doğal gaz miktarı Tablo 2.1 de gösterilmiştir. Tablo'da 1954 ile 2012 yılları arasında üretilen doğal gaz rezervlerimizin toplam miktarının yıllık tüketim miktarımız 2012'deki 45,25 milyar m^3 'e oranı % 28'e denk geldiği görülmektedir. Buradan sonuç çıkartacak olursak aynı yılda üretilen gaz miktarıyla tüketim oranlarımıza baktığımızda yerli gazımızın çok az miktarlık kısmını karşıladığını görebiliriz.

Tablo 2.1 Türkiye'de doğal gaz üretimi [4]

Yıl	Açıklama	Miktarı
2007	Doğal gaz Üretimi	874 milyon m^3
2008	Doğal gaz Üretimi	969 milyon m^3
2009	Doğal gaz Üretimi	684 milyon m^3
2010	Doğal gaz Üretimi	682 milyon m^3
2011	Doğal gaz Üretimi	793,4 milyon m^3
2012	Doğal gaz Üretimi	664 milyon m^3
2012	Ortalama Günlük Üretim	1,85 milyon m^3
2012	Doğal gaz Tüketimi	45,25 milyar m^3
2012	Üretimin Tüketimi Karşılama Oranı	1,70%
2012	Toplam Üretilebilir Rezerv	20,14 milyar m^3
1954-2012	Kümülatif Üretim	13,4 milyar m^3
2012	Kalan Üretilebilir Rezerv	6,65 milyar m^3

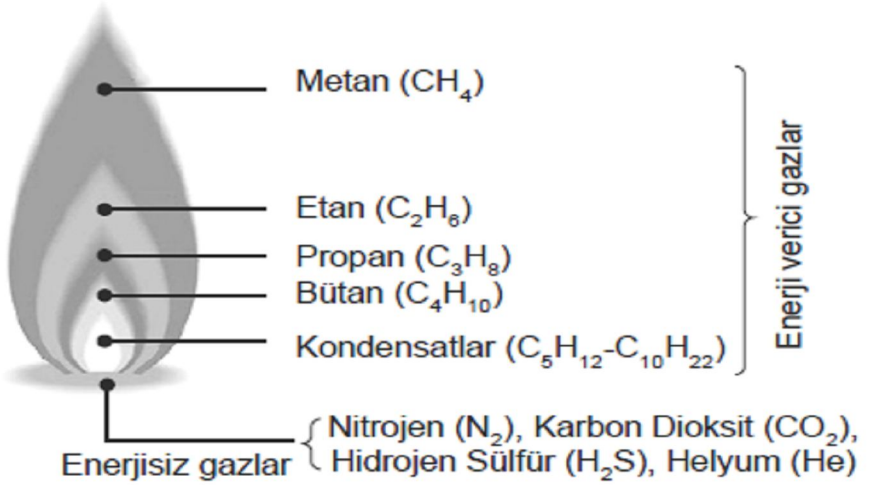
Türkiye'de de sınırlı bir miktarda doğal gaz çıkmakta ve kullanıma sunulmaktadır. Türkiye doğal gazı esas olarak Rusya ve Iran'dan boru hatlarıyla, Cezayir ve Nijerya'dan sıvılaştırılmış (LNG) olarak deniz yoluyla satın almaktadır. Ayrıca Azerbaycan ve Türkmenistan ile doğal gaz temini için anlaşmalar yapmıştır.

2.3 Konvansiyonel Petrol ve Gaz Kaynakları

2.3.1 Doğal Gazın Bileşimi

Kaynağından çıkarıldığı yapısındaki doğal gaza ham doğal gaz denir; birtakım oranlarda atmosferik basınçta sıvılaşan ağır hidrokarbonlar , su buharı, bazen sülfür bileşikleri ve hidrokarbon olmayan gazları (karbon dioksit, nitrojen veya helyum gibi) içerebilirler. Ham doğal gaz, genellikle ham yapısıyla kullanılmaz. Doğal gaz metan, etan, propan, bütan, pentan ve heksan karışımıdır. Bu sayılanların yanında bir miktar (% 0-0,5 hacimce) karbondioksit, helyum, hidrojen sülfür ve azot içerebilir. Doğal gazın bileşimini oluşturanlar çıkarılan havzaya ve kaynağına bağlı olarak dğişiklik gösterebilir. Bileşimindeki en önemli unsurların % 70-90 arasında değişebilen metan ve % 0-20 etandan oluştuğu söylenebilir. Propanın oranının da etandan daha az olduğu söylenebilir.

Ham petrol gibi doğal gaz da bileşimindeki sülfür oranına göre tatlı veya yumuşak sülfürlü ve acı veya yüksek sülfürlü şeklinde adlandırılır. Bunun yanı sıra sıvılaşabilen gazların içerik yapısına göre ıslak ve kuru metan bileşim oranı % 85'ten büyük ise doğal gaz denilerek isimlendirilir. Doğal gazın bulunduğu yatakta ham petrolle birarada olup olmadığını şu tanımlarla ifade ederiz; bağlı doğal gaz ham petrol yataklarında bulunan doğal gazı belirtir, bağımsız doğal gaz ise bir yatakta önemli miktarlarda petrol olmadığında ifade edilen şeklidir. Doğal gaz, çevreye zarar vermeden yanan bir yakıt türüdür. Kömür, petrol ve diğer fosil yakıtların bileşenlerinin yapıları doğal gaza göre ağır ve zararlı olduklarından yandıkları zaman çevreye verdikleri zarar da büyüktür. Doğal gaz çevreye zararlı ve zehirli bir yakıt değildir, basit ve zararlı atıksız yanma gerçekleştirir, yanma verimi % 90 'nın üzerinde olduğu için hava kirliliği ve çevreye vermiş olduğu zarar diğer yakıtlarla karşılaştırılmayacak derecede çok düşüktür. Kirliliğe çok az düzeyde sebep olacak bir yakıttır.



Şekil 2.5 İşlenmemiş doğal gazın ana unsurları

Doğal gazda yapılacak işlemler içindeki bileşiklerden dolayı farklılık gösterir. Hidrojen sülfür oranı düşük olan kuru doğal gazda, nem oranının ayarlanmasından başka bir işleme gerek yoktur. Kuru, ancak acı gazdan ise hidrojen sülfür ve karbon dioksitin arındırılmasına ihtiyaç vardır. Doğal gaz rafinasyona tabi tutularak diğer hidrokarbonlar ayrıştırılmakta ve saf metana yakın bir kıvama getirilerek ortak pazarlarda yerini almaktadır.

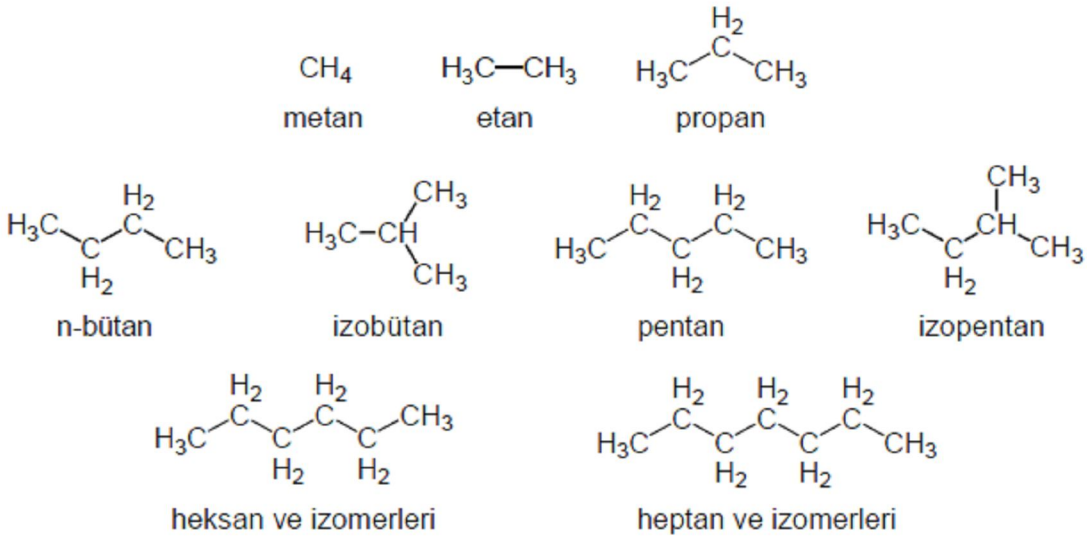
2.3.2 Doğal Gazın Özellikleri

Renksiz, kokusuz, tatsız, havadan daha hafif tabirleri doğal gazı tanımlamak için uygundur. (Tablo 2.2)'de görüldüğü gibi -161 ^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gaz halinde bulunur; kullanım esnasında bir kaçak olması durumunda kokusundan fark edilmesi için merkaptan (Tetra Hidro Teofen) bileşikleri yapısına eklenir. Doğal gazın yapısına eklenen bu bileşik çürümüş sarımsak kokusuna benzer,bulunduğu ortama sızan doğal gazın fark edilmesinde önemli emniyet tedbirlerinden birisidir. Doğadan çıkan gaz kaynağı kokusuzdur. Koku son noktada şehir şebekesine tüketicilerin kullanımına verilmesinden önce şehir ana istasyonunda gazın içersine belirli oranda katılır.

Tablo 2.2 Doğal gazda bulunan hidrokarbonları

Bileşik	Kaynama noktası, ^{o}C	Bileşik	Kaynama noktası, ^{o}C
Metan	−161.6	İzopentan	28.0
Etan	-88.6	n-Pentan	36.1
Propan	−42.1	Heksan	69.0
İzobütan	−11.7	Heptan	98.4
n-Bütan	−0.5		

Doğal gazın yapısında bulunan nem ve yoğunlaşabilen hirokarbonlar, gerektiğinde hidrojen sülfür ve karbondioksitten temizlendikten sonra fiziksel yapısı itibarıyla metan ile büyük benzerlik gösterir. Yoğunlaşabilen hidrokarbonlar olarak sözü edilenler ise etan, propan, bütan, pentan ve daha ağır olanlardır.



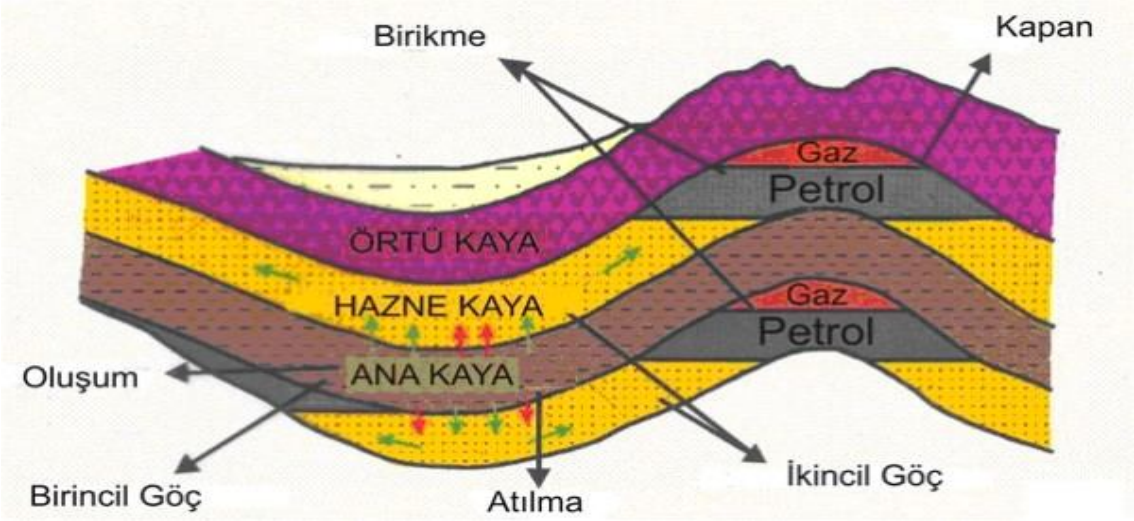
Doğal gazın vereceği enerji, yapısındaki hidrokarbonların cins ve oranlarına göre farklıdır; hidrokarbon gazların yapısında karbon atomu sayısı artıkça yanma oranı da artar ve o oranda büyük bir enerji açığa çıkarır. Doğal gazın % 95 kadarının yakıt olarak kullanıldığı düşünülürse kalori değerinin ne denli mühim olduğu anlaşılır. Kalori değeri, gazdaki hidrokarbonların miktarına bağlıdır ve doğal gazın satışında "1 milyon Btu/1000 ft^3 gaz üzerinden işlem yapılır.

Doğal gazın 33.4-40.9 MJ/m^3 (900-1100 Btu/ft^3) rakamsal değerleri arasında kalorifik değerini açığa çıkarır.

1 mol metan gazının yanması sonucu CO_2, H_2O ve 891 kJ enerji elde edilir.

$CH_4(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\ H_2O(l) + 891$ kJ olur.

Yapısında yeterli seviyede uygun özellikte organik madde barındıran ana kayaların yerin derinliklerine hapsolması sonucunda sıcaklık ve basınc artışının etkisiyle organik maddelerin kimyasal başkalaşım geçirmesi sonucunda petrol ve doğal gaz oluşur. Sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak 60-70 ^oC sıcaklıklarda petrol, sıcaklığın 100-120 ^oC'ye kadar çıktığı ve gömülmenin devam ettiği derinliklerde doğal gaz oluşumu açığa çıkar. Petrol ve doğal gaz oluştuktan sonra göç olarak tanımlanan ana kayayı terk sürecine girer. Göç olayı gözeneklilik ve geçirgenlik bakımından uygun yapıya sahip taşıyıcı kayalar doğrultusunda yukarılara doğru ilerler. Bu şekilde ilerlemenin sebebi doğal gaz ve petrolün yoğunluğunun kayaçların gözeneklerini dolduran suyun yogunludundan daha hafif olmasından dolayıdır. Harekete geçen petrol ve doğal gaz kaynakları yer altında uygun koşullar altında kendine bir hacim bulana kadar ilerlemeye devam eder. İlerleme oluşumun gerçekleştiği kapan adı verilen noktalara kadar devam eder ve burada petrol ve doğal gaz birikmeye başlar. Kapan adı verilen oluşumun gerçekleşmesi için uygun bir ana kayaya, birikim oluşması için uygun bir cografik yapıya ve oluşumun yukarı hareketine izin vermeyecek sert bir kayaç türüne gereksinim duyulur. Bu koşulların gerçekleşmesindeki en önemli nokta uygun yer ve zaman koşullarının sağlanmasıdır. Petrolün yoğunlugunun gazın yogunluğundan daha büyük olması sebebiyle alt noktalarda birikir, gaz ise daha hafif olduğundan üst noktalardaki kuyularda birikir. Yukarıda anlatılanlar Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Petrol ve doğal gazın oluşum aşamaları [5]

Klasik petrol ve doğal gazın oluşabilmesi doğru zaman ve doğru yerlerde bir araya gelmeleriyle olmaktadır.

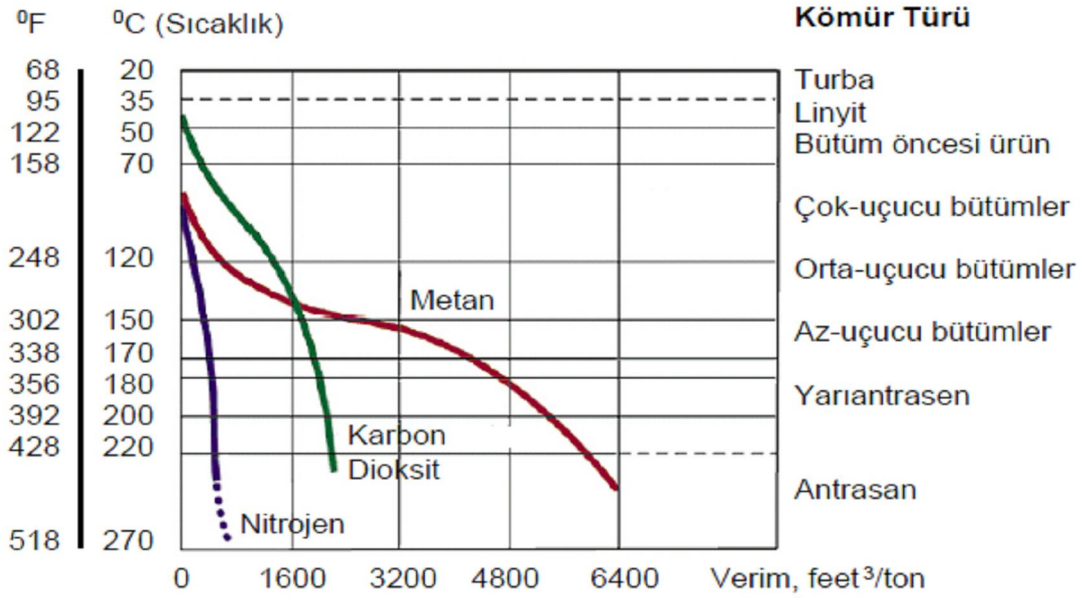
2.3.3 Termojenik Metan

Bitki, hayvan kalıntıları ve değişik organik maddelerin yer altında çok yüksek basınçlarda uzun yıllar sıkışıp kalmasıyla oluşan yapıya "termojenik metan" denir. Yüksek basınç ve çok yüksek sıcaklıklara maruz kalan organik moleküller parçalanır. Karbon bağı kopmaları düşük sıcaklıklarda (yüzeye yakın alanlarda) daha az miktarda olacağı için veya parçalanma daha düşük düzeyde kalacağı için doğal gaza oranla petrol oluşum miktarı daha fazladır. Bu şekilde oluşmuş yapılarda petrol ve doğal gaz bir aradadır. Derinlik arttıkça sıcaklık da artar, dolayısıyla doğal gaz oluşumu da artar ve doğal gaz kaynakları daha fazla saf metan barındırır.

Ham petrolün oluşum safhalarında olduğu gibi, termojenik metanın oluşumunda da organik parçacıkların senelerce çoğalan miktarlarda çamur ve diğer benzer tortul tabakalarca kaplanmasıyla meydana gelir; yüksek basınca maruz kalmalarıyla da çok yüksek sıcaklıklar açığa çıkar, dolayısıyla organik maddelerdeki karbon karbon bağları kopar ve parçalanmalar oluşur. Düşük sıcaklıklarda (yüzeye yakın alanlarda) doğal gaza kıyasla petrol oluşumu artar çünkü daha az bağ kopması olacağından parçalanma daha düşük seviyededir. Bu ve buna benzer şekilde meydana gelen yapılarda petrol ve doğal

gaz bir arada bulunur. Derinlik arttıkça doğal gaz oluşumu hakim duruma geçer çünkü derinlik arttıkça sıcaklık da artar ve kaynaklar daha saf metan barındırır.

Kömürleşmenin ilk safhalarındaki bakteriyel yaşam zincirinde yan ürün olarak metan oluşur. Oksijen varlığında meydana gelen bakteriler, bitkilerde ve bitki çevrelerinde bulunan serbest oksijeni tüketirler; ortamda su bulunduğunda, oksijenin tükenmesiyle metan çıkışı başlar. Çünkü anaerobik bakteriler çoğalırken karbon dioksiti indirger ve metan oluşmasına yol açarlar. Yerin altında kömür haline gelmekte olan kalıntıların sıcaklığı 122 ^{0}F'a eriştiğinde ve gereken zaman geçtiğinde biyojenik metanın büyük bir kısmı oluşmuş, ortamdaki nemin üçte ikisi tükenmiş ve kalıntı (kömür) bitüm öncesi ürüne doğru başkalaşmaya başlamıştır. Gömülme derecesi ve sıcaklığın çoğalmasıyla termojenik işlem başlar; kalıntılar, (kömür) uçucu maddeler içeriği fazla olan bitümlere dönüşürken su, karbon dioksit ve nitrojen oluşur. 210 ^{0}F civarındaki sıcaklıklarda CO_2 açığa çıkışı çok yüksek iken metan çıkışı çok düşüktür. Termojenik metanın oluşması sıcaklığı 250 ^{0}F'ı aşmasıyla artarken karbon dioksit çıkışı azalmaya başlar; 300 ^{0}F dolaylarında kömürden metan çıkışı en yüksek düzeye ulaşır. Daha yüksek sıcaklıklarda metan çıkışı devam edebilir ancak metan miktarı düşer.



Grafik 2.1 Kömürleşme aşamalarında çıkan termojenik gazlar

2.3.4 Biyojenik Metan

Organik maddelerin "metanojen" adı verilen mikroorganizmalarca kimyasal olarak parçalanması suretiyle oluşan metan biyojenik metan olarak adlandırılır. Metanojenler oksijen verici olup, yerin yüzeyine çok yakın kısımlarda yaşarlar, bu şekilde meydana gelen metanın birçok bölümü atmosferde kaybolur.Yer altı kapanlarında tutulan ve üretime alınan bazı biyojenik metan yatakları bulunmaktadır. Metanojenik bakteriler diğer bakterilerle birlikte yer altında oluşmuş olan oksijensiz ortamdaki organik maddeleri başkalaşıma uğratırlar. İşlem esnasında bakterilerin salgılamış oldukları enzimler sayesinde ve fermantasyonla hidrojen sülfür, karbon dioksit, organik asitler, alkoller, ketonlar ve diğer bileşikler açığa çıkar.

Fermenta metan, sıklıkla organik asitlerin kolay oluşabildiği, organik asitler bakımından fakir olmayan bölgelerde üretilmektedir. Örnek verecek olursak organik asitler geviş getiren hayvanlarda depo halindedir.

CO_2'in hidrojenle indirgenmesiyle fermanta ürünü CH_4 meydana gelmektedir. Okyanuslarda deniz körfezlerdeki CH_4'ün oluşması bu kimyasal tepkimeleşme sonucu oluşmaktadır.

Metanojenik bakterilerin gerçekleştirdiği bazı reaksiyonlar.

$4\ CH_3OH \rightarrow 3\ CH_4 + CO_2 + 2\ H_2O$

$CH_3OH + H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$

$4\ CH_3NH_2 + 2\ H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4\ NH_3$

$2\ (CH_3)_2NH + 2\ H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2\ NH_3$

$4\ (CH_3)_3N + 6\ H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3\ CO_2 + 4\ NH_3$

$2\ (CH_3)_2S + 2\ H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2\ H_2S$

$4\ (CH_3)SH + 2\ H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4\ H_2S$

$(CH_3)SH + H_2 \rightarrow CH_4 + H_2S$

$4\ H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

$CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_4 + CO_2$

$4\ CO + 2\ H_2O \rightarrow CH_4 + 3CO_2$

2.3.5 Abiyojenik Metan

Yer küre altında çok derin kısımlarda karbon ve hidrojen bakımından zengin olarak bulunan gaz molekülleri yüzeye dogru hareket ederken yapısında oksijen barındırmayan minarellerle etkileşime girip nitrojen, argon, oksijen elementleriyle su ve karbondioksiti oluştururlar. Bunlar yeryüzüne doğru hareket ettikleri esnada yüksek basınç altında bulunurlarsa termojenik metana benzeyen şekilde metan oluşumuna yönelirler.

Abiyojenik teoride kimyasal tepkimelerin sıralaması:

Fayalit + Su → Magnetit + Sulu silika

$3Fe_2SiO_4 + 2H_2O \rightarrow 2Fe_3O_4 + 3SiO_2$

Forsterit + Sulu silika → Serpentin

$3Mg_2SiO_4 + SiO_2 + 2H_2O \rightarrow 2\ Mg3\ [Si_2O_5\ (OH)]$

Olivin + Su + Karbonik asit → Serpentin + Magnetit + Metan

$3\ (Fe,Mg)_2SiO_4 + nH_2O + H_2CO_3 \rightarrow 2\ Mg_3\ [Si_2O_5\ (OH)_4] + 2Fe_3O_4 + H_2O + CH_4$

Olivin + Su + Karbonik asit → Serpentin + Magnetit + Magnezit + Silika

$4\ (Fe,Mg)_2SiO_4 + nH_2O + H_2CO_3 \rightarrow 2\ Mg3\ [Si_2O_5\ (OH)_4] + 2Fe_3O_4 + 2MgCO_3 + SiO_2 + H_2O$

Metan + Magnetit → Ethan + Hematit

$nCH_4 + nFe_3O_4 + nH_2O \rightarrow C_2H_6 + Fe_2O_3 + H_2CO$

2.4 Konvansiyonel Olmayan Doğal Gaz Kaynakları

Konvansiyonel doğal gaz yatakları yer altında fazla derinlerde olmadığından bu kaynaklara ulaşmak ve çıkartmak kolaydır. Konvaksiyonel kaynakların çıkartılması üzerinde çok araştırmalar yapılmış ve bu araştırmalar neticesinde yöntemler geliştirilmiştir. Konvansiyonel olmayan kaynakları üretmek çok zordur. Teknolojinin bu alana itilmesinde klasik doğal gazın üretiminin azlığı ve dünya üzerindeki rezervlerin azalışı etkili olmuştur. Fakat bu kaynakları çıkartmak, işlemek oldukça maliyetlidir. Bugün gelişen teknoloji ve dünya üzerinde enerji kaynağına olan gereksinim düşünüldüğünde bu kaynakların çıkartılması için gerekli teknolojileri geliştirmeye devam edilmelidir. Yöntemler geliştikçe klasik olmayan doğal gaz üretimindeki maliyetler düşer ve üretim artar.

Konvansiyonel olmayan kaynakları 6 sınıfta toplayabiliriz.

Bunlar; Bitümlü şeyl, Gaz hidratlar, Sığ biyojenik gaz, Üretilmesi güç petrol ve gaz, Kömür gazı ve Kaya gazı (Shale gas) diye adlandırılmaktadırlar. Birbirinden farklı bu oluşumların tek ortak noktası alternatif birer fosil yakıt enerji kaynagı olarak kullanım amacına uygun olmalarıdır.

2.4.1 Derin Doğal Gaz

Derin doğal gaz 4,5 km'den daha derinlerde bulunur; bu derinlikler klasik gaz yataklarıyla karşılaştırılacak olursa oldukça fazla rezerve sahiptir. Günümüzde gelişen teknoloji ile bu gaz yataklarını kullanılabilir duruma getirilse bile üretimi hala maliyetli bir işlemi gerektirir. Teknolojik gelişmeler ve çabalar sonucunda kaya gazının kullanılabilirliği daha ekonomik hale gelecek, üretilebilirliği artacak ve derin doğal gaz çıkarımında daha büyük bir aşama kaydedilecektir.

2.4.2 Sıkışmış Doğal Gaz

Geçirimsiz sert kayaçlar arasına sıkışmış olan doğal gazdır. Kayaçlar arasına sıkışmış doğal gazı üretebilmek için ciddi anlamda parçalama, kırma ve asitlendirme yaparak üretilmesi çok yüksek maliyetli teknolojiler uygulayarak çıkartmak gerekecektir.

2.4.3 Devonik Kaya (Shale) Doğal Gaz

Devonik kayalar yaklaşık 400 milyon yıl sığ denizlerin tabanında biriken çamurlardan meydana gelmişlerdir. Kaya tabakaları yumuşak olmasına ragmen nemli olduğundan dağılmayan ve ince tabakalara parçalanabilen tortul kayaçlardır. Sandviç şeklinde bir araya gelen en az 2 tanesi doğal gazı arasına alarak tutar. Kayaçlarda tutulan ya da gözenekler arasında serbest şekilde bulunan gazın bir bölümü yakın bölgelerindeki geçirgen kum tabakalarına doğru hareket eder ve bu bölgelerde tutunup konvansiyonel gaz oluşumu başlar. Gazın kalan kısmı geçirimsiz kayaçlar içinde tutulmuştur, bu oluşumlar klasik yöntemle üretilmeyen doğal gaz sınıfındadır. Devonik kayaların yapısı ve özelliği gereği bu kayaçlardan gaz üretimi oldukça zor ve maliyetlidir. Örnek vermek gerekirse; Amerika Birleşik Devletlerinde gaz üretiminin % 1'i devonik kayaçlardan üretilmektedir.

2.4.4 Kömür Madeni Metanı

Fosil yakıtlardan biri olan kömür, petrol ve doğal gaza benzer şekilde oluşum gösterir. Kömür yapısında oluşan metan gazları yer kabuğu altında kömür yatakları içersinde kendilerine ince çatlaklıklar halinde yol bulup sızma eğilimi gösterirler. Sızan bu gazlar kömür çıkartılması esnasında açığa çıkartılıp üretime geçilebilir.

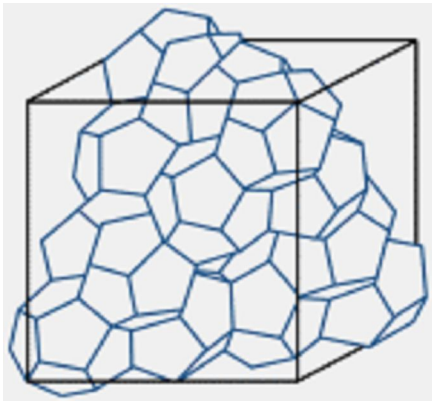
2.4.5 Jeopres Bölgeleri

Yaklaşık olarak 3-8 km'lik derinde bulunan aşırı basınçta oluşan yeraltı kaynaklarıdır. Sert kayaçların sıkışması ve tortul kayaçların çökelmesiyle oluşurlar. Sıkışık tabakalar arasında kalan doğal gaz aşırı bir basınca maruz kaldığında bulunduğu yerden daha geçirimli bir bölgeye göç eder. Çok derinlerde bulunduğundan jeopres bölgelerden doğal gaz çıkarılması oldukça zahmetlidir.

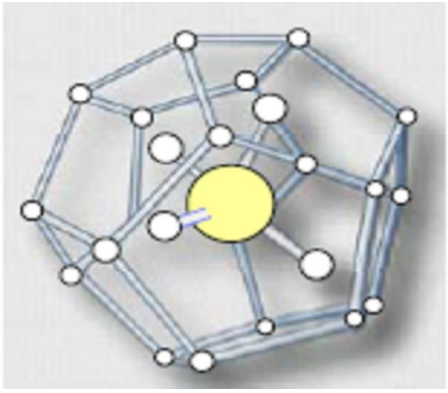
2.4.6 Metan Hidratlar

Gelecekte adından en çok söz ettirecek enerji kaynaklarındandır. Sir Humphrey Davy 1810 yılında keşfetmiştir. Su moleküllerinin kendi aralarında hidrojen bağlarıyla bağlanıp oluşturdukları oyuklara gaz moleküllerinin yerleşmesi sonucu Van der Waals kuvvetlerinin etkisiyle içinde bulundukları kafes yapısıyla bağlantı oluştururlar. Okyanuslardaki metan hidratlar, evrenin enerji ihtiyacını uzun yıllar karşılayabilecek

oranda yüksektir. Metan hidratın yapısındaki metan, oksijenden yoksun ortamlarda bakteriler tarafından organik maddelerin parçalanmasıyla meydana gelir. Gaz hidrat yapısındaki gaza göre; hava hidrat, karbondioksit hidrat, metan hidrat şeklinde isimlendirilir. Standart basınç ve sıcaklık şartlarında (1 atm ve 0 °C), 1 m^3 hacminde CH_4 hidrattan 164 m^3 hacminde CH_4 gazı ve 0,8 m^3 H_2O açığa çıkar [31]. Kutup bölgelerinde, sürekli soğuk olan bölgelerde, denizlerde ve iç denizlerde sıcaklığın düşük, basıncın yüksek olduğu kararlı durumlarda bulunurlar.

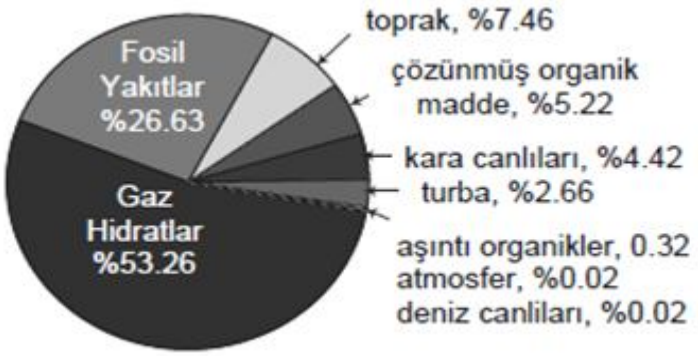


Şekil 2.7 Bir gaz hidrat yapısındaki birim hücre

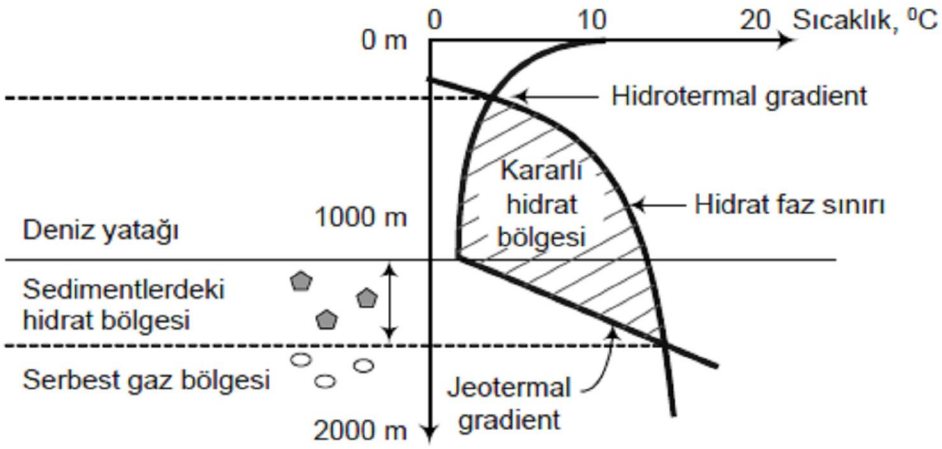


Şekil 2.8 Metan hidratın yapısı

En son olarak keşfedilen ve araştırması yapılan konvansiyonel olmayan doğal gaz türü metan hidratlardır. Bu oluşumların donmuş suya benzeyen ilginç bir yapısı vardır. Metan moleküllerinin çevresi kafese benzeyen şekilde sarılmış olup eriyen karlara benzeyen bir görünümdedir. Yapılan araştırmalarda Dünya üzerindeki metan hidrat rezervlerinde bulunan organik karbon miktarı tüm fosil yakıtların barındırdığı miktardan iki kat daha çoktur. Şekil 2.9 'da fosil yakıtlar ve gaz hidratların oranını görebiliriz. Grafik 2.2.'deki görüldüğü gibi hidratlar üretimi zor ve maliyetli olan yer altı kaynaklarıdır. Dünya üzerinde çok büyük kaynakların olması sebebiyle dikkate alınmaları kaçınılmaz bir gerçektir. Sınırlı da olsa üretimi yapılan bazı bölgeler bulunmaktadır. Ayrıca maliyet düşürücü teknolojik gelişmeler her geçen gün hızını artırmaktadır.



Şekil 2.9 Dünya rezervuarlarındaki organik karbonun dağılımı

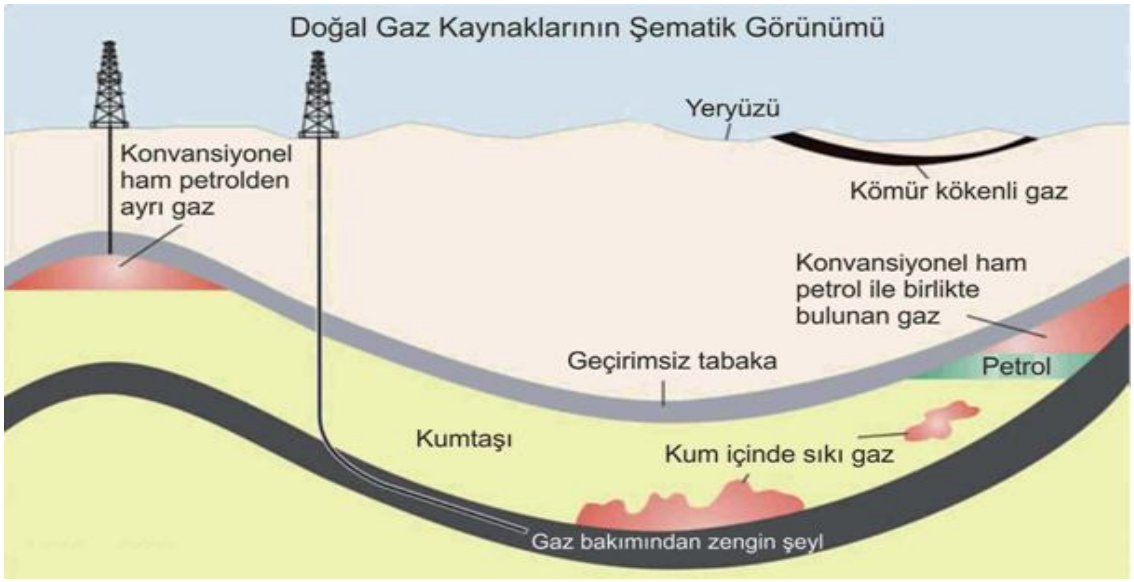


Grafik 2.2 Hidratların doğada bulunma koşullarını gösteren bir grafik

CH_4 hidratlar buz kürecikleri yapısında çok küçük yapıda bulunurlar. Bunların boyutları santimetre düzeyindedir. Basıncın çok yüksek olduğu 30 Mpa'dan büyük, sıcaklığın çok düşük olduğu 0,5 °C seviyesindeki hacimlerde bulunurlar. Geleceğin önemli doğal gaz kaynakları olarak nitelendirilen metan hidratların üretimi için iki yöntem önerilmektedir. Fakat bu konu henüz bir netlik kazanmamıştır.

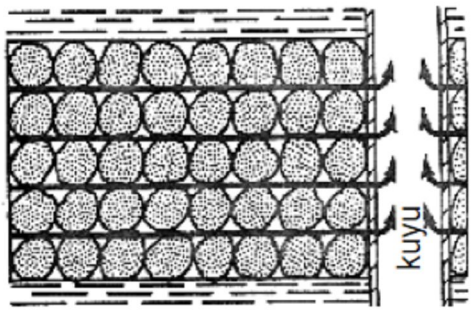
Bu yöntemler:

- Bakterilerce yaratılan biyojenik CH_4'ın metan hidrata, ardından konsantre bir biçime dönüşmesiyle oluşur. Ölmüş organik maddeler hızlı bir biçimde konsantre hale dönüşür. Yapılan araştırmalarda bu yöntemle metan hidratların önemli bir kısmının oluştuğu görülmüştür.
- Yer kabuğu üzerinde bulunan katmanların faylar sayesinde kırılıp iç içe geçmesi ve kırılan bu katmanlar yer küre derinliklerinde, yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle metan hidratlar oluştururlar. Oluşan bu metan hidratlar yer küre altında bir yerden bir yerlere göç etmeleriyle birikirler.



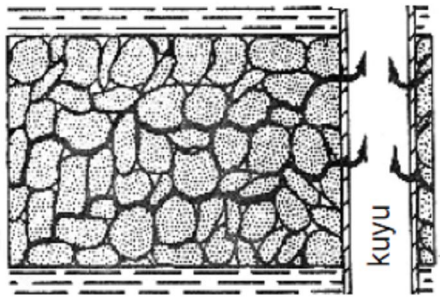
Şekil 2.10 Doğal gaz kaynaklarının şematik görünümü [7]

Konvansiyonel gaz kaynakları



Şekil 2.11 Porüz kumtaşı

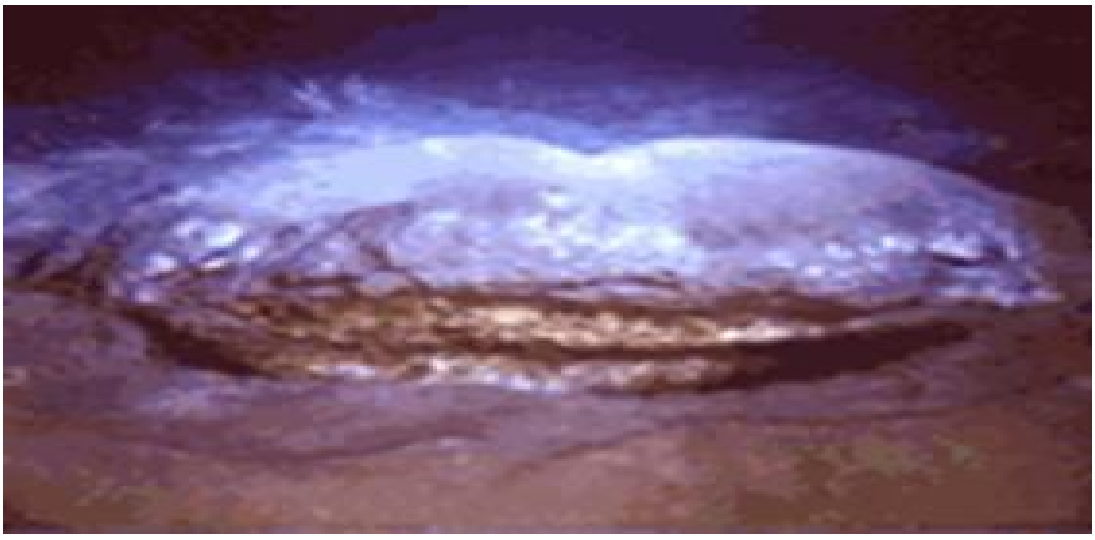
Konvansiyonel olmayan gaz kaynakları



Şekil 2.12 Sıkı (Tight) kumtaşı

2.5 Metan Hidratın Jeofizik Belirtileri ve Araştırılması

Gaz hidratları, ilk defa 18. yüzyılın başlarında, Humphrey Davy ve Michael Faraday'ın klorin-su karışımının bir arada olduğu deneysel araştırmalar sonucu bulunmuştur. Daha sonra birden fazla araştırmacı tarafından, özellikle de gaz hitratların durgunluğu özelliği konusunda araştırmalar yapılmış, fakat bunların kendiliğinden oluşacağının henüz farkına varılmadan, bu araştırmalar ve çalışmalar genel itibariyle bilimsel araştırmalarla sınırlı kalmıştır. Gaz hidrat arge çalışmaları 1930'lu yıllarda Hammerschmidt'in, genellikle soğuk bölgelerde gaz hidratların doğal gaz boru taşıma hatları içersinde tıkanıklıklara sebebiyet verdiğinin öğrenilmesinin ardından ikinci faz evresine geçilmiştir [8].



Şekil 2.13 Gaz hidrat tabakası [8]

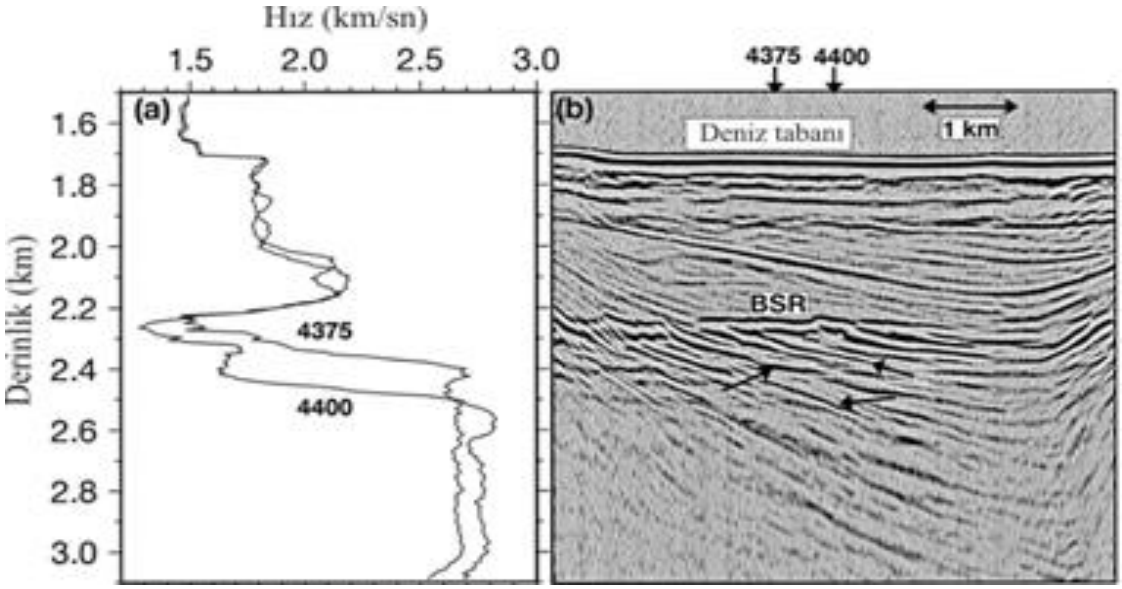
İlerleyen 40 yıl boyunca, farklı bileşimlerdeki gaz hidratların oluşması ve durgunluğu, özellikle de meydana gelişinin engellenmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalardan sonra 1960' lı yılların sonuna doğru, görüldü ki Batı Sibirya havzasında geniş kapsamda gaz rezervleri alanı içerisine sıkışmış kayaçların yapısının içinde kendiliğinden oluşmuş katı halde doğal gaz ve metan hidratların varlığının bilinmesiyle, bu konuda araştırma yapan dünya ülkelerinin gaz hidratlara genel anlamda bakış açısının değişmesine yol açmıştır. Akabinde kısa bir zaman sonra Alaska'nın kuzey yamaçlarında donmuş bölgelerin altında sığ hidratların

varlığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaların olumlu sonuçlar vermesinin ardından diğer dünya ülkelerinde de gaz hitradların varlığının araştırılması önem kazanmıştır. Özellikle de Rusyalı bilim adamlarının tezi; hidrat oluşumunun sadece donmuş bölgelerde olmayıp düşük sıcaklık altında ve yüksek basınç altında tüm denizlerin ve okyanusların alt bölgelerinde varlığının olabileceği ifade edilmiş, global anlamda hidratların araştırılmaları konusu bu şekilde başlamıştır.

1970'li yıllara gelindiğinde Blake Sırtı üzerinde deniz alt tabanının topoğrafyası çıkartılıp takip eden güçlü yansıtıcılar sayesinde, Tabana benzeyen yansıtıcı (BSR) sayesinde, ilk defa deniz altı sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiş, bu yansıtma yoluyla gaz hidratların durağanlık taban alanına karşılık geldiği belirlenmiştir. Bu alanın hemen altında doğal halde bulunan gaz hacmine rastlanıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmanın ardından bütün dünya ülkeleri yukarıda belirtilen yöntemle kıtasal yamaçlar üzerinde gaz hidrat yapılarının oluşmasının delili olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Gaz hidratların yapısı gereği bulunduğu ortamdan çıkarıldığında hızlı bir şekilde ayrışmaları sebebiyle 1974'de Rus bilim adamlarının araştırma bölgeleri olan Karadeniz'de büyük gaz hidrat rezervleri, yumruları bulunulana kadar hiç bir kimse doğal gaz hidratları görememiştir [34]. 1980'li yılların başında Guatemala açıklarında Glomar Challenger' in yapmış olduğu sondaj çalışmasında 1 metre uzunluğunda metan hidratın varlığı gözlemlenmiştir. 1990'lı yıllara gelindiğinde Japonya ve Hindistan'ın enerji kaynakları bakımından yoksunluğu gaz hidratların araştırılmasına ve proje çalışmalarını gündeme getirmiştir. Artan enerji gereksinimi ABD'nin de bu yöne doğru eğilim göstermesini sağlamıştır. 1998 ve 1999 yıllarında gaz içeren yerlerin araştırılması sebebiyle Kanada'nın Mc Kenzie Nehri deltası, ve Japon denizinin Nankai Çukurunda devletler arası geniş çapta 2 adet sondaj çalışması yapılmış ve yapılan bu sondaj çalışmasında çok geniş kapsamda gaz hidratların varlığı tespit edilmiştir.

Tablo 2.3 Gaz hidrat içeren ortamların dalga hızları

Parametre	Suya Doygun	Hidrat içeren	Saf Hidrat	Gaz içeren
P Dalga hızı (m/sn)	1600 - 2500	2000 - 4500	3250 - 3600	< 1450
S Dalga hızı (m/sn)	380 - 400	700 - 1560	1650	
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,26 - 2,42	1,15 - 2,40	0,19	



Şekil 2.14 Gaz hidrat içeren ortamların sismik şekilleri [10]

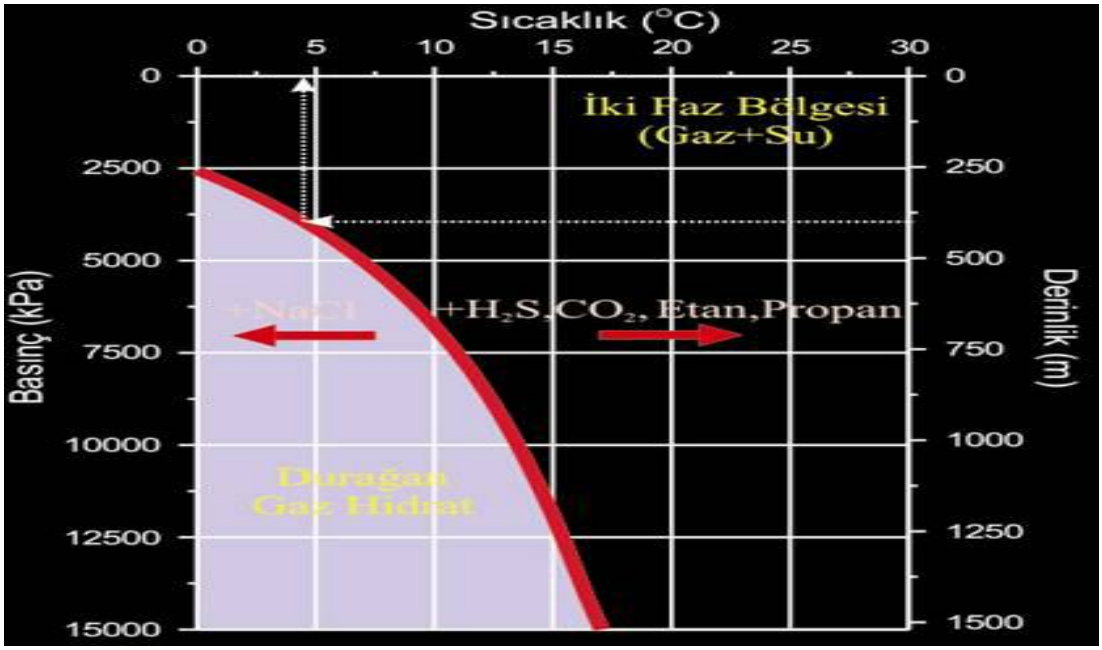
Gaz hidrat yapısı içeren bölgeler, içerisinde bulundukları kayaç tortulların akustik karakteristiklerini büyük çapta değiştireceğinden sismik yöntemler kullanılarak tespit edilebilirler. Saf hidratların P dalga hızı suya ve gaz doygun kayaçlara göre oldukça yüksek olup, gaz hidrat birikmiş bölgelerin tabanları sismik araştırmalar doğrultusunda hem tek kanallı, hemde çok kanallı kesitler üzerinden takip edilmektedir. Bu arayüzeyler sayesinde deniz tabanının topoğrafyası takip edilmektedir. Bu olay Tabana benzeyen yansıtıcı (BRS) olarak adlandırılacaktır. BSR'yi tanımlacak olursak, üst tarafta gaz hidrat bulunduran kayaç tortulları ve alt tarafta çoğunlukla serbest halde gaz barındıran sıkı olmayan kayaç bölgesi arasındaki ara yüzden alınan yansımalardır. Gaz hidrat bulunduran ortamların P dalga hızı, gaz hidrat bölgesi derinliklerinde bulunan ve gaz hidrat içermeyen tortul birimlerin hızından yüksek olmaktadır. Dolayısıyla bu bölge bünyesindeki gözenekli boşluk alanlarının gaz hidratlar tarafından katılaşması, dalga hızını, gaz hidrat yoğunluğu ile büyük ölçüde artan oranlarda yükseltmektedir. BSR' ın alt bölge uzantılarında tortullarda var olan çok az miktardaki gazlar ise, bu ortamın hızını oldukça azaltmakta, bu vesileyle BSR' ler, sismik yansıma kesit alanları üzerinde yüksek genlikli ve negatif polariteli yansımalar olarak gözlendiği bilinmektedir. Tortul ve su arayüzeylerinin yüksek genlik oranında yansıması ile karşılaştırıldığında, BSR yansımasının genliği, deniz tabanı yüzeyinin yansımasının % 30'u veya % 50'si kadar

olabileceği görülmektedir. BSR'nin yansıma katsayısı, yansıtıcı arayüzeyde % 20-30 oranında bir akustik empedans azalmasına neden olabilmektedir. BSR'ın alt ve üst yüzeyindeki tortul kayaçlar arasındaki akustik fark, genel anlamda, bu tortullar bünyesinde gaz barındırması veya barındırmamasıyla ilgili durumu değişmektedir. BSR yansıması stratigrafik bir arayüzeyden çok, genellikle eş basınç seviyesi takip ettiğinden, normal stratigrafik birimlerin eğimli olması durumunda BSR bu birimleri keser. Birçok durumda da, sismik kesitte görülen BSR' ın altındaki tortul tabakalar, BSR yansımasına kadar uzanmakta ve BSR' de son bulmaktadır.

Denizlerde veya karasal ortamlarda gaz hidrat oluşum yapıları ciddi oranda metan gazı üretimi ve uygun eş basınç seviyelerinin yakalanması durumunda gerçekleşmektedir. Gaz hidratın bileşiminde termojenik gazların saptanabilmesi için, çok derinlerde petrol ve gaz üreten kaynakların faaliyetleri sonucu üretebilinen ağır hidrokarbon gazlarını, gaz hidratların durağan olabildiği uygun sıcaklık koşullarının bulunduğu sığ kısımlara taşıyacak fay sistemlerinin mevcut olması gerekmektedir. Biyojenik gaz üretimi durumunda ise, yüksek miktarda tortullaşma oranı olmalı ve en az % 0.5 toplam organik karbon gerekmektedir. Gaz hidratlar sadece ve sadece, uygun eş basınç seviyesi altında oluşmakta ve durağan kalmaktadır. Termobarik gaz hidrat durağanlık zonu terimi, üstü deniz tabanı ile sınırlı olan ve gaz hidratın denizaltı koşullarında mevcut bulunduğu jeolojik bölgeye verilen addır. Gaz bileşimi, suyun tuzluluğu, tabanın sıcaklığı ve jeotermal/hidrobarik gradyente bağlı olan gaz hidrat oluşma koşulları oldukça farklılık gösterdiğinden, gerçekte bu alanın kesit kalınlığını doğru olarak tahmin edebilmek oldukça zordur. Şartların ideal koşullarda olmasında ise, gaz hidratların bölgesinin kalınlıkları suyun derinliği ile artmaktadır.

Gaz hidrat oluşum bölgesinde hidrat zonu içerisinde bulunan gaz ve su akışkanın göçü bu olayda kritik rol oynamaktadır. Gaz hidratların kristal hale geldiği geçirgen kayaç tortullarında gazın yoğunlaşabilmesi için, hızlı bir gaz taşınımına gereksinim duyulmaktadır. Bu taşınma, çözünmüş halde bulunan metan gazının gözenek suyunda taşınması şeklinde de olabilmektedir. Gaz hidratların durağanlık koşulu genelde yüksek basınç ve düşük sıcaklık ile ifade edilmektedir. Bu koşullara "termobarik koşullar" adı verilmektedir.

Gaz hidrat oluşumu için gereken basınç değerinde bir düşüş ve/veya sıcaklıkta bir yükselme olduğunda, gaz hidrat yapısı ayrışarak su ve metan gazı olarak iki faz durumuna geçer. Gaz hidratların kimyasal bileşim yapıları durağanlık koşullarının belirlenmesinde büyük önem arz etmektedir.



Grafik 2.3 Durağan gaz hidratların oluşum bölge şartları [11]

Gaz hidratlar büyük çocunlukla metan gazını bünyesinde barındırmakla birlikte, gaz hidratları oluşturan metanın içerisine belirli oranda etan, propan gibi ağır hidrokarbon gazları veya karbondioksit ya da hidrojen sülfür eklenmesiyle denge eğrisi yüksek sıcaklık ve düşük basınç altında sağa doğru kayar, düşük sıcaklık ve yüksek basınç altında gaz hidrat oluşturan suyun tuzluluğu arttırıldığında ise sola doğru kaymaktadır. Saf metan hidratlar, metan-etan, metan-propan, metan- karbondioksit ya da metan-su karışımından oluşan hidratlara göre daha yüksek basınç ve düşük sıcaklıklarda duyarlıdırlar. Gaz hidrat durağanlık zonunun taban derinliği, jeotermal gradyent tarafından belirlenir ve bu zonun tabanından itibaren sıcaklık koşullarının gaz hidrat durağanlık koşullarını aşması nedeniyle, daha derinlerde gaz hidrat oluşmamaktadır. Gaz hidratlar bünyesinde barındırdığı metan hacmi sayesinde geleceğin enerji kaynakları olma yolunda ciddi anlamda yer almaktadırlar.

BÖLÜM 3

KAYA GAZI (SHALE GAS)

Dünya petrol ve doğal gaz dengelerini değiştirecek kaya gazı yer altı kaynağı olarak adından son dönemde sıkça söz ettirmektedir. Doğal gaz olarak tüm dünyada ve ülkemizde bilinen bu kaynak aslında uzun yıllardan beri metan gazı olarak bilinmektedir. Doğal gazdan farklı olarak yer altında geçirimli ve gözenekli tabakalar içerisinde olmayıp geçirimsiz ve sert kayaçlar arasında oluşmaktadır. Kaynağından çıkarılması ve işlenmesi klasik doğal gaz üretimine göre oldukça maliyetli ve zor olduğundan tüm dünyaca dikkate alınmamıştır. Kaya gazı, doğal gaz olarak bildiğimiz metan gazı, kömür, petrol ve türevlerinden oluşan bir enerji kaynağıdır. İç yapısı itibariyle doğal gazla aynı özelliktedir. Kömür, petrol, doğal gaz gibi kaynaklar konvansiyonel enerji kaynakları olarak anılırlar. Son yıllarda ülkemizde kömür ve bitümlü şeyl (oil shale) gibi yerli enerji kaynağı fosil yakıt arayışları sırasında shale gazı gündeme gelmiştir. Konvansiyonel olmayan enerji kaynakları sınıflamasında yer alan ve ülkemizde kaya gazı olarak da anılan şeyl gazı, adını içinde bulunduğu kayaç türünden almaktadır. Bu kayaç türleri kil, kuvars ve kalsit maddelerinden oluşan küçük gözenekli yapısında kaya gazını barındır.

Kaya gazı, yer kabuğu içinde yeterli derinlikte ve olgunlukta olan kayaçların içerisine sıkışmış gaz olarak da bilinmektedir. Genel olarak metan ağırlıklı bir gaz bileşimidir. Yapısında etan ve propan gibi hidrokarbonlu gazlar vardır. Başka bir deyişle ana kaya içerisinde bulunan doğal gazın bir kısmı ana kayayı terk edip başka bölgelere taşınması, hareket etmesi sonucunda ana kaya yapısı içerisinde kalan gaz miktarıdır. Ana kaya yapısında kalan gazın kalma nedeni, organik maddelerin yüzeyindeki yutma mekanizmasının çalışması ve ana kaya içerisine doğru hareket edip birikmesidir. Adsorpsiyon ve geçirgenliğin çok az oluşu birikmeyi kontrol eden temel unsurlardır. Adsorpsiyonun tanımı bir madde moleküllerinin başka bir madde yüzeyinde tutulup, yalnızca kaya gazında ya da kayayı oluşturan minerallerin yüzeyinde veya

kayayı oluşturan organik maddelerde basınçla paralel olarak tutulması olayıdır. Yüzey alanı ne kadar büyük, basınç ne kadar yüksek olursa mekanizma ile tutulan gaz miktarı ya da organik madde miktarı o oranda artar. Adsorpsiyon maddenin yüzey kısmında gerçekleşen bir süreçtir, absorpsiyon ise bundan farklı olarak maddedeki boşlukların doldurulması olarak adlandırılır. Adsorpsiyonun olayının bir farkı da yüzeyde tutulan maddelerin basınç azalması sonucu serbest hale geçmesi yani geriye döndürülebilmesidir. Bu sürecin tanımı desorpsiyondur.

Tanımlardan da anlaşılacağı üzere bu oluşumun varlığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Nitekim 19. yüzyılın ilk çeyreğinde yüzeye yakın kuyular açılarak şeyle benzeyen kayaçların yapısındaki bu gazlardan faydalanılmıştır. Dünya doğal gaz rezervlerinin azalışı ve bilinen kaya gazı rezervlerinin varlığı ve bu yönde yapılan çalışmaların olumlu sonuçlar vermesi ekonomik olarak üretilebilir hale gelmesi, 1990'lı yıllarda kaya gazı üretimini ciddi bir şekilde gündeme getirmiştir. Gelişen teknolojik çıkarım yöntemleri de buna imkan sağlamıştır. Bu teknolojik yöntemler yatay sondaj ve suyla çatlatmadır.

3.1 Kaya (Shale) Nedir

Kaya birbirine paralel ince tabakalardan oluşmaktadır. Kayayı oluşturan mineral tanelerinin çok küçük olması nedeniyle homojen bir görüntüye sahiptir. Minerallerin gözle tespiti mümkün değildir. Ancak mikroskop altında görülebilirler. Dokunulduğunda düz ve yağlı bir his oluşturan kaya, bıçak gibi sivri uçlu bir aletle çizilip kazınacak kadar yumuşaktır. Genellikle gri bir renge sahip olan kaya, kırmızı pembe yeşil ve siyah renklerde de olabilir. Bu kaya tabakası içindeki organik maddelerin milyonlarca yıl boyunca basınç ve sıcaklık etkisi ile metan gazına dönüştüğü bilinmektedir. Kayaların içerdiği doğal gaz miktarı, kayanın oluşumu esnasında bünyesinde kalan organik madde miktarı ile doğru orantılıdır. Bünyesinde ekonomik sayılacak kadar gaz barındıran Shale kayaçlarının genel bir özelliği olarak organik madde oranın % 25'e kadar tırmandığı tespit edilmiştir.



Kömür yataklarında kömür tabakalarının arasında hapsedilmiş olarak bulunan metan gazının jeolojik olarak oluşumu da aynı kapsamda değerlendirilmektedir. Nitekim Shale kayaçları ile kömür yataklarında hapsedilmiş metan gazı yeryüzüne, Amerika' da son yıllarda geliştirilen bir yöntem kullanılarak çıkarılmaktadır. Bu yöntemden aşağıda bahsedilecektir.



Şekil 3.1 Kaya (Shale) tabakaları [3]

3.2. Kaya Gazı Çıkartma Yöntemi

Hidrolik kırılma yöntemi olarak bilinen bu yöntem son yıllarda geliştirilip kullanımı yaygınlaştırılmıştır. Kaya gazı, petrol veya doğal gaz üretimini teşvik etmek, arttırmak için tasarlanmış hidrolik çatlatma yöntemi adı verilen yöntemle çıkartılmaktadır. İlk ticari uygulaması muhtemelen 1946 yılında Duncan Oklahoma yakınındaki Kansas Hugoton alanında denenmiştir [18]. Şeyl denen tortul kayalar normalde içlerinden gaz ve sıvı maddelerin geçmesi konusunda sınırlı ve düşük geçirgenliğe sahiptirler. Bu gazın çıkarılıp kullanılabilir hale getirilmesinde 'Fracking' (Hydraulic fracturing) denen bir hidrolik kırılma yöntemiden yararlanılmaktadır.

Bu yöntemde kayaçların içindeki gazın yer yüzüne çıkarılması için su basıncı kullanılmakta, su basıncı ile katmanları arasında kırılmalar üretilen kayalardan kırılma sürecinin durmasıyla gaz toplayıcı ünitelerin içine akmaya başlamakta ve bu süreç yıllarca devam etmektedir.

Hidrolik çatlatma yönteminde su, bazı kimyasallar ve kum sondaj kuyusu içine pompalanıp şeyl formunda çatlaklar açarak içinde sıkışmış olan hidrokarbonların serbest kalmasını sağlamakta ve bu şekilde doğal gazın şeylin içinden sondaj kuyusuna akmasına imkan sağlamaktadır.
Hidrolik çatlatma yöntemi yatay sondaj yöntemi ile birlikte kullanıldığında gaz üreticilerinin doğal gazı ekonomik bir şekilde çıkarmasını sağlamaktadır ve bu yöntemler olmadan doğal gaz kuyuya hızlı bir şekilde akmayacağı için şeylden ticari olarak nitelendirilebilecek miktarda gaz elde edilememektedir. Teknik olarak hidrolik kırılma iki aşamadan oluşmaktadır. ilk etabı zemini delme ve kuyuları açmaktan oluşur. İkinci etabı ise su ve kumdan oluşan bir karışımla parçalama aşamasıdır. Diğer bir deyişle hidrolik kırılmayı tarif etmek gerekirse gaz taşıyan kaya katmanları içinde kırılmalar üretip gazın dışarı çıkartılmasını sağlamak amacıyla su basıncı kullanılan yöntemdir. Gelişen teknolojiler ve yöntemler kaya gazı çıkartmada oldukça önem taşımaktadır. Günden güne gelişen teknoloji ve kalifiye personellerin artışı kaya gazı çıkartmakta oldukça önemlidir ve bu durum kaya gazı üretim miktarında önemli bir artışa sebep olmaktadır. Kaya gazı çıkartma aşamalarını genel hatlarıyla aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Jeolojik ve sismik araştırmalar
- Platform inşası
- Dikey sondaj
- Yatay sondaj
- Perforasyon
- Çatlatma
- Atıkların yönetimi
- Üretim

Jeolojik ve sismik araştırmalar: Jeolojik ve sismik araştırmalar yapılarak yeraltı jeolojik oluşumların 3 boyutlu haritaları oluşturulmaktadır. Çalışma yapılacak yerlerin önceden uygun kaya yapılarının belirlenmesi, uygun kalınlıkların ve kayaç yapısının derinliğinin belirlenmesi, hangi lokasyonlarda hangi kuyuların açılacağının, kuyu sayısının kaç tane olacağı bilgilerinin toplanması işlemi yapılmaktadır.

Platform inşası: Önceden belirlenmiş lokasyonlarda kuyu açmak için yer hazırlığının yapılması, yer üzerinden belirli bir mesafede düzeneklerin konulması ve ekipmanlar için hazırlanan platform inşa edilmesi gereklidir.

Dikey sondaj: Yer kabugu altına doğru delme işlemi yapılırken dik bir biçimde kaya tabakasına varana kadar yapılan sondajlama işlemidir. Ancak bu işlemde güvenlik amaçlı sondajın içe çökmemesi için çelik borularla iç içe geçmiş boruların aralarına beton atma işlemi yapılmaktadır.

Yatay sondaj: Kaya tabakası içerisine dikey olarak varıldığında sondaj işlemi 90 derece dönüp yatay olarak yüzey alanı genişletmek amacıyla yaklaşık 1-2 km'ye kadar ilerleyerek sondajın yapılması işlemidir.

Perforasyon: Yatay sondaj içerisinde boşaltılan yerlerdeki beton kaplamalar üzerinde küçük küçük deliklerin oluşturulması işlemidir.

Çatlatma: Dikey ve yatay sondaj yapıldıktan sonra oluşan boşluğa, kimyasal madde, su ve kum taneciklerinden oluşan bir karışım yüksek basınçla pompalanır. Bu işlem sonucunda kaya yapısındaki gazların sızması için kılcal çatlakların oluşturulması amaçlanmaktadır.

Atıkların yönetimi: Sondajda kullanılan karışım sıvısının tekrardan yeryüzüne çıktığında depolanması ve bu sıvının temizlenmesi için tekrardan arıtılması işleminin yapılmasıdır. Karışım sıvısı çok önemlidir. Çatlatma esnasında tonlarca su kullanıldığı için yer altı kaynaklarımızın kirlenmesi ve su içerisinde bulunan kimyasal maddelerin arıtılarak doğaya bırakılması gereklidir.

Üretim: ideal şartlarda yapılan sondaj ve çatlatma işlemlerinden sonra bütün ekipmanların ve demontajlarının yapılıp yerine kaya gazı toplama ekipmanlarının kurulması ve transfer edilmesi için çalışmaların yapılmasıdır.

Kaya gazı çıkarılması işleminin başarılı olabilmesi için gerekli şartlar

- Rezerv büyüklüğü ve kaynaklara erişim,
- Mali ve düzenleyici yasal çerçeve,
- Teknik bilgi birikimi ve uzmanlaşma,
- Altyapı,
- Talep ve fiyatlama,
- Su kaynaklarına erişim

Rezerv büyüklüğü ve kaynaklara erişim

Yapılan çalışmalarda kaya gazıyla ilgili teknik verilerin oluşturulması, kaynağın büyüklüğünün belirlenmesi ve bu kaynağın ekonomik açıdan tatmin edecek kadar büyük olmasının önemi göz önünde bulundurulmalıdır. Yatırım ve sondaj maliyeti çok büyük olan kaya gazı çıkartma yöntemi kısa sürede, kaynaklardan elde edilen gazlar sayesinde amorti edilebilmektedir. Öte yandan kaynak çıkartmada lisans alanlarının faaliyet planlarının çıkartılması, doğal gaz üretilmesi düşünülen bölgelerin sismik araştırmalarının yapılması ve kaynağın büyüklüğünün üretime elverişli olması, alınan üretim lisans süresinin uzun olması, üretimin miktarını artırır.

Mali ve düzenleyici yasal çerçeve

Şirketlerin yatırım yapabilmeleri için uygun ortamın sağlanmış olması, mali istikrarın sağlanmış olması ve yatırım ortamının uygun olması, ekonomik ve siyasi konularda devlet desteğinin ve güven ortamının sağlanmış olması, çevresel şartların iyi araştırılıp kesin çizgilerin kurallarla belirlenmiş olması gerekir.

Teknik bilgi birikimi ve uzmanlaşma

Zemin etüdüne dair gerekli bilgilerin toplanması, değerlendirmenin yapılması, kuyu sayılarının kuyu açılacak bölgelerin ve bu kuyuların derinliklerinin saptanması, kuyuların kazılarak işlemin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi, çıkarılan gazın çıkarım ve nakliye safhalarının eğitimli uzman kadrolarca gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Altyapı

Kaya gazı üretime başlanmasından sonra tüketicilere ulaşıncaya kadar geçen sürede teknik olarak alt yapının varlığının olması ve bu teknik alt yapının işletilebilir olması gerekir. Çıkartılmış olan gazın pazara ulaşmasında alt yapının hazır olması gerekir. Gazın bulunduğu bölgelerde ana arterlere ulaştırmak için devletin destekleyici teşviklerine ihtiyaç vardır.

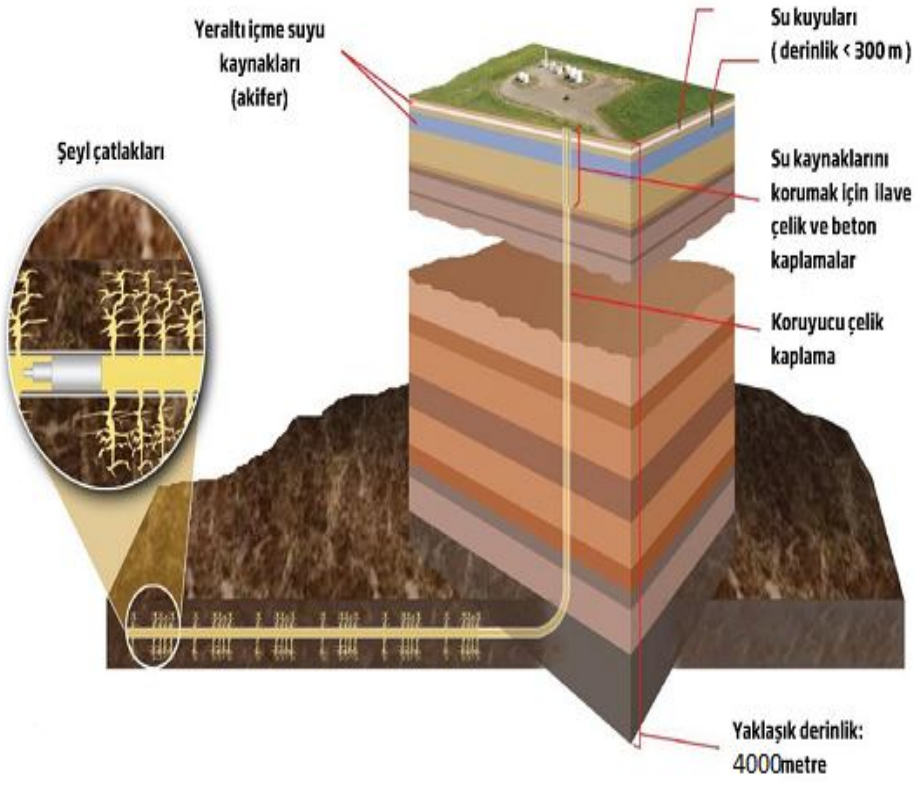
Talep ve fiyatlama

Üretilen gazın pazara çıkartılması sırasında uygun koşulların sağlanması, rekabetçi bir ortamda satışa sunulabilmesi için uygun zeminin hazırlanması ve pazarlama yöntemlerinin geliştirilmesi, üretilen gaza yeterli tüketici talebinin oluşması için çalışmalar yapılması ve tüketiciye sunulan fiyatların anlamlı bir istikrar düzeyinde olması gerekmektedir.

Su kaynaklarına erişim

Delme ve çatlatma işleminde kullanmak amacıyla çok fazla miktarda suya ihtiyaç vardır. Gaz üretiminin hem sondajla kuyunun delinmesi ve hem de hidrolik çatlatma aşamalarında su kullanılır. Ancak ihtiyaç duyulan suyun % 85'i hidrolik çatlatmada harcanır. Bu işlemler için ihtiyaç duyulan suyun miktarı kayaçların özelliklerine, kuyunun uzunluğuna ve çatlatma işlem sayısına göre değişir. Yatay sondajın derinliği, uzunluğu ve kuyu sayısı artıkça kullanılan suyun miktarı da artar. Gelişen teknolojiyle günümüzde 2.000 metreye kadar yatay sondaj vurulabilmektedir. Kaya gazı üretimi için öncelikle bir yerleşim planı hazırlanır ve ardından üretime

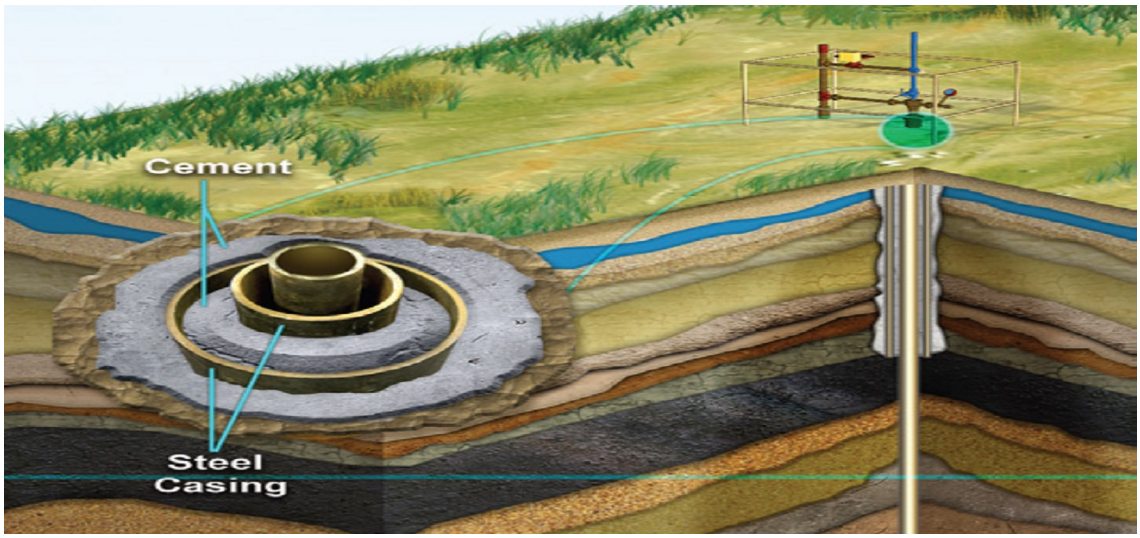
geçmek için kuyular açılır. Üretime geçilen kuyuların yaklaşık olarak faaliyet ömürlerinin 5 ile 15 yıl arasında olacağı ön görülmektedir. Bir kuyunun faaliyet ömrü boyunca su ihtiyacı 10.000-30.000 m^3 tür. Ortalama bir kuyu için kullanılan su ihtiyacı 20.000 m^3 olarak kabul edilebilir. Yani somut bir örnek vermek gerekirse olimpik bir havuzda bulunan su miktarı kadar su kullanıldığı söylenebilir. Klasik olarak üretilen doğal gaz kaynaklarının çıkartılmasında kullanılan su mikarı oldukça azdır. Ancak kaya gazı üretiminde bu miktar ciddi oranda fazladır. Farklı enerji kaynaklarının üretilmesinde bu ihtiyaç kömür, fuel oil, biyodizel gibi yakıtlara nazaran daha az düzeydedir. Üretim esnasında sürekli suya ihtiyaç duyulacağı için su sondajının kurak aylara denk gelmeyecek şekilde planlaması yapılmalıdır. Sondaj kurak dönemlerde ve yaz aylarında yapılmamalıdır.



Şekil 3.2 Kaya gazı çıkartma operasyonu kesiti [13]

3.2.1. Delme Aşaması

Araştırmalar sonucu uygun görülen shale tabakalarının yeri keşfedildikten sonra çok geniş bir alana, şantiye ortamına getirilmek için hazırlık yapılır, bu alan yaklaşık 25 futbol sahası büyüklüğünde olacak kadardır. Daha sonra gerekli düzeneklerle delme platformu kurulduktan sonra delme işlemine başlanır. Delme işlemi yaklaşık 3 ile 6 hafta arasında yer altı kaynaklarının yapısına göre değişir. Bu güne kadar rekor delme hızı 4000 metrelik bir kuyu için 7,5 gündür. Delme işlemi sırasında açığa çıkan çamur ve partiküllerden oluşan su çok büyük bir havuza boşaltılmaktadır. Bu delme işlemi devam ederken yer küre katmanlarını deldikçe yer altı su kaynaklarının kirlenmemesi ve sonraki aşamalarda yer altı suyunun doğal gazla karışmaması için iç içe geçmiş 3 adet çelik boruyla beton lama bloğu oluşturulmaktadır. Beton blok gövde; genellikle açılan deliğin (kuyu) içini kaplamak amacıyla kullanılır. Delme işlemi yapılıp yeryüzene çıkacak olan kaya gazının yeraltı sularından (akiferlerden) korunması için bu işlem esastır. Yukarıda bahsettiğim beton atma işi, lama işi, çimentolama işlemi belirli esaslara göre yapılmaktadır. Petrol ve doğal gaz yasasının öngördüğü mevcut endüstri standardı Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından kullanılan şartname bu şekildedir.



Şekil 3.3 Hidrolik kırılma delme aşaması betonlama işlemi

Bu şartname, belirli bir durum için uzunluk, kalınlık, çekme mukavemeti ve kaplamanın kompozisyonunu belirtir ve petrol ve gaz muhafazasının seçimi için en yaygın olarak kullanılan yöntemi tarif etmektedir.

3.2.2. Kırma Aşaması

Bu aşama delinen ve kaya katmanlarının bünyesine kadar ilerlemiş sondajın içerisini doldurarak çatlatma aşamasıdır. Bu aşamaya geçmeden önce yaklaşık 20 bin m^3 su, 1800 m^3 kum ve 100 ton katkı maddesi kullanılmaktadır. Dış ortamda hazırlanan katkı maddeleri aşağıdaki gibidir. Kullanım sırasında karışım maddelerinin neden kullanılacağı ve karışım içersindeki maddelerin yüzdesel oranı aşağıda verilecektir.

Karışımda genelde toplam hacmin % 98-99'unu su oluşturmaktadır. Bu suyun kuyulardan geri gelen çatlatma sıvısı, mineraller ve acı suları da içinde barındırır. Bu suyun % 30'u ile % 70'i orijinal çatlatma sıvısıdır. Buna ilave olarak doğal formasyon suları da bu suyla karışarak dışarı çıkar. Kaya gazı üretiminde hidrolik çatlatma işleminden sonra basılan suyun % 10'u ile % 40'ı geri dönmektedir. Geri dönen suların kalitesi de kuyu yerlerine ve derinliğe göre değişken olup bunlar ancak çeşitli seviyelerde arıtmaya tabi tutularak ve temiz su ilave edilerek kullanılmaktadır.

Geri dönüş suyunun içerisinde yüksek miktarda sodyum, kalsiyum, magnezyum bulunur. Bu nedenle kullanılmadan veya atık olarak biriktirilmeden önce arıtılmalıdır. Özellikle suyun arıtma maliyetinin yüksek olması nedeniyle hidrolik çatlatmada su ihtiyacını en aza indirecek yeni teknolojiler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar su yerine sıvı propan, karbondioksit, nitrojen gazı kullanma ve herhangi bir sıvı olmadan ses dalgaları ile çatlatma gibi alternatifler üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bu yöntemle kuyu açılması için özel ekipmanların geliştirilmesine de çalışılmaktadır. Hala başlangıç döneminde olmasına rağmen çatlatma malzemesi olarak gaz ve Jellerinin kullanılmasında artış görülmektedir. Ancak bu gazların yeraltındaki patlayıcı gazlarla oluşturacağı güvenlik riskleri de bu kullanımın güvenliğinin sorgulanmasına neden olmaktadır. Geri dönüş suyu ve üretimde çıkan formasyon suyu kuyu bölgesinde kurulan bir arıtma sisteminde, bölgedeki yerel yönetimlerin arıtma sisteminde ya da özel bir arıtma tesisinde arıtılıp tekrar kullanılmaktadır. Ancak arıtma ihtiyacı duyulan atık suyun miktarı ve belediyelerin arıtma tesislerinin bu suların arıtılması için uygun teknik ve donanımda olmaması sıkıntıları da birlikte getirebilmektedir.

Dolgu malzemesi: Genel hacmin % 1-2'si civarındadır; genel bileşimi kum ve tortul parçacıklardan oluşur.

Sürtünme azaltıcı: Genel hacmin % 0.025'ini oluşturur genellikle poliakrilamid kimyasallardır. Türbülanslı akım yerine Laminer akım yaratmak için kullanılır.

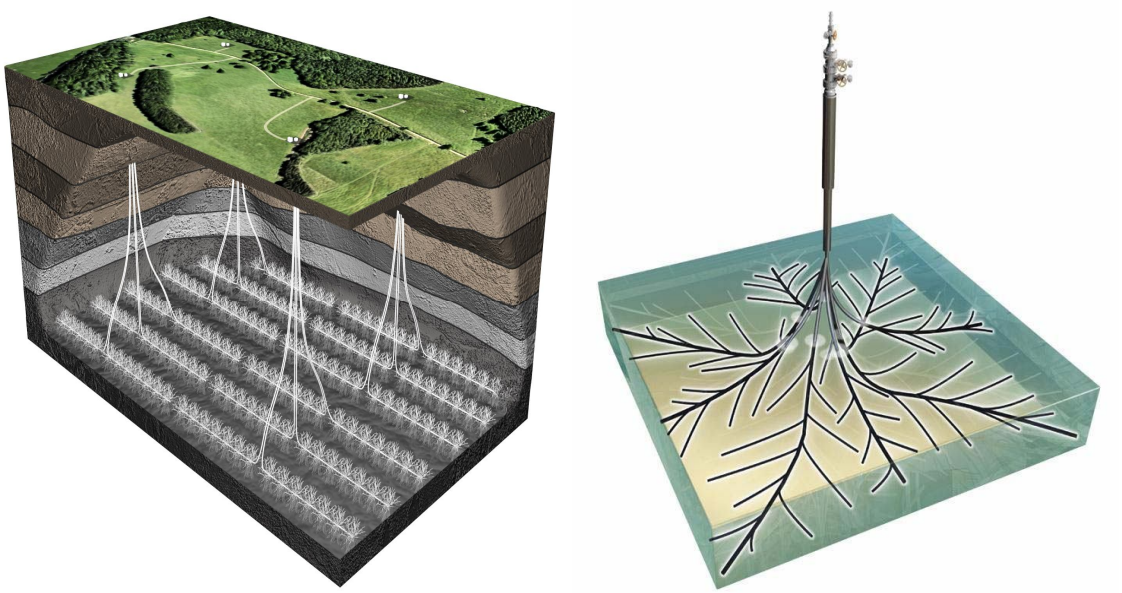
Dezenfektan (biyosit): Genel hacmin % 0.005-0.05'i kadardır; oksitleyici olmayan bu kimyasallar korozyon kontrolünü arttırılıp işletme maliyetini düşürürler. Bu kimyasallar glutaraldehid (Bakteri, alg, mantar ve biyofilmlere karşı etkili, oksitleyici olmayan, geniş pH aralığında aktiftir.), kuaterner amin (Bakteri ve alglere karşı etkili, oksitleyici olmayan, yüzey aktivitesi vardır.), tetrakis hidroksimetil fosfoniyum sülfattır. (özellikle bakteri, mantar ve alglere karşı etkili oksitleyici olmayan yeni bir biyosittir. Demir sülfürü çözme özelliği bulunmasından dolayı fazla çevre kirliliği yaratmamaktadır.) Bu kimyasallar yerine ultraviyole, ozon (Bakteri ve biyofilmlere karşı etkili, oksitleyici, pH'a bağımlı değildir.) ve klorür dioksit (Bakterilere karşı etkili, mantar ve alglere az etkili, oksitleyici, pH'a bağımlı değildir.) kimyasalları kullanılmaya başlanılmıştır.

Yüzey etkin maddeler: Yüzeylerde ve ara kesitlerde gerilimi azaltmak için kullanılan malzemedir. Bu kimyasal maddeler asitler ve fosfonatlardır. (dodesil benzen, kalsiyum fosfonat, sülfonik asit) Genel hacmin % 0.05-0.2'si seviyesinde kullanılır.

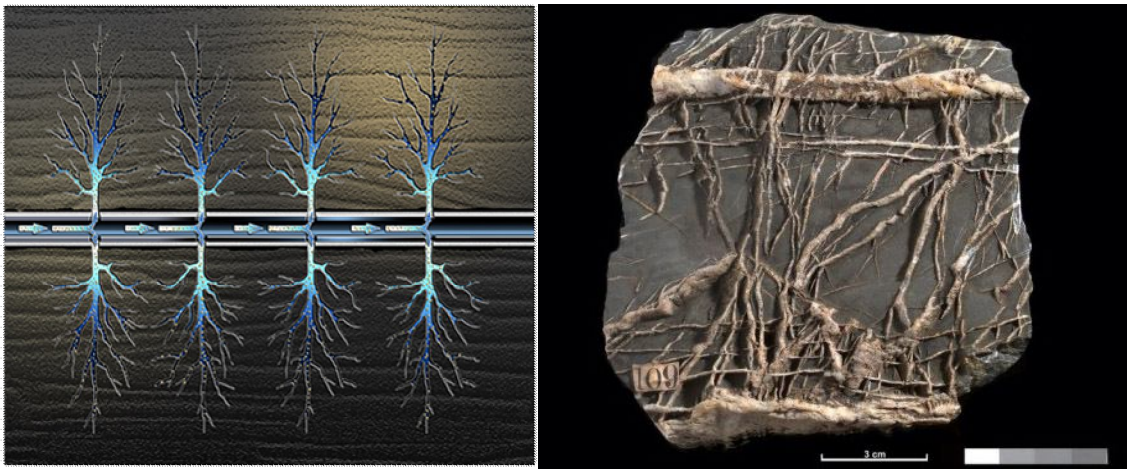
Jelleştirici (vizkozite arttırıcı) kimyasallar: Sıklıkla kullanılmasa da selüloz polimerleri veya guargam kullanılır. Deliklerdeki kum'un taşınması esnasında viskoziteyi arttırarak jel formasyonu oluşumuna yardımcı olmaktadır. İdeal kum taşıyıcıdır.

Birikinti önleyiciler: Bazı durumlarda fosfat esterleri ya da fosfanatlar kırılmanın ilk basıncını azaltmak amacıyla hidroklorik asit kullanılması halinde asit hacminin % 0.2-0.5'i kadar inhibitör kullanılmaktadır. Kırılma esnasında hazırlanan karışımın özellikleri her bölgeye göre değişiklik gösterebilir. Katkı maddesi çatlatma sırasında yüzeyde kalıp çatlakların uzun ömürlü olmasında önemli rol oynamaktadır. Çatlatma operasyonu aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Bu aşamada su ile katkı maddelerinin karıştırılıp, yeraltı su kaynaklarının kirlenmemesi için, iç içe geçmiş çelik boruların etrafına beton atılıp düşeyde borularla açılan sondaj kuyuları vasıtasıyla bünyesinde gaz bulunan kayalara ulaşılır. Daha sonra yatay veya eğik sondaj yardımıyla bu birim içerisinde olabildiğince uzun, yaklaşık 2-3 km'lik bir mesafe boyunca ilerlenir. Yaklaşık 100 bar gibi yüksek

basınçlı su ve kimyasal karışımı kullanılarak gaz içeren bu kayalarda yaklaşık 90 gün süreyle çatlaklar oluşturulur. Kırılma süreci sonunda oluşturulan çatlakların temiz ve iyi hazırlanmış küçük taneli kumla doldurularak kapanması önlenmiş olur. Bu işlem sonrasında, gazın kendiliğinden kuyuya dogru hareket sahası açılmış olur yukarıya doru kendiliğinden hareket eder. Önce yatayda toplama kanallarından geçip toplana toplana açılan kuyuya doğru harekete olanak sağlayan bir ağ yapısı oluşturulmuş olur. Kayanın yapısındaki küçük yüzey toplayıcıları ve dağıtım ünitelerinin içine akmaya başlar. Böylece bu süreç bu şekilde 20-40 yıl devam ederek kaya yapısındaki gazın toplanması sağlanmış olur. Suyla çatlatma işlemi için gereken özel ekipman ve donanıma ihtiyaç vardır. Bu işlemin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için kayacın kırılgan bir yapıda olması gerekmektedir. Bu işlem için en uygun kayaçlar kuvars ve kalsit mineralleri bakımından zengin olanlardır. Buradan anlaşılacağı üzere yapısında gaz bulunan bütün kayalar kaya gazı üretimi için elverişli değildir. Bu işlemin temel mantığı geçirimsiz olan sert gaz kayaçları ve kömür katmanlarında sondaj yapıp basınçlı su ile hidrolik çatlatma yöntemini kullanıp bu çatlaklardan gazın sondaj kuyularına akmasının saglanmasına dayanmaktadır. Shale kayaçlarına ve kömür tabakalarına bu amaçla yatay sondaj yapılmaktadır. Böylelikle daha uzun bir mesafede gazı barındıran tabaka içinde çatlakların oluşturulması ve maksimum verimin sağlanması hedeflenmektedir. Sondaj kuyusu içindeki perfore(delikli) boru sayesinde basınçlı olarak kaya tabakasına enjekte edilen suyun içine belirli oranda kum gibi taneli bir malzeme karıştırılmaktadır. Suyla beraber kum karışımının enjekte edilmesinin gerekçesi, kaya tabakasında çatlakların sonradan kapanmaması ve üretim seviyesinin düşmemesini sağlamaktır. Yatay olarak kaya tabakası içine birden fazla sondaj bacağı uzatılmaktadır ve yatay her bir sondaj bacağının uzunluğu tabaka içinde 2 kilometreye ulaşmaktadır. Bilinen gaz yataklarından doğal gaz üretiminden daha farklı bir yöntem kullanılarak gaz üretilmesi nedeniyle de shale kayaçlarından ve kömür yataklarından elde edilen gaza “konvansiyonel olmayan gaz” adı verilmektedir.



Şekil 3.4 Kaya gazı çıkarmada kullanılan yatay sondaj ve suyla çatlatma operasyonunun şematik gösterimi [14]



Şekil 3.5 Hidrolik kırılma işlemi ve çatlayan kaya görüntüsü [15]

Yapılan bu işlerden sonra kuyu içerisinde basınç düşürülüp sıvı tamamen geri çekilir. Kaya içersinde birikmiş gazın, hem de bağlantısız veya kötü bağlantılı boşluklarda var olan gazın oluşturmuş olduğu geçirimliliği çok yüksek ağ yapısıyla birbiriyle bağlantı kurularak kuyulara doğru hareket sağlanır ve üretim aşamasına geçilir. Bütün bu söylenenlerden hareketle çıkarılacak sonuç şudur ki kaya gazı yalnızca belli niteliklerdeki kayalardan elde edilmektedir.

Bu nitelikleri şöyle sayabiliriz:

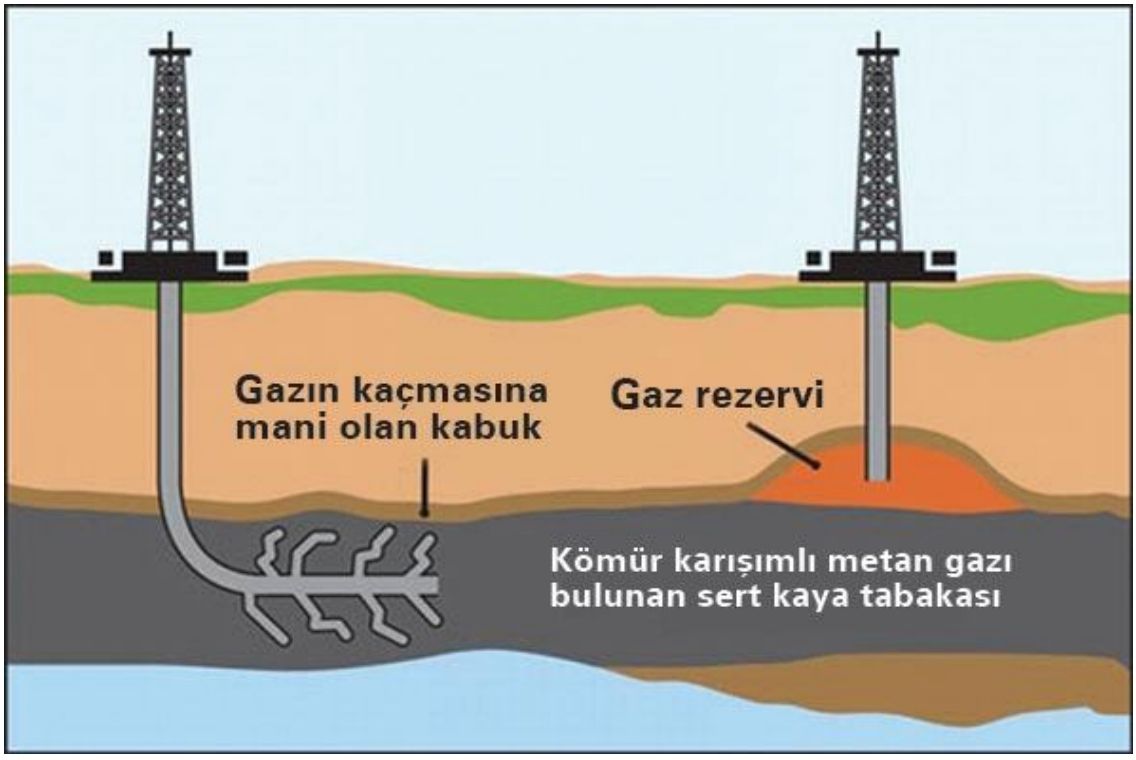
- Kayaçlardaki organik karbon oranı % 2'den fazla olmalıdır.
- Kayaçlardaki organik madde gaz elde edecek yapıya ulaşmış olmalıdır. Örneğin; aşınma miktarı oranı (R_o) değeri % 1.1'den fazla olmalıdır.
- Kayalar, derinde ve yaşca olgun olmalıdır.
- Kayaçlardaki kuvars ve kalsit oranı yüksek, kil oranı ise düşük olmalıdır.
- Kaya içerisindeki basınç dağılımı mümkün olduğunca çift taraflı olmalıdır.
- Kaya içerisinde gaz oluşumundan kaynaklanan yüksek basınç alanları bulunmalıdır.

Gaz potansiyeli taşıyan, özelliklerini yukarıda sıraladığımız kayalar uygun özelliklere sahip bölgelerde jeolojik yapısı müsait havzalarda bulunma ihtimali yüksek olduğundan öncelikle arama çalışmalarına bu alanların araştırılarak başlanması, niteliklerin saptanması, dağılım alanlarının belirlenmesi ve sondaj denemelerinin yapılabilmesi için uygun bölgelerin tespit edilmesine sağlayan ve jeolojik ve jeofizik çalışmalara önem ve öncelik verilmelidir. Tüm bu işlemlerin olumlu neticeler vermesi halinde operasyon aşamaları sırasıyla gerçekleştirilip üretim planlamaları yapılmalıdır.



Şekil 3.6 Suyla kırılma işleminden bir görüntü

Aşağıdaki resimde klasik doğal gaz üretimi ile hidrolik kırılma yöntemi kullanılarak yapılan kaya gazı çıkartma yöntemi şekilde kabaca gösterilmiştir. Önümüzdeki yıllarda yöntemin geliştirilip yerin derinliklerinde var olan kaya gazının üretiminde artışların olacak olması sevindirici bir durumdur.



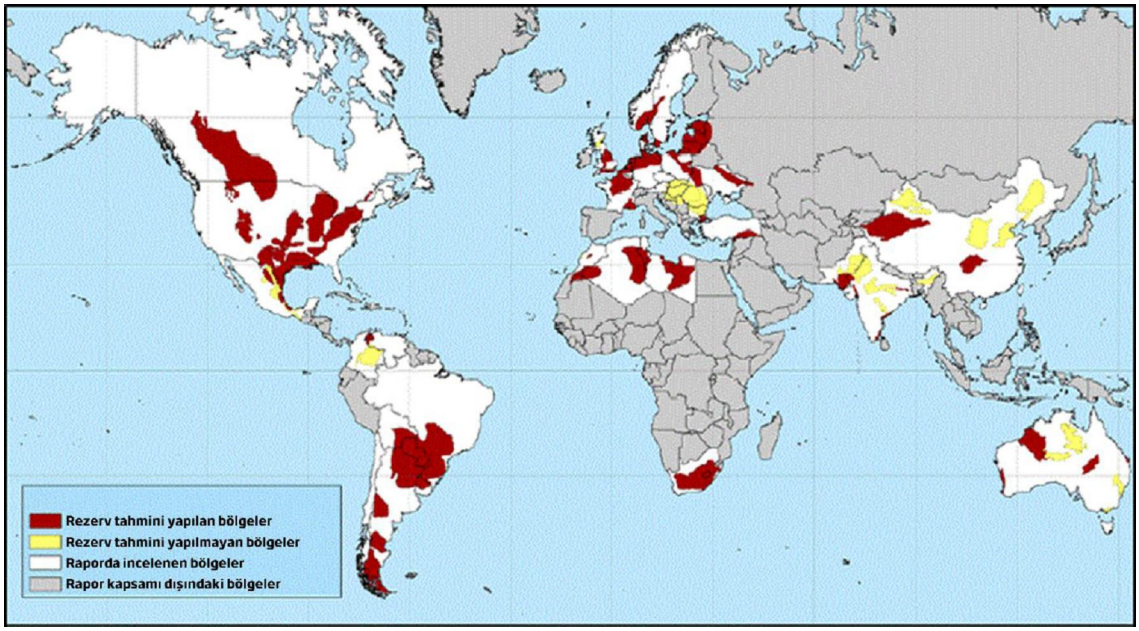
Şekil 3.7 Klasik doğal gaz üretimi ile konvansiyonel olmayan doğal gaz üretimi yöntemi [16]

BÖLÜM 4

DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE KAYA GAZI

4.1 Dünyada Kaya Gazı

Kaya gazı kaynaklarının varlığı çok eski tarihlerden beri bilinmekteydi ancak endüstriyel açıdan değerlendirilmesi klasik doğal gaz sahalarındaki üretimin azalması ve gaz fiyatlarının artmasına paralel olarak gündeme gelmiştir. Bunların yanında özellikle son yıllarda petrol ve doğal gazın stratejik öneminin artması da büyük rol oynamıştır. Kaya gazının ilk üretimi 1821 de ABD 'nin New York şehrinde yapılmış, endüstriyel anlamda ise 1970 yılında üretime geçilmiştir. Konvansiyonel kaynakların maliyetlerinin göreceli olarak uygun olması nedeniyle kaya gazı üretimine devam edilmemiş, fakat ekonomik olmasından dolayı iki binli yıllarda kaya gazı üretimi gerçekleştirilmeye başlanmıştır. 2010 yılının sonunda, dünyadaki toplam açılan 15.467 kuyunun % 0,005'i Kuzey Amerika dışındadır. Bu olay, shale gazı üretim teknolojisinin Amerika kıtası dışında ne kadar yeni bir teknoloji olduğunu göstermektedir. Yapılan bu çalışmalardan sonra, 2010 yılında ABD'de doğal gaz fiyatları % 35 düşerek ülke ekonomisi rahatlamıştır. 2009 yılı itibariyle, Kuzey Amerika kıtasında yedi bölgede, 146 trilyon m^3 yerinde, üretilebilir düzeyde ise 20 trilyon m^3 kaya gazı ve sıkı kumtaşı rezervi tespit edilmiştir. ABD'de en yoğun çalışılan Teksas eyaletindeki Barnet şeyllerinde 2010 yılı üretimi 51 milyar m^3 olarak gerçekleşmiştir. Amerika'da 1996 yılında 8,5 milyar m^3 şeyl gazı üretimi yapılırken, bu miktar 2006 yılında 31 milyar m^3 olarak gerçekleşmiştir [15]. Diğer bir deyimle 2006 yılı ABD'nin toplam doğal gaz çıkartılmasının % 5,9'u kaya gazından sağlanmıştır. Dünyada kaya gazına sahip ülkeler ve bölgeler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Dünyada kaya gazı potansiyeline sahip ülkeler ve bölgelerin gösterimi [18,19]

Yapılan tahminler 2018 yılında Amerika'nın doğal gaz üretiminin büyük bir bölümünün kaya gazından sağlanacağını göstermektedir. Konvansiyonel olmayan kaynakların belirlenmesine, dik arama kuyularında elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile başlanmaktadır. Uzun soluklu bir çalışma dönemi sonunda gaz potansiyeline sahip olduğu belirlenen seviyelerde yatay sondajlar yapılmaktadır. Bu seviyelerde yüksek basınçlı % 99 oranında kum ve su karışımı kullanılarak dikey çatlaklar oluşturulmakta petrol ve doğal gazın kuyuya akışı sağlanmaktadır. Potansiyeli belirlenen alanlarda tek bir noktadan 20-30 adet yatay kuyu açmak mümkün olabilmektedir. Konvansiyonel olmayan kaynakların aranması, üretime geçmesi ve ekonomiye kazandırılması sürecinde büyük ölçüde istihdam da sağlanmaktadır. Örneğin ABD'de Teksas eyaletinde bu amaçla yapılan çalışmalarda yaklaşık 12.000 kişiye iş imkanı sağlanmıştır. Kaya içerisinde hidrolik çatlatma (hydraulic fracturing) yapılarak gaz çıkışının sağlanması ve bu esnada çok az da olsa bazı kimyasallar içeren su kullanılması, şeyl gazı üretiminde çevre sorunlarını gündeme getirmiştir. ABD'de hidrolik çatlatma sırasında kullanılan suyun yer altı suyuna olumsuz etkisini araştıran birçok çalışma yapılmıştır.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından 2011 yılında yapılan bir araştırmada, [20] şeyl gazı eldesinin çevresel etkilerinin yönetilebilir düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. Günümüzde Avrupa'da herhangi bir ülkede şeyl gazı üretimi yoktur. Norveç şirketi Statoil, Amerika'da Marcellus Formasyonunda şeyl gazı üretimi amacıyla ortaklık kurmuş ve burada kazanacağı deneyimi Avrupa'da şeyl gazı üretiminde kullanacağını belirtmiştir. Benzer yaklaşım ile Gazprom da girişimlerde bulunmuştur. Exxon Mobil Aşağı Saksonya bölgesinde 750.000 hektar genişliğinde bir bölgede 2009 yılında şeyl gazı üretimi amacıyla çalışmalara başlamıştır. Yine Exxon Mobil Macaristan'da şeyl gazı üretimi amacıyla 2009 yılında 5 kuyu tamamlamıştır. Cocono Phillips firması Polonya'da şeyl gazı üretimine yönelik önemli çalışmaların tamamlandığını ve üretime geçileceğini belirtmiştir. Shell Oil de İsveç'te şeyl gazı çalışmalarının yapılacağını bildirmiştir. Dünyada geniş alanlarda kaya gazı potansiyelinin varlığı tahmin edilmektedir.

Tablo 4.1 Dünya'da bilinen bölge bazlı kaya gazı miktarları [1]

Bölge	**Kaya gazı kaynağı**	**Kaya gazı kaynağı**
	(Trilyon feet küp)	**(Trilyon metre küp)**
Kuzey Amerika	3,842	108
Latin Amerika	2,117	60
Batı Avrupa	510	14
Doğu Avrupa	39	1,1
Rusya	627	18
Orta Doğu	2,548	72
Afrika	274	7,9
Orta Pasifik Bölgesi	3,528	100
Asya ve Çin	2,313	65
Asya Pasifik Bölgeleri	314	9
Dünya	**16,112**	**455**

Bu dönemde Amerika Birleşik Devletleri'nde 16 farklı bölgede kaya gazı bulma faaliyetleri devam etmektedir.

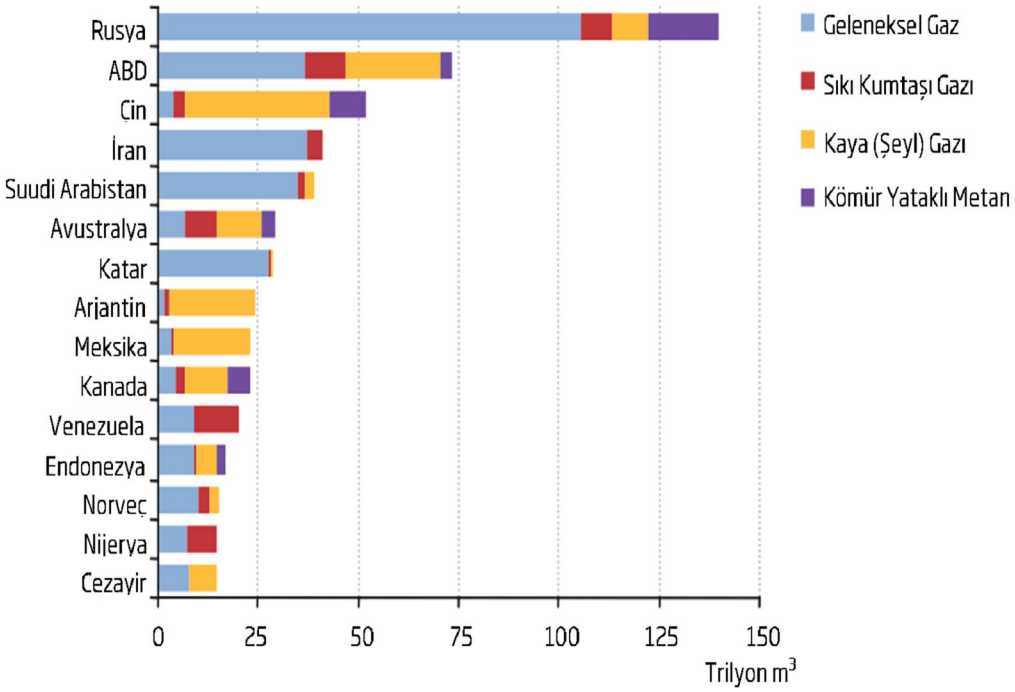
Bu alanları şu şekilde sıralayabiliriz [25]: Montana, Williston, Arkoma, Appalachian, Greater Green River, Black Warrior Uinta-Piceance, Michigan Paradox, San Juan, Raton, Permian, Ft. Worth, Palo Dura, East Texas, Forest City, Amerika Birleşik Devletleri klasik olmayan doğal gaz arama ve üretimi konusunda diğer ülkeler arasında öncülük etmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin dışında kaya gazı arama ve üretim çalışmalarını yapan diğer ülkeler aşağıdaki gibi verilmiştir: Polonya/Siluriyen Şeylleri, Kanada/Horn River ve Montney, Avusturya/Mikulov Seyli, İsveç/Alum Şeyli, Çin ve Hindistan'daki çok sayıdaki alanlar, Avustralya/Amadeus, Yeni Zelanda/East Coast Basin ve North Island Havzaları, Cooper and Georgina alanları Henüz ABD dışında kaya gazı arama ve üretim faaliyetlerine yeni yeni başlandığından gerçek potansiyel eski çalışmalara dayanan tahminlerin ötesine geçememektedir. Ancak; Rusya, Çin, Avustralya, Endonezya, Afrika, Orta Doğu, Güney Amerika, Ukrayna, Polonya, Hindistan, Kazakistan, Azerbaycan ve Türkiye gibi ülkeler önemli kaya gazı potansiyeline sahiptir.

Tablo 4.2 Dünya ülkeleri doğal gaz ve kaya gazı rezervleri [26,24]

Sıra No	Ülke	Doğal gaz	Kaya gazı	Birim
1	Çin	3	36	Trilyon m^3
2	ABD	7,7	24,5	Trilyon m^3
3	Arjantin	0,3	22	Trilyon m^3
4	Meksika	0,35	19,6	Trilyon m^3
5	Güney Afrika	-	13,8	Trilyon m^3
6	Avustralya	3,1	11,4	Trilyon m^3
7	Kanada	1,7	11	Trilyon m^3
8	Libya	1,5	8,2	Trilyon m^3
9	Cezayir	4,5	6,5	Trilyon m^3
10	Brezilya	0,3	6,3	Trilyon m^3
11	Türkiye	0,05	1,8	Trilyon m^3

Rusya klasik doğal gaz kaynaklarının üretimi ve kaynak rezervi bakımından diğer ülkelere göre ciddi anlamda potansiyele sahip bir ülkedir.

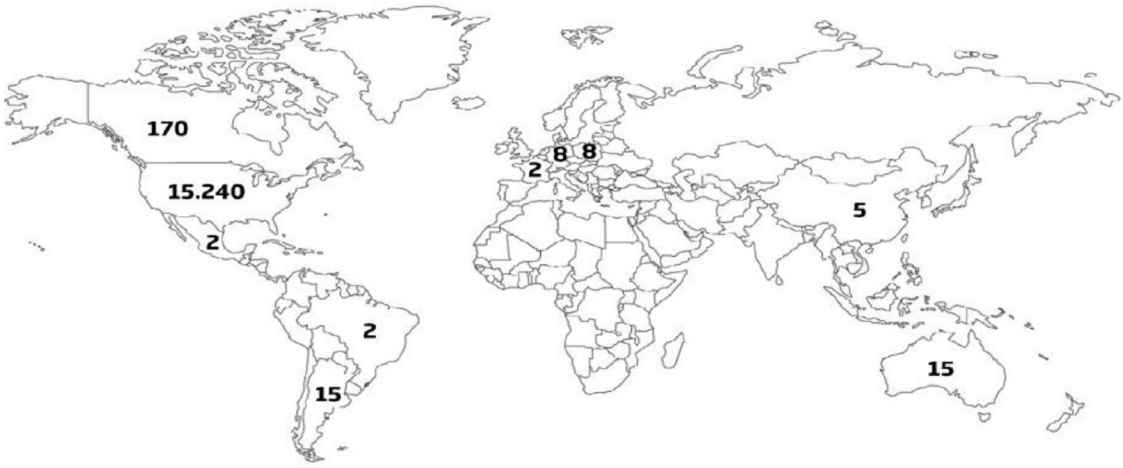
Amerika Birleşik Devletleri Rusya'nın ardından ikinci sırayı alıp Çin ise kaya gazı kaynakları bakımından üçüncü sırayı alarak dünya rezervleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Doğal gaz kaynaklarının çok önemli bir bölümü de Suudi Arabistan, Katar ve İran havzasında bulunmaktadır. Sıkı kumtaşı gazı, kömür yataklı metan kaynakları ve kaya gazı bakımından ise Kanada, Meksika, Avustralya rezerv zenginliği bakımından ciddi bir ağırlıktadır. Aşağıdaki şekilde dünya üzerinde en büyük doğal gaz kaynaklarına sahip olan 15 ülke ve bunların rezerv dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Konvansiyonel ve unkonvansiyonel kaynakların 15 ülke arasında dağılımı [19]

Dünya üzerindeki pek çok alanda yüksek rezerve sahip doğal gaz kaynaklarını içeren kaya tabakaları olduğu bilinmekte ancak bu kaynakların işletilip doğal gaz elde edilmesi ciddi anlamda maliyetli ve teknolojisi yalnızca Amerika Birleşik Devletleri'ne aittir. Günümüzde pek çok ülkede kaya gazı formasyonu arama ve çıkartma çalışmaları tasarlanmasına ve deneme çalışmaları yapılmış olmasına rağmen, yapılan bu çalışmaların ABD'deki faaliyetler ile karşılaştırıldığında çok basit ve yetersiz kaldığı görülmektedir.

Kaya gazı arama çalışmaları için 2010 yılında açılan kuyu sayılarını incelediğimizde bu durumun yetersizliği daha da net görülmektedir. Şekil 4.3'ü yorumlayacak olursak dünya üzerinde açılan arama kuyularının neredeyse % 99'unun Amerika Birleşik Devletlerinde bulunduğunu görebiliriz.



Şekil 4.3 2010 yılında dünya üzerinde kaya gazı üretmek için açılan kuyu sayısı [26]

Klasik doğal gaz üretim miktarlarına küresel değerlerde baktığımız zaman da yine aynı tablonun benzer şekilde karşımıza çıktığını görmekteyiz. Tüm gaz kaynaklarını incelendiğinde üretim faaliyetlerinde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki oranın dünyanın başka bölgelerindeki rakamların çok üzerinde olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir.

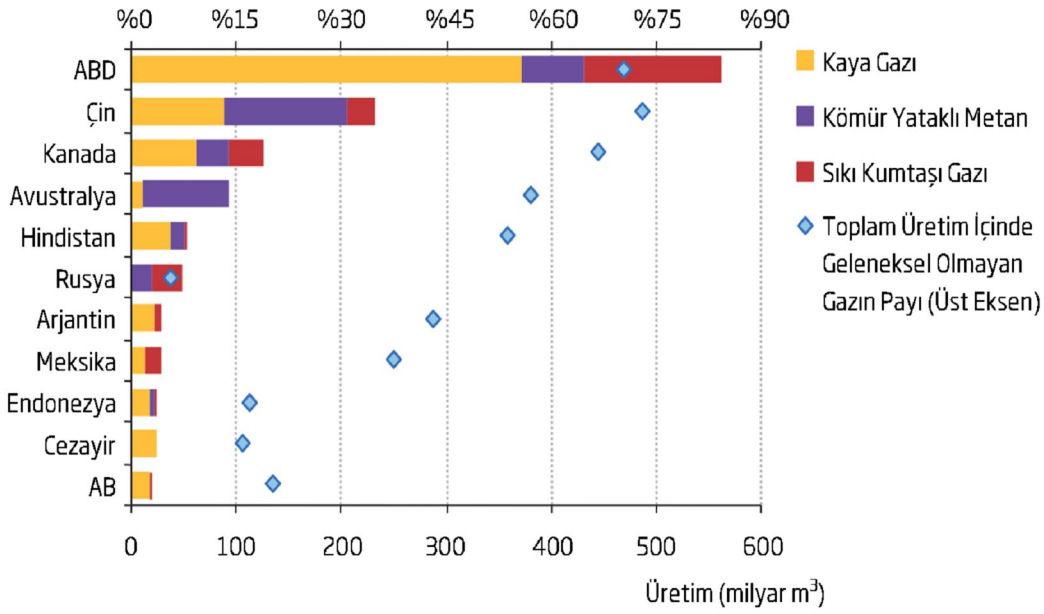


Şekil 4.4 2011 yılında dünya üzerinde kaya gazı üretim bölgelerinin gösterimi [26]

Amerika birleşik devletlerine ait gaz üretim miktarları incelendiğinde 1990 yılında 500 milyar m^3 lük doğal gaz miktarının 66 milyar m^3'ünün geleneksel olmayan gazlardan, bu miktarın sadece 4 milyar m^3 lük kısmının kaya gazından elde edildiği gözlenmektedir. 1990 yılında doğalğaz üretimi içerisinde geleneksel olmayan gazlara ait pay % 13 iken bu oran 2000'de % 30, 2010'yılında % 60, 2012 yılında ise % 65'e kadar çıktığı gözlenmektedir. Oranlardaki bu ciddi değişikliğin altında yatan sebep doğal gaz üretim miktarının 1990 yılında 435 milyar m^3 'ten 2012 yılında 235 milyar m^3'e kadar düşmesinin yanında, 2000'li yıllardan itibaren kaya gazı üretiminde yaşanan çok ciddi artış olduğunu söyleyebiliriz. Şöyle bir örnek vermek gerekirse 2000'li yılların başında ABD'deki kaya gazı üretim miktarı 9 milyar m^3 iken 2012 yılına baktığımızda bu miktarın 230 milyar m^3 e ulaştını görmekteyiz. Üretimdeki bu artışın ABD'de ilerleyen yıllarda da süreceğini tahmin etmekteyiz. EIA verilerine göre kaya gazı üretimindeki artışın 2015 yılında 250 milyar m^3, 2020'de 310 milyar m^3, 2030'da 400 milyar m^3, 2035'te ise 430 milyar m^3 e ulaşacağı öngörülmektedir [16]. Aldığımız bu verilere göre doğal gaz üretiminde kaya gazı üretiminin payı 2012 yılında % 33 'ten 2035 yılında % 47 'e ulaşacağı diğer bütün türlerle beraber toplam üretimde geleneksel olmayan gaz türlerinin payının 2035 yılında % 70'lere ulaşacağı öngörülmektedir.

Kaya gazı üretiminin ABD'den sonra en hızlı şekilde artmasının tahmin edildiği ülke ise Çin'dir. Kalkınma Planları doğrultusunda çevreye zarar veren kömür kullanımınn yerine temiz bir yakıt olan doğal gazın özendirildiği Çin'de kaya gazı kaynakları ABD'ki kaynaklardan daha da fazladır. Günümüz şartlarında yılda 30 milyar m^3 dolayında sıkı kumtaşı gazı elde eden Çin kalkınma programı çerçevesinde 2015 yılı için 6,0 milyar m^3, 2020 yılı için ise 60-100 milyar m^3 kaya gazı üretmeyi hedeflemektedir. Kaya gazı üretiminde gereken teknolojik donanımları sağlamak amacıyla Çin'li yatırımcıların ABD firmalarına yönelik yapmış oldukları yatırım anlaşmalarının 6-7 milyar doları geçtiği resmi rakamlarda bildirilmektedir. Ancak şöyle bir çelişki göze çarpmaktadır ki Çin'de bulunan kaya gazı kaynakları genellikle suyun yetersiz olduğu alanlarda toplanmakta ve ABD'deki coğrafi yapıyla ciddi jeolojik farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple ABD'de uygulanan teknolojik yöntemlerin Çin'in kaya gazı rezerv bölgelerine uygulanmasında yaşanacak sıkıntılar gerçekçi bir şekilde göze çarpmakta ve kalkınma planı çerçevesinde hedeflenen üretim artışı için umutsuz düşüncelere mahal vermektedir.

Kaya gazı rezervinde ciddi bir potansiyele sahip Avrupa'da ise kaya gazına yatırımların gelişmesi kamuoyu tepkileri ve siyasi hassasiyetler çerçevesinde düşünüldüğünden bu alandaki gelişimi zaman içerisindeki yaşantılar belirleyecektir. Avrupa'nın bu konudaki bir diğer dezavantajı da kırsal bölgelerdeki nufusun yogun olması ve çevresel mevzuatın sıkı bir şekilde işletilmesinin gaz üretim maliyetlerini arttırmasıdır. Hatta Fransa, Bulgaristan ve Almanya'nın Kuzey-Ren bölgesi, İsviçre'nin Freiburg bölgesi ve Kuzey İrlanda'da kaya gazı çıkarımı yasaklanmış, Romanya'da kaya gazı çıkarımına yönelik halkın protestolarıyla karşılaşılmıştır. Bunun yanı sıra İspanya'nın Bask Bölgesel Yönetimi kaya gazı üretimine yönelik faaliyetleri desteklemektedir. Bunların yanında Polanya'daki kaya gazı üretimi ise sevindirici bir gelişmedir. Polonya'nın amacı kaya gazı çıkarımını artırarak Rusya'nın doğal gazına olan bağımlılığını sona erdirmektir. Şayet buradaki girişimler uygun düzenlemelerle faaliyete geçirilebilir ve üretimde gözle görülür bir gelişme yaşanırsa Avrupa kamuoyunda oluşan çevresel tahribattan kaynaklanan kötü imajın yerini iyimserliğe ve olumlu tepkiye bırakacağı ön görülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda verilen bu bilgiler Şekil 4.5'de görsel olarak paylaşılmaktadır.



Şekil 4.5 2035 yılına kadar kaya gazı potansiyeli yüksek olan ülkelerde üretim miktarı tahminleri [25]

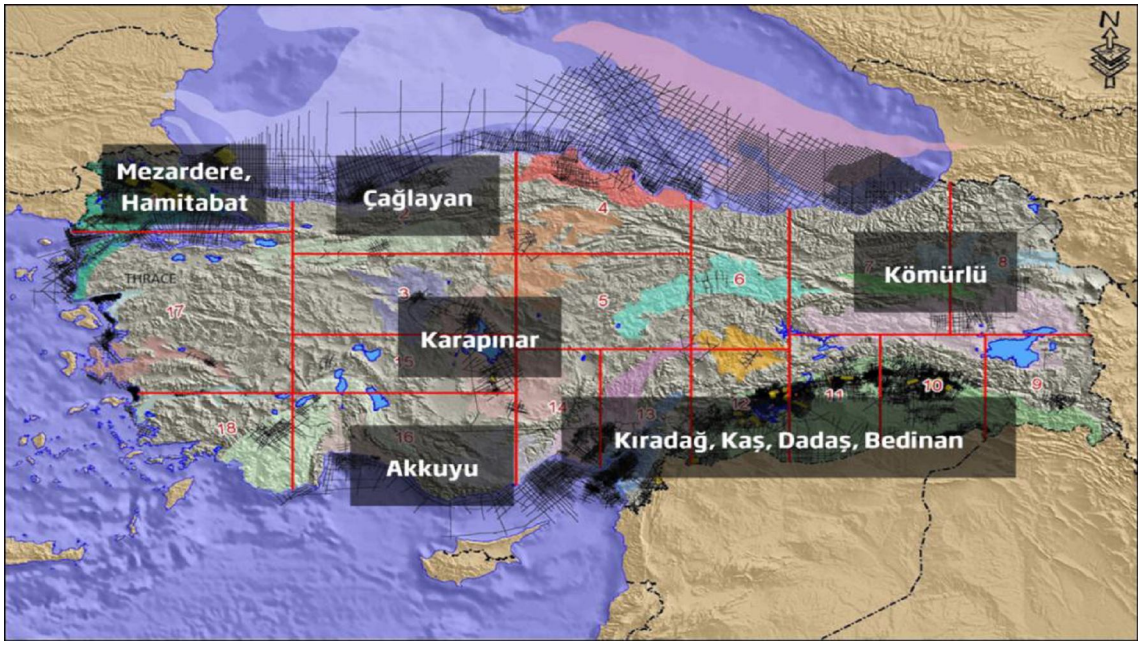
Kaya gazı üretiminin ekonomik bir şekilde faaliyete geçmesi için bazı ana kriterler de bulunmaktadır. Bu kriterler önümüzdeki yıllarda hangi ülkelerde doğal gaz üretiminin artacağını, kriterlerin bir araya getiriliş biçimlerine göre belirleyecektir. Bir bölgede kaya gazı çıkarım faaliyetlerinin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için gereken temel faktörler aşağıda şöyle sıralanmıştır. Gaz rezervi bulunan bölge için gereken veri araştırmasının yapılması, üretim yapmaya değecek ölçüde rezerv miktarının olması, çalışma yapılacak arazinin yeterli büyüklükte olması, üretim için verilen lisansın yeteri kadar uzun süreli olması ve hedeflenen karı getirebilecek düzeyde olması.

Rekabetçi bir yatırım ortamına imkan sağlanması, yatırım için gereken ortamın ve mali kaynakların sorunsuz olması, yasal, siyasi ve ekonomik konularda istikrarın olması, çevresel rislerin kurallarla sınırlandırılmış olması. Çalışmalar için gereken jeolojik bilgilerin elde edilmesi, değerlendirme çalışmalarının yapılması, bölgelerdeki kuyuların sayılarının ve derinliklerinin incelenmesi, kuyuları kazma ve diğer işlemlerin sürdürülmesi, çıkarılan gazın transfer aşamalarının her bir safhasında eğitimli ve nitelikli insan gücünün temin edilmesi. Şirketlerin yatırım yapabilmeleri için uygun ortamın sağlanmış olması, mali istikrarın saglanmış olması ve yatırım ortamının uygun olması, ekonomik ve siyasi konularda devlet desteğinin ve güven ortamının sağlanmış olması, çevresel şartların iyi araştırılıp kesin çizgilerin kurallarla belirlenmiş olması gerekir. Zemin etüdüne dair gerekli bilgilerin toplanması, değerlendirmenin yapılması, kuyu sayılarının kuyu açılacak bölgelerin ve bu kuyuların derinliklerinin saptanması, kuyuların kazılarak işlemin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi, gazın çıkartılarak, gazın çıkarım ve nakliye safhalarının eğitimli uzman kadrolarca gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kaya gazı üretime başlanmasından sonra tüketicilere kadar geçen sürede teknik olarak alt yapının varlığının olması ve bu teknik alt yapının işletilebilir olması gerekir. Çıkartılmış olunan gazın pazara ulaşmasında alt yapının hazır olması gerekir. Gazın varlığının olduğu bölgelerde ana arterlere ulaştırmak için devletin destekleyici teşviklerine ihtiyaç vardır. Üretilen gazın pazara çıkartılması sırasında uygun koşulların saglanması, rekabetçi bir ortamda satışa sunulabilmesi için uygun zeminin hazırlanması ve pazarlama yöntemlerinin geliştirilmesi, üretilen gaza yeterli tüketici talebinin oluşması için çalışmalar yapılması ve tüketiciye sunulan fiyatların anlamlı bir istikrar düzeyinde olması gerekmektedir.

Günümüzde hala kaya gazı üretiminin yapılması pek çok bölge için belirsizliğini korumaktadır. Çevrede oluşacak tahribat düşüncesiyle yaşanan kamuoyu sıkıntıları, bu konuda çizilen yasal çerçevenin yeterli düzeyde olmaması, üretim için planlanan bölgelerin doğal gaz üretim ağlarının dışında kalması ya da ağ kapasitelerinin yetersiz olması, teknik ekip, nitelikli insan gücü ve su kaynaklarına ulaşımın yetersiz olması gibi sebepler ABD haricindeki diğer ülkeler için kaya gazı üretimi çalışmalarını kısıtlayan problemler arasında gözükmektedir. Önümüzdeki yıllarda kaya gazı ve diğer doğal gaz kaynaklarının üretiminin artması açısından bu sorunların giderilmesi, devletlerin bu konuya bakış açısı, kaya gazı çıkarım esnasında çevreye en az zararı verecek teknolojik altyapının oluşturulması ve bunların çogaltılması gibi iyileştirici gelişmelere ihtiyaç vardır.

4.2 Türkiye'de Kaya Gazı

Türkiye'de çıkarılabilir kaya gazı miktarı hemen hemen 420 milyar m^3 civarındadır. Bir diğer taraftan yapılan araştırmalar göstermektedir ki Türkiye'nin şu anda jeolojik ve sismik bulgularının yer aldığı ve aramaların en çok gerçekleştiği alanlar Güneydoğu ve Trakya bölgeleridir. Araştırmalara göre bu bölgeler dışında ülkemizde henüz ciddi bir şekilde araştırma yapılmayan öncelikle İç Anadolu havzası ve bunun yanında dğer bölgelerinde de sıkı kum taşı gazı ve kaya gazı potansiyelleri olabileceği tahmin edilmektedir. Bu veriler doğrultusunda şu an bilinen rezervlerin dışında yeni bilimsel bulguların saptanmasıyla rezervlerin daha da yükselebileceği öngörülmektedir. Şekil 4.6'da kaya gazı çalışmaları ve çıkarımlarının yogun olması tahmin edilen bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Türkiye'de üretim yapılması beklenen kaya gazı havzaları [29]

Yapılan araştırmalar ve eldeki veriler ülkemizdeki kayaç yapılarının, kalınlık ve derinliklerinin, yapısı bakımından uygunluklarının üretime çok elverişli olduğu ve ekonomik değerinin yüksek olduğu vurgulanmaktadır. Doğal gaz dağıtım ağının yaygın olması ve yatırım için teşvik edici mevzuatın bulunması da kaya gazı üretimini destekleyici etkenler olmaktadır. Petrol ve doğal gaz kanununun 6326 sayılı mevzuatı Türkiye'deki kaya gazı üretimini hidrolik çatlatma ve atık yönetimi konularında genelgeler ve yasalarla düzenlemiştir.

TPAO tarafından günümüzde Türkiye'de kaya gazı rezervlerinin incelenemesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Üretime geçmek için 2010 senesinde ABD'li Transatlantic Petroleum firması ile 2011 senesinde Shell firması ile çeşitli noktalarda arama ve üretim konularında anlaşmalara imza atılmıştır. Güncel bir bilgi olarak ulusal petrol ve gaz arama şirketimiz olan TPAO'nun Çalık grubunun da içinde yer aldığı arama çalışmaları için ExxonMobil şirketi ile anlaşıp çalışmalar yaptığı bilinmektedir.

Bunun yanı sıra ulusal petrol ve gaz arama şirketimiz olan TPAO'nun kendi sahalarında da kaya gazı üretim faaliyetlerini yürütmeyi planladığı duyurulan bilgilerdendir. Tüm bu saydıklarımızdan farklı olarak kaya gazı konusuna ilgi gösteren ve yatırım yapmak için yasal izin çalışmaları yapan pek çok firma olduğu bilinmektedir.

Eğer Shell ve ExxonMobil gibi büyük şirketlerin çalışmaları olumlu sonuçlar verirse bu sektöre olan eğilimin daha da artarak süreceği düşünülmektedir.



Şekil 4.7 Türkiye'de kaya gazı potansiyel alanları [30]

Trakya bölgesi ve Güneydoğu Anadolu bölgesi ülkemizde kaya gazı rezervine sahip önemli bölgelerdir. (Şekil 4.7) Her iki bölgenin tahmin edilen yerlerinde şeyl ve sıkı kumtaşlarında yer alan gaz rezervi 13 trilyon m^3 tür. Bu kaynağın üretilebilirliği ve kurtarılma miktarları dikkate alındığında 1,8-2 trilyon m^3 kapasitesinde olduğu hesaplanmaktadır. Yapılan çalışmada Dadaş formasyonu ana havzalardan birini oluşturmaktadır. Bu formasyona uygun özellikte Siluryen-Devoniyen formasyonu olarak örnek gösterebiliriz. Üretim çalışmalarına başlanabilmesi için suyla çatlatma faaliyetinin başarılı olup olmadığının kuyuda test edilmesi beklenmektedir. Ülkemizde bu alanda faaliyet yapılan bir diğer bölge olan Trakya havzasında Mezardere formasyonu değerlendirilen çalışmadır. Bu bölgelerin haricinde Batı Karadeniz, Tuz gölü ve Toroslar bölgelerinde çeşitli kayaçlar içinde kaya gazı varlığı bilinse de kesin veriler elde edilebilmesi için yeni faaliyetlere ihtiyaç vardır.

Tüm bunların yanı sıra Zonguldak Kömür havzasında yapılan kömür gazı çıkarım faaliyetleri buradaki kaya gazı araştırmalarına da ciddi katkılar getirecek yeni bilgi ve bulgulara ulaşmayı saglayacak çalışmalardır. Türkiye'de 1980'lerin ikinci

yarısından itibaren başlayan doğal gaz kullanımı, yıllar içerisinde giderek artmıştır. TPAO tarafından Hamitabat'ta başlanan üretim, talep projeksiyonlarını karşılamada büyük oranda yetersiz olduğu için doğal gaz ithalatı için çeşitli ülkelerle doğal gaz alım anlaşmaları yapılmaya başlanmıştır. İlk olarak ise 1986 yılında Rusya ile yapılan yıllık 6 milyar metreküplük anlaşma sonucunda 1987 yılında doğal gaz ithalatı gerçekleştirilmiştir [10]. Bu anlaşmayı daha sonra Cezayir, Nijerya, İran, Rusya, Türkmenistan ve Azerbaycan ile imzalanan anlaşmalar izlemiştir. Günümüzde geçerliliğini koruyan bu anlaşmaların yanında Irak, Suriye ve Mısır ile de doğal gaz alım-satım anlaşmaları için görüşmeler yapılmaktadır. 2007 yılında BOTAŞ tarafından ileriye yönelik projeksiyonlarda doğal gaz talep tahmini ise şu şekildedir: 2015 yılı için 54,35 milyar m^3 ve 2020 yılı için 63,2 milyar m^3 tür [17]. Ülkemizin 2013 yılı doğal gaz tüketiminin yaklaşık 46 milyar m^3 olduğu göz önüne alınırsa bu miktarın önümüzdeki 30 yıl ülkemizin gaz ihtiyacını karşılayacak seviyede olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi, Toroslar ve Tuz Gölü civarı da potansiyel alanlar olarak gösterilmektedir.

4.2.1 Güneydoğu Anadolu Havzası

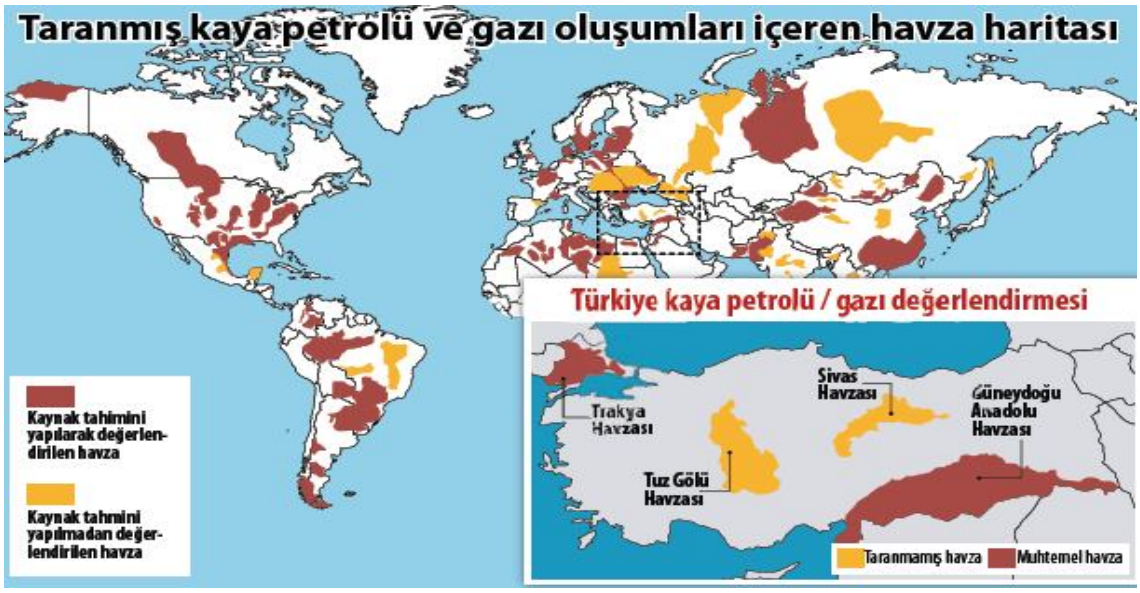
Güneydoğu Anadolu havzası Türkiye'nin Suriye ve Irak sınırındaki toplam 32.450 mil^2 lik kısmını kapsamaktadır. Bu bölgedeki en çok gelecek vaat eden kısım Dadaş kaya doğal gazıdır. Bu kayalık kesim esasen bölgenin petrol kaynağı olarak tanınan kısmıdır; ancak buradaki yeni keşfedilen formasyon buranın doğal gaz yönünden de zengin olduğunu göstermektedir. Eldeki rezerv verilerine ve Advanced Resources International Inc.(ARI) araştırma verilerine dayanarak, [11] Dadaş kayalarının 2950 mil^2 lik kısmının kaya doğal gazı çıkartılması bakımından uygun olduğu anlaşılmaktadır. Dadaş kayalıklarının rezerv karakterleri incelendiğinde bölgenin 61 Bcf/mil^2 ile ortalama bir gaz konsantrasyonuna sahip olduğu görülmektedir. 2.950 mil^2 lik bir alanda toplam 43 Tcf risk edilen kaya olduğu ve bunun 9 Tcf'lik kısmının da teknik olarak çıkartılabilir durumda olduğu anlaşılmıştır.

Bu alan her ne kadar kaya doğal gazı çıkartılması bakımından uygun bir yer olarak görülse de alanda ağır faylanma görülmekte olup, ilerde çıkartma esnasında sorun yaşanabilir. Bölgede TPAO ve Kanada firması Transatlantic Petroleum (TA) ortaklığı, doğal gaz çıkarım çalışmalarında bulunmaktadır.

4.2.2 Trakya Havzası

Trakya havzası, Türkiye'nin Avrupa kıtasındaki topraklarında 8.600 mil^2 lik bir alanı kapsamaktadır. 1970'lerde Hamitabat'ta doğal gaz yataklarının bulunmasından sonra Türkiye'nin en önemli doğal gaz üretim merkezlerinden biri olmuştur. Çıkartılan doğal gazın % 85'i bu bölgeden gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki 13 doğal gaz ve 3 petrol alanında toplam 350 tane doğal gaz kuyusu kurulmuştur [31]. Trakya havzasındaki Hamitabat bölgesi termal olarak en olgun bölgedir. ARI tarafından yapılan çalışmalarda Hamitabat gazı için 128 Bcf/mil^2 ve Mezardere gazı için 74 Bcf/mil^2 konsantrasyon seviyesi ölçülmüştür [32]. Hamitabat'ta 14 Tcf, Mezardere'de 7 Tcf riskli bölgede bulunan kaya gazı olduğu görülmüştür.

Bu alanda bulunan gazlardan Hamitabat için 4 Tcf, Mezardere için 2 Tcf doğal gaz teknik olarak çıkartılabilir durumdadır. Ülkemizde açılan kuyu sayısı 1934'ten beri 400 civarındadır. Ülkemiz'de 2000'li yılların başına kadar her sene 6-10 sayısı arasında kuyu açılırken 2000'li yıllardan sonra bu sayı hızla yükselişe geçmiş devletimizin teşvik ve desteği ile neredeyse 10 katına ulaşacak şekilde arama kuyusu sayısı 100-200 civarlarına ulaşmıştır. Ülkemiz için arama kuyuları sayısının artışı sevindirici olsa bile dünya ülkelerinde sadece 2010 yılında yaklaşık 15.600 arama kuyusunun açıldığı araştırmalar arasında yer almaktadır [33]. Bu istatistiklere yıl bazında bakılırsa arama kuyuları sayısının hızla artması gerekir.



Şekil 4.8 Türkiye'de kaya gazı havza haritası

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Tüm dünya devletleri için enerji konusu ekonomik ve siyasi hatlarıyla kendi içlerinde önem arz etmektedir. Ülkeler ister ciddi anlamda çok enerji kaynaklarına sahip olsunlar ister enerji ihtiyaçlarını dış kaynaklardan ithal etsinler; öncelikle fosil yakıtların üretimi ve pazarlanmasında ticari olarak, bu yapının neresinde yer alacakları ülkelerin sosyo ekonomik ve siyasetlerini de direk olarak etkileyecektir. Ülkeler için enerji ihtiyaçlarını ucuza mal etmek, enerji temininin sürekli olmasını sağlamak ve bu kaynaklara erişimi rahatlıkla gerçekleştirmek olmazsa olmazlardandır.

Dünyanın giderek ısınmasını önlemek amacıyla ve sürdürülebilirliği açısından yeşil enejiye günden güne daha fazla ihtiyacımız varken halen dünya, enerji kaynaklarının çoğunu fosil kaynaklı yakıtlardan karşılamaktadır. Bu şekilde hızla tüketim gerçekleştirilirse fosil kaynaklı yakıtların stoğu gitgide azalmaktadır. Tahmini olarak önümüzdeki 2035 yılına kadar dünya enerji ihtiyaçlarının % 75'inin hidrokarbon kaynaklardan elde edileceği ön görülmektedir. Ülkelerin jeopolitik ve jeostratejik konumları çıkarılan petrol, kömür ve klasik doğal gaz kaynaklarının ülkeler arasındaki dağılımını bu kaynaklardan elde edilen enerjinin üretim ve ticaretini birinci dereceden etkilemektedir. Bu bağlamda bakıldığında kaya gazı konusunda yapılan çalışmalar ve kaydedilen gelişmeler ülkeler arasındaki enerji kaynaklarının dağılımı, üretimi ve ticaretinde önemli değişikliklere neden olmakta ülkelerin jeopolitik ve jeostratejik konumlarını dahi değişikliklere uğratabilecek niteliktedir.

Son on yılda yalnızca ABD'de yaygın olarak üretimi yapılmaya başlanan kaya gazı günümüzde farkına varılmaya başlanan değerinden dolayı ABD ile benzer jeolojik yapıya ve rezervlere sahip diğer ülkelerde de eş değer bir doğal gaz üretim kaynağı olarak gündeme gelmeye başlamıştır. Bilhassa bulunduğu konum itibariyle yanlızca ithalatçı durumunda olan ülkeler için mevcut kaya gazı rezervlerinin alternatif olarak düşünülmesi büyük bir kar sağlayacaktır. Kaya gazının dünya çapında alternatif bir

enerji kaynağı olarak yerini alması doğal gaz satışlarında da farklılaşmalar gündeme getirebilecektir. Kıtalar arası ve okyanuslar arası uzun hatlarda gaz taşınması için düşünülen sıvılaştırma ve gazlaştırma LNG tesislerinin devreye girmesiyle serbest LNG pazarında da artış beklenmektedir. Yaşanan bu gelişme ve farklılaşmaların geleneksel düzeyde yapılan doğal gaz taşıma işlemine ve ayrıca alım satım işlemlerindeki geleneksel ve uzun vadeli kontrat sürelerinin kısalarak ticareti kolaylaştıracağı düşüncesi sevindirici gelişmeler arasındadır. Bir diğer önemli husus ise mevcut durumda uzun süreli anlaşmalar yapan ve gaz piyasasını tekellerinde bulunduran ülkelerin LNG pazarına gelen hareketlilik ve ticari anlamdaki kolaylıklar sayesinde bu ülkeler tekellerinden doğan güçlerini kaybedecekler ve ticaret rahatlayacaktır. Tüm bunlardan ülkemizin payına düşen ise enerjisinin büyük bir kısmını doğal gazdan elde edip üstelik bu gazın neredeyse tamamında dışa bağımlı olduğundan, elinde bulunan kaya gazı rezervlerini iyi değerlendirip alternatif bir enerji kaynağı olarak işlemek için her türlü yatırıma olanak sağlamaktır. Elde bulunan verilere göre ülkemizin çıkarılabilen kaya gazı kaynakları 1.8 trilyon m^3 tür ve bu ciddi rakam neredeyse 20-30 senelik tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir. Ayrıca yapılacak olan yeni araştırmalarla beraber yeni kaynaklar tespit edilecek ve ülkemizin kaya gazı rezervlerinin bu sayede artabileceği tahmin edilmektedir. Yapılan çalışmalar henüz başlangıç düzeyinde olsa da ülkemiz kaya gazı konusunda ümit var diyebileceğimiz ülkeler arasındadır. Ulusal petrol ve doğal gaz araştırması yapan şirketimiz TPAO'nun da kendi alanlarında kaya gazı üretimi için faaliyetler yaptığı bilinmektedir.

Hem dünya piyasalarındaki yaşanması olası haraketlilik hem de ülkemizin var olan kaya gazı kaynaklarını değerlendirme aşamalarının sonuç vermesi ile yaşanacak olan gelişmeler ileriki dönemlerde kaya gazını enerji gereksiniminde ilk sıralara oturtacaktır. Eğer gerekli yatırımlar yapılır ve üretime başlanıp bu üretim artarak devam ettirilirse mevcut kaya gazı rezervleri enerji güvenliğimizin teminat altına alınması açısından ülkemizin jeostratejik gücünü ciddi ölçüde artıracağı düşünülmektedir. Şimdilik yalnızca ABD'deki faliyetlerle kanıtlanmış olsa da kaya gazının gelecekte alternatif bir enerji kaynağı olacağı ve küresel anlamda gündemi etkileceği süphesizdir. Gündeme gelen kaya gazının bütün dünyayı etkileyeceği aşikardır. Avrupa kıtasının etkilenmeyeceğini söyleyen Avrupalı uzmanlar tamamen yanlış düşüncededirler. Daha şimdiden ABD'de elektrik üretiminde kömür kullanımının yerine kaya gazı

kullanımının artması önemli ölçüdeki kömür miktarlarının ucuz fiyatlarla Avrupa pazarlarında alıcı bulmaya başlamasına sebep olmuştur. Giriş bölümünde de belirttiğim üzere konveksiyonel gaz kaynaklarının sadece Ortadoğu ülkeleri ve Rusya'nın bünyesinde bulunacağı ön yargısını yitirmeye başlayacaktır. Bu durum yanlızca ekonomik anlamda değil uluslararası politik çerçevede de etki yaratan bir gelişmedir. Bu sebeple bütün ülkelerin alternatif bir enerji kaynağı olan kaya gazını gözden geçirip değerlendirmelerini ve enerji politikalarını bu doğrultuda düzenlemeleri gerektiği düşünülmektedir. Yukarıda yapılan genel değerlendirmenin ardından sonuçları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Texas eyaletinde 1981 yılında George T.Mitchell tarafından uygulanan şeyl gazı üretim yöntemi zaman içerisinde geliştirilerek bugün konvansiyonel doğal gaz üretimi maliyetleri ile rekabet edecek düzeye gelmiştir.
- Gaz içeren shale tabakalarında hidrolik çatlatma yöntemiyle oluşturulan çatlaklardan sağlanan gaz miktarında her bir kuyudan 20-30 yıl üretim yapılabilecek teknolojiye ulaşılmıştır.
- Shale gazı üretiminde önemli birikime ve teknolojiye sahip olan Amerika'nın aynı zamanda büyük shale gazı potansiyeline sahip olması dünyada enerji dengelerini etkilemiştir.
- Amerika ve Kanada'nın shale gazı üretimini artırması, konvansiyonel doğal gaz üretimi yaparak dünyada söz sahibi olan ülkelerin durumunu değiştirecektir.
- Shale gazı potansiyeli konusunda Amerika ve Kanada dışında yeterli bilgiler bulunmamaktadır ancak önümüzdeki beş yıl içinde tüm dünyada yeni rezervler belirleneceğinden küresel enerji denklemi değişecektir.
- Bugünkü potansiyelleri dikkate alındığında Polonya, Almanya, İsveç, Fransa, Çin ve Hindistan'da da önemli rezervler beklenmektedir.
- Amerika'dan sonra Avrupa, Çin ve Hindistan'da da üretime geçilmesi ile doğal-gaz arz kaynaklarında büyük artış olacağı ve dolayısıyla doğal gaz fiyatlarının düşeceği öngörülmektedir.
- Çin'in önemli shale gazı potansiyeline sahip olması, ülkede doğal gaz kullanımının artması ile atmosfere salınan karbon emisyonlarının azalmasına neden olacaktır.

- Bu olgu dikkate alınarak Amerika ile Çin arasında bir mutabakat imzalanmış ve Çin'e shale gazı üretimi konusunda her türlü teknik desteğin verileceği taahhüdünde bulunulmuştur.
- Günümüzde sahip oldukları zengin doğal gaz yatakları nedeniyle uluslararası ilişkilerde yaşanan dayatmalar seçeneklerin artması ile azalacaktır.
- Amerika ve Kanada'da shale gaz üretiminin artması ve Irak'ın doğal gaz üretimi ile dünya pazarlarına girmesi sonucunda, Rusya'nın Avrupa'ya karşı enerjiyi bir silah olarak kullanmakta zorlanacağı belirtilmektedir.
- Shale tabakalarında hapsolmuş doğal gazın çıkarılması için Amerika'da geliştirilen yeni yöntemden sonra küresel enerji denklemlerinin alt üst olduğu, bu durumun enerji dünyasında bir şok dalgası etkisi yarattığı görülmektedir.
- Fosil yakıt dünyasında kuralları koyan Suudi Arabistan, Rusya ve İran'ın konuyu şaşkınlık içinde izledikleri, bu arada Polonya ve Pensilvanya'daki dev shale gaz yatakları keşfinin bu şaşkınlığı daha da artırdığı gözlenmektedir.
- Amerika ve Kanada dışında shale gaz çıkarılması ile ilgili ve rezervuar kapasitesi ile ilgili bir çalışma yapılmadığı fakat gelecek 5 yıl içinde dünyanın diğer bölgelerinde de Amerika'daki bu gelişmeye istinaden yeni shale gaz keşiflerinin yapılacağı ve küresel enerji denkleminin değişeceği ön görülmektedir.
- Potansiyel olarak Almanya, İsveç, Fransa, Polonya, Çin ve Hindistan'ın önümüzdeki dönem içinde önemli birer gaz üreticisi konumuna gelmeleri beklenmektedir.
- Bu yeni kaynakların kullanıma girmesi ile birlikte Rusya, İran, Katar ve Cezayir'in enerji arz eden ülkeler olarak küresel anlamda stratejik önemlerinin azalacağı öngörülmektedir.
- Hatta sıvılaştırılmış gaz üreten Cezayir, İran ve Katar gibi ülkelerin üretimlerini belli bir seviyede muhafaza ederek nakit akışı sağlamak için doğal gaz fiyatlarında indirim yapmak zorunda kalacakları tahmin edilmektedir.
- Amerika'dan sonra Avrupa, Çin ve Hindistan'da da shale gaz üretimine başlanılması ile birlikte, doğal gaz arz kaynaklarının sayısında bir patlama olacağı ve bu durumun fiyatları baş aşağı çekeceği,

- Nitekim Amerika'da 2009 yılında doğal gaz fiyatlarının 2.15 dolar Mmbtu(1000 metreküpü 78 dolar) seviyesine kadar düştüğü, bu fiyatın petrolde 12.50 dolar varil fiyatına karşılık geldiği, soğuk geçen aylarda gaz fiyatının 4 dolar Mmbtu olduğu(1000 metreküpü 145 dolar) ve bu fiyatın petrolde 23.20 dolar varil fiyatına karşılık geldiği, uzun dönemde shale gaz fiyatının 6 dolar Mmbtu (1000 metreküpü 218 dolar) olacağı varsayılsa bile, bu doğal gaz maliyetinin petrolde 34.80 dolar varil fiyatına karşılık geldiği, dolayısıyla shale gazın önümüzdeki dönemde enerji fiyatlarını aşağı çekme konusunda baskı oluşturacağı,
- Shale gazın Avrupa'da da enerji fiyatları üzerinde güçlü bir etkisinin olacağı, halihazırda uzun süreli sözleşmeler ile Rusya'dan alınan gazın fiyatının 11.15 dolar Mmbtu(1000 metreküpü 405 dolar) olduğu, önümüzdeki 5 sene içerisinde Shale gazın devreye girmesi ile Avrupa'da doğal gaz fiyatının yarıya düşeceği ve Gazprom'un ciddi ekonomik problemlerle karşılaşacağı,
- Rusya'nın yurt dışı döviz girdilerinin ve vergi gelirlerinin büyük bir bölümünün Gazprom tarafından sağlandığı, Gazprom'un dış ticarette sıkıntıya girmesi halinde, Rus ekonomisinin bu durumdan negatif etkileneceği ve bu şartlar altında Rusya'nın Çin pazarını Rus gazına açmakta geciktiği ve bundan sonra ise günü kurtarmak için çok geç kaldığı,
- Avrupa, Çin ve Hindistan'ın kısa bir süre sonra büyük gaz üreticileri olarak pazara girecekleri ve dünya gaz fiyatlarının bu durumdan etkilenerek aşağı ineceği, öyle ki bu durumun Rusya'nın ve İran'ın pazardaki gücünü askeri bir harekâttan daha fazla zayıflatacağı,
- Kaya gazının beklenen üretim seviyelerine ulaşmasının aynı zamanda karbon emisyonlarını düşürmek ve enerji güvenirliğini yükseltmek adına da çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

Nitekim bu çerçevede 17 Kasım 2009 tarihinde Amerika ile Çin arasında varılan mutabakata göre, Amerika Çin'in Shale gaz çıkarması konusunda kendisine her türlü teknik desteği verecektir. Çin'in önemli kaya gazı potansiyeline sahip olduğu vurgulanarak, ülkelerde kaya gazının kullanımının artması ile atmosfere salınan karbon emisyonun azaltılacağı aşikardır.

Ülkemizde klasik doğal gaz üretiminin hızla artması gerekir. Teknik olarak klasik doğal gaz çıkartma bilgi ve donanımına sahip bir ülke olmakla birlikte yıllarca izlenen yanlış politikalar yüzünden ülkemizin yeraltı kaynaklarından faydalanma noktasında gerilerdeyiz. Milli şirketimiz olan TPAO'nun çalışmalarının artması gerekir. Dünyada doğal gaz arama kuyuları sayısına bakılacak olursa ülkemiz bu konuda epeyce geridedir. Yeni gündeme gelen kaya gazı çalışmaları ülkemiz enerji kaynağı açısından çok önemlidir. Ülkemizde tüketilen yıllık enerji miktarı hesap edildiğinde, kaya gazından elde edilecek enerji miktarının ülkemizin enerji ihtiyacını yaklaşık 20-30 yıl karşılayacağı ön görülmektedir. Ülkemizde hızlı bir şekilde kaya gazı arayışlarına başlanmalıdır. Diyarbakır'da vurulan Sarı buğday-1 adlı kuyudan alınacak olan olumlu sonuç, kaya gazı çalışmalarına hız kazandıracaktır.

BÖLÜM 6

TARTIŞMA

Ülkemizde kaya gazı rezervleri bakımından bugünkü enerji ihtiyaçlarını baz aldığımızda keşfedilmiş kaya gazı rezervi 20-30 yıl yetecek düzeydedir. Bu oranı keşfedilmeyen rezervlerin varlığı arttırabilir mi? Türkiye de akılcı bir şekilde bu kaynağını değerlendirebilmelidir. Her ne kadar gaz rezervlerinin çoğalması, yeterli gazın sağlanmasından fiyatlardaki düşme, dış alımın ve dışa bağımlılığın sona ermesi, hareketli bir piyasanın yaşanması ve iş isdihdamı yaratıyor olmasına rağmen, fosil yakıtların kullanıma devam edilmesi, yeraltı sularının kirletiliyor olması, deprem oluşumunu tetiklemesi, karbon emisyon salınımının klasik doğal gaza göre % 3,5 ile % 12 oranında daha fazla olması, çevresel ve toplumsal tepkilerin varlığı kaya gazı üretiminin temel boyutlarıyla ele alınıp avantajları ve dezavantajlarının iyi irdelenmesi gerektiğinin bir göstergesidir. Yanlız bu işin çevresel olumsuz etkileri de iyi hesaplanmalıdır.

Sonuçta derin noktalarda kayaların çatlatılması dünyaya çevre kirliliği, su kaynaklarının kirlenmesi, gaz kaçakları, iş kazaları, göçük, deprem tehlikesi gibi olumsuzluklar olarak geri dönebilir. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde kaya gazı çıkartma yönteminde kullanılan hidrolik kırılma yöntemi sırasında fay hatlarını tetikleme konusunda çok iyi araştırmalar yapılmalıdır. Acaba bu araştırmalar tam anlamıyla yapıldı mı? Bu iş için ciddi boyutlarda risk değerlendirmeleri yapılması gerekmektedir. Yer altındaki kayaların içine binlerce ton kum, su ve kimyasal pompalayarak içindeki gazı çıkarma yöntemine hidrolik parçalama adı verilmektedir. Bu yöntemle çevreye faturası oldukça ağır olsa da kaya gazı elde edilebilmektedir. ABD son yıllarda bu yöntemle gaz üretimini büyük ölçüde arttırmıştır. Hidrolik parçalama yöntemi çok büyük miktarlarda su tüketimine sebep olmakta, havayı ve suyu

kirletmekte, küresel ısınmayı etkilemekte, hatta deprem riskini arttırdığı bile iddia edilmektedir. Kısacası yan etkileri fazla olan bir teknolojidir. Bu noktada bu teknolojiyi kullanarak kaya gazını çıkartmak acaba olumlu sonuçlar verecek midir? örneğin; Çevresel kirlilik ve yeraltı su kirliliği kaya gazı üretiminde olumsuz bir etken olup gündeme gelmiştir. Bu iddiada yeraltı su kaynakları için su yapısının değişip değişmediğini gözlem altında tutmak üzere ölçümler alarak sürekli kontrol altında tutulmaktadır. 2011'de ABD Massachusetts Institute of Technology tarafından yayınlanan rapora göre son on yıllık süreçte hidrolik kırma yöntemi 20.000 kuyuda yapılan incelemelerde yanlızca 40 kuyuda ciddi su kirliliğine raslandığı tespit edilmiştir [35]. Bunların da yanlızca 20'sinde gaz ya da hidrolik kırma sıvısı ile yeraltı suyunun kirlendiği, 15'inde şantiye yüzeyinde kirlilik meydana geldiği 3 ünde hava kirliği sorunu yaşandığı 2'sinde ise atık toplama sorunu olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışma sonucu elde edilen raporda 20.000 kuyunun yanlızca çok küçük bir bölümünde soruna rastlanmasının çok olumlu bir sonuç olduğu dile getirilmiştir. Fakat yine bu rapor bu işlemlerin büyük riskler taşıdığı yalnız bir iki kuyudaki hatanın dahi çevreye büyük zararlar verebileceğine dikkat çekilmiştir. Kuzeydoğu Pensilvanya ve New York'da bulunan Marcellus ve Utica kaya gazı bölgelerindeki yeraltı su havzalarında yapılan çalışmalarda içme suyuna kaya gazı çıkarımı esnasında metan gazı karıştığı gözlenmiştir. Araştırma yapılan 316.000 kuyunun % 4'ünde sızma tespit edilmiştir. Suya karışan bu maddenin temel sebebinin yüzeyde bulunan kontrolsüz sıvı veya katı maddeler olduğu saptanmıştır [36].

Ancak ekonomi söz konusu olduğunda bu göz ardı edilebiliyor olmamalı, en küçük riski bile dikkate alıp değerlendirmeler yapılıyor mu? Belirtmiş olduğum bu soruların tartışılıyor olması gerekmektedir. Her ülke birbirinden farklı jeolojik yapıya ve kendine özgü kaya yapısına sahip olmasından dolayı kaya gazı üretimi esnasında da su ihtiyacına yönelik değişik sorunlar yaşamaktadır. Bu konuda deneyimli bir ülke olan ABD'de yapılan çalışmalar kaya gazı için yapılacak su temininin kurak aylara göre ayarlanmasının önemini vurgulamaktadır. Bunların yanında doğal çevrenin korunması ve su kaynakları alanlarında gözlem yapılarak kalitenin korunması hassasiyeti üzerinde durulmaktadır. Bazı bölgelerde çifçilerin de aynı oranda suya ihtiyaç duyması kaya gazı üretimi için olumsuz bir ortam yaratmaktadır. Kaya gazı çıkarımında üretim ve su kaynakları ihtiyacı doğru orantılı ilerlemektedir.

Teknolojik gelişmeler kaya gazı üretimini arttırsa da aynı oranda su kullanımını olumsuz etkilemektedir. Kaya gazı üretimi de bu olumsuzlugun yaşandığı alanlardan biridir. Yeterli su kaynaklarına sahip olması ABD'nin kaya gazı üretimi konusunda başarılı olmasında büyük bir etkendir. Teknolojik anlamda suyun yerini tutabilecek alternatifler aranmasına rağmen henüz bulunamamıştır. Kaya gazı konusunda henüz araştırma aşamasında olan ülkemiz tüm bu avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurup kaya gazı rezervlerine sahip olan bölgelerimizde su kaynaklarına nasıl ulaşılabileceği ve bu suların geri dönüşümünün nasıl yapılacağı konusunda araştırmalarını yapıp bu doğrultuda planlamasını oluşturmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] EIA U.S Energy İnformation Administration Shale Gas Report 2012

[2] Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ) Resmi Sitesi: www.botas.gov.tr

[3] http://fracfocus.org/hydraulic-fracturing-process

[4] Türkiye'de Doğalgaz Üretimi, PETFORM | Petrol Platformu Derneği www.petform.org.tr/?lang=tr&a=2&s=5, 2000

[5] İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar-İstanbul Prof. Dr. M. Namık Yalçın, Kaya gazı 2013

[6] Dillon, W.P., ***Distribution and controls on gas hydrate in the ocean floor environment.*** Am. Assoc. for the Advanc. of Sci. Annual Meeting, p. 32, 1995

[7] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Ham madde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı – Ankara" Şeyl Gazı (Shale Gas) ve Ekonomik Değeri" İlker ŞENGÜLER

[8] Grauls, D., ***Gas hydrates: importance and applications in petroleum exploration.*** Marine and Petroleum Geology, 18, 519-523, 2001

[9] Ergün, M., Çifçi, G., Dondurur, D. ve Limonov, A., ***Karadeniz Sedimentlerinde Gaz Hidrat Oluşumu ve Etkilerinin Araştırılması,*** TUBİTAK Projesi, Proje Kodu: 100Y078, 2000

[10] Kvenvolden K.A., ***Potential effects of gas hydrate on human welfare.*** Proceedings of the National Academy of Science, 96, 3420-3426, 1999

[11] Max, M.D., & Dillon, W.P., ***Oceanic methane hydrate: the character of the Blake Ridge hydrate stability zone and the potential for methane extraction***. Journal of Petroleum Geology, 21, 343-357, 1998

[12] World Energy Council (2011), "Survey of Energy Resources: Focus on Shale Gas"

[13] US Department of Energy – "Natural Gas Imports & Exports Fourth Quarter Report 2010"

[14] Energy Information Administration – US Department of Energy, Dec.2010 "Natural Gas Annual 2009"

[15] Dr. Anthony R. Ingraffea, Cornell Üniversitesi; ***Gaz Sanayi Yayınları*** http://www.nytimes.com/interactive/2011/02/27/us/fracking.html?ref= ,2011

[16] US Energy Information Administration Website – Natural Gas: Overview, Data, Anaylsis & Projections http://www.eia.gov/naturalgas

[17] Energy Information Administration – US Department of Energy, Nov.2010 "Annual Energy Outlook 2011"

[18] http://geology.com/energy/world-shale-gas/2011.TPJD, 2012, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Basın Açıklaması.

[19] Ridley, M., ***The Shale Gas Shock*****,** 2011

[20] Dursun YILDIZ., ***Kaya Gazı ve Su İlişkisi ,*** Hidropolitik Akademi www.hidropolitikakademi.org, 2014

[21] U.S. Department of Energy – NETL (2011), "Shale Gas: Applying Technologyto Solve America's Energy Challenges"

[22] NaturalGas.org, Shale / http://www.naturalgas.org

[23] Advanced Resources International, EIA US Energy Information Administration, 2011.

[24] International Energy Agency (2012), "Natural Gas Information"

[25] IEA – Golden Rules for a Golden Age of Gas, 2012

[26] Bahtiyar, İ., ***"Is Shale Gas & Oil an Opportunity for Turkey and Investors",*** Türkiye Uluslararası Şeyl Gaz ve Petrol Konferansı, 20-21 Şubat 2013

[28] U.S. Department of Energy – NETL (2009), "Modern Shale Gas Development in the United States"

[29] Yurdal Öztaş, ***"New Horizon for Turkey: Unconventional Hydrocabon Potential"*** Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, http://www.tpao.gov.tr (2010)

[30] Energy Information Administration – US Department of Energy, Dec.2010 "International Energy Outlook 2010-highlights"

[31] Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü, Mart 2011 "2010 Yılı Hampetrol ve Doğal gaz Sektör Raporu"

[32] Milkov, A.V., & Sassen, R., ***Economic geology of offshore gas hydrate accumulations and provinces.*** Marine and Petroleum Geology, 19, 1-11, 2002

[33] Energy Information Administration – US Department of Energy, Apr.2011 "World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States"

[34] Enerji Enstitüsü-Kaya gazında gelişmeler http://www.enerjienstitusu.com

[35] Energy Information Administration – US Department of Energy, Apr.2011 "Short-term Energy and Summer Fuels Outlook"

[36] Energy Information Administration – US Department of Energy, Nov.2010 "US Crude Oil, Natural Gas and Natural Gas Liquids Proved Reserves 2010"

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1981'de K.Maraş/Andırın'da doğdu. İlköğrenimini Andırın'da tamamladı. Orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Çorlu Lisesi'nden 1999 yılında mezun oldu. 2000 yılında 19 Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne kayıt yaptırdı. 2002 yılında tekrar sınava girip Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında mezun oldu. 2007 Mayıs ayında askerlik hizmetini tamamladı. Yedi yıldır özel sektörde mekanik tesisatlar, ısıtma-soğutma alanları, fabrika bakım-onarım faaliyetleri, mühendislik hizmetleri ve son olarak doğal gaz dağıtım alanında Gazdaş Muratlı İşletme Şefi olarak görev yapmaktadır. Evli ve İngilizce bilmektedir.