



ENDERUN DERGİSİ JOURNAL OF ENDERUN



e-ISSN: 2618-592X

YIL/YEAR: 2024 CİLT/VOL: 8 SAYI/ISSUE: 1

Çevrimiçi olarak / Available online at www.dergipark.org.tr/tr/pub/enderun

KAYA GAZI VE KAYA GAZININ LOJİSTİĞİ

SHALE GAS AND SHALE GAS LOGISTICS

Makalenin
Gönderim Tarihi:
17/07/2023

Makalenin
Kabul Tarihi:
08/01/2024

Araş. Gör. Sultan ÇOŞKUN KAYA
Kastamonu Üniversitesi, İİBF, Uluslararası Ticaret ve Lojistik,
sultancoskun@kastamonu.edu.tr,
ORCID Numarası: 0000-0001-9403-3580.
Doi: 10.59274/enderun.1328474

ÖZET

Nüfus artışı, motorlu taşıt ve fabrika sayısının artması gibi faktörlerle bağlantılı olarak dünya enerji talebi devamlı olarak artış eğilimindedir. Dünya genelinde enerji talebinin karşılanmasında en büyük kaynak fosil yakıtlardır. Fosil yakıtların, daha uzun yıllar boyunca toplam enerji tüketimindeki yerini üst sıralarda muhafaza edeceği öngörülmektedir. Fakat bu enerji türlerinin dünya enerji talebini tamamen karşılayacak rezerv miktarına sahip olmaması devletleri alternatif enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Geleneksel olmayan bir gaz türü olan kaya gazı bu kaynaklardan biridir. Enerji konusu hemen her ülkenin sosyal, ekonomik ve çevresel stratejilerini belirlemeleri açısından oldukça önemli bir başlıktır. Kaya gazının temin ve arz edilmesi de bu noktada kritik bir konudur. Çünkü alternatif bir enerji kaynağı olarak ortaya çıkan kaya gazının arz edilmesi dünya enerji piyasaları ile birlikte birçok konuyu etkilemektedir. Buradan hareketle araştırmanın amacı kaya gazının tanımı, nasıl elde edildiği, dünya ve Türkiye'deki rezervleri, sosyal, çevresel, ekonomik etkileri ve son olarak da lojistik işlemlerinden bahsedilerek alan yazında konu ile ilgili oldukça sınırlı olan çalışmalara bir yenisini eklemek ve bilimsel boşluğu doldurmaktır. Ayrıca çalışma ile kaya gazının gelecekte Türkiye'de kullanıma sunulması halinde, bu enerjinin lojistik süreçleri hakkında uygulayıcılar ve karar vericiler için bir kaynak olması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kaya Gazı, Enerji, Kaya Gazı Lojistiği, Lojistik

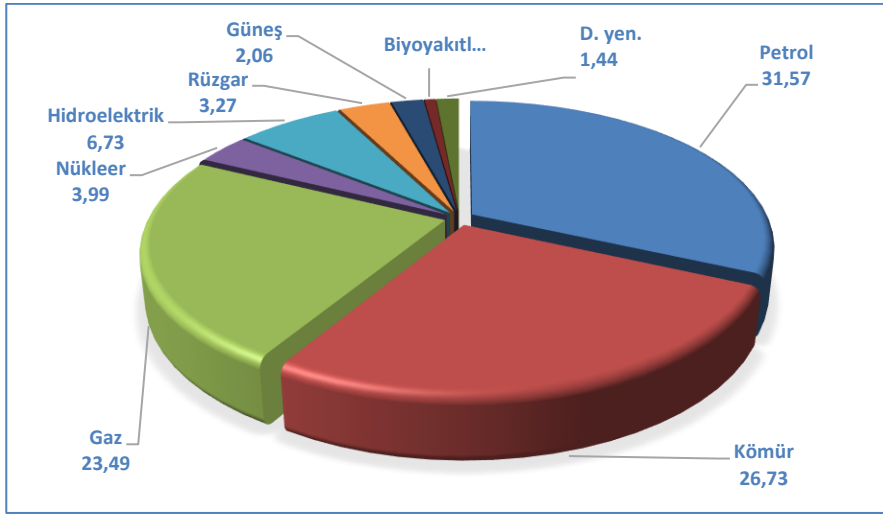
ABSTRACT

World energy demand tends to constantly increase in connection with factors such as population growth, the increase in the number of motor vehicles and factories. The biggest source of meeting the energy demand worldwide is fossil fuels. It is predicted that fossil fuels will maintain their top position in total energy consumption for many years to come. However, the fact that these energy types do not have enough reserves to fully meet the world energy demand has led states to search for alternative energy sources. Shale gas, an unconventional type of gas, is one of these resources. Energy issue is a very important topic in terms of determining the social, economic and environmental strategies of almost every country. Supply and supply of shale gas is also a critical issue at this point. Because the supply of shale gas, which emerges as an alternative energy source, affects many issues along with the world energy markets. Based on this, the aim of the research is to add a new one to the very limited studies on the subject in the literature and to fill the scientific gap by mentioning the definition of shale gas, how it is obtained, its reserves in the world and in Turkey, its social, environmental, economic effects and finally its logistics processes. In addition, the study aims to be a resource for practitioners and decision makers about the logistics processes of this energy if shale gas is put into use in Turkey in the future.

Keywords: Shale Gas, Energy, Shale Gas Logistics, Logistics

1. Giriş

Nüfus artışı, motorlu taşıt ve fabrika sayısının artması gibi faktörler sebebiyle dünyanın enerji talebi sürekli artış göstermektedir. Çin başta olmak üzere büyüyen birçok ekonominin enerji ihtiyacı fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz, kömür) ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtların, 2050 yılına kadar toplam enerji tüketiminde üst sıralardaki yerini koruyacağı düşünülmektedir. Dünya genelinde tüketilen enerjinin kaynak bazında dağılımı Şekil 1 'de verilmiştir. Dünyada tüketilen enerji kaynağı dağılımında en büyük paya sahip kaynakların sırasıyla, petrol (%31,57), kömür (%26,73), doğal gaz (%23,49), hidroelektrik enerji (%6,73), nükleer enerji (%3,99) olduğu görülmektedir. Bu enerji kaynaklarının yanı sıra rüzgar (%3,27), güneş (%2,06), biyoyakıtlar (%0,71) ve diğer yenilebilir kaynaklar (jeotermal, biyokütle, atık enerjileri) gibi enerji kaynakları (% 1,44) da dünya enerji tüketiminde gittikçe artan bir öneme sahip olmaktadır.



Şekil 1. 2022 Yılında Tüketilen Enerjinin Kaynaklara Göre Dağılımı

Kaynak: Our World in Data, 2023

Not: 'Diğer yenilenebilir kaynaklar' jeotermal, biyokütle ve atık enerjiyi içermektedir.

Geleneksel enerji türleri dünya genelinde sürekli olarak artan enerji talebini karşılayamaz duruma gelmiştir. Bu noktada devletler enerji arz güvenliklerini koruyabilmek adına enerji tüketiminde, kaynak çeşitliliği sağlayarak, alternatif enerji türlerine yönelmektedirler. Bu enerji türlerinden yenilenebilir enerjilerin (rüzgâr, güneş vb.) önemi giderek artmakla birlikte, 2000'li yıllardan itibaren geleneksel olmayan (Unconventional) kaya gazı (shale gas) ve kaya petrolü (shale oil) gibi enerjiler de enerji talebinin karşılanması amacı ile gündeme gelmiş kaynaklardır. İlk kaya gazı araştırmalarına 1821 yılında ABD tarafından başlanmıştır (Özalp, 2018: 2931-2933; Bedir, 2013).

Kaya gazının tıpkı diğer fosil yakıt türleri gibi bir enerji ürünü olarak kullanılması için bulunduğu yerden çıkarılması, depolanması, taşınması, yüklenip boşaltılması gibi birçok işlemden geçmesi gerekmektedir. Kaya gazının çıkarıldığı noktadan ihtiyaç noktasına ulaştırılana kadar geçen süreçteki tüm faaliyetleri kaya gazının lojistiği olarak adlandırılmaktadır.

Kaya gazı ile ilgili literatür incelendiğinde; ABD örneği üzerinden kaya gazı gelişiminin başarı faktörleri (Zeid ve Lee, 2016), kaya gazının dünya enerji piyasaları üzerine etkileri ve gelecek enerji senaryolarındaki yeri (Reynolds ve Umekve, 2019; Sıvış, 2019; Erik ve Koşaroğlu, 2016; Aydoğmuş, 2022; Karşlı, 2015; Kaynak, 2022; Çaşkurlu, 2022) ile Türkiye enerji sektörü açısından kaya gazının önemi ve potansiyeli (Karagöl ve Kavaz, 2017; Özalp, 2018; Sevim, 2014; Ahışalı, 2013; Elmastaş, 2015) kaya gazı ve kaya petrolünün taşınması (Smith ve Murphy, 2016), kaya gazının sebep olduğu trafik kazaları, atık su yönetimi, çevresel etkileri ve sürdürülebilir kaya gazı üretimi (Menefee ve Ellis, 2019; Erik, 2016; Muehlenbachs ve Krupnick, 2014; Bellani, Verma, Khatri, Makwana ve Shah, 2021)

başlıklarında çeşitli alanlardan çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalara ek olarak literatürde, kaya gazı üretim tesisleri kapsamında tedarik zinciri tasarımı ve maliyet optimizasyonu çalışmaları (Cafaro ve Grossman, 2014; Asala, Chebeir, Manee, Gupta, Taleghani, Romagnoli, 2019; Li, An, Fang ve Jiang, 2016) yer almıştır. Görüldüğü gibi kaya gazı ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunun bu enerji kaynağının; dünya enerji piyasaları üzerine etkileri, çevresel sonuçları ve kaya gazı üretim tesisleri ile ilgilidir.

İlgili alan yazın incelendiğinde kaya gazının tedarik zinciri ile ilgili olan çalışmaların genellikle kaya gazı üretim tesisleri çerçevesinde sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Başka bir deyişle kaya gazının üretilikten sonra nihai tüketicisine ulaştırmak için yapılacak lojistik faaliyetler ile ilgili literatürde yeterli çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca Türkiye’de kaya gazının lojistik süreçlerini inceleyen herhangi bir çalışmaya da rastlanmamış ve bu çalışma alan yazındaki ilgili boşluğu doldurmak amacı ile yapılmıştır. Başka bir deyişle bu çalışma, dünya üzerinde diğer enerji kaynaklarına kıyasla eşit şekilde dağıldığı bilinen kaya gazının Türkiye’de bilinirliğinin artmasına yönelik çalışmalara destek olması dolayısıyla kaya gazının ülkemizde gündeme getirilmesine yardımcı olabileceği düşüncesiyle yapılmıştır. Bu amaçla çalışmada ilk olarak kaya gazının ne olduğu ve nasıl çıkarıldığı, çevresel, toplumsal ve ekonomik etkileri, dünyada ve Türkiye’de kaya gazı rezervleri gibi konular ele alınmıştır. Ardından kaya gazı depolama şeklinin, taşıma araçlarının kısacası kaya gazının lojistik işlemlerinin nasıl yapıldığı ile ilgili yurt dışı örnekleri sunulmuş ve kaya gazının ulusal ve uluslararası lojistiğinin yapılmasının dünya enerji piyasası üzerine etkilerinden bahsedilmiştir. Konu ile ilgili uluslararası kuruluşların yayınladığı istatistiksel verilerden yararlanılarak tablo ve grafikler sunulmuştur. Çalışma, ileride ülkemizde kullanıma sunulması halinde daha çok ihtiyaç duyulacağı düşünülen “kaya gazı ve kaya gazının lojistik işlemleri” ile ilgili bilgilendirici konuları içermektedir.

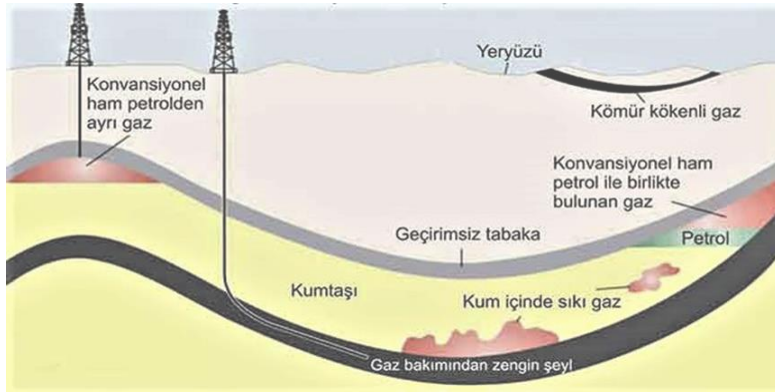
2. Kaya Gazı

Kaya gazı farklı tekniklerle yeraltından çıkarılabilen ve kömür, petrol ve doğalgazdan farklı olarak geleneksel olmayan enerji kaynaklarından biridir (Bellani, Verma, Khatri, Makwana ve Shah, 2021; Özalp, 2018: 295.) Günümüzde üç tür geleneksel olmayan gazın ticari olarak üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu gazlar: geçirgen olmayan gaz (sıkı kum taşı/ tight sandstone), kömür yatağı metanı (coalbed methane) ve kaya gazıdır (shale gas). Kaya gazı üretimi geleneksel olmayan bu gaz türleri içinde en hızlı gelişime sahip olandır (Sevim, 2014).

Tüm dünyada petrol ve doğalgaz gibi geleneksel enerji türlerinden kaynaklanan sorunlar sebebiyle bu kaynakların olduğu kayaların bünyesindeki diğer gazların elde edilebilirliği konusu gündeme gelmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların sonucunda her kayanın (şeylin) kaya gazı içermediği görülmüştür. Söz konusu kayalardan gaz elde edebilmek için kayaların belirli tutarlarda organik maddeye sahip olması ve yeterli olgunluğa ulaşmış olması gerekmektedir. Genellikle siyah

renkli şeyl tabakalarında gazın olma olasılığının yüksek olduğu bilinmektedir (Yıldız, 2014: 5).

Kaya gazı, çoğunlukla metan ağırlıklı bir bileşime sahip, oluştuğu kaynak kayanın içinde hapsolmuş bir çeşit doğalgazdır (Tawonezvi, 2017: 4). Kaya gazı ve doğalgazın bileşimleri aynı olup her kaya gazı bir doğalgazdır. Kaya gazı tıpkı diğer gazlar gibi enerji üretimi, ısınma ve yemek pişirme amacıyla kullanılabilir (Birleşik Krallık İşletme, Enerji ve Endüstriyel Strateji Dairesi Başkanlığı, 2013). Şekil 2’de doğalgaz kaynaklarının şematik görünümü verilmektedir ve kaya gazının en alt tabakada sıkışan gaz türü olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Doğalgaz Kaynaklarının Şematik Görünümü

Kaynak: Karagöl ve Kavaz, 2017.

2.1. Kaya Gazının Elde Edilmesi

Kaya gazının ana kayadan elde edilmesi geleneksel gazlardan farklı bir teknikle yapılmaktadır. Çünkü kaya gazı bulunan kaynak düşük geçirgenliğe sahiptir. Burada gazı itmek ve akmasını sağlamak için yüksek basınçlı su enjekte edilmesi gerekmektedir (Tawonezvi, 2017: 4). Ayrıca kayada kalan petrol de kaya gazına çevrilerek çıkarılabilir (Öztürk ve Durak, 2022).

Şeyl adı verilen doğalgaz ve sıvı bileşenleri tutan gözenekli kayadan kaya gazının çıkarılabilmesi için ilk olarak kayanın, sıkıştırdığı gazı salabilecek hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için ise hidrolik kırılma denilen “hydraulic fracturing” ile gazın olduğu kaynağın içinde kırılmalar oluşturulması ve ardından yüksek basınçlı su enjekte edilerek yüzeye çıkarılması gerekmektedir (Ahışhalı, 2013: 17-18).

Sıkı oluşumlardan elde edilmesi sebebiyle kaya gazı bu ismi almıştır. Düşük geçirgenliğe sahip kayadan gaz temin edilmesi, üretimin yapılması geleneksel gaz elde edilmesinden hem daha zor hem de iki kat daha maliyetli olmaktadır. Bu sebeple üretim ve kar marjı geleneksel gaz üretimine oranla daha azdır (Bellani vd., 2021: 2134). Fakat teknik çalışmalar ve gelişen teknoloji sayesinde bu maliyet düşürülmeye çalışılmaktadır.

2000’li yıllarda ticari ölçekteki üretimi yaygın olmayan kaya gazının teknolojisinde gerçekleşen gelişmeler ve ilerlemeler sebebiyle üretimi artış göstermiştir. ABD ve Kanada bu konuda öncü ülkeler haline gelmiştir (Sevim, 2014).

Kaya gazı yatakları düşük geçirgenlik ve küçük gözeneğe sahip rezervuarlarda dünyanın birçok bölgesine dağılmış bulunmaktadır. Fakat kaya gazının üretilmesi için sadece rezerv bulunması yeterli olmamakta siyasi, ekonomik ve toplumsal konular gibi birçok faktörlerle bağlantısı bulunmaktadır. Bununla birlikte geri kazanılabilir kaynağın yapısına bağlı olarak kaya gazı üretiminde farklı teknikler gerekmektedir (Bellani, 2021). Yeni kuyular üretime geçtikçe ve bu noktadaki teknolojiler geliştikçe geri kazanılabilir nitelikteki kaya gazı kaynaklarına ilişkin tahminlerin değişiklik göstereceği düşünülmektedir. EIA’ ya (Enerji Enformasyon İdaresi) göre ilerleyen yıllarda kuyu üretim ve geri kazanılabilir kaya gazı oranları 10 katına kadar artış gösterebilecektir (EIA, 2011).

2.2. Dünyada Kaya Gazı Rezervleri

Neredeyse bütün ülkelerde az ya da çok kaya gazının var olduğu düşünülmele birlikte kaya gazının dünya üzerinde yayıldığı alanın Fransa’nın topraklarının yarısı kadar olduğu tahmin edilmektedir (Tawonezvi, 2017:4). Ayrıca dünya kaya gazı rezervlerinin, petrol ve gaz rezervlerine oranla, yeryüzüne yoğunluk bakımından daha dengeli bir şekilde dağıldığı düşünülmektedir (Özalp, 2018: 2935). Tablo 1’de farklı ülkelerin teknik olarak geri kazanılabilir kaya gazı miktarları gösterilmektedir. ABD Enerji Enformasyon İdaresi tarafından 2013 yılında 137 kaya gazı formasyonu ve aralarında Türkiye’nin de yer aldığı 41 ülkeyi baz alan “Teknik Olarak Geri Kazanılabilir Kaya Petrolü ve Kaya Gazı Kaynakları” başlığında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilerle EIA tarafından hazırlanmış Tablo 1’de bazı ülkelerin teknik olarak geri kazanılabilir kaya gazı miktarları gösterilmektedir. Bölge olarak güncel teknik olarak geri kazanılabilir kaya gazı miktarları yayınlansa da ülke bazında güncel kaya gazı miktarlarına ulaşamamıştır.

EIA tahminlerine göre dünyadaki konvansiyonel olmayan gaz miktarı yaklaşık olarak kalan konvansiyonel gaz miktarına eşit bulunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2022’ de yayınladığı enerji görünümü raporu da bu bilgiyi destekler niteliktedir. Rapora göre dünya genelinde teknik olarak geri kazanılabilir konvansiyonel (geleneksel) doğalgaz miktarı 422 trilyon metreküp iken teknik olarak geri kazanılabilir ankonvansiyonel (geleneksel olmayan) gaz miktarı 383 trilyon metreküptür. Yine IEA (2022) raporuna göre yılı teknik olarak geri kazanılabilir kaya gazı miktarı ise 254 trilyon metreküptür.

Tablo 1. Farklı Ülkelerin Teknik Olarak Geri Kazanılabilir Kaya Gazı (*trilyon kübik feet)

Sıra	Ülke	Kaya Gazı Miktarı*
1	Çin	1,115
2	Arjantin	802

3	Cezayir	707
4	ABD	665
5	Kanada	573
6	Meksika	545
7	Avusturalya	437
8	Güney Afrika	390
9	Rusya	285
10	Brezilya	245
11	Türkiye	24

Kaynak: EIA, 2013.

Uluslararası Enerji Ajansı Dünya enerji görünümü 2022 raporuna göre; 2021 yılında dünyada toplam 4.149 milyar metreküp doğalgaz üretilirken bu tutarın 2.964 milyar metreküpü konvansiyonel gazlardan 1.178 milyar metreküpü ise konvansiyonel olmayan gazlardan oluşmaktadır. 2021 yılında üretilen kaya gazı miktarı ise 790 milyar metreküptür.

Teknik olarak geri kazanılabilir kaya gazının tespiti için farklı etkenler dikkate alınmaktadır. Bu faktörlerden biri söz konusu kayanın hidrolik kırılma için uygun mineral yapısına sahip olup olmadığıdır. Bununla birlikte serbest ve adsorbe edilmiş gaz konsantrasyonlarının bağıl hacimleri ve rezervuar basıncı gibi faktörler gaz rezervuarının geri kazanım durumunu etkileyebilmektedir. Başka bir deyişle çok karmaşık jeolojik yapıya ve yüksek kil hacmine sahip kaya gazı rezervleri geri kazanılabilir rezervler içinde değerlendirilmemektedir (Bellani, 2021: 2135).

Kıtalar açısından değerlendirildiğinde kaya gazının Kuzey Amerika kıtasında yoğunlaştığı bilinmektedir. Avrupa kıtasında ise Polonya ve Fransa dışında önemli kaya gazı kaynaklarının olmadığı fakat rezerv çalışmalarının devam ettiği bilinmektedir (Erbach, 2014). Asya kıtasında ise kaya gazı yoğunluğunun Çin ve Rusya ülkelerinde arttığı ayrıca Afrika kıtasında da zengin kaya gazı rezervlerinin var olduğu bilinmektedir (Karagöl ve Kavaz, 12: 2017).

Tablo 2: Bölge bazında geri kazanılabilir kaya gazı rezervleri, 2021 IEA (Trilyon Metre Küp)

Kuzey Amerika	Merkez-Güney Amerika	Avrupa	Afrika	Orta Doğu	Avrasya	Asya Pasifik	TOPLAM
81	41	18	40	11	10	53	254

Kaynak: IEA, World Energy Outlook, 2022.

İlk kaya gazı kuyusu 1981'de ABD'nin Texas eyaletinde açılmıştır fakat kaya gazının üretimine başlanması 1995 yılını bulmuştur. ABD, dünyadaki en yüksek kaya gazı üreten ülkesidir ve 2016'dan beri Avrupa ve Asya'ya kaya gazı ihraç etmektedir. Yüksek miktarda geri kazanılabilir kanıtlanmış kaya gazına sahip olan ABD'de şeyl gazı Pennsylvania, Louisiana ve Texas ülke genelindeki rezervlerde tam üretime sahiptir ve ayrıca ülke genelinde Marcellus, Eagle Ford ve Utica dolaylarında keşfedilen rezervlerden de üretime başlanmıştır (Bellani,2021: 2135; Gürbüz, 2015; Karagöl ve Kavaz, 2017: 12). ABD diğer ülkelere nazaran daha düşük maliyetle, büyük hacimlerde ve yüksek hızla üretebildikleri kanıtlanmış kaya gazı rezervlerine sahiptir. Bu sebeple kaya gazının elde edilmesi ABD doğal gaz üretiminde devrim yaratarak ABD'nin 2012' deki toplam doğal gaz üretiminin yüzde 40'ını kaplamış ve bu oran 2021 yılında 79' a çıkmıştır (EIA, 2022c). Ayrıca ABD 2015 yılında toplam gaz tüketiminin %50 sini 2016' da ise % 60'ını kaya gazından elde etmiştir. Bu veriler dikkate alındığında ABD'nin 2040 yılında toplam gaz tüketiminin % 70'inin kaya gazından karşılanacağı tahmin edilmektedir (Özalp, 2018: 2937).

ABD dışındaki bazı ülkelerde kendi topraklarındaki kaya gazı potansiyellerini değerlendirmeye başlamışlardır. Örneğin, Polonya, Nisan 2013 itibariyle olası kaya gazı arazisini kiralamış ve 43 test kuyusu açmıştır. Polonya, Batı Avrupa'da kaya gazı üretme konusunda yüksek bir potansiyele sahiptir (Bellani, 2021). 2014 yılında Arjantin, Avustralya, Çin, İngiltere, Meksika, Rusya, Suudi Arabistan ve Türkiye kaya gazı oluşumlarında keşif çalışmaları yapmaya başlamışlardır (EIA, 2014). Yüksek enerji talebinin olması sebebiyle Hindistan da kaya gazı arama çalışmalarına başlamıştır. Fakat kaya gazı üreten diğer ülkelere kıyasla üretim oldukça düşük miktarlardadır. Bununla birlikte, düşük kaya gazı içeriğine sahip çeşitli başka ülkeler de vardır. Bu veriler yeni rezervlerin keşfedilmesiyle değişmeye devam etmektedir (Bellani, 2021: 2139).

ABD dışında Çin, Kanada ve Avustralya, Arjantin, Meksika, Cezayir kaya gazı konusunda en çok rezervi bulunan ülkeler arasındadır. Tahmini kaya gazı rezervi oranlarında, ilk sırayı Çin almaktadır (Öztürk ve Durak, 2022: 21). Zengin rezervlerinin olması, kaya gazının petrol ve doğal gaz gibi popüler kaynaklara dönüştürülebilmesi gibi artıları sebebiyle kaya gazı Çin'in popüler enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Öztürk ve Durak, 2022: 21-22). Çin, 2016 itibariyle kuyu açılımlarında artış göstererek üretimini devam ettirmektedir. Buna rağmen Çin kaya gazı üretiminin yüksek ve pahalı teknoloji gerektirmesi, rezervlerin coğrafi olarak elverişli noktalarda yer almaması, çevresel tahribatları sebebiyle ABD ve Kanada gibi yüksek hacimli üretime geçememiştir (Bellani, 2021, 2137). Fakat yine de Çin'deki kaya gazı üretimi son birkaç yıldır düzenli artış göstermekte ve bu artış 2017 yılından bu yana %21 oranında gerçekleşmiştir (EIA, 2022b).

Avustralya'nın sahip olduğu kaya gazı rezervleri tipik olarak uzak bölgelerde bulunmaktadır ve kaynakları çıkarma işlemi hem ekonomik hem de politik açıdan zordur, bu nedenle Avustralya'nın şu anda ticari kaya gazı çıkarma işlemi bulunmamaktadır (Bellani, 2021:2137).

Dünya genelinde ABD, Çin, Kanada ve Arjantin'in kaya gazı üretim faaliyetleri olduğu bilinse de ilerleyen dönemlerde Meksika ve Cezayir gibi ülkelerin de kaya gazı üretim faaliyetlerine başlaması beklenmektedir. Bu ülkelerin 2040 yılına kadar Dünya kaya gazı arzının %70'ini sağlayabileceği tahmin edilmektedir (Öztürk ve Durak, 2022: 21-22). Kaya gazı ile ilgili bir diğer 2040 yılı öngörüsü ise kaya gazı üretiminde ABD' nin yine ilk sırada yer alması ikinci sırayı ise Çin'in almasıdır (Özalp, 2018). Çin'in en son Beş Yıllık Planı (2021 - 2025) kaya gazı, kömür yatağı metan, sıkı gaz ve diğer geleneksel olmayanlar da dahil olmak üzere doğal gazda yerli üretimi artırmaya odaklanıyor. 2030 yılına kadar Çin'in, en büyük doğal gaz üreticileri sıralamasında ABD, Rusya, İran ve Katar'ın yanı sıra ilk beşte yer alacağı düşünülmektedir (IEA, 2022: 379).

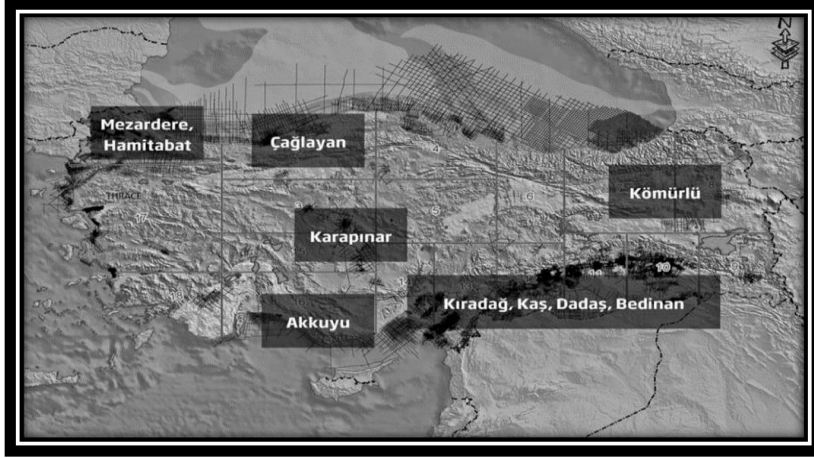
2.3. Türkiye' de Kaya Gazı Rezervleri

Türkiye ihtiyacı olan enerjinin büyük bir kısmını ithal eden yani enerjide ithalat bağımlısı bir ülkedir. Bu sebeple enerji meselesinde arayış içinde ve farklı stratejiler geliştirme noktasında ilerlemektedir (Karşlı, 2015). Türkiye'nin enerji açığının kapatılmasında kaya gazının kritik bir kaynak olduğu düşünülmektedir (Elmastaş, 2015). Türkiye'de kaya gazının geliştirilmesinin enerji ithalatını azaltması beklenirken ülkenin bir gaz ihracatçısı olması ise beklenmemektedir (Erbach, 2014:4).

Türkiye' de bulunan kaya gazı rezervlerini arama çalışmaları TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmalar için TPAO ile yabancı işletmeler arasında ortaklıklar yapılmıştır. İlk olarak Trakya bölgesinde TPAO ve ABD'li Halliburton şirketiyle, Güneydoğu Anadolu bölgesinde ise TPAO ve Shell ortaklığında kaya gazı arama çalışmaları başlatılmıştır. Türkiye'deki kaya gazı rezervleri ile ilgili farklı rakamlar zikredilmektedir. ABD'nin 2013 yılında yayınladığı 41 ülkeyi kapsayan kaya gazı değerlendirme raporunda Türkiye de incelenmiş ve Türkiye'deki geri kazanılabilir kaya gazı rezervinin 650 milyar metreküp olduğu belirtilmiştir (Gürbüz, 2015; Karşlı, 2015).

Her kayada kaya gazı bulunmayacağı gibi her kaya gazı bulunan kayadan da kaya gazı çıkarmak ekonomik ve teknik anlamda mümkün olmamaktadır. Söz konusu kayaların kayaç yapısı, derinlik ve kalınlığı vb. faktörler kaya gazının çıkarılmasını etkileyen faktörlerdir. Türkiye' deki kaya gazı rezerv yapısı incelendiğinde çıkarılabilir niteliğe sahip olduğu görülmektedir (Aydoğmuş, 2022; Karşlı, 2015). Türkiye'de kaya gazı potansiyeline sahip alanların başında Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Trakya Bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler dışında Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi, Erzurum, Toroslar, Sivas ve Tuz Gölü civarı, Doğu Anadolu, Trakya, Karadeniz, potansiyel kaya gazı sahaları olarak gösterilmektedir (Yıldız, 2014: 25-26). Güneydoğu Anadolu Havzasında Dadaş Formasyonu, Trakya Havzasında Hamitabat kayası kaya gazı bakımından en önemli sahalar olarak gösterilmektedir. Hamitabat kayasında 113 milyar m³ ve Mezardere kayasında da 57 milyar m³ geri kazanılabilir kaya gazı varlığı belirlenmiştir. Ayrıca Ankara Nallıhan, Bolu Mengen

ve Konya Karapınar kaya gazı potansiyeline sahip sahalar olarak düşünülmektedir (Aydoğmuş, 2022).



Şekil 3: Türkiye’ de Teknik Olarak Kaya Gazı Üretilebilecek Alanlar
Kaynak: Karlı, 2015:18.

2.4. Kaya Gazının Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Kaya gazının çevresel, toplumsal ve ekonomik etkileri hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Literatür incelendiğinde bazı kesimlerin veya devletlerin kaya gazının olumlu etkilerini vurguladıkları görülürken bazılarının ise olumsuz etkileri üzerinde durdukları görülmektedir.

Kaya gazı enerjisi özellikle enerji yoksulu ülkeler nazarında oldukça önemli bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte endişeler de yok değildir. Başta İngiltere olmak üzere birçok Avrupa ülkesi kaya gazının çevreye olan zararları üzerinde durmaktadır. Buna göre kaya gazı üretimini esnasında kullanılan suyun içme sularına karışarak insan sağlığını tehdit etmesi, hidrolik kırılma işleminin depremlere sebep olabileceği, fosil bir yakıt olan kaya gazının yüksek miktarda karbondioksit içermesi endişelere yol açmaktadır. Kuyu sondajı, içme suyunun çekildiği tatlı su akiferlerinden geçmektedir. Kaya gazı üretiminden çıkan su, tatlı su ve toprağı kirletebilmektedir. Hem üretim esnasında hem de üretim tamamlandıktan sonra kuyu bütünlüğü, sıvıların sızmaması için büyük önem arz etmektedir. Bazı kaçak gazlar da kuyudan atmosfere kaçarak havayı kirleterek insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sızıntılar insan hataları, teknik hatalar ya da toprak hareketi sebebiyle oluşabilmektedir (Tawonezvi, 2017: 5). Kaya gazının diğer bir dezavantajı ise üretim esnasında çok fazla kara taşıtının kullanılması sebebiyle trafik sorununun ortaya çıkmasıdır. Hidrolik kırılma işlemi, öncelikle tanker kamyonlarla bir kuyuya getirilen ve kuyudan çıkarılan büyük miktarda su gerektirmektedir. Bazen bir kuyuyu geliştirmek (kara yolu araçlarının çoğunlukla

kırsal yollardan ve küçük kasabalardan geçmesi ile) 1.000'den fazla sefer gerektirebilmektedir (Muehlenbachs ve Krupnick, 2014).

Hidrolik kırılma ile üretimi gerçekleştirilen ve karmaşık süreçleri olan kaya gazının çıkarılması geleneksel gaza kıyasla daha maliyetli olmaktadır. Ayrıca hidrolik kırılma için gerekli suyun temini ve bertaraf edilmesi yer altı sularının kirlenmesi ve tetiklenen deprensellik sebebiyle kaya gazının üretimi her yerde gerçekleştirilememektedir (Bellani, 2021: 2139).

Kaya gazı tüm bu olumsuzluklarla birlikte olumlu yönleri de sahiptir. Kaya gazına sahip olan devletler ekonomik rekabet avantajı sağlamaktadırlar. Örneğin ABD'de kaya gazı devrimi ile enerji fiyatları düşmüş ve sanayide üretim için gerekli olan enerji daha ucuza mal edilmiştir. Sanayideki bu olumlu hava istihdama yansımış ve kaya gazı operasyonlarında binlerce insan çalışmaya başlamıştır. Örneğin; ABD'nin kaya gazının yoğun olarak çıkarıldığı Pittsburgh Bölgesi kaya gazı çıkarılmaya başlamadan önce % 50 oranında göç veren bir yer iken kaya gazı çıkarılmaya başladıktan itibaren istihdam edilen kişi sayısının 238 bini aştığı görülmektedir (Özalp, 2018: 2937). ABD' de yılda toplam 469.000 kişi kaya gazı sektöründe istihdam edilmektedir (Mukherjee, 2020).

Öte yandan kaya gazı rezervlerine sahip olmasına karşın 2011'de Fransa'da, 2017'de Almanya'da, 2019'da İngiltere'de kaya gazı çıkarma faaliyetleri yasaklanmıştır (Akgül, 2022). Avrupa ülkelerinde kaya gazına karşı temkinli bir yaklaşım olmakla beraber Rusya'ya olan doğalgaz bağımlılığının biraz da olsa azaltılabileceği için kaya gazı kaynaklarının değerlendirilmesiyle ilgili başlangıç çalışmaları yapılmaktadır (Sevim, 2014: 54). Günümüzde Avrupa'da doğalgaz özelinde kendini gösteren enerji krizi dikkate alındığında kaya gazı daha da fazla önem arz etmektedir. Yeterli teknolojilerin gelişmesi ile birlikte kaya gazı üretimi kolaylaşacak ve maliyeti azalacaktır. Bu durum sonucunda enerji arzında tek el durumundaki ülkelerin tekelinin kırılması beklenmektedir (Akgül, 2022).

Kaya gazı ile ilgili sorunlar üretim sürecinin en başından beri var olmuştur. Uygun ve doğru önlemlerin alınması, teknolojinin gelişmesi ile sorunların önüne geçilebileceği ve çevre üzerinde daha az etki bırakarak üretimin verimli bir şekilde yapılabileceği düşünülmektedir (Bellani, 2021: 2139). Fakat çıkarma işlemi uygun şekilde yönetilmezse çevreye ve sağlığa yönelik risklerin artacağı düşünülmektedir (Tawonezvi, 2017:5). Ayrıca kaya gazının diğer fosil yakıtlara nazaran daha az sera gazına yol açtığı bilinmektedir. Bu sebeple kaya gazı iklim değişikliği bağlamında önemli ve olumlu bir etkidir (Sofuoğlu, 2014: 55). Kaya gazının tümüyle çevre dostu bir enerji türü olduğu söylenemese de diğer fosil yakıtlara nazaran daha iyi bir konumdadır. Dünyada toplam enerji toplam enerji talebinde kömür ve petrol hala üst sıralarda olup bu durumun yakın tarihte değişmeyeceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının da kısa vadede toplam enerji talebini karşılayacak seviyeye ulaşamayacağı düşünüldüğünde kaya gazı bu iki enerji grubu arasında bir geçiş yakıtı olarak değerlendirilmektedir. Bu iki enerji grubu arasındaki geçişin, kaya gazı ile başarılı bir şekilde yapılması iklim değişikliği ile mücadele açısından oldukça iyi bir mesafe kat edilmesini sağlayacaktır.

3. KAYA GAZI LOJİSTİĞİ

Firmaların içinde buldukları rekabet ortamı, rekabet edilen firma sayısının her geçen gün artması ve niteliklerinin değişmesi sebebiyle gittikçe daha zorlu bir hale gelmiştir. Bu sebeple firmalar hedef müşterilere ulaşmak ve pazar paylarını genişletmek dolayısıyla karlarını arttırmak amacıyla uluslararası pazarlara açılmışlardır. Uluslararası pazarlarda genişleme ile birlikte uluslararası lojistik faaliyetlerine ihtiyaç duyulmuştur (Lambert ve Stock, 1999: 31). Uluslararası lojistik faaliyetleri, dış ticarete konu olan malların ülke dışına gönderilmesi esnasında gerçekleşen tüm faaliyetlerin önemli ve ayrılmaz bir parçasıdır. Uluslararası lojistik kalkınmada, dış ticarete, bölgesel entegrasyon ve dolayısıyla küreselleşmede çok önemli bir görev üstlenmektedir (Çancı ve Erdal, 2003).

Enerjilerin ülkeler arasında hareket etmesi için tıpkı diğer ürünler gibi uluslararası lojistik faaliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynakları ile birlikte konvansiyonel olmayan enerji kaynaklarının da uluslararası lojistiği yapılmaktadır. Bu geleneksel olmayan enerji kaynaklarından biri olan kaya gazının uluslararası alanda lojistiği genel olarak boru hattı ve denizyolu ile gerçekleştirilmektedir.

Coğrafi engeller, yüksek maliyet vb. gibi olumsuz durumlar nedeniyle istenilen her noktaya boru hatları kurulamamaktadır. Hedef pazarlara ulaşımında boru hatlarının olmaması ya da mevcut boru hatlarının kullanılmak istenmemesi durumunda kaya gazı başka bir kanal olan deniz yolu kullanılarak da dünya pazarlarına sunulabilmektedir. Deniz yolu ile satışa sunulan kaya gazı sıvılaştırılarak (LNG) tankerlere yüklenmektedir (Kaynak, 2022: 80).

Doğalgaz, sıvılaştırılmış doğalgaz LNG (Liquefied Natural Gas: Sıvılaştırılmış doğalgaz) olarak kullanıma sunulduğu gibi sıkıştırılmış doğalgaz CNG (Compressed Natural Gas: Sıkıştırılmış doğalgaz) olarak da ticari kullanıma sunulabilmektedir. LNG, doğalgazın -162°C 'nin altında soğutulmasıyla sıvılaştırılarak taşıma birimlerine yüklenmesidir. LNG ile yüksek miktardaki doğalgaz, düşük basınçlar altında hacmi yaklaşık 600 kez küçültülerek sıvı halde saklanabilmekte ve taşınabilmektedir. Bu özellik sayesinde doğalgazın boru hattı ile ulaşmasının coğrafi ya da ekonomik olarak mümkün olmadığı noktalara tankerlerle taşınmasına olanak sağlamaktadır (Bayraç, 2018: 15). LNG ile doğalgaz lojistiği boru hattı ile yapılan lojistiğe kıyasla yüksek düzeyde yalıtıma ihtiyaç duyması, gazın sıvı halde muhafaza edilebilmesi için özel soğutma sistemlerinin gerekmesi nedenleriyle daha maliyetli olabilmektedir. Fakat yine de toplam doğalgaz talebindeki aşırı, sürekli artış ve boru hatları ile taşımacılıkta meydana gelen güvenlik/politik sorunlar ve altyapı yatırımlarındaki gecikmeler tanker taşımacılığını vazgeçilmez hale getirmektedir (Bayraç, 2018: 15). Bununla birlikte boru hattı sisteminin kurulması oldukça maliyetli olup bu maliyetin karşılanabilmesi için üretici ve alıcı arasında uzun vadeli sözleşmelerin imzalanması gerekmektedir. Bu durum da doğalgaz tedarikçisi ülkeyi

monopol duruma getirerek alıcı tarafı dezavantajlı noktaya getirmektedir (Kantörün, 2010: 90).

CNG (sıkıştırılmış doğalgaz) taşımacılığı ise; ulusal taşıma veya şehir içi dağıtım sistemlerinden gaz olarak ya da LNG terminallerinden sıvılaştırılmış olarak alınan doğalgazın, yaklaşık 200-500 bar gibi yüksek basınçla hacmi küçültülüp taşıma ünitesine yüklenerek ihtiyaç noktasına sevk edilmesi ile meydana gelmektedir (Bayraç, 2018: 15).

Lojistik işlemlerinden kaynaklanan maliyetlerin büyük bir kısmını depolama (%25) ve taşıma (%50) işlemleri kaplamaktadır (Kayalı, Yerli ve Onur, 2020). Dolayısıyla tüm lojistik faaliyetler içerisinde bu iki faaliyet üzerinde önemle durulması yerinde olacaktır.

3.1 Depolama

Doğal gaz uygun koşullar seçilmesi halinde çok uzun süreler depolanabilmektedir. İstenilen yere ulaştığında tamamı kullanılmayacağı gibi devletler, uluslararası krizlerde ilerleyen dönemlerde kullanmak üzere bu enerji kaynağını depolayabilmektedir. Doğal gazın depolanması gaz ve sıvılaştırılmış halde olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır (Beşergil; Guo ve You, 2015).

Gaz Halinde Depolama

Doğal gaz genellikle doğal yeraltı rezervuarlarında depolanmaktadır. Üç farklı şekilde yeraltı deposu bulunmaktadır. Bunlar depolar; boşalmış gaz rezervuarları, su rezervuarları ve tuz mağaraları şeklindedir (Beşergil; Guo ve You, 2015). Yeraltı depoları önce gazın depolanabilmesi için uygun hale getirilmekte ardından gaz buraya enjekte edilmektedir. Yeraltı depolarının daha fazla gaz alması için gazın basıncı arttırılarak sıkıştırılması sağlanmaktadır (Beşergil). Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Tesisi, ülkemizde bulunan tuz mağaralarına örnek olarak verilebilir (Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi, BOTAŞ 2023).

Sıvılaştırılmış Halde Depolama

Yeraltı depolamasından farklı olarak doğalgaz, sıvılaştırılmış halde de (LNG) depolanmakta ve taşınmaktadır. Normalde gaz halinde olan doğalgaz soğutma işlemi yapılarak sıvılaştırmakta ve bu sayede daha az yer kaplamaktadır (Beşergil). Marmara Ereğlisi LNG terminali ülkemizde bulunan sıvılaştırılmış depolamaya örnek olarak verilebilir (Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi, BOTAŞ 2023).

3.2. Taşıma

Kaya gazı kaynakları dünyanın birçok yerinde bulunmakla birlikte sadece belirli ülkeler (Çin, ABD, Kanada) bu kaynakları çıkarabilmiştir. Çıkarıldıktan sonra, rafine edilmeleri, işlenmeleri ve ürün olarak kullanılmaları için taşınmaları, depolanmaları ve elleçlenmeleri gibi birçok lojistik işlemden geçmeleri

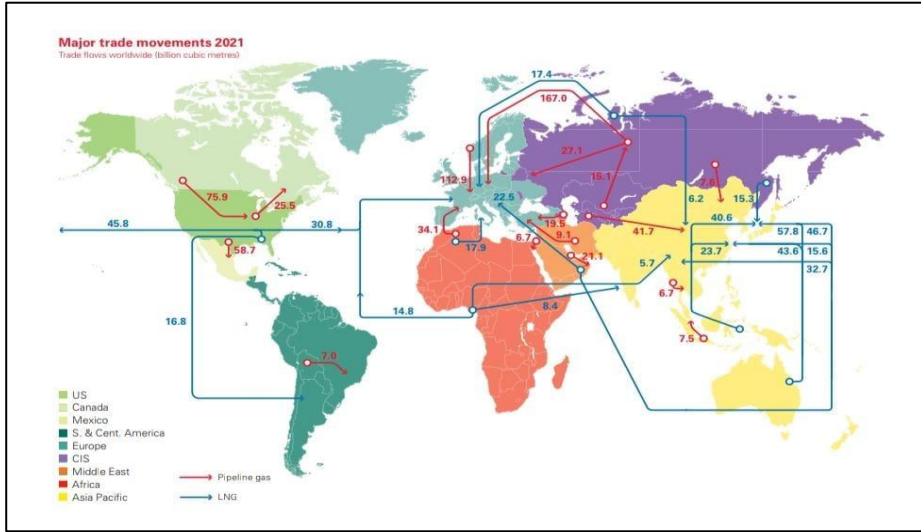
gerekmektedir. Kaya gazı ve kaya petrolünün kaynaklarının taşınması boru hattı, demiryolu, denizyolu ve karayolu ile gerçekleştirilmektedir (Gao ve You, 2015). 2013 yılı itibariyle, teknik olarak geri kazanılabilir kaya gazı kaynaklarına sahip ülkeler başlıca ülkeler Çin, Arjantin, Cezayir, ABD, Kanada, Meksika, Avustralya ve Güney Afrika'dır (EIA, 2013). Bununla birlikte, bu ülkeler arasında, ABD ve Kanada, büyük ölçekli kaya gazı üretimi yapan ülkeler olmuşlardır (Smith ve Murphy, 2016:130).

Kaya gazı tedarik zincirinin en önemli halkası başka bir deyişle söz konusu halkaların bağlantısını/ iletişimini sağlayan en önemli işlemler lojistik destek faaliyetleridir. Bunun için kaya gazı çıkarılan kuyu sahasının çevresinde Şekil 4'te gösterildiği gibi bir lojistik destek alanı oluşturulmaktadır. Burada gerekli tüm makina ve ekipmanlar ile birlikte kum ve kimyasallar operasyon için hazır bulundurulmaktadır (Yıldız, 2014).



Şekil 4. Kaya Gazı İşletmesi Lojistik Destek Alanı

Kaynak: Yıldız, 2014.



Şekil 5. Dünya Çapında Doğalgazın Boru Hattı ve Denizyolu ile Akış Haritası
Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2022, 37.

Yukarıdaki haritada (Şekil 5) 2021 yılında dünya genelinde LNG (sıvılaştırılarak denizyolu ile) ve boru hattı ile gerçekleştirilen doğalgaz ticaret akışı gösterilmektedir. Dünya genelinde 2021 yılında ticareti yapılan toplam LNG miktarı 516,2 milyar metreküptür. LNG ticaret hacmi bir önceki yıla göre % 5,6 oranında artış göstermiştir. En büyük LNG ihracatçısı 2021 yılı verilerine göre 108,1 milyar metreküp ihracat tutarı ile Avusturalya iken ikinci sırada 106,8 milyar metreküp ile Katar 3. Sırada ise 95 milyar metreküp LNG ihracatı ile ABD yer almaktadır. 2021 yılında boru hattı ile dünya genelinde yapılan doğalgaz ticaretine bakılacak olursa en fazla arzı sağlayan ülke 201,7 milyar metreküp ile Rusya olup bu sıralamayı 112,9 milyar metreküp ile Norveç ve 84,3 milyar metreküp ile ABD takip etmektedir.

LNG işlemi temel olarak 3 adımdan oluşmaktadır. İlk adım gazın kaynaktan kazanılması, ikinci adım ise çıkarılan gazın sıvılaştırılarak ilgili taşıma birimine yüklenmesi, son aşama ise ihtiyaç sahasında yeniden gazlaştırılarak tüketime uygun hale getirilmesidir (Öztürk ve Durak, 2022: 26). ABD LNG ihracatı için gerekli alt yapıya önceden sahip bulunmaktaydı. Uluslararası piyasalarda önemli bir kaya gazı oyuncusu olmadan önce doğalgaz ithalatının artacağını düşünerek LNG alt yapısını geliştirmiştir. Bu geliştirilmiş sıvılaştırılmış doğalgaz ithalat terminalleri ülkede kaya gazının üretilmesi ve kullanılması ile birlikte atıl durumda kalmaktaydı. Bu sebeple LNG ithalat terminalleri kaya gazının uluslararası pazarlara sürülebilmesi için LNG ihracat terminallerine dönüştürülmüştür. ABD'nin LNG ihracat lojistiği hazır alt yapı avantajı sebebiyle dünyanın diğer ülkelerine kıyasla maliyet avantajına sahiptir (Erbach, 2014: 2).



Şekil 6. ABD Kaya Gazı Sahalarında Sondajdan Üretilen Kaya Gazının Depolandığı Tanklar: Marcellus (sol) ve Utica (sağ)

Kaynak: USGS (United Survey Geological Survey), 2022; Yıldız, 2014.

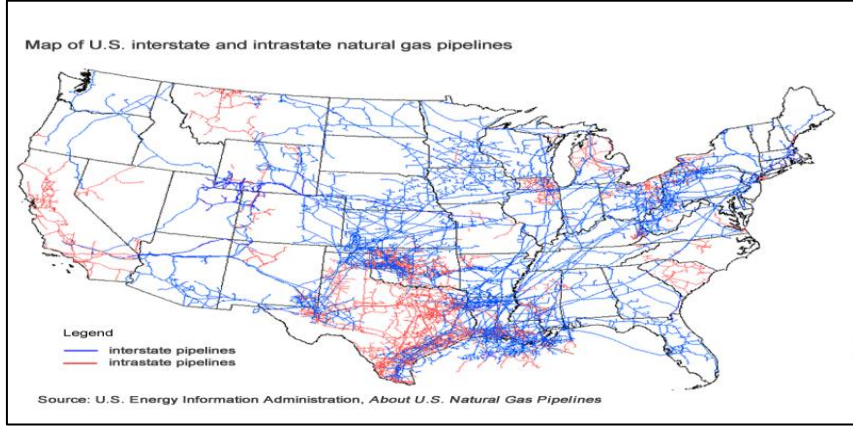


Şekil 7. Tokyo Körfezi'ndeki bir LNG tankeri

Kaynak: Philips, 2019.

ABD, 2016'dan beri Avrupa ve Asya'ya kaya gazı ihraç etmektedir (Bellani,2021: 2135; Gürbüz, 2015, 2015; Karagöl ve Kavaz, 2017: 12). Amerika'nın kaya gazı devrimi tüm dünyaya yayılan ihracata yol açmıştır ve Japonya'nın nükleer felaket sonrasındaki enerji ihtiyaçlarının çözülmesine yardımcı olmuştur. Kaya gazı 2018 yılında, Pennsylvania'dan Chesapeake Körfezi'ndeki bir ihracat terminalinden 20 farklı ülkeye sevk edilmiştir. Bu gemilerin çoğu Japonya'ya gitmiştir. Şekil 7'de Tokyo Körfezi'ndeki bir LNG tankerinin, kargosunu Japonya'nın Yokohama Limanı'ndaki bir yeniden gazlaştırma tesisinde boşalttığı görsel verilmiştir (Phillips, 2019).

Kaya gazını büyük miktarda üreten ABD, bu önemli enerji türünde önemli ihracat rakamlarına ulaşmakla birlikte, üretiminin önemli bir kısmını ülke içinde tüketmektedir (Öztürk ve Durak, 2022). ABD' de ülke içinde kaya gazının lojistiği temel olarak boru hattı taşımacılığı ile mevcut ve yeni boru hattı alt yapısı kullanılarak (eyaletler arası ve eyalet içi) gerçekleştirilmektedir (Smith ve Murphy, 2016:130).



Şekil 8: ABD'nin Doğalgaz Boru Hattı Ağı Haritası

Kaynak: EIA, 2022a.

Ayrıca kaya gazı Atlantik ve Körfez kıyılarında belirli yerlerden tankerlerle (denizyolu) taşınmaktadır. Amerika ile birlikte Kanada da demiryolu ve karayolu kullanılarak da kaya gazı taşımacılığı yapılmaktadır (Smith ve Murphy, 2016:132). Kaya gazı ve petrolü kaynaklarının ABD ve Kanada'nın çeşitli bölgelerinde taşınmasına yönelik ihtiyaç artmaktadır. Bu durum mevcut alt yapının (boru hattı) bu artışı karşılayabilecek kapasitesinin olup olmadığı tartışma konusudur. Bu yeni tedarik kaynaklarının eskiyen alt yapıda uygulanabilirliği de endişe konusu olmaktadır. ABD'de çıkarılan kaya gazı ve petrol kaynaklarının mevcut ihtiyacı karşılayamaması nedeniyle demiryollarının bu kaynakları taşıma kapasitelerinin artırılması beklenmektedir (Smith ve Murphy, 2016:138-139).

Kaya gazının gelecekteki ihracat hattı güzergahı Kanada ve Meksika'dan Asya ve Avrupa'ya olacak şekilde tahmin edilmektedir (Smith ve Murphy, 2016:130).

Dünya genelinde kaya gazı üretim teknolojilerinin gelişmesi, ülkelerin kendi kaya gazı potansiyellerini keşfetme çalışmaları toplam kaya gazı üretiminde bir artışa sebep olmuştur. Çok açıktır ki bu artış kaya gazı lojistik faaliyetlerinin artışıyla da beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla ilerleyen yıllarda kaya gazı kullanan ülke sayısının daha da artacağı düşünülmektedir. Kaya gazının arz alanının genişlemesinin dünya enerji piyasaları üzerinde önemli etkileri olmuştur. ABD'nin kaya gazını uluslararası pazarlara sürmesi Orta Doğu ve Rusya'nın enerji piyasası üzerindeki baskın tekelleri önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca ABD'nin kaya gazını uluslararası piyasada satabilmesi özellikle petrol üzere uluslararası enerji fiyatları üzerinde de düşürücü bir etki yarattığı düşünülmektedir (Çaşkurlu, 2022; Erik ve Koşaroglu, 2016). Tüm bunlarla beraber ABD'nin Avrupa'ya yaptığı doğalgaz ihracatının ana hedefinin Avrupa'nın Rus doğalgazına olan bağımlılığını azaltmada yardımcı olmanın ötesinde Avrupa'nın önde gelen doğal gaz tedarikçisi olmak istemesi ve bu konuyu bir dış politika hedefi olarak görmesi olduğu bilinmektedir (Sıvış, 2019).

5. Sonuç ve Öneriler

Enerji talebinin sürekli artması mevcut enerji kaynaklarının bu artışı karşılayamaması arayışları geleneksel olmayan enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Uluslararası literatürde “shale” adı verilen kaya gazı, kil, kuvars ve kalsit mineral parçacıklarından oluşan tortul kayacın küçük gözeneklerinde tutulmuş halde bulunan bir çeşit doğalgazdır. Kaya gazı rezervleri dünyanın birçok bölgesine yayılmakla birlikte en büyük çıkarılabilir kaya gazı rezervlerinin Kuzey Amerika bölgesinde olduğu bilinmektedir. Ülkemiz de ise kaya gazı yoğunluklu olarak Trakya ve Doğu Anadolu havzalarında bulunduğu tahmin edilmektedir.

Uzun yıllardır varlığından haberdar olunan kaya gazı kaynaklarının ilk üretimine geçilmesi 1995 yılını bulmuştur. İlk üretim ABD tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaya gazının ilk ihracatını yapan ülke de ABD'dir. Yüksek miktarlarda çıkarılabilir kaya gazı kaynaklarına sahip olan ABD üretiminin büyük bir kısmını içeride tüketmekle birlikte Japonya, Brezilya ve İskoçya kaya gazı ihracatı yaptığı ülkeler arasındadır.

Kaya gazının enerji kaynağı olarak kullanımında hem olumlu hem de olumsuz birçok etkisi bulunmaktadır. Kaya gazının kömür veya petrole göre daha az sera gazı salgıladığı bilinmektedir. Tamamen çevre dostu bir enerji kaynağı denilememekle birlikte diğer fosil yakıtlardan (iklim değişikliği noktasında) daha iyi bir noktada denilebilmektedir. Bir başka deyişle kaya gazı çevreci bakış açısıyla ilk bertaraf edilecek enerji türü arasında yer almamaktadır. Dolayısıyla kaya gazı, yenilenemeyen kaynaklardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte yardımcı olabilecek ve diğer fosil yakıtlardan çok daha az karbon emisyonuna sahip olan "geçiş yakıtı" olarak görülebilmektedir. Dünyanın ihtiyacı olan enerjinin tamamını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabilmesi için kat edilmesi gereken daha çok yol vardır. Yenilenebilir enerji çeşitlenene, depolama teknolojileri ve akıllı şebeke ağı gelişene kadar, doğalgaz enerji türleri yedek olarak görülmektedir.

Kaya gazı ülke içerisinde deniz, demir, kara ve boru hattı yolu ile taşınırken kaya gazının uluslararası arenada lojistiğinde genellikle boru hattı ve denizyolu taşımacılığı kullanıldığı görülmektedir. Kaya gazı sıvılaştırılarak (LNG) hacmi küçültülüp taşıma araçları ile ihtiyaç noktalarına ulaştırılabilmektedir. Kaya gazının depolanmasında ve taşınmasında LNG çok önemli bir avantajdır. Yani kaya gazının sıvılaştırılarak depolama birimlerine alınması ve daha sonraki dönemlerde kullanılması sağlanmaktadır. Böylece fiyat dalgalanmalarından ve uluslararası krizler vb. sorunlar sebebiyle ortaya çıkabilecek arz kesintilerinden korunma sağlanabilmektedir. Denizaşırı lojistikte kaya gazı sıvılaştırılarak tankerlere doldurulmakta ve denizyolu ile uluslararası taşımacılığı yapılmaktadır. Sıvılaştırılarak taşınan kaya gazı ihtiyaç noktasına geldiğinde uygun tesisat yardımıyla yeniden gazlaştırılarak tüketime sunulmaktadır. LNG sektörünün sürekli gelişmesi kaya gazının daha fazla pazara ulaşmasına ve dolayısıyla dünya enerji politikalarını etkilemesine sebep olmaktadır.

ABD'nin kaya gazını üretip hem iç tüketimde kullanması hem de bu enerjinin ihracatını yapması enerji fiyatlarına aşağı yönlü bir ivme kazandırmıştır. ABD'nin enerji ithalatçısı konumundan enerji ihraç eden bir konuma gelmesi ve bu noktada elde ettiği politik avantajlar diğer ülkelerin de kaya gazı enerjisi üzerine odaklanmalarını sağlamıştır. Ülkelerin kendi kaya gazı rezervlerini ekonomiye kazandırmaları sadece küresel enerji fiyatlarının düşmesine değil aynı zaman da bazı ülkelerin ithalat bağımlılıklarının son bulmasına ve hatta ihracatçı konuma gelmelerine yardımcı olabilecektir. Fakat bu durumda büyük enerji ihracatçısı ülkeler için aynı olumlu senaryo geçerli olmayacaktır. Başka bir deyişle kaya gazı arzının artması Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı ülkeler için siyasi ve sosyo-ekonomik açıdan olumlu etki yaparken Rusya ve Orta Doğu ülkeleri gibi büyük enerji ihracatçısı ülkeler için tam tersi bir etkiye sebep olacaktır.

Yaygın doğalgaz dağıtım ağı ve yatırımı kolaylaştırıcı yöndeki mevzuatın kaya gazı üretimini teşvik edeceği ve dolayısıyla kaya gazının lojistik faaliyetlerinin dünya genelinde artacağı düşünülmektedir. Lojistik genel olarak taşımacılıkla aynı anlamda kullanılsa gerçekte lojistik, birbirini takip eden bir yığın entegre işlem demektir. Kaya gazı ile ilgili çalışmalar genel olarak kaya gazının ekonomik etkileri ve üretim maliyetleri üzerine durmuştur. Fakat kaya gazı, üretildikten sonra doğru kurgulanmamış bir lojistik operasyonu ile arz edilmez ise yüksek maliyetlere, çevresel tahribatlara ve can kayıplarına (tehlikeli madde olması sebebiyle) yol açabilecektir. Bu çalışma kaya gazının lojistik faaliyetlerine uluslararası uygulama örnekleri ile açıklama sunmakta temin noktasından tüketim noktasına kadar olan operasyonel süreci genel olarak anlatmaktadır. Buradan hareketle bu çalışma ilerleyen zamanlarda artacağı düşünülen kaya gazı lojistik faaliyetleri için uygulayıcılara ve karar vericilere bilgilendirici açıklamalar sunmaktadır. Bu çalışmada; kaya gazının çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerinden bahsedilerek bir ülkenin kaya gazı enerjisi ile ilgili belirleyeceği stratejilerin doğru oluşturulmasına ve lojistik faaliyetlerinin uygun bir şekilde tasarlanması ve uygulanmasına katkı sağlanmak istenmiştir.

Literatürdeki çalışmaların çoğu kaya gazı üretim tesislerinin tedarik zinciri ile ilgili olup daha çok konuyu mühendislik bakış açısıyla ele almıştır. İlerleyen çalışmalarda hem önemli bir enerji kaynağı aynı zamanda da tehlikeli bir madde olan kaya gazının lojistik faaliyetleri bir bütün olarak derinlemesine incelenebilir. Bununla birlikte tüm lojistik serüveni boyunca kaya gazının etki alanındaki kişiler, kurumlar kısacası tüm paydaşlar için risk değerlendirme çalışmaları yapılabilir ve politika önerilerinde bulunulabilir. Bu çalışmaların sadece kaya gazı üretim tesisi ile sınırlı kalmaması son tüketim noktasına kadar ve hatta tüketim noktasından üretim noktasına geri dönüşü de dahil olmak üzere (tersine lojistik işlemleri) tüm lojistik süreci boyunca faaliyetlerin ele alınmasının literatüre oldukça önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahışalı, M. A. (2013). Kaya Gazı: Dünya Enerji Düzenine Etkileri ve Türkiye Potansiyeli. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12.
- Akgül, B.İ. (2022). Avrupa'nın yasaklı enerjisi: Kaya gazı. Erişim Tarihi: 13.12.2022, <https://www.trthaber.com/haber/dunya/avrupanın-yasakli-enerjisi-kaya-gazi-713846.html>.
- Asala, H. I., Chebeir, J., Zhu, W., Gupta, I., Taleghani, A. D., ve Romagnoli, J. (2017, Ekim). A machine learning approach to optimize shale gas supply chain networks. *In SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. OnePetro.
- Aydoğmuş, A. (2022). Kaya Gazı ve Dünyanın Enerji Geleceğinde Yeri. Erişim Tarihi: 14.12.2022, <http://www.geoced.org/kaya-gazi/>.
- Bayraç, H. N. (2018). Uluslararası doğalgaz piyasasının ekonomik yapısı ve uygulanan politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 13(3), 13-36.
- Bedir, Y. (2013). Uluslararası Doğal Kaynak Taşımacılığında Yeni Yönelimler ve Türkiye'nin Stratejik Konumu. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Bellani, J., Verma, H. K., Khatri, D., Makwana, D., ve Shah, M. (2021). Shale gas: a step toward sustainable energy future. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 11, 2127-2141.
- Beşergil, B. Doğal Gaz; Taşıma, Depolama, Dağıtım Zinciri (transport, storage, distribution). Erişim Tarihi: 23.12.2022, <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/tasima-ve-depolama-tasma-Ing-yeni-bir.html>.
- BOTAŞ (Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi). (2023). Depolama. Erişim Tarihi:18.10.2023, <https://www.botas.gov.tr/Sayfa/depolama/19>
- BP. (2022). Statistical Review of World Energy.
- Cafaro, D. C., ve Grossmann, I. E. (2014). Strategic planning, design, and development of the shale gas supply chain network. *AIChE Journal*, 60(6), 2122-2142.
- Çancı, M. ve Erdal, M. (2002). Lojistik Yönetimi. İstanbul: Pegem Yayıncılık.
- Çaşkurlu, S. (2022). ABD-Çin Hegemonya Mücadelesi: Kaya Gazı Devrimi, Yenilenebilir Enerji ve Nadir Elementler. *Fiscaoeconomia*, 6(1), 59-80.
- EIA, (2011). Review of Emerging Resources: U.S. Shale Gas and Shale Oil Plays. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://www.eia.gov/analysis/studies/usshalegas/index.php>.
- EIA, (2013). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States.
- EIA, (2014). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources.
- EIA, (2022a). What makes up this transportation network?. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/natural-gas-pipelines.php>.
- EIA, (2022b). China increased both natural gas imports and domestic production in 2021. ErişimTarihi:05.01.2023, <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=52139>.
- EIA, (2022c). In 2021, both U.S. natural gas production and exports set new records. Erişim Tarihi: 05.02.2023.

- Elmastaş, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Sektörü Açısından Şeyl (Kaya) Gazı Potansiyeli Ve Önemi. *Electronic Turkish Studies*, 10(14).
- Erbach, G. (2014). Shale gas and EU energy security. EPRS | European Parliamentary Research Service.
- Erik, N. Y. (2016). Şeyl gazı (kaya gazı) ve çevresel etkileri. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 37(4), 426-438.
- Erik, N., Ve Koşaroğlu, Ş. M. (2016). Tarihsel Süreç Boyunca Değişen Petrol Fiyatları; Şeyl Gazı Etkisi Ve Bazı Öngörüler. *Cumhuriyet Üniversitesi Journal of Economics & Administrative Sciences (JEAS)*, 17(2).
- Gao, Q., Dong, P., ve Liu, C. (2021). Study on the influence of shale storage space types on shale gas transport. *ACS omega*, 6(20), 12931-12951.
- GOV.UK (2023) Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Shale Gas and Energy Security. Erişim Tarihi: 18.10.2023 <https://www.gov.uk/government/publications/about-shale-gas-and-hydraulic-fracturing-fracking#full-publication-update-history>
- Gürbüz, Ö. (2015). Türkiye'de kaya gazı: Çok bilinmeyenli denklem. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://tr.boell.org/tr/2015/03/24/turkiyede-kaya-gazi-cokbilinmeyenli-denklemler>.
- IEA, (2022). World Energy Outlook 2022.
- Kantörün, U. (2010). Bölgesel Enerji Politikaları ve Türkiye. *Bilge Strateji*, 2 (3), 87-114.
- Karagöl, E.T. ve Kavaz İ. (2017). Kaya Gazının Küresel Enerji Piyasalarındaki Yeri ve Türkiye'deki Geleceği. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://setav.org/assets/uploads/2017/12/222.R.pdf>.
- Karşlı, S. (2015). Enerji sektöründe kaya gazının rolü. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3), 18.
- Kayalı, N., Yereli, A. N., ve Gökay, O. (2020). İşletme Yöneticilerinin Lojistik Maliyetlere Bakış Açılarının Değerlendirilmesine Yönelik Uygulama. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (47), 303-324.
- Kaynak, A. B. (2022). Kaya Gazı Devriminin Gölgesinde Doğu Akdeniz'de Enerji Keşifleri: İş Birliği için Fırsat mı, Çatışma için Gerekçe mi?. *Üsküdar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (14), 69-90.
- Lambert, D.M. ve Stok, J.R., (1999). Strategic Logistics Management. Irwin/McGraw-Hill.
- Li, H., An, H., Fang, W., ve Jiang, M. (2017). A theoretical cost optimization model of reused flowback distribution network of regional shale gas development. *Energy Policy*, 100, 359-364.
- Menefee, A. H., ve Ellis, B. R. (2020). Wastewater management strategies for sustained shale gas production. *Environmental Research Letters*, 15(2), 024001.
- Muehlenbachs L. A. & Krupnick A. (2014). Infographic: Shale Gas Development Linked to Traffic Accidents in Pennsylvania. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://www.resources.org/archives/infographic-shale-gas-development-linked-to-traffic-accidents-in-pennsylvania/>
- Mukherjee, R. (2020). How Death and Disaster Followed the Shale Gas Boom in Appalachia. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://eos.org/articles/how-death-and-disaster-followed-the-shale-gas-boom-in-appalachia>.

- Our World in Data, (2023) Energy consumption by source, World. Erişim Tarihi: 18.10.2023, <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>
- Özalp, M. (2018). Dünya Enerji Rekabetinde Oyun Değiştirici Olarak Kaya Gazının Rolü ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 7 (4), 2926-2959.
- Öztürk, T., ve Durak, İ. N. (2022). Çin Enerji Politikası: ABD ile Rekabetin Tehdit Dengesi Kuramı Bağlamında Değerlendirilmesi. *Diplomasi ve Strateji Dergisi*, 3(1), 1-40.
- Phillips, S. (2019). America's shale gas 'revolution' has led to exports that span the globe — and helped solve Japan's energy needs after a nuclear disaster. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://stateimpact.npr.org/pennsylvania/2019/11/26/fukushima-japan-energy-shale-gas-pennsylvania/>.
- Reynolds, D. B., ve Umekwe, M. P. (2019). Shale-oil development prospects: The role of shale-gas in developing shale-oil. *Energies*, 12(17), 3331.
- Sevim, C. (2014). Kaya (şeyl) gazının uluslararası enerji politikalarına etkileri. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 49-64.
- Sıvış, E. (2019). ABD'nin Avrupa Enerji Pazarına Yönelik İzlediği Dış Politika: Kaya Gazı Devrimi ve Avrupa Pazarında Rus Hâkimiyetine Karşı LNG Hamlesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 8(3), 2177-2202.
- Smith, A. J., & Murphy, M. (2016). Transportation of Shale Gas and Oil Resources. In *Environmental and Health Issues in Unconventional Oil and Gas Development* 129-150.
- Sofuoğlu, E. (2014). Kaya gazı devrimi ve olası ekonomik etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Tawonezvi, J. (2017). The legal and regulatory framework for the EU's shale gas exploration and production regulating public health and environmental impacts. *Energy, ecology and environment*, 2(1), 1-28.
- USGS (2022). Marcellus Shale Storage Tanks. Erişim Tarihi: 05.01.2023, <https://www.usgs.gov/media/images/marcellus-shale-storage-tanks>.
- Yıldız, D. (2014). Kaya gazı ve Su İlişkisi. Hidropolitik Akademi. Rapor, 6, 1-30.
- Zeid, A., & Lee, J. (2016, November). Unconventional shale gas development: application of USA Key success factors to other countries in international markets. In *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference (p. D031S058R005)*. SPE.