



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TUZ KAVERNALARINDA DOĞAL GAZ DEPOLAMA
TEKNOLOJİLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ANALİZ
EDİLMESİ- SULTANHANI YER ALTI DOĞAL GAZ
DEPOLAMA TESİSİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Nagehan AKTER ÖNAL

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ**

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192311402 numaralı Doktora öğrencisi Nagehan AKTER ÖNAL tarafından hazırlanan “TUZ KAVERNALARINDA DOĞAL GAZ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ-SULTANHANI YER ALTI DOĞAL GAZ DEPOLAMA TESİSİ ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fak., Çevre Mühendisliği

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. M. Yunus PAMUKOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fak., Çevre Mühendisliği

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Doç. Dr. Gülden GÖK

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fak., Çevre Mühendisliği

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Ece Ümmü DEVECİ

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fak., Çevre Mühendisliği

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa KARATAŞ

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fak., Çevre Mühendisliği

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduđum bu çalıřmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı dűőecek bir yol ve yardıma bařvurmaksızın yazdıđımı, yararlandıđım eserlerin kaynakçada gűőterilenlerden olduđuunu, çalıřmamda kullandıđım verilerin orijinalliđini ve her tűrlű intihalden uzak olduđuunu beyan ederim.

Enstitű tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tűm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Nagehan AKTER NAL



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince sabrını, desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Hakan ÇELEBİ'ye, tez önerisi sürecinde kıymetli fikirleriyle çalışmaya ışık tutan, hem çalışma hayatımda hem akademik açıdan gelişimimi daima destekleyen BOTAŞ Depolama II Daire Başkanı Sn. Gökâl Mücahit ŞENER'e, hoşgörüsü ile çalışma hayatımda ve akademik sürecimde desteğini esirgemeyen BOTAŞ Tuz Gölü İşletme Müdürü Sn. İbrahim KAYMAZ'a, teşekkürü borç bilirim. Hayatımın her adımında bana güvenerek yanımda olan ve bugüne gelmemde büyük emeği olan kıymetli anne ve babama, iyi ve kötü günde yanımda olan sevgili eşim Erol ÖNAL'a çok teşekkür ederim. Son olarak bir parçası olmaktan daima gurur duyduğum ve tez içeriğindeki verilerin kullanılmasına izin vererek tezin gerçekleşmesini sağlayan kurumum BOTAŞ'a şükranlarımı sunarım.

Nagehan AKTER ÖNAL

AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Nedir?	1
1.2 Enerji Kaynakları	1
1.2.1 Yenilenebilir enerji	1
1.2.1.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları	1
1.2.1.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajları	2
1.2.2 Yenilenemeyen enerji kaynakları	2
1.2.2.1 Konvansiyonel enerjinin avantajları	2
1.2.2.2 Konvansiyonel enerjinin dezavantajları	3
1.3 Dünyada Enerji.....	3
1.3.1 Dünyada birincil enerji arzı	3
1.4 Türkiye’de Enerji	8
1.4.1 Nihai enerji tüketimi	10
1.4.2 Türkiye birincil enerji üretimi	13
1.5 Doğal Gaz.....	15
1.5.1 Doğal gazın tarihçesi	16
1.5.2 Doğal gaz rezervleri.....	17
1.5.3 Dünya doğal gaz rezervlerinin ömrü	18
1.5.4 Küresel doğal gaz üretimi	19
1.5.5 Küresel doğal gaz tüketimi	20
1.6 Enerji Arz Güvenliği	21
1.6.1 Enerji arz güvenliği tanımlamasının tarihsel süreci.....	21
1.6.2 Enerji arz güvenliğinde rol oynayan faktörler	22
1.6.2.1 Mevcudiyet	23
1.6.2.2 Erişilebilirlik	23
1.6.2.3 Ekonomiklik (Satın alınabilirlik)	24
1.6.2.4 Sürdürülebilirlik.....	24
1.6.3 Enerji arz güvenliğini etkileyen unsurlar.....	24
1.6.3.1 Ekonomik unsurlar.....	25
1.6.3.2 Siyasi unsurlar.....	26
1.6.3.3 Coğrafi unsurlar	27
1.6.4 Türkiye’de enerji arz güvenliği	28
1.6.4.1 Türkiye’de doğal gaz arz güvenliği	33
2. KAYNAK ÖZETLERİ	38
2.1 Doğal Gaz Depolama	43
2.1.1 Dünya’da doğal gaz depolama.....	44
2.1.2 Depolama yöntemleri.....	45
2.1.2.1 Yer üstü depolama	47
2.1.2.2 Yer altı depolama	47
2.1.3 Türkiye’de doğal gaz depolama.....	53
2.1.3.1 Marmara Ereğlisi LNG terminali.....	53

2.1.3.2 Dört Yol FSRU	53
2.1.3.3 Saros FSRU	54
2.1.3.4 Silivri doğal gaz depolama tesisi	56
2.1.3.5 Tuz Gölü doğal gaz depolama tesisi	57
2.1.3.6 Egegaz (LNG)	58
2.2 Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Projesinin Tanıtımı	59
2.2.1 Su temin hattı	60
2.2.2 Tuzlu su deşarj hattı	62
2.2.3 Doğal gaz bağlantı hattı	64
2.2.4 Yüzey tesislerinin inşası	64
2.2.5 Sondaj faaliyetleri	65
2.2.6 Eritme/çözme faaliyetleri	66
3. MATERYAL VE YÖNTEM	70
3.1 İstatistik Analiz	70
3.1.1 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)	70
3.1.1.1 Normal dağılım testleri	71
3.1.1.2 Ortalama karşılaştırılması ne non-parametrik testler	71
3.1.1.3 Mann whitney U testi	76
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	79
4.1 Projenin Diğer Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi	79
4.1.1 Toprak üzerine etkiler	79
4.1.2 Su ve su kirliliği üzerine etkiler	82
4.1.2.1 Evsel atık sular	82
4.1.2.2 Çamur suyu	83
4.1.3 Çevresel gürültü	83
4.2 Tuz Gölü'ne Deşarjın Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	107

DOKTORA TEZİ

TUZ KAVERNALARINDA DOĞAL GAZ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ- SULTANHANI YER ALTI DOĞAL GAZ DEPOLAMA TESİSİ ÖRNEĞİ

Nagehan AKTER ÖNAL

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ

ÖZET

Çalışma kapsamında Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Tesisinin yapım çalışmaları sırasında oluşan çevresel etkilerin ve Tuz Gölü'ne deşarj edilen tuzlu suyun Tuz Gölü'ne olan etkilerinin analiz edilmesi ve amaçlanmıştır. Bu amaçla deşarjın başlangıcından 2023 yılına kadar tuzlu su deşarj noktasından proje kapsamında kurumca aylık olarak alınan tuzlu su örneklerinde pH, Elektiriksel İletkenlik, Askıda Katı Maddeler, Tuzluluk, Çözünmüş Katılar, Askıda Katı Maddeler, Alkalinite, Sülfat, Klorür, Nitrat, Nitrit, Amonyum Azotu, Sodyum, Magnezyum ve Kalsiyum parametrelerinin istatistiki olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma ile bundan sonrasında yapılacak projeler için bir çevresel etki öngörüsü sağlanması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda incelenen parametrelerin Tuz Gölü'nden proje öncesinde alınan örneklerle uyum gösterdiği ve kirletici parametreleri değerlerinin Tuz Gölü'nün altında olduğu anlaşılmıştır. Alınan su numuneleri incelendiğinde tüm yılların ortalama değerlerinde kalsiyum ve çözünmüş katı değerleri Tuz Gölü'nde sırası ile 672,49 mg/L ve 50000 mg/L iken su numunelerinde sırasıyla 1222,47 mg/L ve 54978,87 mg/L bulunmuştur. Analiz sonuçlarına göre numune ortalamalarından çözünmüş katı ve kalsiyum değeri Tuz Gölü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir. Ancak pH, elektrik iletkenlik, askıda maddeler, sülfat, klorür, alkalinite, nitrat, nitrit, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları ise Tuz Gölü ortalama değerlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha düşüktür. Bu sonuçlara göre kirleticilerin düzeylerinin Tuz Gölü ortalamasının altında olduğu ve bu farkın anlamlı olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Etki, Doğal Gaz, İstatistiksel Analiz, Su Kalitesi, Tuz Gölü.

Haziran, 2024; 107 Sayfa

PhD. THESIS

ANALYZING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF NATURAL GAS STORAGE TECHNOLOGIES IN SALT CAVERNS-THE CASE OF SULTANHANI UNDERGROUND NATURAL GAS STORAGE FACILITY

Nagehan AKTER ÖNAL

**Aksaray University
Institute of Science and Technology
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Doç. Dr. Hakan ÇELEBİ

ABSTRACT

Within the scope of the study, it was aimed to analyze and analyze the environmental impacts that occurred during the construction works of the Tuz Gölü Natural Gas Storage Facility and the effects of the brine discharged into the Tuz Gölü on the Tuz Gölü. For this purpose, it was aimed to statistically evaluate the pH, Electrical Conductivity, Suspended Solids, Salinity, Dissolved Solids, Suspended Solids, Alkalinity, Sulfate, Chloride, Nitrate, Nitrite, Ammonium Nitrogen, Sodium, Magnesium and Calcium parameters in the brine samples taken monthly by the institution from the brine discharge point from the beginning of the discharge until 2023. The study aims to provide an environmental impact prediction for future projects. As a result of the study, it was understood that the analyzed parameters were in compliance with the samples taken from Tuz Gölü before the project and the pollutant parameter values were below those of Tuz Gölü. When the water samples were examined, calcium and dissolved solid values in the average values of all years were found to be 672,49 mg/L and 50000 mg/L in Tuz Gölü while 1222,47 mg/L and 54978,87 mg/L in the water samples, respectively. According to the analysis results, dissolved solids and calcium values are statistically significantly higher than the average of Tuz Lake. However, pH, electrical conductivity, suspended matter, sulfate, chloride, alkalinity, nitrate, nitrite, ammonium nitrogen, sodium and magnesium values are statistically significantly lower than the average values of Tuz Gölü. According to these results, it is seen that the levels of pollutants are below the average of Tuz Lake and this difference is significant.

Keywords: Environmental Impact, Natural Gas, Statistical Analysis, Water Quality, Tuz Gölü.

June, 2024; 107 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2020 yılı Dünya birincil enerji arzının kaynakları.....	5
Şekil 1.2. UEA tahminlerine göre 2030 ve 2050 birincil enerji talebi	7
Şekil 1.3. 1973 ve 2019 yılları arasında birincil enerjide arz payları	7
Şekil 1.4. 2020 yılı Türkiye birincil enerji arzında kaynakların miktar ve payları	8
Şekil.1.5. Kaynaklar bazında birincil enerji tüketimi projeksiyonu	9
Şekil 1.6. Kaynaklar bazında birincil enerji tüketimi dağılımı	9
Şekil 1.7. Sektörel bazda nihai enerji tüketimi	10
Şekil 1.8. Sektörel bazda nihai enerji tüketiminin dağılımı	10
Şekil 1.9. 2000-2020 yılları Türkiye toplam enerji arzında kaynaklara ait paylar	11
Şekil 1.10. 1990-2020 yıllarında Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı	13
Şekil 1.11. 1990-2020 Türkiye toplam enerji üretiminin, arzını karşılama oranı	14
Şekil 1.12. 2020 Türkiye enerji üretiminde kaynakların miktarı (MTEP) ve payları (%).....	14
Şekil 1.13. 1990-2020 yılları arası Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı	15
Şekil 1.14. 2020 yılı bölgelere göre Dünya doğal gaz rezervi.....	17
Şekil 1.15. 2020 yılı en fazla doğal gaz rezervine sahip ilk 10 ülke	18
Şekil 1.16. 2020 yılı bölgelere göre doğal gaz rezervi ve rezerv ömrü.	18
Şekil 1.17. 2012-2021 yılları bölgelere göre küresel doğal gaz üretimi.....	19
Şekil 1.18. 2020-2025 yılları Dünya doğal gaz üretim artış projeksiyonu	19
Şekil 1.19. 2012-2021 yılları Dünya doğal gaz tüketimi	20
Şekil 1.20. 2020-2025 dönemi bölgelere göre doğal gaz talep artışı.....	21
Şekil 1.21. Türkiye'deki doğal gaz boru hatları ve projeleri	35
Şekil 2.1. Doğal gaz depolamanın amacı.....	44
Şekil 2.2. Doğal gaz depolamanın kronolojisi	44
Şekil 2.3. Yer altı doğal gaz depolama yöntemleri.....	45
Şekil 2.4. Doğal gaz depolama çeşitleri.....	46
Şekil 2.5. Yer altı depolamaya dair görsel.....	46
Şekil 2.6. Doğrudan ve dolaylı çözme	48
Şekil 2.7. Tipik bir akifere dair görsel	50
Şekil 2.8. Dünya'da doğal gaz depolama tesisleri	51
Şekil 2.9. Dünya'da mevcut doğal gaz depolama tesislerinin çalışma gazı oranları.....	51
Şekil 2.10. 2021 yılı ülkelerin tüketim ve çalışma gazı kapasitesi oranları.....	52
Şekil 2.11. En çok depolama miktarına sahip 10 ülke	52
Şekil 2.12. LNG tesisi.....	53
Şekil 2.13. Dörtüyl FSRU'ya dair görseller.....	54
Şekil 2.14. Saros FSRU	55
Şekil 2.15. Deniz çayırıları taşımasına dair görseller	56
Şekil 2.16. Silivri doğal gaz depolama tesisine ait görsel.....	56
Şekil 2.17. Silivri doğal gaz depolama tesisi rüzgar enerjisi santrali.	57
Şekil 2.18. Tuz Gölü doğal gaz depolama tesisine ait görsel	58
Şekil 2.19. Egegaz depolama tesisine ait görsel	58
Şekil 2.20. Proje alanının depremsellik haritası.....	59
Şekil 2.21. Genel akış şeması	60
Şekil 2.22. Tuz Gölü doğal gaz yeraltı depolama projesi genel yerleşim planı.....	60
Şekil 2.23. Hirfanlı Barajı su alma yapısı.	61

Şekil 2.24. Su temin hattı inşaatı	61
Şekil 2.25. Pompa istasyonu.	62
Şekil 2.26. Tuzlu su deşarj hattı.....	63
Şekil 2.27. Tuzlu su çöktürme havuzları	64
Şekil 2.28. Yüzey tesisleri inşasına dair görsel.....	65
Şekil 2.29. Sondaj kulelerinden bir görünüm	65
Şekil 2.30. Çamur havuzlarından temsili görünüm	66
Şekil 2.31. Eritme işlemi akış şeması	66
Şekil 2.32. Tuz eritme işleminde kullanılan tipik kuyu başı.....	67
Şekil 2.33. Türkiye yıllık yağış miktarları (1991-2020)	68
Şekil 3.1. Tek örneklem T Testi.....	71
Şekil 3.2. Bağımsız gruplarda T testi.....	72
Şekil 3.3. SPSS çıktısı 1.....	74
Şekil 3.4. SPSS çıktısı 2.....	74
Şekil 3.5. SPSS çıktısı 3.....	75
Şekil 3.6. SPSS çıktısı 4.....	77
Şekil 3.7. SPSS çıktısı 5.....	78
Şekil 3.8. SPSS çıktısı 6.....	78
Şekil 4.1. Üst toprak sıyırılmış çalışma koridoru	80
Şekil 4.2. Taşlık alanda yapılan toprak sıyırma çalışmaları	80
Şekil 4.3. Alt ve üst toprağın karışımını engellemek amacı ile yapılan örnek çalışmalar (Silt kafes uygulamaları)	81
Şekil 4.4. Üst toprak depolamada drenaj kanalları açılması.....	81
Şekil 4.5. Üst toprak sıkıştırma çalışması.....	82
Şekil 4.6. Tuz Gölü ve numune kıyaslaması.....	86
Şekil 4.7. Tuz Gölü'nde bulunan endemik türlerin dağılımı	95
Şekil 4.8. Su temin hattı.....	96
Şekil 4.9. Tuz Gölü doğal gaz depolama projesi difüzör bölgesine ait uydu görüntüsü	97
Şekil 5.1. Niggle diyagramı	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı (EJ)	4
Çizelge 1.2. UEA'nın Dünya birincil enerji tüketim tahminleri.....	6
Çizelge 1.3. Türkiye birincil enerji arzı içinde kaynakların miktar ve payları ile 2000-2020 artışları	12
Çizelge 1.4. Türkiye toplam enerji arzı, üretimi, ithalat, ihracatı ve 1990-2020, 2000-2020, 2002-2020 artışları.....	13
Çizelge 1.5. Doğal gazın içeriği.....	16
Çizelge 1.6. Türkiye enerji politikalarının kronolojik öyküsü.....	29
Çizelge 1.7. Türkiye enerji sektörü 2023 hedefleri.....	33
Çizelge 1.8. Türkiye'de doğal gaz üretim, tüketim ve net ithalatı 1998-2017 (Milyon m3)	34
Çizelge 2.1. Doğal gaz yeraltı depolama ortamlarının karşılaştırılması.....	50
Çizelge 2.2. Doğal gaz yeraltı depolama ortamlarının depolama yatırım maliyetleri	51
Çizelge 2.3. Çalışma gazı kapasitesi ve gaz tüketim miktarı oranlarının yıllara göre değişimi.....	52
Çizelge 4.1. Çevresel gürültü düzeyi sınır değerleri.....	83
Çizelge 4.2. 2015-2023 yılları arasındaki tüm ölçümlerin Tuz Gölü ve numune ölçümleri ortalama değerleri ile fark analizi sonuçları.	85
Çizelge 4.3. 2015 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	86
Çizelge 4.4. 2016 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	87
Çizelge 4.5. 2017 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	88
Çizelge 4.6. 2018 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	89
Çizelge 4.7. 2019 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	90
Çizelge 4.8. 2020 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	91
Çizelge 4.9. 2021 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	92
Çizelge 4.10. 2022 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	92
Çizelge 4.11. 2023 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.....	93
Çizelge 4.12. Ölçüm değerlerinin numuneler için mevsimsel bağlılığını analiz etmek için yapılan Spearman's rho korelasyon analizi sonuçları.	94
Çizelge 4.13. Kaverna oluşumunda ihtiyaç duyulan su miktarı	97

SİMGELER VE KISALTMALAR

BOTAŞ	Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.
EJ	Exajoule
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	Elektrik Üretim A.Ş.
FSRU	Yüzer Doğal Gaz Depolama ve Yeniden Gazlaştırma Ünitesi
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NM³	Normal Metreküp
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
ÖÇKB	Özel Çevre Koruma Bölgesi
SM³	Standart Metreküp
SPSS	Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
UGS	Yer Altı Depolama

1. GİRİŞ

1.1 Enerji Nedir?

Enerji kelimesi terimsel anlam olarak Yunanca ergon ve ev kelimelerinden türetilmiştir. Elektrik, mekanik, kimyasal, kinetik, termal gibi türleri bulunan enerji bir cismin dirence karşı gösterdiği hareket olarak tanımlanabilir. Enerji Isıtmadan ulaşma kadar birçok alanda kullanılmakta olup insan yaşamı için vazgeçilmezdir (Albayrak, 2009).

1.2 Enerji Kaynakları

Enerji bir bakımdan ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren bir olgu haline gelmiştir olup tüm sanayi sektörleri için temel bir girdidir. Ülkelerin gelişme, sanayileşme ve nüfus anlamında büyümesi ile doğru orantılı olarak enerjiye olan talep artmakta ve ülkeler temiz ve ucuz enerji arayışına yönelmektedirler. Enerji ile ilgili konularda ülke politikaları, çevre ekonomi gibi hususlar da gündeme gelmektedir. Enerji kaynakları temel olarak yenilenebilen ve yenilemeyen (konvansiyonel) kaynaklar olarak sınıflandırılabilir (Şahin, 2022).

1.2.1 Yenilenebilir enerji

Yenilenebilir enerji en anlaşılır ifade ile sürekli olarak doğal yollarla üretililebileceği ve sürekliliğinin sağlanabileceğinden emin olunan kaynaklardır (Eser, 2021). En bilinen yenilenebilir enerji kaynakları rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, biyoyakıt ve hidrojenidir (Karagöl ve Kavaz, 2017). Günümüzde birçok ülke yenilenebilir enerji kullanımı için harekete geçmekte ve bu doğrultuda yasal mevzuat uyumlamaları konusunda çalışmalar yürütmektedir (Cherni ve Jouini, 2017).

1.2.1.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Yenilenebilir enerji kaynakları doğa dostudur. Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan sera gazlarını açığa çıkarmazlar (Önder ve Ocak, 2018).
- Tükenmeyen enerji kaynaklarıdır.

- Yenilenemeyen enerji üretim tesislerine göre bakım maliyetleri düşüktür.
- Doğal kaynaklardan üretilmesi sebebi ile üretim maliyetleri nispeten düşüktür.

1.2.1.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Yenilenebilir enerji kaynakları iklim şartlarına bağımlıdır. Örneğin hidroelektrik santrallerinden verim alınabilmesi için yağış rejimi önemlidir. Buna benzer olarak güneş enerjisi için güneşli gün sayısı, rüzgar enerjisi için ise rüzgarlı gün sayısı önemlidir. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarında istikrardan söz edilemez.
- Yenilenebilir enerji üretim tesislerinin ilk yatırım maliyeti geleneksel tesislere göre çok daha yüksektir.

1.2.2 Yenilenemeyen enerji kaynakları

Yenilenemeyen (Konvansiyonel) Enerji Kaynakları temelde yaşayan organizma kalıntılarının uzun sürede dönüşümü ile oluşan fosil yakıtlardan elde edilen enerji anlamına gelmektedir. Fosil yakıtlar günümüz küresel enerji piyasasında hala en büyük paya sahiptir. Yenilenemeyen konvansiyonel enerji kaynaklarının olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır (Yapar, 2020).

1.2.2.1 Konvansiyonel enerjinin avantajları

Her ne kadar çevresel etkileri sebebi ile olumsuz yönlerinden bahsedilse de geleneksel enerjinin olumlu yönleri bulunmaktadır. Geleneksel enerjinin olumlu yönleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Kullanım için hazır durumdadırlar.
- Yakıtın miktar ve hacmine oranla yüksek miktarda enerji üretimi sağlanabilmektedir.
- Dönüşüm ve çıkarılma aşamalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına göre nispeten daha ekonomiktir.
- İklim ve doğa koşullarından bağımsızdırlar.

Yenilenemeyen enerji kaynakları incelendiğinde kömür diğer kaynaklara göre daha ucuzdur ve çok fazla miktarda rezervi bulunmaktadır. Lojistik anlamında da oldukça elverişlidir. Petrol ve doğal gaz da hala yüksek miktarda rezerve sahip olmakla birlikte bu yakıt türleri boru hatları veya gemilerle kolaylıkla taşınabilmektedir. Doğal gaz kömüre göre çevre dostu bir yakıt olup kömürün yarısı kadar zehirli gazı atmosfere salmaktadır. Konvansiyonel yakıt türlerini sadece fosil yakıtlar oluşturmamaktadır. Çevreye olan emisyonu minimum düzeyde olan ve çok küçük miktarlarından çok yüksek miktarda enerji eldesi sağlanabilen nükleer enerji de konvansiyonel bir enerji türü olup günümüzde gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerce rağbet görmektedir (URL-1).

1.2.2.2 Konvansiyonel enerjinin dezavantajları

Fosil yakıtların atmosfere çok yüksek miktarda CO₂ salınımına neden olarak sera etkisini artırması ve bu sebeple ortalama sıcaklıkları artırması canlı yaşamı için önemli bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır (Kaya, 2016).

Konvansiyonel enerjinin dezavantajlarına genel bir çerçeveden bakılırsa yenilenemeyen ve sadece bir defa kullanılması sebebiyle sürdürülebilirliği sağlanamayan yakıt türleridir. Atmosfere salınan CO₂ in yanı sıra salınan diğer gazların atmosferde yağmur suyu ile birleşerek asit yağmurları olarak yeryüzüne inmesi de ayrıca bir sorun teşkil etmektedir. Asit yağmurları toprağın, suyun yapısını uzun vadede bozmakta, yapılara hasar vermektedir.

Kömür rezervlerinin ömrünün yaklaşık 100 yıl olduğu öngörülmekle beraber kömür çıkarımı yakındaki yerleşim yerleri için de sorun teşkil etmektedir. Nükleer yakıtların da yaklaşık 50 yıllık süreç içerisinde tükenebileceği bilinmekte olmakla beraber nükleer santrallerin atıkları radyoaktif nitelikte olup iyi yönetilemediği takdirde insan sağlığını ciddi düzeyde riske atmaktadır (Yapar, 2020).

1.3 Dünyada Enerji

1.3.1 Dünyada birincil enerji arzı

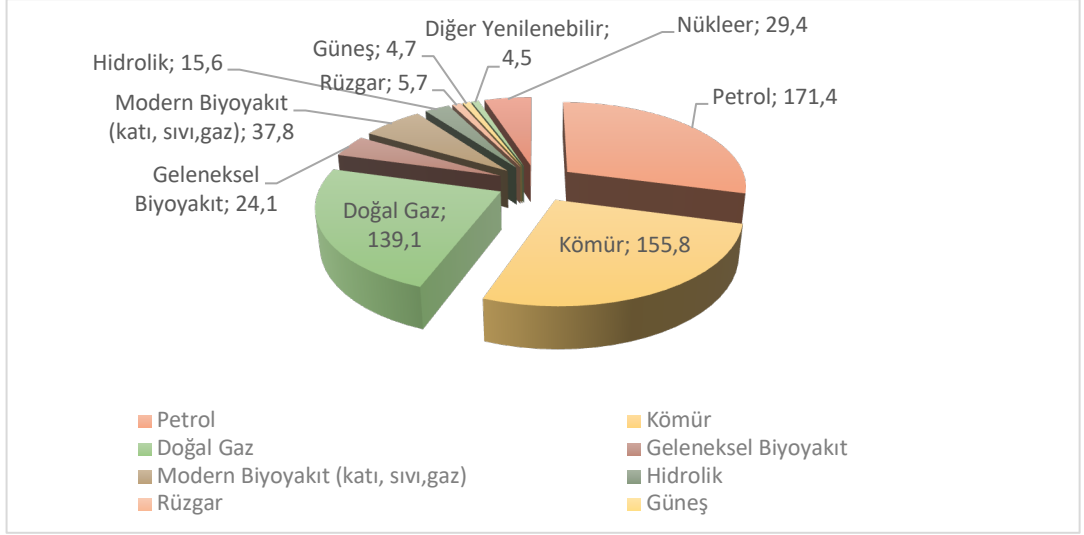
2021 yılında Uluslararası enerji ajansı tarafından hazırlanan 2021 Dünya Enerji Görünümü Raporuna bakıldığında 544,3 EJ olan birincil enerji arzı, 2019'da 612,19

EJ olmuştur. Dünyayı etkileyen pandemi döneminde ekonomik faaliyetlerin yavaşlaması ile birlikte birincil enerji arzı da 2019’a göre azalarak 588,1 EJ olmuştur.

Çizelge 1.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı (EJ) (URL-3).

Yakıt Türü	2010	2019	2020	2021	2030	2040	2050
Petrol	172,1	187,9	171,4	183	198,5	199,6	198,3
Kömür	153	462,2	155,8	165	150,4	133,7	117,8
Doğal Gaz	115,2	141,5	139,1	146	156,9	169,3	175,5
Geleneksel Biyoyakıt	26,2	24,2	24,1	24	21	19,1	17,2
Fosil Yakıtlar Toplamı	466,5	515,8	490,4	418	526,8	521,7	508,8
Fosil Yakıt Payı (%)	85,7	84,3	83,4		78,7	73,2	68,6
Modern Biyoyakıt (katı, sıvı, gaz)	30,7	37,3	37,8	41	52,5	65,1	76,0
Hidrolik	12,4	15,2	15,6	16	18,3	21,1	24,3
Rüzgar	1,2	5,1	5,7		14,4	23,5	31,3
Güneş	0,8	4	4,7		15,9	30	43,6
Diğer Yenilenebilir	2,6	4,2	4,5		7,9	13,3	17,6
Yenilenebilir Toplamı	47,7	65,8	68,3		109	153	192,8
Yenilenebilir Payı (%)	8,8	10,7	11,6		16,3	21,5	26,0
Nükleer	30,1	30,5	29,4		34	38,4	40,5
Nükleer Payı	5,5	5,0	5,0		5,1	5,4	5,5
Toplam	544,3	612,1	588,1		669,8	713,1	742,1

Dünya birincil enerji arzının 2021 yılı için kaynaklara dağılımında (Çizelge 1.1) petrol ilk sırayı 171,4 EJ ve toplam arzın yüzde 29,1’i ile ilk sıraya yerleşmiştir. 155,8 EJ ve yüzde 26,5 pay ile kömür, 139,1 EJ ve yüzde 23,7 pay ile doğalgaz ise ilk sıradaki petrolü takip etmiştir. Yenilenebilir kaynaklar değerlendirildiğinde ise 68,3 EJ ile birincil enerji arzının yüzde 11,6’sına tekabül etmektedir. Çizelge 1.1’de verilen 2030, 2040 ve 2050 verileri Uluslararası enerji ajansının mevcut politikalarını sürdürmesi halinde yapılan tahminlere dayanmaktadır.

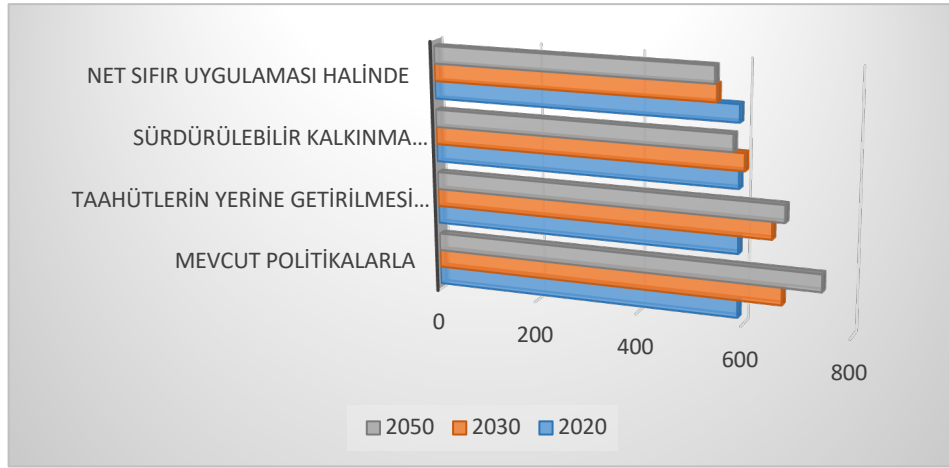


Şekil 1.1. 2020 yılı Dünya birincil enerji arzının kaynakları (URL-2).

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere enerji arz kaynakları içinde fosil yakıtların payı mevcut politikaların devamı halinde egemenliğini sürdürmeye devam edecektir. Çizelge 1.1 de görülebileceği gibi 2050 yılı projeksiyonunda fosil yakıtların diğer kaynaklara göre payı %68,6 ya gerilemekte olsa bile üretilen miktar önemli bir ölçüde azalmamakta olup sadece %3,75 azalmaktadır. Yenilenebilir enerji ise enerji arz kaynakları içinde payını %124, üretim miktarını ise %182 artırmaktadır. Nükleer güç santralleri ise %5 lik payla hemen hemen aynı düzeyde seyredecektir. Uluslararası Enerji Ajansının gelecek projeksiyonlarına göre birincil enerji tüketimleri Çizelge 1.2’de verilmektedir.

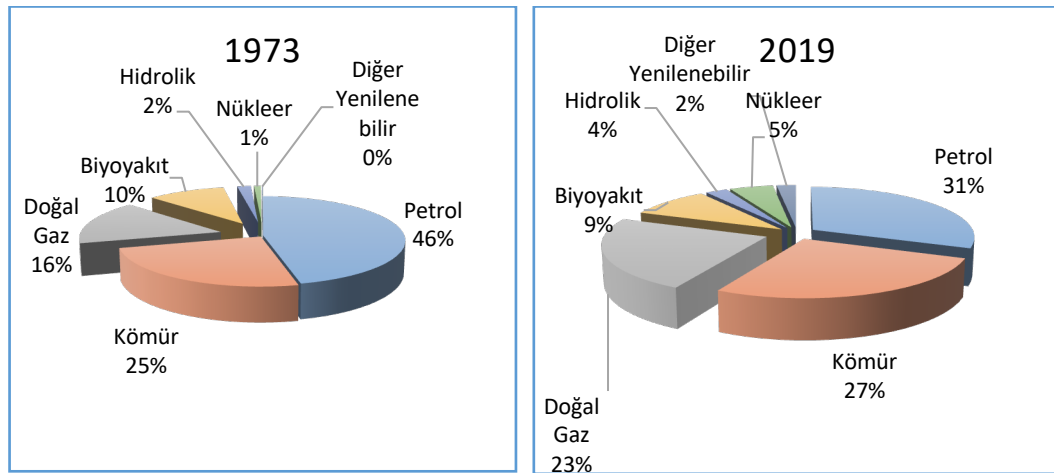
Çizelge 1.2. UEA'nın Dünya birincil enerji tüketim tahminleri (URL-3).

	SENARYOLAR	Mevcut Politikaların Devamı Durumunda			Taahhütlerin Gerçekleşmesi Durumunda		Sürdürülebilir Kalkınma Politikalarının Uygulanması Halinde		Net Sıfır SEmisyon Politikalarının Uygulanması Halinde	
		2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Birincil Enerji Talebi	Miktar	589,1	671,0	743,9	651,1	674,4	599,2	577,9	547,1	543,0
	2020'den 2050'ye kadar olan değişiklik		%26,3		%14,5		%1,9		%7,7	
Yenilenebilir enerji Arzı	Miktar	68,5	109,0	192,5	120,6	248,4	142,7	316,4	166,6	362,1
	2020'den 2050'ye kadar olan değişiklik		%181,0		%262,6		%361,9		%428,6	
Petrol Üretimi	Miktar (Milyon Varil/Gün)	91,3	103,0	103,0	96,1	78,7	87,6	47,0		-
	2020'den 2050'ye kadar olan değişiklik		%12,8		%13,8		%48,5			
Doğal Gaz Üretimi	Miktar (Milyon Varil/Gün)	4.014,0	4.554,0	5.113,0	4.249,0	3.852,0	4.038,0	2.452,0		-
	2020'den 2050'ye kadar olan değişiklik		%27,4		%4,0		%38,9			
Kömür Üretimi	Miktar (Milyon Varil/Gün)	5.462,0	5.132,0	4.020,0	4.878,0	2.672,0	3.786,0	1.189,0		
	2020'den 2050'ye kadar olan değişiklik		%26,4		%51,1		%78,2			
TOPLAM CO ₂ salınımları	Miktar (Milyon Varil/Gün)	34.156,0	36.267,0	33.903,0	33.640,0	20.726,0	28.487,0	8.170,0	21.147	0,0
	2020'den 2050'ye kadar olan değişiklik		%0,7		%39,2		%76,1			%100



Şekil 1.2. UEA tahminlerine göre 2030 ve 2050 birincil enerji talebi (URL-3).

Sera gazı salınımlarını azaltmak ve buna bağlı olarak olası iklim krizinin önüne geçebilmek adına fosil yakıt üretim tesisi yatırımları yapılmaması ve üretimin acilen azaltılması gerekliliği Uluslararası Enerji Ajansının çeşitli raporlarında geçmekle beraber Çizelge 1.2’de verilen veriler ışığında güncel politikaların aynen uygulanması halinde sorunların katlanarak büyüyeceği fakat verilen taahhütler yerine getirilmesi ve sürdürülebilir kalkınma politikaları uygulanması halinde bile fosil yakıt üretimindeki azalmaların düşük seviyelerde kalacağı anlaşılmaktadır. İddialı net sıfır senaryolarında 2050 yılında yenilenebilir enerji arzının %428 gibi bir oranda artması öngörülmektedir. Buna rağmen 2050’de yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2/3 olurken 1/3 lük kısmı fosil ve nükleer santraller alacaktır. Bu noktada “Net Sıfır” teriminin bilinenin aksine salınımları sıfırlamak değil doğrudan havadan yakalanan veya tutulan CO₂ salınımlarını depolama yoluyla kullanarak salınan ve tutulan salınımı eşitleyerek dengelemek anlamına gelmekte olduğunu bilmek gereklidir.

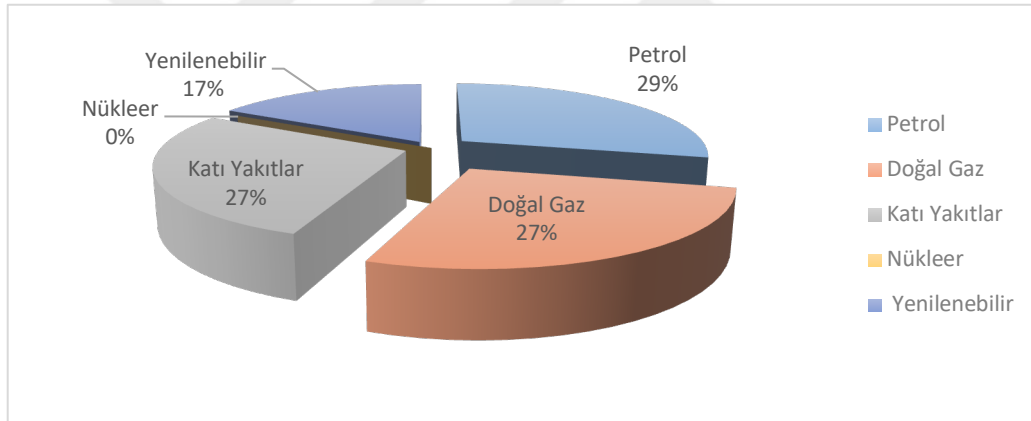


Şekil 1.3. 1973 ve 2019 yılları arasında birincil enerjide arz payları (URL-3).

Şekil 1.3'te görüldüğü üzere; 46 yıllık periyotta nükleer enerjinin birincil enerji arzı içindeki payı %456 yenilenebilirin payı %147, kömürün %8,5, doğal gazın %44 artarken petrolün payı %34 azalmıştır (URL-3).

1.4 Türkiye’de Enerji

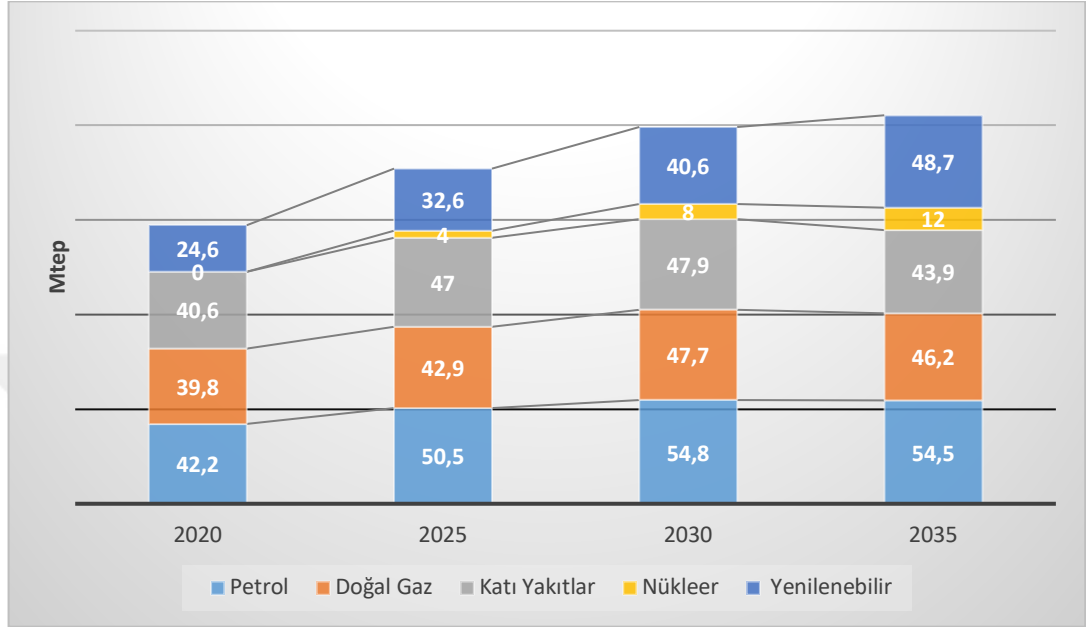
Türkiye’nin 2020 yılı toplam enerji arzı ETKB verilerine göre, 147,17 milyon TEP’dir. Toplam kaynak payları dağılımında petrol 42,14 milyon TEP ve toplam arzın yüzde 28,6’sı ile ilk sırada yer almıştır. İkinci sırayı 40,6 milyon TEP ve yüzde %27,67 katı yakıtlar alırken 3. Sırada 39,81 milyon TEP ve yüzde 27,05 ile doğal gaz yer almıştır. Bu kaynakları 14,50 milyon TEP ve yüzde 9,85 ile jeotermal, rüzgâr ve güneş; 6,71 milyon TEP ve yüzde 4,56 ile hidrolik; 3,40 milyon TEP ve yüzde 2,31 ile biyoenerji, atık ve diğer kaynaklar izlemektedir. 2020 Yılı Türkiye birincil enerji arzında kaynakların miktar ve payları Şekil 1.4’te verilmektedir (URL-5).



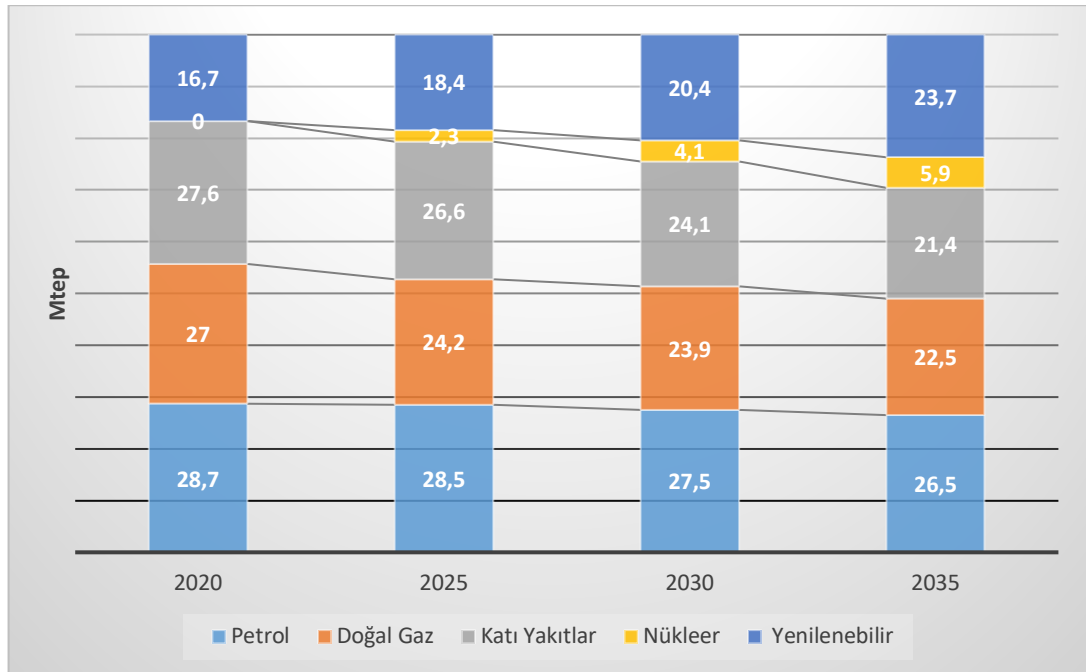
Şekil 1.4. 2020 yılı Türkiye birincil enerji arzında kaynakların miktar ve payları (URL-5).

Türkiye’nin 2020 yılı toplam enerji arzı ETKB verilerine göre, 147,17 milyon TEP’dir. ETKB “Türkiye Ulusal Enerji Planı’na göre; 2035 yılına dek birincil enerji tüketimi 205,3 Mtep’e çıkacağı öngörülmektedir. 2000-2020 arası 20 yıllık sürede ortalama yıllık %3,1 artan birincil enerji tüketimi, 2020-2035 arası periyotta %2,2 düzeyinde artmaktadır. 2020 yılında kişi başı birincil enerji tüketimi 1,7 TEP iken 2035 yılına kadar bu rakam 2,1 TEP’e çıkmaktadır. 2020 yılında birincil enerji tüketimi %16,7 iken bu rakamdaki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %23,7 seviyesine çıkmaktadır. Nükleer enerji miktarının ise 2035 yılına kadar %5,9’luk paya çıktığı görülmektedir. Fosil kaynakların payı 2020 yılında %83,3 iken 2035 yılına

kadar %70,42'ye gerilemektedir. Kömürün payı %21,4 oranına inerken, petrol %26,5, doğal gaz %22,5'e düşmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022 yılı ulusal enerji planına göre 2020- 2035 yılları arasında kaynaklara göre birincil enerji tüketimi projeksiyonu Şekil 1.5'te verilmektedir (URL-5).



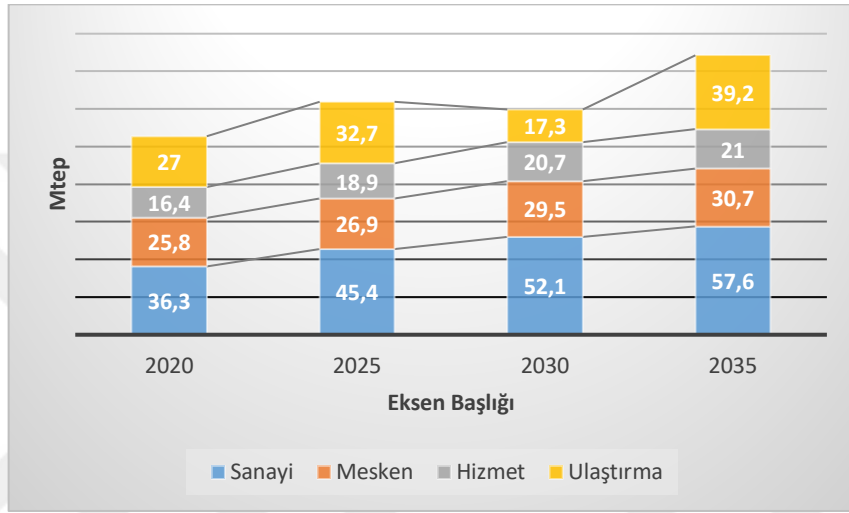
Şekil.1.5. Kaynaklar bazında birincil enerji tüketimi projeksiyonu (URL-5).



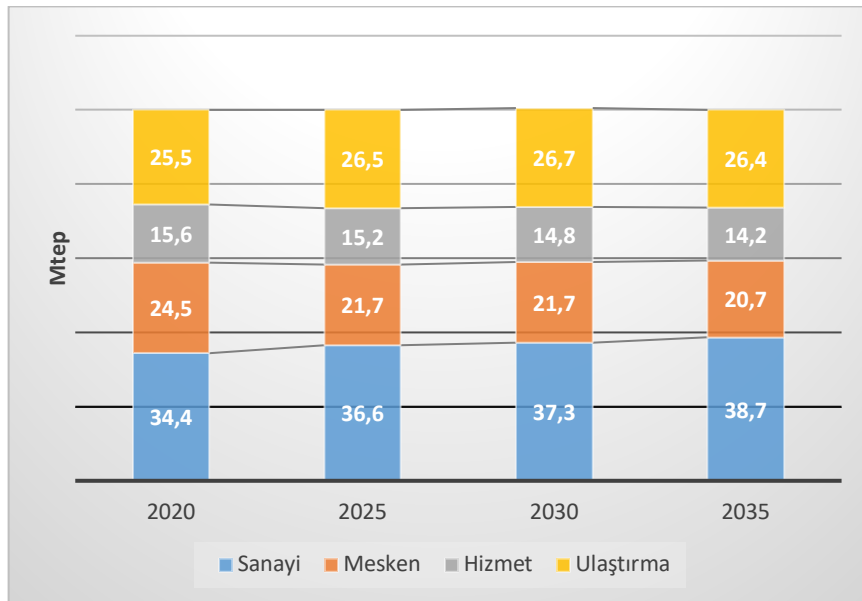
Şekil 1.6. Kaynaklar bazında birincil enerji tüketimi dağılımı (%) (URL-5).

1.4.1 Nihai enerji tüketimi

Nihai enerji tüketimi 2020 yılında 105,5 Mtep iken 2035 yılına kadar 148,5 Mtep'e yükselmektedir. Enerji tüketimi sektörel bazda değerlendirildiğinde; 2020'de enerji tüketimi içinde en yüksek payı yüzde 34,4 ile sanayi sektörü alırken 2035 yılına kadar bu pay yüzde 38,7'ye yükselmektedir. Mesken ve hizmet sektörlerinin 2020 yılında toplam kaynaklar içindeki toplam payı yüzde 40,1 iken 2035 yılında yüzde 34,9'a gerilemektedir.

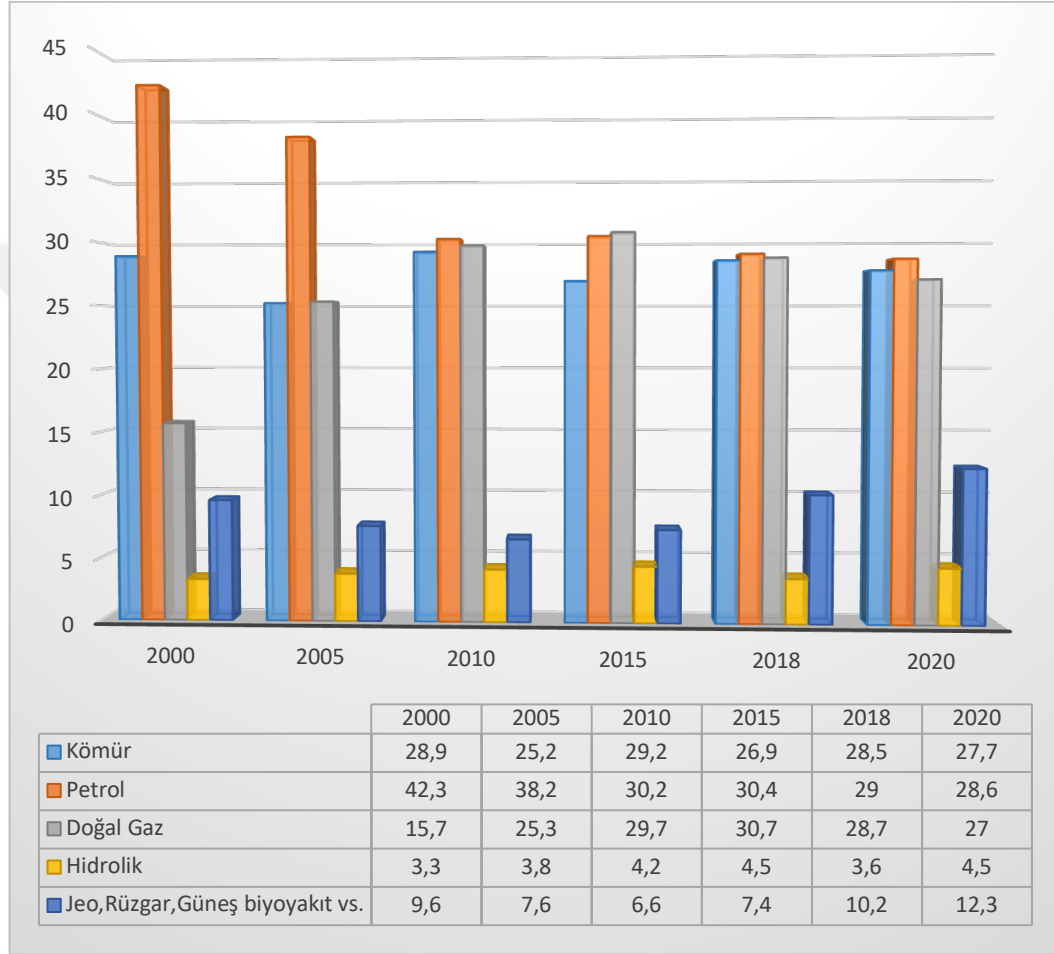


Şekil 1.7. Sektörel bazda nihai enerji tüketimi (URL-5).



Şekil 1.8. Sektörel bazda nihai enerji tüketiminin dağılımı (%) (URL-5).

2000-2022 arasındaki 20 yıllık periyotta Türkiye'nin toplam enerji arzı yüzde 85,3 (67.740 bin TEP), petrol yüzde 25,4 (8.559 bin TEP), kömür yüzde 77,3 (17.749 bin TEP), doğal gaz yüzde 219,8 (27.360 bin TEP), hidrolik %152,8 (4.060 bin TEP) güneş, rüzgar ve jeotermal %1386 (13.520 bin TEP) artmış olup biyoenerji, odun, çöp ve atıklar toplamı ise yüzde 52,2 azalmıştır. 2000-2020 Yılları Türkiye toplam enerji arzında kaynakların payları Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. 2000-2020 yılları Türkiye toplam enerji arzında kaynaklara ait paylar (URL-4).

Çizelge 1.3. Türkiye birincil enerji arzı içinde kaynakların miktar ve payları ile 2000-2020 artışları (URL-4).

	2000		2010		2015		2018		2020		2000-2020 Artışı (%)	
	Arz Bin TEP	T.E.A (%)	Arz Bin TEP	T.E.A (%)	Arz Bin TEP	T.E.A (%)	Arz Bin TEP	T.E.A (%)	Arz Bin TEP	T.E.A (%)	Arz Mikt. Değişimi (%)	T.E.A (%)
Petrol	33.631	42,3	31.937	30,2	39.238	30,4	41.913	29,2	42.190	28,6	25,4	-13,7
Kömür	22.972	28,9	30.969	29,2	34.671	26,8	40.975	28,5	40.721	27,7	77,3	-1,2
Doğal Gaz	12.446	15,7	31.456	29,7	39.651	30,7	41.171	28,7	39.806	27	219,8	11,3
Jeo, Güneş, Rüzgar	975	1,2	2.581	2,4	6.635	5,1	11.606	8,1	14.495	10	1386,7	8,8
Hidrolik	2.656	3,3	4.454	4,2	5.775	4,5	5.155	3,6	6.716	4,5	152,9	1,2
Biyo. Odun, Çöp, Atık	6.457	8,1	4.489	4,2	2.964	2,3	3.014	2,1	3.369	2,3	-47,8	-5,8
Stok kullanım	291	0,4	2	0	264	0,2	-168	-0,1	160	0,1		
TOPLAM ARZ	79.428		105.888		129.198		143.666		147.457		85,6	

Türkiye toplam enerji arzı içinde kaynakların paylarında; 2000-2020 yılları arasında petrolün payı %13,7; kömürün payı %1,2 biyoenerji, odun, çöp ve atıkların payı %5,8; azalmış; doğalgazın payı %11,3, jeotermal, güneş, rüzgârın payı %8,8, hidroliğin payı % 1,2 artmıştır.

1.4.2 Türkiye birincil enerji üretimi

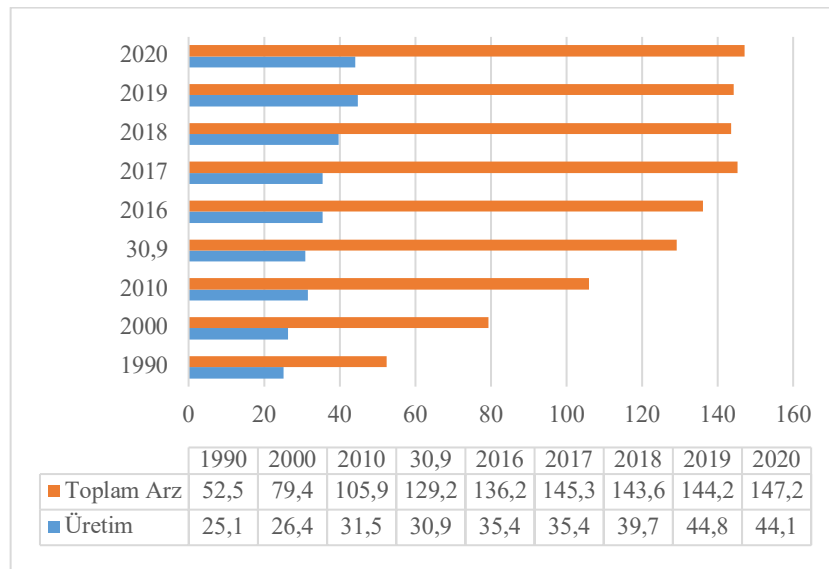
1990-2020 arası periyotta; Türkiye'nin toplam enerji üretimi 25.138 bin TEP'ten 44.069 bin TEP düzeyine yükselerek yüzde 76,3 artmış, toplam enerji arzı yüzde 181,3 artarak 52.465 TEP'ten 147.168'e yükselmiştir. Türkiye'nin toplam enerji üretimi 2000 yılında 26,46 MTEP iken aradan geçen 20 yılda yüzde 66,9 artarak 17,67 MTEP artmıştır. Artan 17,67 MTEP'in 7,9 MTEP'i güneş, rüzgar ve jeotermal enerji üretimi olarak son 5 yılda gerçekleşmiştir.

Çizelge 1.4. Türkiye toplam enerji arzı, üretimi, ithalat, ihracatı ve 1990-2020, 2000-2020, 2002-2020 artışları (URL-5).

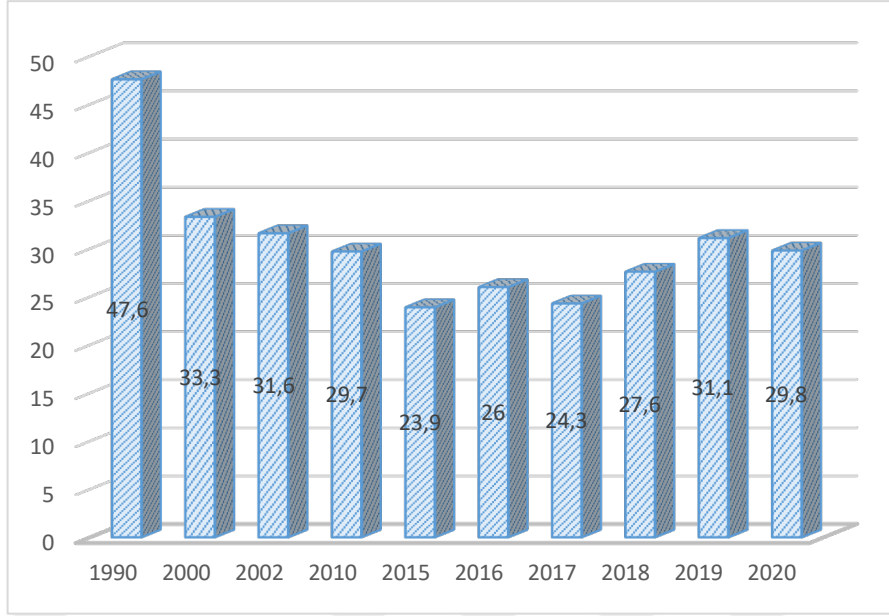
	1990	2000	2002	2010	2015	2018	2020	2002-2020 (%)	2000-2020 (%)	1990-2020 (%)
T.B Enerji Arzı	52,5	79,4	77,1	105,9	129,2	143,6	147,2	90,1	86,0	181,3
T.B. E. Üretimi	25	26,4	24,4	31,5	30,9	39,7	44,07	80,6	66,9	76,3
T.B. E. İthalatı	30,7	55,1	57,2	84,6	112,8	115,8	114,29	99,8	107,4	272,3
T.B. E. İhracatı	2,1	1,6	3,2	7,9	8,1	6,1	8,8	175,0	450,0	319
T.E. (%)*	47,6	33,2	31,6	29,7	23,9	27,6	29,8	-1,8	-3,3	-17,8

* Toplam birincil enerji üretiminin toplam enerji arzını karşılama oranı

1990-2020 arasında 30 yıllık periyotta toplam enerji ithalatı 30.663 bin TEP'ten 114.286 bin TEP'e yükselerek yüzde 272,3 oranında artmış; aynı dönemdeki toplam enerji ihracatı 2.104 bin TEP'ten 8.842 bin TEP düzeyine yükselerek %319 artmıştır.

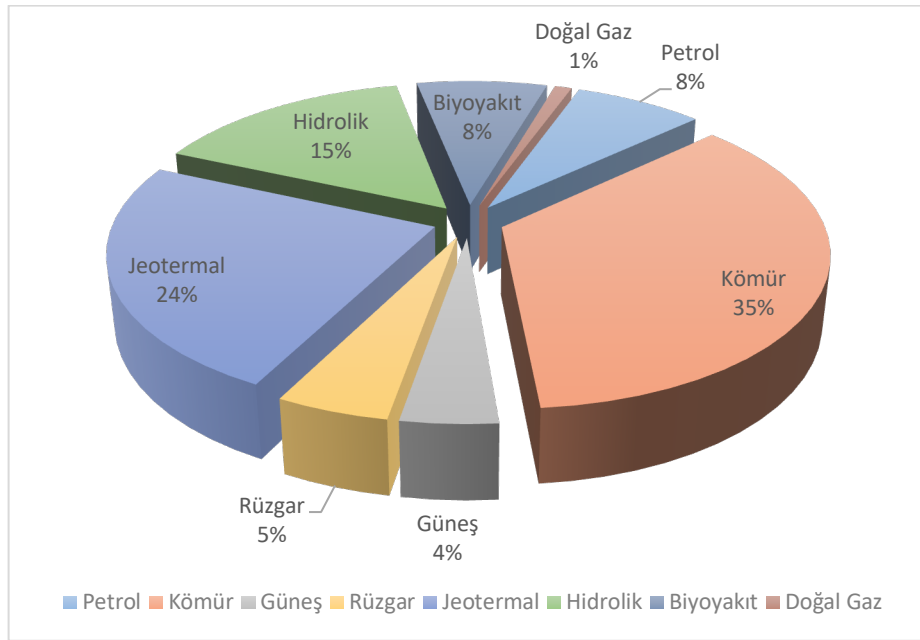


Şekil 1.10. 1990-2020 yıllarında Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı (URL-5).



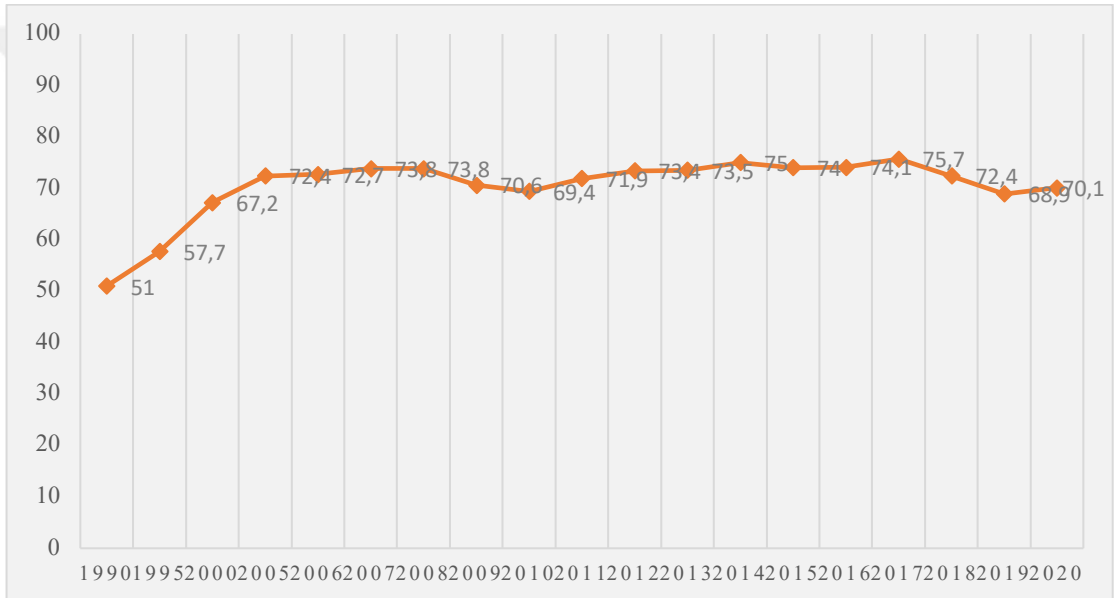
Şekil 1.11. 1990-2020 Türkiye toplam enerji üretiminin, arzını karşılama oranı (%) (URL-5).

Son 30 Yıllık dönemde toplam enerji üretiminin enerji arzını karşılama oranı yüzde 47,6'dan yüzde 29,8'e düşmüştür. Bir diğer ifade ile enerji arzında dışa bağımlılık 1990 yılında yüzde 52 iken 2000 yılında yüzde 67, 2010'da yüzde 70 iken 2015'te yüzde 76'ya kadar çıkmış fakat son beş yıldaki güneş, jeotermal, rüzgar gibi kaynaklardaki artış sayesinde 2020 yılında yüzde 70'e gerilemiştir.



Şekil 1.12. 2020 Türkiye enerji üretiminde kaynakların miktarı (MTEP) ve payları (%) (URL-4).

2020 yılındaki toplam üretimin 15,7 MTEP ve %35,6'sını, kömür üretimi oluşturmuştur. Bu üretimin %90'ını linyit oluşturmuştur (URL-4). Birincil enerji talebinin yerli üretim ile karşılanma oranı 2020 yılında yüzde 29,9 olmuştur. Diğer bir deyişle, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı bir önceki yıla göre yaklaşık yüzde 1 artmış olup, yüzde 70,1 olmuştur. Enerjide dışa bağımlılık oranı, 1990'lü yılların başından itibaren doğal gaz tüketimindeki büyük yükselişe bağlı olarak önemli oranda artarak 2000'li yılların başından itibaren yüzde 70-76 arasında gerçekleşmiştir. Ülkemizce son yıllarda titizlikle yürütülen enerjide dışa bağımlılığı azaltmaya yönelik politikalar sonuç vermeye başlamış, 2018 ve 2019 yıllarında Birincil enerji talebinin yerli üretim ile karşılanma oranı artış göstermiştir (TPAO).



Şekil 1.13. 1990-2020 yılları arası Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı (TPAO).

1.5 Doğal Gaz

Doğal gaz tıpkı diğer fosil yakıtlar gibi bitki ve hayvan artıklarının milyonlarca yıllık süreç içinde yüksek basınç ve sıcaklık koşulları altında gerçekleşen kimyasal bir reaksiyon sonucu oluşmuş hidrokarbon kökenli bir yakıt türüdür. Doğal gaz kokusuz, renksiz bir yakıt olup genellikle petrol rezervlerinin bulunduğu alanlarda (yaklaşık yüzde 40) veya serbest olarak (yaklaşık yüzde 60) bulunmaktadır (Günaydın, 2020). Doğal gaz çevresel etki anlamında değerlendirilirse havaya saldıgı sera gazı miktarı diğer fosil yakıtlara nazaran oldukça düşüktür. Doğal Gazın içeriğini; en az %70 metan

oluşturmakta olup, propan, etan, bütan ise en çok %20 oranındadır. Bunların haricinde Karbondioksit, oksijen ve diğer gazlar doğal gazın molekül yapısında yer alır. Doğal gazın muhteviyatı Çizelge 1.5’te verilmiştir (URL-6).

Çizelge 1.5. Doğal gazın içeriği (URL-6).

Bileşen	Formül	Oran(%)
Metan	CH ₄	70-90
Etan	C ₂ H ₆	20
Propan	C ₃ H ₈	
Bütan	C ₄ H ₁₀	
Karbok dioksit	CO ₂	0-8
Oksijen	O ₂	0-0,2
Azot	N ₂	0-5
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	0-5
Asal Gazlar	A, He, Ne, Xe	0-1

Doğal gaz molekülünün kimyasal yapısı basit olduğu için yanması oldukça basittir. Reaksiyonda yarım yanma gerçekleşmeyeceğinden is, duman, kurum gibi maddelerin oluşumu gözlenmemektedir. Karbon oranı diğer fosil yakıtlara kıyasla düşük olduğundan hava kirliliği açısından da etkisi düşüktür (Şener, 2021).

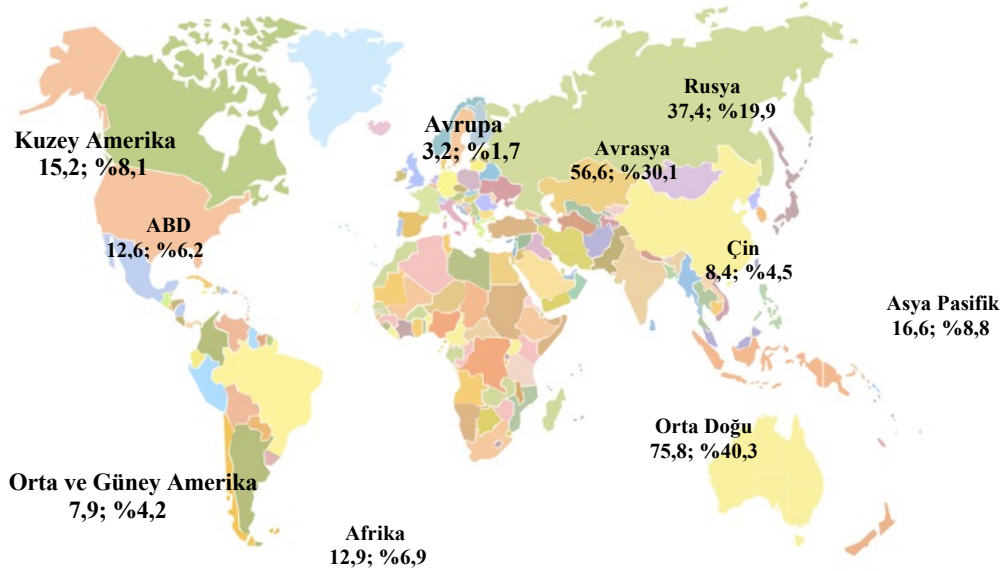
1.5.1 Doğal gazın tarihçesi

Gaz kelimesi Latince “cahos” ve Yunanca i “khaos” kelimelerinden türetilmiştir. Gaz kelimesi terimsel olarak ilk kez Flemenk Jan Baptista Van Helmont tarafından kullanılmıştır. Doğal gaz ilk zamanlarda Avrupa’da ısınma değil aydınlanma amaçlı kullanılması sebebi ile “aydınlanma gazı” anlamına gelen isimlerle anılmıştır. İngilizce olarak “towngas” Fransızca olarak “gaz de ville” Almanca’da ise leuthgas” olarak anılmıştır. İlk kez doğal gazın keşfi M.Ö. 6000-2000 yılları arasında İran’da gerçekleşmiş, yakıt amaçlı kullanımı M.Ö 900’lü yıllarda Çin’de su ısıtma amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. Renksiz ve kokusuz olması sebebi ile hayalet adı ile de anılmıştır. M.Ö. 50’de Roma’da bulunan Uesta Tapınağındaki aşk tanrıçası heykelinde aydınlatma amaçlı kullanılmıştır. M.S. 100-125 yıllarında şimdiki Irak Topraklarında sızan doğal gazın çeşitli amaçlarla kullanıldığı da bilinmektedir. Çin’de Shu Han Hanedanlığı döneminde doğal gaz kuyuları açılarak bambu kamışlarla çıkartılması gerçekleştirilmiştir. Doğal gazın ticari amaçlı olarak uzun mesafede taşınması ise ilk defa 1883 yılında ABD Pittsburgda gerçekleşmiş olup boru hatları ile gerçekleştirilmiştir (Şener, 2021).

1.5.2 Doğal gaz rezervleri

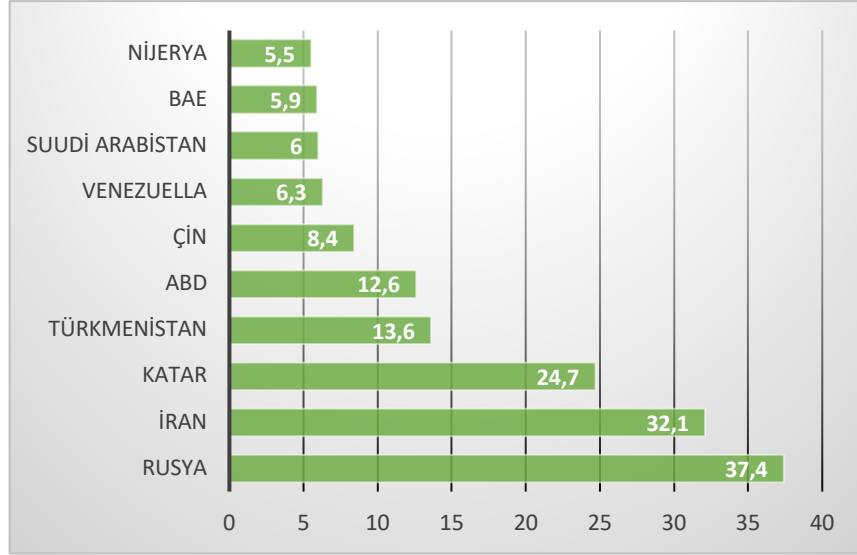
Dünya’da doğal gaz rezervleri dağınık olarak bulunmakta olup önemli bir kısmı Orta Doğu Avrasya ve Hazar Denizi etrafında bulunmaktadır.

Bilinen dünya doğal gaz rezervleri 2019 yılında, 190,3 trilyon m³ iken 2020 yılında %1,3 azalış ve 188,1 trilyon m³ olmuştur. Dünya doğal gaz rezervlerinin yüzde 40,3’lük kısmı Orta Doğu’da, yüzde 30,1’ilik kısmı Avrasya’da, yüzde 8,8’i Asya Pasifik’te, yüzde 8,1’i Kuzey Amerika’da, yüzde 6,9’u Afrika’da, yüzde 4,2’si Orta ve Güney Amerika’da ve yüzde 1,7’si ise Avrupa’da bulunmaktadır. OECD ülkelerinin toplam doğal gaz rezervi 20,3 trilyon m³ olup, toplam rezervin yüzde 10,8’ine tekabül etmektedir.



Şekil 1.14. 2020 yılı bölgelere göre Dünya doğal gaz rezervi (URL-8).

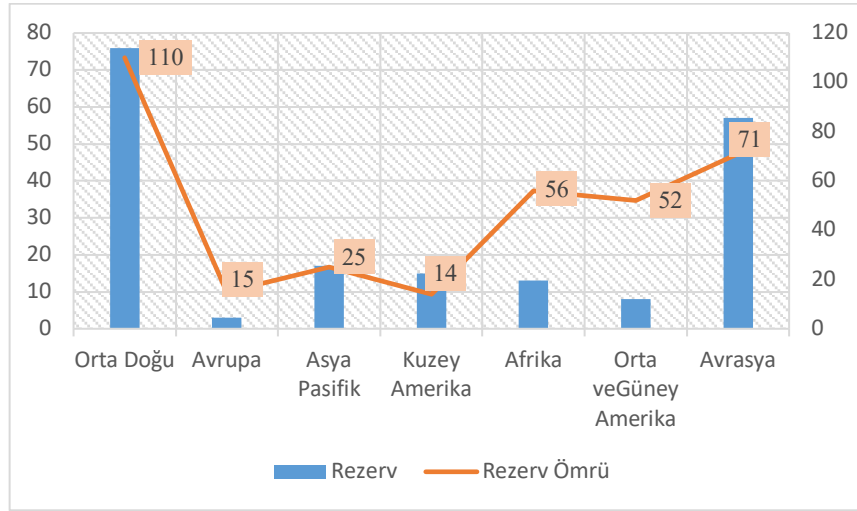
2021 yılında küresel keşifler toplamı 920 milyar m³ tür. 2020 yılı itibarıyla, en fazla doğal gaz rezervine sahip ilk üç ülke sırasıyla Rusya, İran ve Katar olmuştur (URL-8).



Şekil 1.15. 2020 yılı en fazla doğal gaz rezervine sahip ilk 10 lke (Trilyon m³) (URL-8).

1.5.3 Dünya doğal gaz rezervlerinin ömrü

2020 yılı rezervi olan 188,1 trilyon m³ mevcut üretim olan 3,85 trilyon m³'e oranlandığında rezerv ömrünün küresel bazda 48,8 yıl olduğu anlaşılmaktadır. 2020 yılı bölgelere göre doğal gaz rezervi ve rezerv mr Şekil 1.16'da verilmektedir.

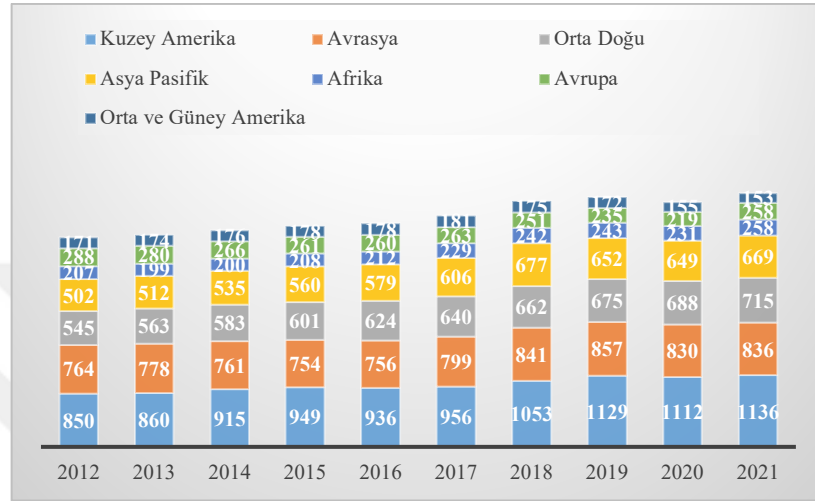


Şekil 1.16. 2020 yılı bölgelere göre doğal gaz rezervi ve rezerv mr (URL-8).

48,8 yıl olarak ifade edilen doğal gaz rezerv ömrü günümüz mevcut teknoloji ile üretilmesine bağlı olarak hesaplanmış olsa da yeni keşifler ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler çerçevesinde değişim gösterebileceği dşnlmelidir (URL-8).

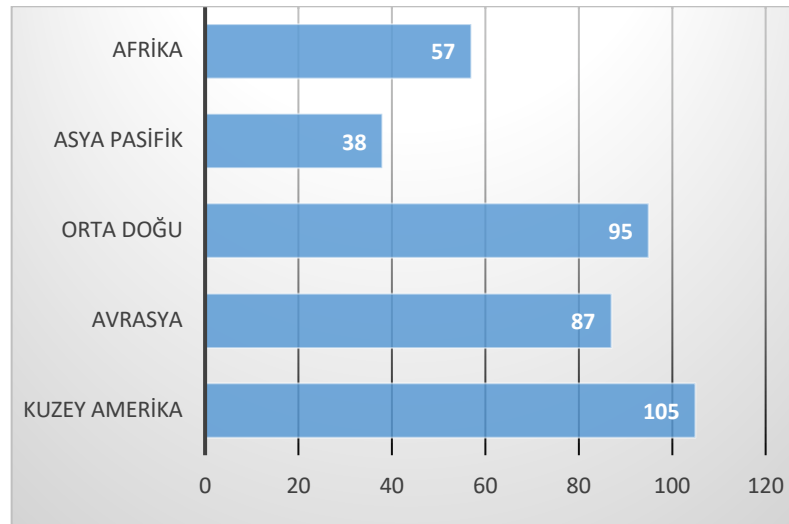
1.5.4 Küresel doğal gaz üretimi

2020 yılı özelinde doğal gaz üretimi 3,86 trilyon m³ olarak gerçekleşmiş olup 2021 yılında, %4,8 artışla 4,04 trilyon m³ e çıkmıştır. 2021 yılı doğal gaz üretiminde Afrika bölgesinde %11,7 seviyesinde artış gerçekleşirken, Avrupa üretimi kısmında %3,5'lik düşüş gerçekleşmiştir.



Şekil 1.17. 2012-2021 yılları bölgelere göre küresel doğal gaz üretimi (URL-8).

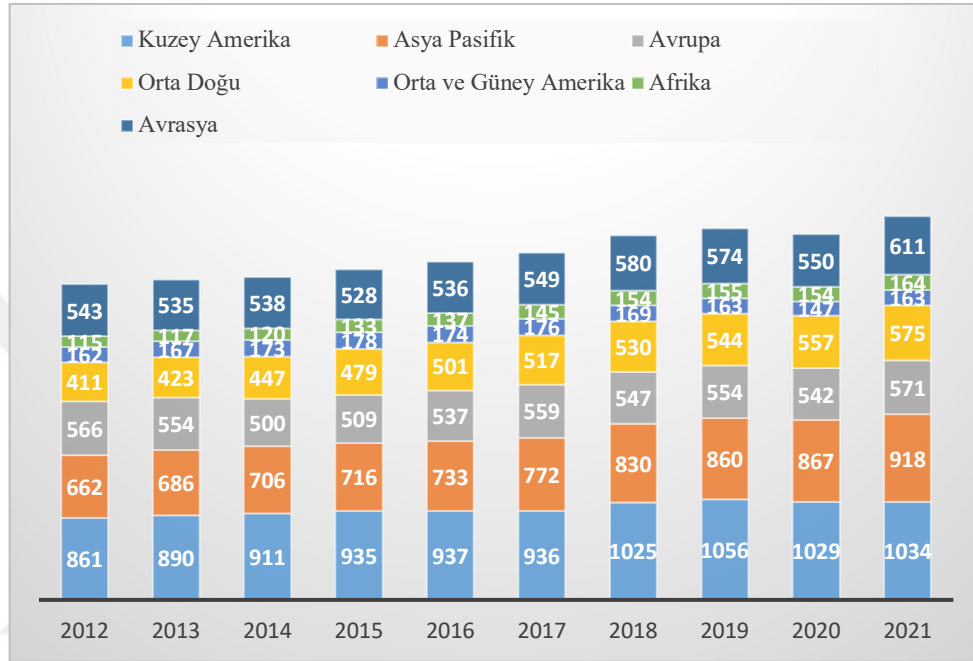
Küresel ölçekte doğal gaz üretiminde en büyük pay Kuzey Amerika'ya ait olmuştur. 2025 yılına kadar olan projeksiyona bakıldığında Uluslararası enerji ajansı raporuna göre, bu yılda da yıllık ortalama %1,5 artış ile Kuzey Amerika'nın sırasını koruyacağı öngörülmüştür. Öngörüye göre 2025 yılına kadar 1233 milyar m³'e ulaşacaktır.



Şekil 1.18. 2020-2025 yılları Dünya doğal gaz üretim artış projeksiyonu (Milyar m³) (URL-8).

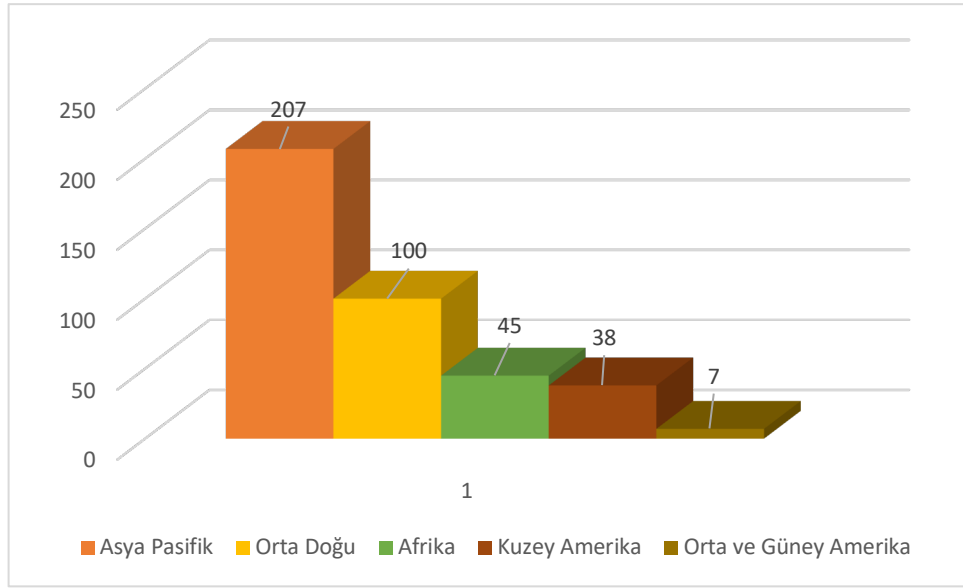
1.5.5 Küresel doğal gaz tüketimi

2021 yılında küresel doğal gaz talebi, 2020 yılına göre %5,3 artmış olup, 4,04 trilyon m³'e yükselmiştir. 2021 yılı talep artışı, yüzde 11,4'le Avrasya, yüzde 11,3'le Orta ve Güney Amerika ve yüzde 7,3 ile Afrika kaynaklı olup talep bazında daralma hiçbir bölgede olmamıştır.



Şekil 1.19. 2012-2021 yılları Dünya doğal gaz tüketimi (Milyar m³) (URL-8).

Uluslararası Enerji Ajansına göre; en yüksek talep artışı Asya Pasifik'in ardından Orta Doğu'da yaşanacağı öngörülmüştür. Sadece Asya Pasifik ülkelerinden (Çin ve Hindistan başta olmak üzere) gelecek olan talep artışı 207 milyar m³ ile küresel artışın (397 milyar m³) yarısından fazla olacaktır. Orta Doğu'da en büyük artış hâlihazırda toplam tüketimin yüzde 70'ini oluşturmakta olan İran ve Suudi Arabistan kaynaklı olacak olup toplam bölge talebinin 100 milyar m³ artışla 2025'te 660 milyar m³'e çıkması beklenirken, Afrika Bölgesi'ndeki tüketimin 2025 yılında 195 milyar m³'e çıkması öngörülmekte olup artışın öncelikle Cezayir, Mısır ve Nijerya kaynaklı olması öngörülmektedir. Kuzey Amerika'daki talep artışının 2025 yılına kadar 38 milyar m³ olması beklenmektedir. Orta ve Güney Amerika'da talep artış miktarı 7 milyar m³ olup oldukça düşük olduğu görülmektedir. Diğer yandan 2025'e kadar Avrupa ve Avrasya'da doğal gaz talebin yatay düzlemde ilerlemesi beklenmektedir (URL-8).



Şekil 1.20. 2020-2025 dönemi bölgelere göre doğal gaz talep artışı (Milyar m³) (URL-8).

1.6 Enerji Arz Güvenliği

Dünya ekonomisi ve insanlık için enerji kaynakları dün olduğu gibi bugün de önemli bir yere sahiptir. Enerjiye ulaşımında zorluk yaşamayan toplumlar enerji kesintilerinden ileri gelebilecek sorunlarla karşılaşmamaktadırlar. Enerji kesintisi yaşamsal faaliyetlerin yanı sıra sanayiden tarıma, turizme kadar birçok faaliyetinde durmasına sebep olacaktır. Dolayısıyla enerji kesintisinin oluşturabileceği tüm olumsuz senaryoları minimuma indirmek “arz güvenliği” kavramıyla açıklanmaktadır. Enerji arz güvenliği enerjiden ve enerji kaynaklarından mümkün mertebe en üst düzeyde faydalanabilmek anlamına da gelmektedir (Öznazik, 2019). Enerji arz güvenliği Soğuk Savaş dönemi sonrasında yeni bir güvenlik tehditi olarak ortaya çıkmakla beraber ülkeler arasındaki ilişkilerde yaşanan değişimler doğrultusunda ülkelerin karar alma mekanizmalarında önemli bir etkiye sahip olmaktadır (Şöhret, 2015).

1.6.1 Enerji arz güvenliği tanımlamasının tarihsel süreci

Enerji arz güvenliği kavramı yeni gündeme gelen bir kavram olarak düşünülse de aslında 100 yılı aşkındır gündemdedir. Birinci Dünya Savaşının hemen öncesinde Churchill Britanya donanmasındaki tüm gemilerde yakıt olarak petrol ürünlerinin kullanılmasına karar vermiş ve enerji arz güvenliği kavramını “safety and certainty in oil in variety and variety alone” yani petrol konusunda güven ve belirliliğin, sadece,

çeşitlilik üzerine inşa edilmesi şeklinde tanımlamıştır (Yergin, 2006). İlgili yıllarda petrol ürünlerinin tüm dünyada önemi hızla artıyor olduğu için enerji arz güvenliği kavramını sadece petrol ürünleri bazında tanımlamış olması şaşırtıcı değildir. Ayrıca 1970’li yıllardaki petrol arzı problemleri sonrasında da enerji arz güvenliği kavramı yalnızca Orta Doğu’dan yapılan potansiyel petrol arz kesintisi riskinden kaçınmakla ilgili olacak şekilde tanımlanmıştır (URL-10). Daha sonraki senelerde petrol hala enerji kaynakları arasında başı çekse de yeni enerji kaynaklarının da çeşidinin artmasının sonucu olarak bu kavramın yeniden gözden geçirilme ihtiyacı oluşmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın raporunda “uygun maliyet ile yeteri kadar enerji arzı” şeklinde tanımlanmıştır (Chester, 2010). Kısaca 1900- 1970 yılları arasında yalnızca petrol bazlı tanımlanan kavram 1980’li yılların ortalarından beridir genel bir kavram olarak tanımlanmıştır. 2000’den bugüne ise günümüzdeki tanıma yaklaşılmaya başlamıştır. Enerji arz güvenliği özellikle mevcudiyet, erişilebilir olma, hesaplılık ve kabul edilebilirlik ekseninde şekillenmiştir (URL-11). Bu kavramların da dışında ülkenin olası enerji kesintisi durumunda dayanıklılığını ve kaynak çeşitliliği sayesinde kriz anlarında çeşitli kaynakları kullanabilme yeteneğine bağlıdır.

1.6.2 Enerji arz güvenliğinde rol oynayan faktörler

Enerji arz güvenliğinin bugünkü tanımı içinde;

- Mevcudiyeti
- Erişilebilirliğinin yüksek olması
- Uygun fiyatlar ile ulaşılabilmesi
- Kabul edilebilir ve sürdürülebilir olması

Öne çıkmakla beraber “kabul edilebilir” kavramı ise çevresel hususlar ve kalkınma açısından kabul edilebilir olmasını ifade etmektedir. Andra Pradeş Elektrik Düzenleme Komisyonu (APEREC) ise 2007 yılında bu boyutları temelde 3’e ayırmıştır. Bunlar;

- Fiziksel bakımdan enerji güvenliği
- Ekonomik bakımdan enerji güvenliği
- Çevresel bakımdan sürdürülebilirliktir.

Bu tanımlardan fiziksel bakımdan enerji güvenliği mevcudiyet ve erişilebilirliği tanımlarken, ekonomik açıdan enerji güvenliğinden kasıt enerji kaynakları ve enerji altyapı yatırımlarının hesaplı olmasıdır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından kavram ise kaynakların kullanımının sürdürülebilir oluşu, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da gözeterek bugünkü ihtiyacı karşılayabilme kapasitesidir (Çelikpala, 2014). Bu tanımlamalardan da anlaşılacağı üzere enerji arz güvenliği “mevcudiyet”, “erişilebilirlik”, “hesaplılık” ve “sürdürülebilirlik” olarak 4 ana ayak üzerinde tanımlanmaktadır (Şengönül, 2022).

1.6.2.1 Mevcudiyet

Mevcudiyet enerji kaynaklarının fiziki olarak varlığı olarak tanımlanabilmekte olup, enerji arz güvenliğinin talep boyutuyla doğrudan ilgilidir. Enerji kaynağına talep durumunda kaynağın varlığını ifade eder. Teknolojik imkânlar açısından ve arz-talep güvenliği bakımından kaynakların tükenmesi veya yeni rezervlerin keşfedilmesi ve önemli bir kavramdır (Çelikpala, 2014). Enerji alışverişlerinde ithalatçı ve ihracatçı ülkeler arasında ortaya çıkan sorunlardan siyasal istikrarsızlık, savaş, bölgesel anlaşmazlıklar gibi jeopolitik tabanlı sorunların meydana gelmesi durumlarında enerjiye erişim mümkün olmayabilir. Tüm bu açıklamalardan yola çıkarak mevcudiyetin önemi anlaşılabilir (Şengönül, 2022).

1.6.2.2 Erişilebilirlik

Erişilebilirlik ihtiyaç halinde enerji kaynaklarına ulaşmanın kolaylığını ifade eder. Altyapıların varlığı (boru hatları, iletim hatları gibi) ve de kullanılabilir olması ile doğru orantılıdır. İnsani ihtiyaçların giderilebilmesi için ısınma, üretimin devamlılığının sağlanabilmesi, ulaşımın aksamaması gibi önemli ihtiyaçlar da erişilebilirliğin kesintiye uğramadan sürdürülebilmesine bağlıdır. Nüfus artışı ekonomideki gelişmelere de uygun olarak erişilebilirlik noktasında yeni altyapı yatırımlarının yapılması, kaynak çeşitliliğinin sağlanması, gerekli olması halinde yeni dağıtım kanallarının oluşturulması da hayati önem arz etmektedir. Yine enerji erişiminde yaşanabilecek olası sorunlara karşı hayatın doğal akışının devamlılığını sağlayabilmek adına enerjinin depolanarak gerektiğinde kullanılabilmesi de büyük öneme haizdir. Tüm bunların haricinde çoğunlukla kullanılan enerjinin fosil yakıt tabanlı olduğu ve bu yakıt türlerinin tükenebilir oluşu göz önüne alındığında; tüketimin

azaltılması, insanların daha az tüketime yönlendirilmesi, enerji tasarrufu konularında bilinçlendirilmesi de amaçlanmalıdır (Çoruh, 2019).

1.6.2.3 Ekonomiklik (Satın alınabilirlik)

Ekonomiklik enerjiye uygun fiyatla erişebilme kapasitesine denilmektedir. Enerji fiyatlarının yüksekliği enerjiye erişimde sorunlar yaratmaktadır. Ayrıca enerji fiyatlarında yaşanacak ani değişimler de bu kavramı karşılamaktadır.

Enerjinin temel bir ihtiyaç olması sebebi ile enerji fiyatlarında yaşanacak ani bir artış insanların harcanabilir gelirini azaltacaktır. Bu nedenle insanlar daha uygun fiyatlı enerji tercih ederek harcanabilir gelirlerinin daha azını enerjiye verip öncelikli diğer ihtiyaçlarını karşılama eğiliminde olacaktır. Enerjinin düşük fiyatlı olması ise aşırı enerji tüketimine yol açabilecektir. Bu durumda sanayi yatırımlarının azalması, enerji alanındaki gelişimin yavaşlaması, müşterinin yaşanacak ani fiyat dalgalanmalarına karşı savunmasız kalması gibi olumsuzluklar ortaya çıkacaktır (Çoruh, 2019). Doğada enerji elde etmek için yararlanılabilecek birçok kaynak vardır. Tercih yapılırken ekonomik açıdan marjinal faydanın marjinal maliyetin üzerinde olması göz önüne alınmaktadır (Çelikpala, 2014). Yatırım maliyetleri aynı olan farklı kaynaklardan maliyeti en az olanın tercih edilecek olması muhtemeldir.

1.6.2.4 Sürdürülebilirlik

Arz güvenliğinde sürdürülebilirlik, enerjinin talep edildiği sürece devamlı, herhangi bir aksama yaşanmadan sağlanabilmesi anlamına gelmektedir. Fosil yakıtların belirli bir ömre sahip olmaları sürdürülebilirliği tehlikeye atmaktadır. Fosil yakıtların atmosfere yaydığı sera gazı miktarı açısından değerlendirilecek olursa da çevresel sürdürülebilirliğe de olumsuz etkisi yadsınamaz. Temiz ve yenilenebilir enerjiye olan talebin artması ve bunlara yapılacak yatırımlarla enerji ihtiyacının karşılanması daha sürdürülebilir bir tercihtir (Şengönül, 2022).

1.6.3 Enerji arz güvenliğini etkileyen unsurlar

İnsanlığın ve ülkelerin gelişimine ve dünyaya hâkim olma gayesinde en etkili olan faktörlerden biri şüphesiz enerjidir. Enerji bir ülkenin üretiminden ekonomisine hatta güvenliklerine kadar etki etmekle beraber ülke siyasetlerine de büyük ölçüde yön

vermektedir. Ülkeler arasında yaşanan sorunların çoğunluğu enerjiye hakim olma isteğinden ileri gelmektedir. Enerjinin varlığı ile insanlık tarihi köklü değişiklikler yaşamış, medeniyete katkı sağlayan enerji aynı zamanlarda yeni keşiflerden savaşımlara kadar birçok sürece neden olmuştur. Enerji ihtiyacı artan dünya nüfusuna paralel olarak günbegün artmakla birlikte enerjiye olan bağımlılık bütün dünyayı etkisine almıştır. Ülkeler gelişmişlik düzeylerini artırmak için de enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Enerji ihtiyacının sağlıklı olarak karşılanmasında kaynak çeşitliliği, güvenilirlik ve sürekliliği önceleyen politikaların geliştirilmesi kritiktir. Bu politikalar oluşturulurken de arz güvenliği konusunu atlamadan değerlendirmek önem arz etmektedir. Nüfus artışıdaki hız, sanayileşmedeki artış, teknolojik araçların yaygınlaşması enerjiye olan talebi günbegün artırmaktadır. Ülkelerin büyümesi yani üretim kapasitelerinin artmasında da en önemli etken olarak enerji karşımıza çıkmaktadır ve bu büyümeye orantılı olarak tüketilen enerjinin payı artacaktır. Bu durumlar göz önünde bulundurularak enerji arz güvenliğini etkileyen faktörler şekillenmektedir. Bunlar; ekonomik, siyasi ve coğrafi olarak 3 ana başlıkta incelenecektir.

1.6.3.1 Ekonomik unsurlar

Enerji, hayatın her alanında ihtiyaç duyulan bir kaynak olması sebebi ile vazgeçilmez bir konuma erişmiştir. Bu sebeple enerjinin fiyatı önem kazanmaktadır. Enerji fiyatlarındaki oluşabilecek ani değişimler ülkelerin ekonomilerini de büyük oranda etkilemektedir. Enerji tüketen ve üreten ülkeler bazında değerlendirildiğinde arz güvenliğini etkileyen faktörler değerlendirildiğinde; rezerv durumu, ticaret hacmi, ithalat bağımlılığı, fiyat, elde edilebilirlik, döviz kuru, depolama imkanı ve maliyeti, nakliye maliyeti, atıkların yönetimi sebebi ile ortaya çıkacak maliyet gibi bir çok faktör etkilidir (Erdal, 2011). Fiyat kavramı enerjiyi üreten ve tüketen ülkeler için farklı anlamlara gelmektedir. Fiyat kavramında enerji üreticisi firmaların açısından bakıldığında fiyat artışı kısa vadede olumlu gözükse de uzun vadede talep güvenliği noktasında sorun yaratabilir. Tüketici tarafından bakıldığında fiyat artışı ülkenin enerjiye ayırdığı bütçeyi artıracığından arz güvenliğini olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle kendi kaynaklarından enerjiyi sağlayan ülkeler enerji ihracatçısı ülkelere göre arz güvenliği konusunda daha avantajlıdır. Kaynak rezervlerinin fazlalığı hem ülkenin iç ihtiyacını karşılayabilme hem de ihracattan gelir elde edilebilmesi sebebiyle arz güvenliği açısından önemlidir. Enerji ihtiyacını diğer ülkelere ihraç etme yoluyla

karşılayan ülkeler enerji sürekliliğini sağlamakta zorluk çekeceğinden arz güvenliği tehlikeye düşecektir. Oluşabilecek kesintilere karşı enerjinin depolanması arz güvenliğinin sağlanabilmesinde rol oynamaktadır. Farklı kaynaklara yönelim de bir seçenek olmaktadır. Enerji ihtiyacını ithalat ile karşılayan ülkelerin öncelikli olarak kendi kaynaklarına yönelmesi önemlidir. İlgili kaynağın alternatiflerine yönelinmesi de önemli bir unsurdur. Arz güvenliği için bir diğer önemli konu da yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesidir. Yenilenebilir enerji yatırımları sayesinde ülkenin enerjide dışa bağımlılığı ve harcamalarını düşürerek yenilenebilir enerjiye yatırımların da artırılmasını sağlayacaktır.

1.6.3.2 Siyasi unsurlar

Küreselleşmeye bağlı olarak arz güvenliği ulusal güvenlikten askeri alana kadar birçok alanda önem kazanmıştır. Enerji güvenliğinde mevcut kaynakların, ulaşılabilir oluşu, ekonomik ve çevresel faktörlerin yanı sıra siyasi faktörler de önemlidir. Siyasi faktörlerde oluşacak değişim arz-talep dengesini de etkilemektedir. Küresel güçler arasında enerji kaynaklarına sahip olma mücadelesi halen devam etmektedir. Ülkelerin gösterdiği ekonomik ve teknolojik gelişmeye paralel olarak enerji talebi artarken bu durum enerji güvenliği bakımından tehdit oluşturmaktadır. Dolayısıyla enerjiye sahip olma isteği ile özellikle teknolojik gelişmişlik doğru orantıda ilerlemektedir. Fosil yakıtlarının rezervindeki azalma, dolayısıyla maliyetin ve fiyatın artışı, ülkeler arası diyalogda yaşanan problemler de enerji arz güvenliğini etkilemektedir. Enerji kaynaklarından doğan çatışmalar hali hazırda tükenme tehlikesi olan fosil yakıtların arzının azalmasına neden olarak enerji arz güvenliğinin önemini artırmaktadır. Bir ülkede bir enerji kaynağının varlığı o ülkeye siyasal, ekonomik ya da sosyal olarak istikrar sağlama açısından pozitif yönde katkı sağlayabileceği gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir. Enerji arz güvenliği açısından bakıldığında üretim ve tüketimde bir ülkenin önemli oranda enerji kaynağına sahip olması veya bağımlılığı, ülkenin ekonomik, siyasî ve sosyal düzeni düşünüldüğünde ülkedeki rejimin güvenliği için tehlike oluşturabilmektedir (Erdal, 2011).

Enerji ihtiyacını ihracat yoluyla sağlayan ülkeler; tedarikçi ülke çeşitliliğini artıramaması, ya da ithalatçı ülkelerle yaşayabileceği olumsuzluk durumunda arz güvenliğinde ciddi sorunlar yaşayacaktır. Ülkenin siyasal yapısındaki istikrarsızlık da sorun oluşturacak siyasi faktörlerden biridir. Siyasi yapıları devamlı olarak değişen

lkeler enerji konusunda istikrarsızlık yaşayabilirler. Bu durumda enerjiyi ithal ya da ihraç edecek ülkeler satış veya alış kararlarından vazgeçebileceği gibi yatırımcı ülkeler de yatırım kararlarından vazgeçebilir ya da kararını askıya alabilir. Enerjinin ithalatçı ve ihracatçı ülke arasındaki transferinin sorunsuz olarak sağlanması da önemlidir. Kaynağın iletim sürecinde siyasal istikrarsızlık ve doğabilecek çatışmalar olması arz güvenliğini yine tehlikeye atacaktır. Tek kaynağa bağımlılık da arz güvenliği bakımından tehlikeli olup kaynak çeşitliliğinin sağlanması ile aşılabilir. Bir diğer önemli konu ise ülkeler arasında enerji iletimini sağlayan boru hatlarının güvenliğinin sağlanabilmesidir (Ergin, 2020).

1.6.3.3 Coğrafi unsurlar

Coğrafi faktörler hayatın her alanında olduğu gibi enerji arz güvenliğinde de önemli bir faktördür. Enerji kaynaklarının mevcudiyeti son derece önemlidir. Ülkenin bulunduğu coğrafya, ekonomik gelişmişlik düzeyi tüketim tercihlerini de etkilemesi sebebi ile önemlidir. lke enerji kaynağına ne kadar uzak olursa enerjinin iletimi için yapması gereken yatırımlar ve buna bağlı maliyetler (boru hatları, deniz ve kara yoluyla taşıma gibi) artacaktır (Ağca, 2019).

lkeler farklı dağıtım yollarını kullanarak taşıma maliyetlerini azaltmayı bu sayede enerji fiyatlarını azaltmayı hedeflemektedir. Yine enerji nakil güvenliği de önemli bir konudur. Kaynağın kesintisiz ve sorunsuz şekilde nakli konusu da coğrafi etkenler arasında değerlendirilebilir. Enerji naklinin kesintisin olarak sağlanabilmesi için birden fazla alternatifin olması da önem arz etmektedir. Arz güvenliğini arttırmak açısından, ülkeler ve bölgeler arasındaki enerji nakil güzergâhlarını çeşitlendirerek tüketicinin ulaşımını kolaylaştırmak önemlidir. Enerji arzını sağlarken çevresel koşullara dikkat etmek de önemlidir. Nükleer silahların yaygınlaşması, çevresel duyarlılık gibi konular da enerji arz güvenliğinin alanına girmektedir. İklim değişikliği, hava kirliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması da önemli konular arasında yer almıştır. Çevresel konulara olan duyarlılık ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile doğru orantılıdır. Gelişmemiş ülkelerin temel konusu çevreden çok kalkınma odaklı olmaktadır (Ergin, 2020).

Hızla artan nüfusla ve şehirleşmedeki artış, ekonomik kalkınmayı önceleyen politikalar çevre güvenliğinin göz ardı edilmesine neden olabilmektedir. Çevrenin geri plana atılması da önemli sorunları beraberinde getirmektedir.

Hızla artan nüfusla birlikte aynı oranda kentleşmenin yaşanmasıyla, ekonomik kalkınmaya ve gelir düzeyinin yükselmesine öncelik verilmesi, çevre güvenliğinin göz ardı edilmesine neden olabilmektedir. Çevrenin ikinci plana atılması sorunların daha fazla artmasına neden olmaktadır (Erdal ve Karakaya, 2012: 132). Bu nedenle ülkeler belirli anlaşmalar yoluyla çevresel güvenliğin sağlanması yollarını aramaktadır.

1.6.4 Türkiye’de enerji arz güvenliği

Ülkelerin güvenilir, kesintisiz çevre dostu enerjiye ulaşımı ülke yönetimlerinin sorumluluğundadır. Ülke yönetimleri değişmesine paralel uygulanan politikalar da değişkenlik gösterebilir. Enerji politikaları geliştirilirken ekonominin genel durumu, ithalat, ihracat, nüfus, teknolojik gelişmeler ve tüketicilerin tercihleri gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Ülkemiz enerji politikalarını belirlerken yetersiz olan kaynak rezervlerini göz önüne almaktadır. Ülkemiz doğuda bulunan ihracatçı ve batıdaki ithalatçı ülkeler arasında coğrafi konum itibariyle köprü konumundadır. Dolayısıyla enerjiye ulaşmak isteyen batılı ülkeler Türkiye üzerinden geçiş sağlamaktadırlar. Coğrafi konumumuzun sağladığı avantajlar sayesinde ülkemizde enerji kaynakları artarken aynı zamanda çeşitli anlaşmalar ile fiyat avantajı da sağlanabilmektedir. Cumhuriyet kuruluşundan bu yana ülkemizde uygulanan enerji politikaları Çizelge.1.6’da özetlenmiştir (Tutar vd., 2018).

Çizelge 1.6. Türkiye enerji politikalarının kronolojik öyküsü (Tutar vd., 2018).

1923 Öncesi	Bu yıllarda enerji politikaları henüz gelişim göstermemektedir.
17 Şubat 1923	Bu tarihte İzmir İktisat Kongresi toplanmış ancak enerji sektörü genelinde değil sadece madencilik kısmıyla alakalı değerlendirmeler yapılmıştır.
1926	Petrol Kanunu yayımlanmıştır
1930	Devletçilik ilkesi benimsenerek liberal politikalar durdurulmuş ve bu sebeple gazda, kömürde ve demiryollarında kamulaştırmalar gerçekleştirilmiştir.
1954	Petrol Kanunu (6326 sayılı) çıkarılmış, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı kurulmuştur.
1957	Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu kurulmuştur.
1963	Türkiye Enerji Bakanlığı kurulmuştur.
1991	TEK, Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. ile Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. olmak üzere iktisadi devlet teşekkülü olarak yeniden yapılanmaya gidilmiştir.
2001	EPDK kurulmuştur.
2001	Doğal Gaz Piyasası Yasası çıkarılmıştır.
2003	Petrol Piyasası Yasası çıkarılmıştır.
2005	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun çıkarılmıştır.
2005	LPG Yasası çıkarılmıştır.
2007	Jeotermal Kaynaklar Ve Doğal Mineralli Sular’ a İlişkin Yasa çıkarılmıştır.
2007	Enerji Satışına İlişkin Yasa çıkarılmıştır.
2008	Enerji arz güvenliğine yönelik “Arz Güvenliğine İlişkin 5784 Sayılı Kanun” çıkarılmıştır.
2009	‘Asrın Anlaşması’ olarak bilinen Nabucco Projesi imzalanmıştır.
2010	Enerji Sektörü Araştırma- Geliştirme Projeleri Destekleme Programı’na (ENAR) a dair Yönetmelik Yayımlanmıştır.
2014-18	Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı çerçevesinde Sinop NGS oluşturulacağı ve Enerji Borsası kurulacağı yönünde kararlar alınıp uygulamaya konulmuştur.

1923 yılında toplanan “İzmir İktisat Kongresi”nde doğrudan enerji ile ilgili olmasa da madencilik ile ilgili kararlar alınmıştır. Kongrede yerli kaynakların kullanımına dikkat çekilmiştir. İzmir İktisat Kongresinde alınan kararlar Romanya’nın Petrol Kanunu’ndan esinlenilerek 792 sayılı “Petrol Kanunu” 1926 yılında çıkartılmıştır (Durmuşoğlu, 2015).

1933 yılında gelindiğinde Belediye Kanunu çıkarılmış, bu kanun ile belediyelere elektrik tesisi kurma ve işletme yetkisi verilmesi sağlanmıştır.

1935 yılında Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) kurulmuş ve 1940 yılında ilk petrol keşfini Siirt Raman'da gerçekleştirmiştir (Durmuşoğlu, 2015). İlk yıllarda çıkarılan petrol miktarları çok verimli olmasa da sonraki yıllarda önemli miktarlara ulaşılmasıyla Çatalağzı termik santrali kurulmuştur.

1954 yılında ise 6326 sayılı “Petrol Kanunu” çıkarılmış buna müteakiben 6327 sayılı “Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Kuruluş Kanunu” kabul edilmiştir. Öncesinde MTA'nın kamu adına yürüttüğü petrol faaliyetleri de bu kanunla TPAO'ya devredilmiştir (Yıldız, 2020). 1957 yılına gelindiğinde; Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu kurulmuştur. Ülkemizde sosyal, kültürel ve iktisadi kalkınmayı sağlayabilmek adına 1960 yılında Devlet Planlama teşkilatının da kurulması ile beşer yıllık kalkınma planları hazırlanmaya başlamış çeşitli hedefler koyulmuştur. İlk olarak 1963-1967 arası hazırlanan Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında enerjide ana ilke olarak milli kaynakları en uygun şekilde kullanmak, enerji maliyetlerinin olabilecek en alt seviyeye çekilmesi belirlenmiştir. Ülkede kullanılan ticari olmayan odun, tezek, tarım atıkları gibi yakıt türlerinin kullanımı azaltılarak ucuz çevre dostu sağlıklı yakıtlar sağlamak hedeflenmiştir. Birinci Beş yıllık periyotta bu çalışmaları bir plan program çerçevesinde yürütebilmek için 1963 yılında Enerji Bakanlığı Kurulmuştur. 1965 yılında ise petro kimya endüstrisi (PETKİM) kurulmuştur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığımızın 2019-2023 Stratejik Planı doğrultusunda 7 amaç, 31 hedef belirlenmiş ve bu hedeflere ilişkin 113 performans göstergesi oluşturularak altı aylık periyotlarla izleme, yıllık periyotlarla değerlendirme tasarlanmıştır. Aşağıda söz konusu amaçlar ve hedefler yer almaktadır.

- Amaç 1: Sürdürülebilir arz güvenliğini sağlamak
- Amaç 2: Enerji verimliliğini önceliklendirmek ve artırmak
- Amaç 3: Kurumsal ve sektörel kapasiteyi güçlendirmek
- Amaç 4: Enerji ve tabii kaynaklarda bölgesel ve küresel etkinliği artırmak
- Amaç 5: Enerji ve tabii kaynaklar alanında teknoloji geliştirme ve yerileştirme
- Amaç 6: Piyasalarda öngörülebilirliği artırmak
- Amaç 7: Sürdürülebilir madencilik ile üretim kapasitesini artırmak olarak belirlenmiştir (URL-11).

1968-1972 yıllarını kapsayan İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı içerisinde enerji kısmında imalat sanayisindeki gelişmeyle artacak enerji ihtiyacının petrol ürünleri ile karşılanması öngörülmüştür. Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) bu dönemde kurulmuştur.

Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1973-1977) enerji ilkesi milli kaynakları kullanmak, hidroelektrik enerji dengelerinin düzeltilmesi, enerjinin sürdürülebilirliğini ve ucuzluğunu sağlamak olarak belirlenmiştir. Ancak 1973'te gerçekleşen Petrol Krizi ile enerji fiyatları 4 kat artmış, ithalatçı olan ülkemiz ekonomisinde büyük sorun haline gelmiştir. Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1979-1983) enerji açığını kapatmak için atılım yapması hedeflenen kaynak olarak linyit öne çıkarılmış ve bu alanda yatırımlar hedeflenmiştir. 1984'te TEK'in iletim, üretim ve dağıtım ayrıştırılarak yerli/yabancı özel şirketler de 3096 sayılı yasa ile sektöre dahil olmuştur. 1985'te ise dağıtım hizmeti belediyelerden TEK'e devredilmiştir. 1994 yılında TEK'in faaliyetlerine son verilmiş ve "Türkiye Elektrik Üretim A.Ş (TEAŞ)" ve "Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş (TEDAŞ)" olarak 2 farklı kuruma dönüşmüştür. Bu sayede daha önce de bahsedilen üretim, dağıtım ve iletim faaliyetleri ayrılmıştır. Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1985-1989) enerjideki darboğazı gidermek amacıyla işlenebilir durumda olan enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirilmesi hedeflenerek linyite dayalı santraller kurulması planlanmış ve uzun dönemli hidroelektrik santrallerinin yatırımına öncelik verilmiştir (Tutar, 2018). Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı 1990-1994 yıllarını kapsayacak şekilde oluşturulmuş, ithal yerli fark etmeksizin kaynakların verimli kullanımı hedeflenmiştir. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planında (1996-2000) üretimde en çok kullanılan kaynakların petrol ve hidrolik olduğu ve bu kaynakların günbegün artan enerji talebini karşılayamayacağı bildirilmiştir. Artması beklenen maliyetler, doğal kaynakların azalışı ve talep artışı da göz önünde bulundurularak düşük maliyetli, güvenilir bir enerji arz sisteminin kurulması öncelenmiştir (Tutar, 2018). 2000'li yıllara gelindiğinde artık mevzuatın Avrupa Birliği'ne uyumlanması gündeme gelmiştir. Bu yıllarda Türkiye liberal piyasaya hız vermiştir. 2001 yılında "Ekonomik İstikrar ve Enflasyonla Mücadele Programı" kapsamında hâlihazırda kamu bünyesinde bulunan TEAŞ'ın özel sektöre devredilmesi kararı alınmıştır. Burada amaç elektrik üretimi için serbest piyasa koşullarını iyileştirmek olmuştur. Elektrik iletimi kamu elinde kalanlar da özel sektöre devredilmiştir. Bu durumda ortaya çıkan piyasa düzenlemesini

sağlamak amacıyla 2001 yılında 4628 sayılı kanun ile “Elektrik Piyasası Denetleme Kurulu” (EPDK) kurulmuştur. 2000-2005 yıllarında uygulanan sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planında yenilenebilir enerji kaynakları detaylı şekilde gündeme alınmıştır. 2005 yılında “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun” çıkarılarak yürürlüğe girmiştir. 2006 yılında Ukrayna’da enerji krizi yaşanmış, bu kriz ülkemiz için de arz çeşitlendirmesi için teşvik edici olmuştur. Türkiye bu süreçte Hazar Bölgesi Ülkeleri ve Kuzey Afrika ile alım anlaşmaları içinde olarak enerjide tek kaynağa olan bağımlılığı indirgemeyi hedeflemiştir. Bunun yanı sıra alternatif enerji kaynakları arayışı da hızlanmıştır. 2007-2019 yılları arasında uygulanan Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı periyodunda “Enerji Verimliliği” kanunu çıkarılmış ve bu süreçte “çevre” konusu da önem kazanmıştır. İlgili dönemde hidrolik enerji santralleri kamu uhdesindeyken elektrik sektörü için özelleştirmeye gidilmiştir. 16.09.2009 tarihli “Resmi Gazete”de yayınlanan “Orta Vadeli Program” çerçevesinde enerji probleminin çözümü olarak özelleştirmelerin tamamlanması, planlanmakta olan nükleer santrallerin yapılması, yerli ve yenilenebilir kaynaklara yönelim ülkemizin enerjide transit ülke olması sebebi ile jeostratejik öneminin artırılması amaçlanmıştır (Türkyılmaz, 2010). Aynı dönem içinde AB üye ülkelerinin doğal gazda Rusya’ya olan bağımlılığını azaltmak adına NABUCCO Projesi hayata geçirilmek istenmiş ve Türkiye transit geçişi üzerinden Romanya, Bulgaristan, Macaristan, Avusturya diğer Orta ve Batı Avrupa ülkelerine doğal gazın taşınması amaçlanmıştır (Tutar vd., 2018). Fakat proje maliyetinin beklentilerin çok üzerinde olması nedeni ile proje iptal edilerek 2013 yılında yerine TANAP projesi geliştirilmiştir. TANAP ile Azerbaycan gazı transit geçişle Türkiye üzerinden Avrupa’ya ulaştırılması hedeflenmiştir. Enerjide 2010 yılında yerli üretim ve arz güvenliği adına Ar-Ge faaliyetleri için “Enerji Sektörü Araştırma-Geliştirme Projeleri Destekleme Programına Dair Yönetmelik” çıkarılmışsa da bu programdan da istenilen verim tam anlamıyla alınamamıştır.

Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planında (2014-2018) en önemli unsur enerji arz güvenliğinin sağlanması, özel sektörün bu konuda yetersiz kaldığı noktada durumu kamunun yatırımcı rolünü üstlenmesi gerekliliği bildirilmiştir. Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı döneminde Akkuyu NGS’nin ilk ünitesinin yapımının tamamlanması, Sinop’ta ikinci bir NGS’nin ilk ünitesinin yapımına başlanması ve üçüncü bir NGS için saha belirlenmesi hedefleri yer koyulmuştur. Ayrıca yerli kömür kaynakları ve linyit rezervleri elektrik üretimi için analiz edilmesi fikri ortaya çıkmıştır (Tutar, 2018).

Dönem içerisinde Afşin-B Termik Santrali, Keban Hidroelektrik Santrali (HES), Karakaya HES ve Hirfanlı HES rehabilitasyonlarının yapılması planlanmıştır. 2023 yılında Akkuyu NGS'nin ilk ünitesinin yapımının tamamlanarak elektrik üretimine başlanması planlanmıştır. Buna ilave olarak iki yeni NGS kurulumu için gerekli çalışmalara devam edilmesi öngörülmüştür. Linyit rezervlerinden elektrik üretimini teşvik edilmesi de amaçlar arasındadır. Özellikle kamu elindeki linyit sahaları da elektrik üretimine entegre edilerek ithal kaynaklara bağımlılığın azaltılması planlanmıştır. Tuz Gölü Doğal Gaz Yeraltı Depolama Projesi ve Kuzey Marmara Doğal Gaz Depolama Tevsii Projesinin tamamlanması bu sayede Toplam doğal gaz yer altı depolama kapasitesi 10 milyar m³'e çıkarılması hedeflenmiştir. Doğal gazda, kaynak ülkede ve güzergâhta çeşitlendirmeye gidilmesi amacıyla yüzer LNG depolama ve gazlaştırma ünitesi (FSRU) gemisi temin edilmesi ve FSRU bağlantı sistemleri tamamlanması da amaçlar arasındadır. On Birinci Kalkınma Planında ise yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının artırılması öngörülmüştür. Özellikle lisanssız güneş enerjisi santralleri yatırımları ile kendi ihtiyacını karşılamaya yönelik adımlar atılarak binaların elektriğini kendi karşılayabilmesi hedeflenmiştir.

TürkAkım projesi kapsamında ülkemiz sorumluluğunda bulunan TürkAkım Kara Kısmı-1 Doğal Gaz Boru Hattı Projesinin tamamlanması ve Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesinin de tamamlanması ile Hazar Gölünden Avrupa'ya gaz iletilmesine yönelik alt yapı oluşturulması hedefler arasındadır (Şengönül, 2022).

Çizelge 1.7. Türkiye enerji sektörü 2023 hedefleri (URL-11).

Türkiye Enerji Sektörü 2023 Hedefleri	2018	2023
Birincil Enerji Talebi (BTEP)	147.955	174.279
Elektrik Enerji Talebi (TWh)	303,3	375,8
Kişi Başı Birincil Enerji Tüketimi (TEP/Kişi)	1,81	2,01
Kişi Başı Elektrik Enerjisi Tüketimi (kWh)	3.698	4.324
Doğal Gazın Elektrik Üretimindeki Payı	29,85	20,7
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Payı(%)	32,5	38,8
Yerli Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı(TWh)	150,0	219,5
Elektrik Kurulu Gücü (MW)	88.551	109.474

1.6.4.1 Türkiye’de doğal gaz arz güvenliği

Doğal Gaz son yıllarda talebi en çok artan enerji kaynakları sıralamasında en baştaadır. Diğer fosil yakıtlara göre emisyon miktarının düşük olan doğal gazın tüketimi

Ülkemizde de çok yüksek seviyelere gelmiştir. Avrupa’da olduğu gibi ülkemizde de doğal gaz rezervleri sınırlıdır. Üretimin azlığı ve talebin gnbeğn artışı sebebi ile doğal gaz arz güvenliği tehlikeye düşmektedir. Bu sebeple Türkiye’nin doğal gaz arz güvenliğini sağlamak ve ithalata bağımlılığını azaltmak için tedarikçi ülke çeşitliliğini artırmak, depolama teknolojilerine öncelik vermek önem arz etmektedir.

Türkiye’de doğal gaz üretim, tüketim ve ithaltı; Türkiye, doğal gaz ihtiyaının neredeyse tamamını ithalt yoluyla karşılamaktadır. Çizelge 1.8’de tüketim, üretim ve net ithalat miktarları verilmektedir.

Çizelge 1.8. Türkiye’de doğal gaz üretim, tüketim ve net ithaltı 1998-2017 (Milyon m3) (URL-11).

	Üretim	Tüketim	Net İthalat
1998	565	10351	9894
1999	731	12528	12036
2000	639	14835	14380
2001	312	15944	15754
2002	378	17588	17110
2003	560	21181	20650
2004	688	22443	21732
2005	897	27375	26573
2006	905	31183	30219
2007	893	36599	35801
2008	1017	36645	36718
2009	684	35115	35148
2010	682	38127	37388
2011	761	44686	43165
2012	632	45254	45307
2013	537	45918	44587
2014	479	48726	48629
2015	381	48062	47803
2016	367	46395	45677
2017	354	53598	54491

Çizelge’ 1.8’deki verilerden de anlaşılabileceği gibi Türkiye doğal gazda dışa bağımlı bir ülke olup arz güvenliği düşük seviyelerdedir. Ülkemizin doğal gazda ithalata bağlı olması olası kriz durumlarında doğal gaz arzında sorunlar yaratabilecektir. Doğal gaz üretimini artırıarak ithalat bağımlılığını azaltmak istenir ise doğal gaz keşif faaliyetlerine ağırlık vererek yeni rezervler keşfedilmelidir. Ülkemizde son yıllarda gerçekleştirilen doğal gaz arama faaliyetleri başarıya ulaşmış olup, 21 Ağustos 2020’de Karadeniz’de bulunan Sakarya Gaz Sahasında 710 milyar m3’lk rezerv keşfedilmiştir. Türkiye’nin doğal gaz tüketimi 2021 yılında 59,6 milyar m³, 2022

yılında ise 53,3 milyar m³ olduğu düşünülürse yine de bu rezervlerin tüketimi karşılaması beklenemez. Bu sebeple kısa vadede arz güvenliğinin sağlanmasında yurtdışı boru hattı kapasitelerini ve doğal gaz depolama kapasitelerini artırmayı hedeflemek daha gerçekçi hedefler olacaktır (Öznazik, 2019).

Doğal gaz boru hatları; Yurtdışından ithal edilen doğal gazın ülkemize ulaşması boru hatları vasıtasıyla gerçekleşmektedir bu sebeple enerji arz güvenliğinden bahsedilirken boru hatlarını da incelemek önem arz etmektedir. Şekil.1.21’de doğal gaz boru hatları ve projeleri verilmiştir.



Şekil 1.21. Türkiye’deki doğal gaz boru hatları ve projeleri (ETKB, URL-13).

Türkiye’deki boru hatlarından en eski olanı Batı Hattı (Rusya-Türkiye) dır. Türkiye ile SSCB arasında 1984 yılında imzalanan anlaşma ile çalışmaya başlanılan Batı Hattı 1987’de Lüleburgaz Hamitabat’a ulaşmış olup 1988 yılında Ankara’ya kadar ulaşarak faaliyete başlamıştır. Bulgaristan sınırından topraklarımıza giriş yapan Batı Hattı Hamitabat-Ambarlı-İstanbul-İzmit-Bursa-Eskişehir-Ankara güzergâhını izlerken ülkemiz içerisinde kalan hattın uzunluğu 845 km’dir. Türkiye’nin doğal gaz ithalatı 1988 yılından itibaren kademeli olarak artırılarak 1993 yılında 6 milyar m³’e ulaştırılmıştır.

Batı Hattı sonrası 2001 yılı sonunda faaliyete geçen bir diğer hat ise Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı olup uzunluğu yaklaşık olarak 1437 km’dir. Söz konusu

hat Türkiye'ye Doğubayazıt'tan giriş yaparak, Erzurum, Sivas ve Kayseri'den geçerek Ankara'ya kadar uzanmaktadır. Bu hat ayrıca Kayseri'den başka bir branşmanla ayrılarak Konya'dan Seydişehir'e ulaşmaktadır. Doğu Anadolu Doğal Gaz Ana İletim Hattı ile yıllık 10 milyar m³ doğal gaz ithalatı yapılmaktadır.

Bir diğer boru hattı Mavi Akım (Rusya-Samsun-Ankara Doğal Gaz İletim hattı) ülkemize Samsun'dan giriş yapıp Amasya-Çorum-Kırıkkale güzergahını izleyerek nihayetden Ankara'ya ulaşmaktadır.

Çorum'un Sungurlu ilçesinde bu hattan ayrılan bir branşman vasıtasıyla da Düzce'ye kadar ulaşmaktadır. 678 km'si Rusya 501 km'si Türkiye sınırlarında kalan bu hat vasıtasıyla yıllık 16 milyar m³ gaz ithalatı yapılmaktadır.

Gürcistan üzerinden Azerbaycan doğal gazını Türkiye'ye taşıyan diğer boru hattı Bakü-Tiflis-Erzurum Hattı 2007 yılında faaliyete geçmiştir. Azerbaycan'ın Şah Deniz sahasından gelen bu hat Türkiye'ye Ardahan'ın Hanak ilçesinden giriş yapıp Erzurum'un Horasan İlçesine kadar ulaşmakta ve burada Doğu Anadolu Doğal Gaz iletim hattı ile birleşmektedir. Bu hat yaklaşık 980 km uzunluğunda olup hat vasıtasıyla yıllık 6,6 milyar m³ ihracat yapılmaktadır. Bu hat için; Azerbaycan'ın Şah Deniz II doğal gaz sahasında yapılan doğal gaz üretiminin de ilave olmasıyla 2015 yılından beri kapasite artırım çalışmaları devam etmektedir 2017 yılında Bakü-Tiflis-Erzurum Doğal Gaz Boru Hattı vasıtasıyla 10 milyar m³ doğal gaz ithalatı yapılmıştır. Bu hat aracılığıyla yapılan doğal gaz ithalat kapasitesinin yıllık 20 milyar m³'e artırılması amaçlanmaktadır (URL-14).

Bahsi geçen hatların yanı sıra Türkiye'den geçerek Avrupa'ya doğal gaz ulaştıran iki adet transit boru hattı projesi de mevcuttur. Bunlardan ilki TANAP (Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı)'tı bir diğeri ise Türkakım Doğal Gaz boru hattıdır. TANAP; 2011'de Türkiye ile Azerbaycan arasında imzalanan anlaşma kapsamında hayata geçirilmesine karar verilmiştir. Mart 2015'te Türkiye kısmının inşasına Kars'ın Selim ilçesinden başlanarak 2018 yılında hat Eskişehir'e kadar ulaşmış olup, yıllık 6 milyar m³ doğal gaz ithalatı sağlanmaya başlanmıştır (URL-15). TANAP ile Azerbaycan Şah Deniz II sahasında üretilen gaz Avrupa'ya ulaştırılacak olan ve toplam uzunluğu yaklaşık 1850 km olan ve 20 ilimizden geçerek Yunanistan'a ulaşan TANAP projesinde Türkiye BOTAŞ aracılığıyla %30 Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

(TPAO) ile %19 hisse sahibidir. TANAP ile taşınan gaz hali hazırda 16 milyar m³ olup 2023'te 23 milyar ve 2026'da 31 milyar m³ e ulaşması proje hedeflerindendir.

Türkiye'den geçip Avrupa'ya gaz taşıyan bir diğer proje ise Türkakım'dır. Karadeniz'den geçerek Trakya'ya ulaşan bu hattın her biri 15,75 milyar m³ kapasiteye sahip iki kolu bulunmakta olup hem Türkiye hem Avrupa'ya gaz arzı sağlayacaktır (Öznazik, 2019).



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışmanın bu bölümünde doğal gaz depolama üzerine yapılmış çeşitli ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenerek özetlenmiştir.

Şener 2016 yılında yer altı tuz yapılarında çözelti madenciliği metodu ile doğal gaz depolama üzerine çalışmış, yer altı tuz kavernalarında doğal gaz depolayabilmek amacıyla doğal gazın sıkıştırılabilme çarpanının belirlenmesi, maksimum doğal gaz depolama kapasitesinin hesaplanması ve gaz hidrat oluşum sıcaklığı gibi gerekli tasarım parametrelerinin belirlenmesinde izlenecek yolu termodinamik açıdan incelemiştir (Şener, 2016).

Bektaşoğlu 2016 yılında yaptığı çalışmada tuz gölü havzasında doğal gaz depolama amaçlı yeraltı açıklıklarının oluşturulmasında kayaç özelliklerinin çözünme hızına etkisinin incelemiştir (Bektaşoğlu, 2016).

Bérest ve Louvet 2020 yılında yaptıkları çalışmada doğal gaz depolama için kullanılan kavernaların termodinamik davranışlarını incelemiştir. Kaverna basıncında daha sık devir yapıldığı takdirde su miktarının azaldığını ve bunun hidrojen depolama için avantaj olabileceğini ortaya koymuştur (Bérest ve Louvet, 2020).

Liu vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada Yangtze nehri deltasında doğal gaz depolama potansiyelini incelemiş, Bölgenin doğal gaz depolamada Çin’de mevcut talebin büyük oranını karşılamada yeterli olacağını ortaya koymuştur (Liu vd., 2020).

Çakmak ve Oruç tuz gölü havzası doğal gaz depolarının (kaverna) hidrojeolojisi ve çevresel etkilerini incelemiş, kavernaların oluşumunda yer altı suyuna herhangi bir etki olmadığı ve tuzlu suyun Tuz Gölü’ne deşarjının biyoçeşitlilik üzerine olumlu katkısı olduğunu belirtmiştir (Çakmak ve Oruç, 2019).

Habibi vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada Tuz Kavernalarının stabilitesini laboratuvar çalışmaları ve modelleme yöntemi ile incelemiş, kavernada her yıl %0,8 kapanma ile hacim kaybı olacağını tespit etmiştir (Habibi vd., 2020).

Acar 2018 yılında yaptığı çalışmada enerji depolama teknolojilerini karşılaştırmış, mekanik, elektrokimyasal, kimyasal, termal ve elektromanyetik enerji depolama teknolojilerinin avantaj ve dezavantajlarını incelemiştir (Acar, 2018).

Portarapillo ve Benedetto 2021 yılında yaptıkları çalışmada tuz kavernalarında hidrojen depolama teknolojisinin risk analizini yapmış, tuz kavernalarında H₂ depolamanın patlama, hidrojenin kayaç içindeki sülfürle birleşiminden hidrojen sülfür açığa çıkması sebebi ile zehirli gaz salınımına sebep olma gibi risklere sahip olduğunu ortaya koymuştur (Portarapillo ve Benedetto, 2021).

Lankof vd. 2016 yılında yaptıkları çalışmada Tuz Kavernalarında hidrojen, sıkıştırılmış hava ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının depolanma olanaklarını karşılaştırmış, bu 3 maddeden tuz kavernalarında depolamaya en uygun olanın doğal gaz olduğunu bildirmiştir (Lankof vd., 2016).

Yang vd. tuz kavernalarında doğal gaz depolamada sızıntı olması halinde tehlike altında olan alanları Gaussian plume modellemesi ile analiz etmiş sızıntı sırasında rüzgarlı olan ve kararlı hava koşullarında değerlendirme yapmıştır. Sızıntı esnasında rüzgar hızında meydana gelen artışın tehlikeyi azalttığını bildirmiştir (Yang vd., 2020).

Toprak 2008 yılında yaptığı çalışmada 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanununa göre ülkemizde depolanması gereken %10'luk doğal gazın petrol sahalarında doğal gaz depolama yöntemini incelemiş, yer altında doğal gaz depolamanın çeşitleri ve aralarındaki farkları vurgulamıştır. Yer altında doğal gaz depolamada sistem elemanları ve depolama yapılırken öne çıkan kriterler sunulmuştur. Yer altında doğal gaz depolama tiplerinden biri olan kısmen tüketilmiş petrol sahalarında doğal gaz depolamaya göz atılmıştır. Ayrıca diğer doğalgaz depolama yöntemleri olan akiferlerde depolama ve tuz formasyonlarında depolama gibi yöntemleri de incelemiştir ve tuz formasyonunda depolamanın en maliyetli ancak ani tüketim artışlarını karşılamada en ideal yöntem olduğunu bildirmiştir (Toprak, 2008).

Erdoğan 2011 yılında yaptığı çalışmada doğal gaz depolamasını etkileyen parametreleri incelemiştir.

Yaptığı bu çalışmayla depolama çalışmasının planlamasını amaçlamış ve bu modelleme kullanılarak verilen kuyu ve yüzey özellikleri için depo performansı tahmin edilebileceğini belirtmiştir (Erdoğan, 2011).

Öztürk 2007 yılında doğal gaz depolamanın Türkiye için önemine değinmiş, yer üstü ve yer altı depolama yöntemlerine değinmiştir. Farklı yer altı ve yer üstü depolama metotlarının bulunduğunu bildirmiştir. Sonuç olarak Türkiye'nin doğal gaz depolama seviyesinin Avrupa ülkeleri düzeyine getirilmesini, LNG üretim tesisleri kurulmasını, Tuz Gölü doğal gaz depolama tesisinin yapımına başlanmasını, Mersin'deki tuz yataklarının depolama açısından incelenmesini önermiştir (Öztürk, 2007).

Kozak 2012 yılında yaptığı çalışmada, Enerji depolama yöntemlerini incelemiş, enerji depolamanın artan talebi karşılamak için önemine vurgu yapmıştır. Atık ısı yenilenebilir enerji depolama gibi yöntemlerin enerji verimliliğine ve fosil yakıtların kullanılmasının azalmasına bağlı olarak küresel ısınmayı azaltmada etkili olduğunu vurgulamıştır. Birçok enerji depolama sistemi geliştirilmiş olmasına rağmen hiçbirinin bütün uygulamaların ihtiyaç duyduğu özelliklere tam olarak sahip olmadığını ve hangi seçeneğin seçileceğinin teknolojilerin anahtar özelliklerinin kıyaslanması ile belirlenebileceğini bildirmiştir (Kozak, 2012).

Anıl ve Bastacıoğlu 2013 yılında yaptıkları çalışmada Tuz tabakalarında doğal gaz depolama olanaklarını incelemiş, çalışma alanı olarak Arabali Tuz İşletmesi seçilmiş olup, çözelti madenciliği konusunda literatür hazırlanması konusuna ülkemizdeki ilk uygulama alanı olarak ışık tutmaya çalışılmıştır. Kuyu sahalarından alınan karotlar üzerinde kimyasal analizler yapmışlardır. Alınan karot sonuçlarında çözelti madenciliği ile oluşturulacak boşluklara enerji (doğal gaz, hidrojen, karbondioksit gibi) depolanabileceğini, yöntemin çevresel anlamda da olumlu olduğunu tek kısıtının uygulama alanlarının kısıtlı olması olduğunu bildirmiştir (Anıl ve Bastacıoğlu, 2013).

Karakurt 2009 yılında yaptığı çalışmada yeraltı jeolojik rezervuarlarında karbondioksit depolanmasını incelemiş, jeolojik depolama yöntemlerinden, aktif petrol kuyuları, kömür yatakları, tükenmiş petrol ve gaz rezervuarları, tuz formasyonlarını kıyaslamış, depolama güvenliği ve uygulanabilirlik açısından aktif petrol kuyuları ve tükenmiş rezervuarların öne çıktığını, kömür yatakları ve tuz yatakları için ise yeterli bilgi bulunmadığını bildirmiştir (Karakurt, 2009).

Merey 2019 yılında yaptığı çalışmada ülkemizde devam eden Tuz Gölü doğal gaz depolama tesisinin farklı gaz çekme ve enjeksiyon senaryolarında bir simülasyonunu yapmış, bu similasyonlar sonucu joule-Thomson etkisi nedeni ile 3.33 milyon Sm³ gaz çekme oranında 20 günde sıcaklığın 53 0dereceden 0 derecenin altına düştüğünü gözlemlemiştir. Tuz yapılarının etrafında kırılmayı engellemek için kaverna içindeki sıcaklık değişiminin 30 dereceden çok olmaması gerektiğini ve simülasyon sonuçlarına göre sızdırma olmadığını belirtmiştir (Merey, 2019).

Xhang vd. 2021 yılında yaptıkları çalışmada tuz mağaralarında enerji depolamanın inşaat ve güvenlik değerlendirmelerine odaklanmıştır. Stabilitate ve kullanılabilirlik karşılaştırması için %0-30'luk beş farklı ara katman içeriğine sahip tuz mağaraları kurulmuş ve simüle edilmiştir. Simülasyonlar yüksek ara katman içeriğine sahip olan kavernaların daha kararlı olduğunu göstermiştir. Fakat yüksek ara katmanlı kavernalar daha az kapanma eğilimine sahip olsalar da kullanılabilir hacimlerinin daha az olduğunu bildirmişlerdir (Xhang vd., 2021).

Liu vd. 2018 yılında yaptığı çalışmada ince yataklı tuz mağaralarında dikey yerine yatay kavernaların kullanılabileceğini fakat kontrol yöntemlerinin yetersiz kaldığını bildirmiştir. Bunun üstesinden gelmek için fiziksel bir simülasyon oluşturmuş bu sayede inşaat sürecini gözlemlemeyi hedeflemiştir (Liu vd., 2018).

Tarkowski vd. 2018 yılında Polonya'daki tuz kavernaları, tükenmiş petrol ve doğalgaz rezervuarları da dahil olmak üzere yeraltı oluşumlarında hidrojen depolama potansiyelini araştırdı ve uygun depolama yerleri sağlamaya odaklanmıştır (Radoslaw vd., 2018). Tarkowski ve Czapowski tarafından yapılan bir başka analiz, ülkedeki tuz domlarında potansiyel hidrojen depolama alanlarına odaklanmaktadır. Bu değerlendirme sonucunda incelenen 27 tuz kavernasından 7 tanesinin hidrojen depolama için uygun olduğu görülmüştür. Hidrojen depolaması için tuz kavernalarının kullanımı Romanya tarafından araştırılmıştır. 4 özel kaverna alanı tartışmasına rağmen, kesin depolama potansiyeli değerlerinden bahsedilmemiştir.

Paolo vd. 2020 yılında çalışmalarında, yeraltı tuz mağaralarında hidrojen depolaması için bir model geliştirme çalışmaları yürütülmüştür. Model, H₂ enjekte edilirken/çekerken mağara- veya genel olarak boş bir hacim ve çevreleyen kaya arasındaki etkileşimi simüle etmektedir. Model denklemlerinin genel doğası gereği,

model farklı alanları tanımlamak için kolayca özelleştirilebilir, örn. yeraltı tuz mağaraları veya tükenmiş gaz rezervuarları. Modelin amacı, depolanan hidrojenin, dolayısıyla depolanan enerjinin dinamik davranışını tanımlamaktır. Özellikle, doldurma-boşaltma hidrojen rezervuarı olarak döngüsel olarak çalıştırıldığında mağaranın davranışını makul bir doğrulukla yeniden üretmek amaçlanmıştır (Paolo vd., 2020).

Tuz mağaralarının hidrojen depolama potansiyeli, elektrik ve ısı talebiyle ilgili olarak görülmekle birlikte, sonuçlar, tuz mağaralarında hidrojen depolaması için büyük potansiyel olduğunu göstermektedir.

Paolo vd. 2020 yılında Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde tuz mağaralarında hidrojen depolama için sadece birkaç alan bulunduğu ön görülmektedir. 350-400 m derinlikte ve toplam hacmi 210.000 m³ olan elips şeklindeki tuz mağaralarında hidrojen depolama için 1970'lerden beri Teeside'da faaliyet gösterdiği belirtilmiştir. Clemens Dome ve Moss Bluff'taki tuz kavernaları 580.000 m³ hacme sahip, 800 m derinlikte (kavernanın tepesi) yer almaktadır. Clemens Dome ve Moss Bluff sırasıyla 1983 ve 2007'den beri faaliyet göstermekte ve ilgili projeler, onlarca yıldır açık bir şekilde, yeraltı hidrojen depolamanın teknik olarak uygulanabilir bir seçenek olduğunu göstermiştir (Paolo vd., 2020).

Çağlayan vd. 2020 yılında tuz kavernası gelişimi için teknik potansiyelin belirlenmesi, tuz oluşumlarının jeolojisinin bir analizini ve hangi tuz oluşum tipi kavernaların geliştirilebileceğine karar verilmesi gerektiğini belirtmektedir (Çağlayan vd., 2020).

Bunu takiben, potansiyel tuz kavernalarının inşa edilebileceği uygun tuz oluşumlarındaki mevcut alanların sırasıyla gerçekleştirilecek bir metodolojiye sahip olması gerektiğini belirtmektedir. Burada takip edilecek metodoloji sırasıyla arazi uygunluğu, tuz kaverna tasarımı ve yerleşimi ve kaverna depolama kapasitesinin hesaplanması olarak belirtilmektedir (Çağlayan vd.,2020).

Yataklı tuz birikintileri ve tuz kubbeleri için iki farklı mağara tasarımı kullanılmış ve bu mağaraların uygun alanlara dağılım analizi yapılmıştır. Daha sonra, hidrojen depolama için tuz mağaralarının teknik potansiyeli, bu konumlar kullanılarak ve

termodinamik değerlendirmeler altında depolama potansiyelleri hesaplanarak tahmin edilmiştir.

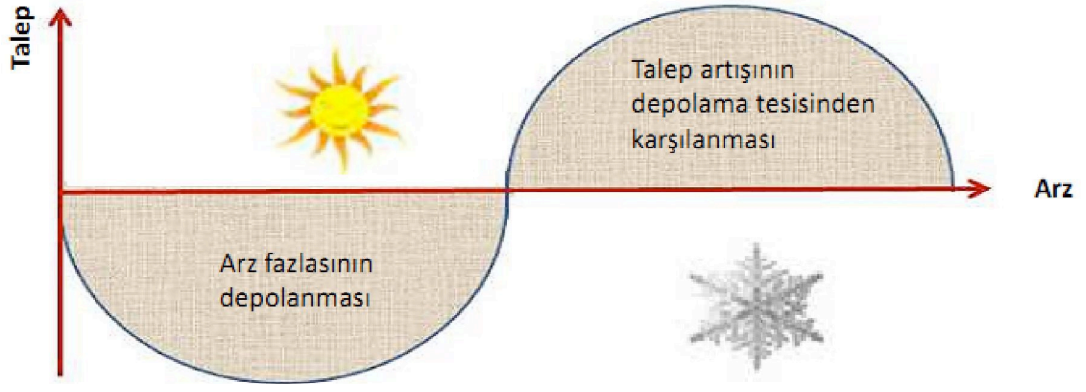
Tarkowski; depolama potansiyelini tahmin etmeden uygun depolama lokasyonlarını belirleme amacıyla Polonya'daki tuz kavernaları, tükenmiş rezervuarlar dahil olmak üzere yeraltı formasyonlarında hidrojen depolama potansiyelini araştırmıştır. Daha sonraki bir analiz Tarkowski ve Czapowski tarafından ülkedeki tuz kavernalarında hidrojen depolama için uygun kavernaları araştırmıştır. Bu değerlendirmenin sonucu olarak, 27 kavernadan 7 tane kavernanın hidrojen depolama için elverişli olduğunu belirtmektedir. Hidrojen depolamanın Romanya için uygunluğu da araştırılmıştır. Romanya'da tartışılan 4 kaverna sahası vardır ancak kesin olarak depolama potansiyelinden bahsedilmemektedir. Michalski, Almanya'ya odaklanarak elektrolizörler aracılığıyla hidrojen üretiminin rolünü ve yeraltı hidrojen depolanmasını analiz etmiştir. Bu analiz için, var olan doğalgaz ve liquid/sıvı ürün depolama tesislerinin verileri incelendi. 3 bölgede hidrojen liquid ürün depolama tesislerinin verileri incelendi ve hidrojen depolama kapasitesi toplamda 26.5 TWhh2 olarak belirlendi (Tarkowski vd., 2018).

2.1 Doğal Gaz Depolama

Doğal gaz depolama özellikle enerji kaynaklarında ithalata bağlı olan ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde de artan doğal gaz tüketimi ve talebine karşılık verebilmek için doğal gaz depolama projelerine önem verilmesi son derece doğru olacaktır. Zira artan nüfus ve gelişmişlik düzeyine bağlı olarak doğalgaz tüketimi yıldan yıla artış göstermektedir. Bu noktada;

- Mevsimlik, günlük saatlik pik taleplere karşılık verebilmek
- Arz talep dengesizliklerine bağlı sistem regölasyonunu korumak
- Arıza bakım durumlarında oluşacak kesintilere karşı alternatif olması
- Fiyat dalgalanmalarını dengeleyebilmek
- Depolama yükümlülüğünü yerine getirmek

Amaçları ile doğal gaz depolanmaktadır.



Şekil 2.1. Doğal gaz depolamanın amacı (Şener, 2016).

4646 Sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu gereği ülke genelinde ithal edilen gazın en az %10 luk kısmının depolanması gerekmektedir. Bu oran Avrupa Birliği standartlarında %20 olarak belirlenmiştir. EPDK verilerine göre 2021 yılında Türkiye'nin ithalat miktarı yaklaşık 59 milyar (58.703,93 milyon m³) m³ olarak gerçekleşmiştir

2.1.1 Dünya'da doğal gaz depolama

Dünya'daki doğal gaz depolama işlemleri 1990'lü yılların başlarında başlamıştır. Kronolojik olarak depolama faaliyetleri şekil 2.2'de verilmiştir.

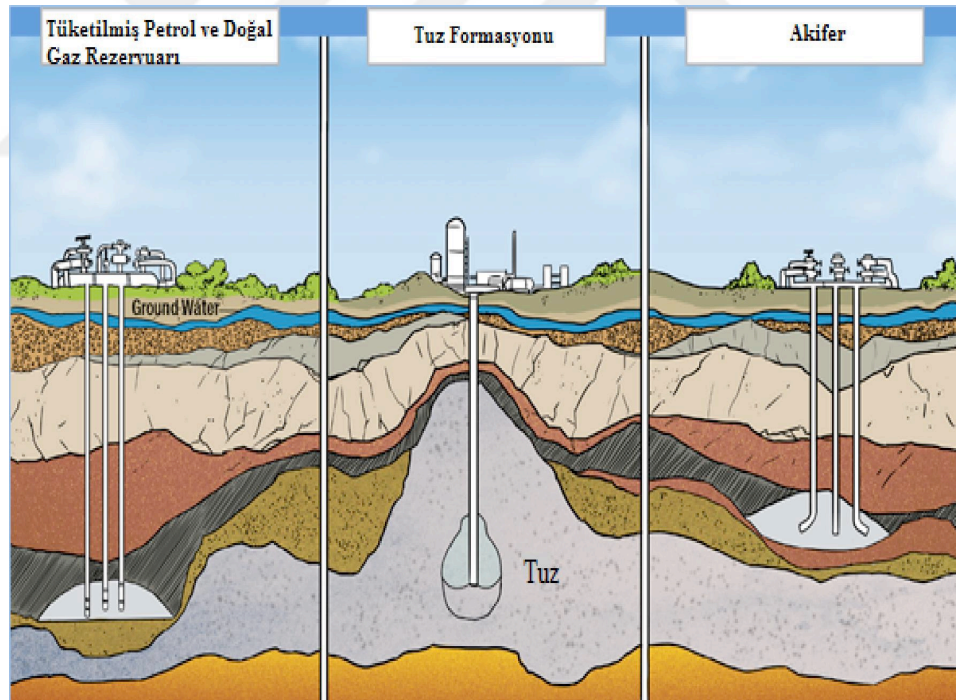
1909	•Doğal gazın yeraltında depolanması fikri A.B.D Jeoloji Arama (USGS) tarafından ortaya atılmıştır
1915	•Kanada ilk başarılı depolamayı gerçekleştirmiştir.
1916	•Amerika'da gaz ilk kez New York, Buffalo'nun güneyindeki Zoar sahasında depolanmıştır.
1942	•LPG ilk kez yer altında depolanmıştır.
1946	•Kentucky'de ilk kez akiferlerler depolama amaçlı kullanılmıştır
1950	•Batı Texas, Keystonefield'da ilk kez çözelti madenciliği ile oluşturulan tuz yataklarına Propan ve bütan depolanmıştır.
1954	•Tüketilmiş petrol rezervuarında ilk başarılı gaz depolama (Lone Star Gaz Şirketi, Clay County, Texas)
1961	•Michigan, St. Clair County'de ilk kez yeraltı tuz kavernaları doğal gaz depolamada kullanılmıştır
1997	•ABD Stratejik Petrol Rezervuar Dairesi tarafından tuz yapılarında ham petrol depolanmıştır.
2008	•Ettel, Almanya'da tuz domlarında doğal gaz depolanmıştır

Şekil 2.2. Doğal gaz depolamanın kronolojisi (EIA,2018).

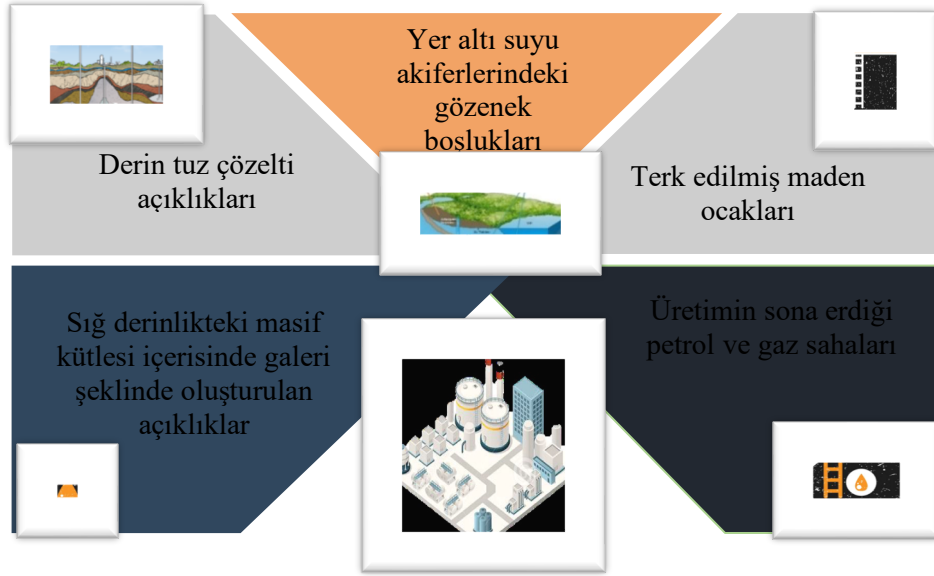
Dünya’da doğal gaz ve petrol ürünlerinin yer altında bulunan doğal ya da yapay açıklıklarda depolanması yaygın bir yöntemdir. Doğal gaz depolamanın farklı yöntemleri mevcuttur (EIA,2018).

2.1.2 Depolama yöntemleri

Doğal gazın yer altında depolanması için 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; tükenmiş rezervuarlarda depolama, tuz formasyonlarında depolama ve akiferlerde depolamaktır. Dünya’da genellikle tercih edilen doğal gaz depolama yöntemi tükenmiş rezervuarlardır. Bu sahalar yıllar öncesinde içerisinde doğal gaz bulundurmuş ve tükenmiş yapılar olması sebebiyle gaz kaybı minimum olmakta ve doğal bir depo olarak kullanılabilir. Tuz formasyonları ve akiferlerde depolama maliyetli işlemler gerektirmesi nedeni ile sayıları azdır. Keşfi yapılan her tuz tabakası veya akifer doğal gaz depolama için elverişli olmayabilir. Bu noktada ana kriter geçirimsizliği sağlamasıdır (Şener, 2016).



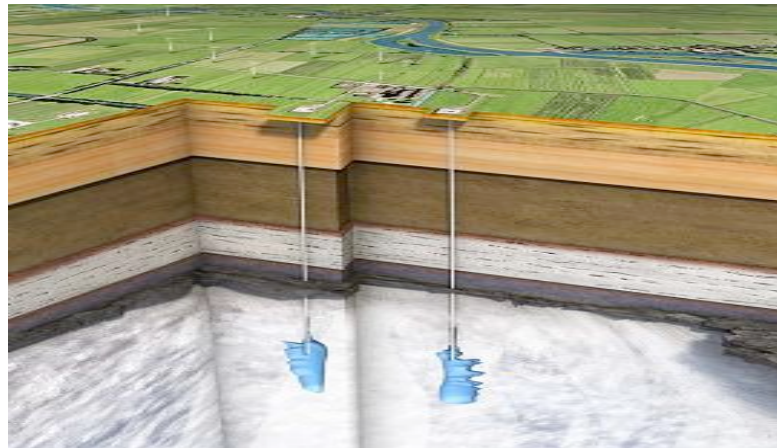
Şekil 2.3. Yer altı doğal gaz depolama yöntemleri (Şener, 2016).



Şekil 2.4. Doğal gaz depolama çeşitleri (Şener, 2016).

Yeraltında depolama birçok sebepten yer üstüne göre avantajlıdır. Bu avantajlardan bazıları şunlardır.

- Yerüstü depolamada kullanılan terkedilmiş maden ocakları, tükenmiş rezervuarlar, tuz kavernaları yer üstü depolamaya göre daha az alan kaplamakta, inşa edilmeleri daha kolay ve ekonomik olarak değerlendirilmektedir.
- Yer altında depolamada işletme sürecinde oluşabilecek deprem, patlama, sabotaj ve iş kazaları bakımından daha güvenlidir.
- Çevre açısından da yer üstü depolama alanlarına göre daha uygundur.



Şekil 2.5. Yer altı depolamaya dair görsel (URL-20).

Depolama çeşitleri yer üstü ve yer altı depolama yöntemleri olarak 2 ana başlık altında incelenebilir.

2.1.2.1 Yer üstü depolama

Bu başlıkta yer üstü depolama yöntemleri açıklanacaktır.

Boru hatlarında depolama; Bu depolama yöntemleri anlık taleplerin karşılanması adına kullanılan geçici depolama tesisleri olarak kullanılmaktadır. Bu depolama türü kapasitesi düşük olmakta ve saatlik değişimleri karşılamada etkin olabilmektedir. Mevsimsel değişimlerdeki talepleri karşılamada yetersizdir (Erdoğan, 2011).

Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) depolanması; Sıvılaştırılmış doğal gaz depolama tesislerinin iyi seviyede yalıtıma sahip özel silindirik tanklarda depolanmasıdır. Doğal gaz -161 °C sıvılaştırıldığında hacmi 600'de bir oranında azalmaktadır. Bu yöntemle depolama için büyük tesisler kurulmasına ve dolayısıyla da geniş alanlara ihtiyaç vardır. Bu depolama yöntemi mevsimsel dalgalanmalardaki talebi karşılayabiliyor ise de sıvılaştırma-gazlaştırma maliyetleri yüksek olup, daha uygun yöntemlerin olmadığı durumlarda tercih edilebilir (Erdoğan, 2011).

Yüksek basınçlı tanklarda depolama; Bir başka yer üstü depolama yöntemi olarak yüksek basınçlı tanklarda depolama yüksek basınca dayanıklı olan tanklarda sıkıştırılmış gazın depolanması şeklinde gerçekleşmekte olup yine boru hatlarında depolamadaki gibi mevsimsel dalgalanmalardaki talep artışına cevap verecek seviyede değildir. Bunun yanı sıra hem kurulum hem de işletim maliyeti oldukça yüksektir (Erdoğan, 2011).

2.1.2.2 Yer altı depolama

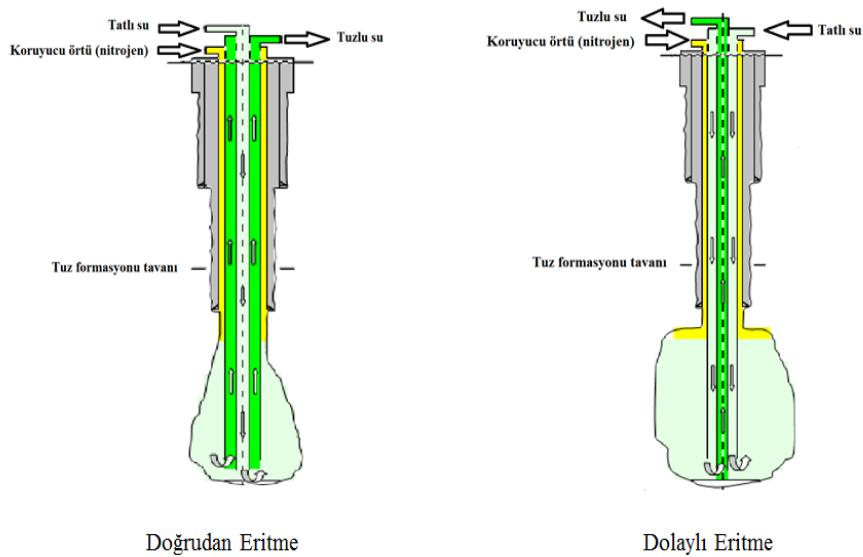
Geçirgenliği olmayan kayaç yapılarında (granit, tuz gibi) bulunan boşluklara doğal gaz enjekte edilmesi yöntemine dayanmaktadır. Doğal gaz daha önce depolama veya mineral üretimi amacıyla açılmış boşluklarda depolanabilir. Bu noktada iki tür boşluk türü değerlendirilmelidir bunlardan ilki çeşitli madenlerin üretimi amaçlı açılan galeriler bir diğeri ise yer altından mineral üretimine dayalı açılmış olan boşluklardır. Çözme işleminde saf su yer altında bulunan tuz formasyonuna enjekte edilerek tuzun çözünmesi sağlanır ve çıkan tuzlu su çekilerek bir boşluk oluşması sağlanır ve bu boşluklarda gaz depolanır (Erdoğan, 2011).

Tuz kavernalarında depolama; Tuz yapılarında hidrokarbon depolama Birinci Dünya Savaşı sırasında Almanya’da uygulanmıştır. Bu yöntem yeraltındaki tuz tabakalarının tatlı su enjekte etmek suretiyle eritilmesi ile oluşan boşluklarda gaz depolaması esasına dayanmaktadır. Çözelti madenciliği olarak da adlandırılan bu yöntem başlarda tuz veya mineral üretimi için kullanılmış olup günümüzde gaz depolama amaçlı yaygın olarak kullanılmaktadır. Tuz yapılarında doğal gaz veya diğer hidrokarbon türevlerinin depolanabilmesi için 3 önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar;

- Uygun derinliğe sahip tuz katmanı
- Tuz katmanının yeterli kalınlığa sahip olması
- Çözme işlemi için ihtiyaç duyulan su kaynağı
- Çözme işlemi için uygunluk
- Eritme işleminde açığa çıkacak tuzlu suyun bertarafı/deşarjı/imhası için uygun ortamdır (Türeyen, 2000).

Bu proseste istenilen şekil ve hacimde oluşturulan bu boşluklara suni mağara anlamına gelebilecek kaverna adı verilir. Kavernaların istenilen şekilde oluşturulabilmesi için iç içe geçmiş borular vasıtasıyla tatlı su enjekte edilerek eritilmesi sağlanır. Bu yöntemle çözme işleminde doğrudan ya da dolaylı çözme olmak üzere 2 yöntem mevcuttur. Doğrudan ve dolaylı çözmeye dair görsel şekil 2.6’da verilmiştir.

Tuz Eritme Yöntemi



Şekil 2.6. Doğrudan ve dolaylı çözme (URL-20).

Doğrudan çözüme işleminde iç borudan tatlı su basılır ve dış borudan tuzlu su alınır. Bu yöntemle kavernanın alt kısmında çözüme yapılmakta olup prosesin ilk aşamasında uygulanır bu sayede daha yavaş ve kontrollü olarak eritme sağlanarak kavernanın tabanı oluşturulur.

Tersten çözündürmede ise, dış borudan tatlı su basılarak iç borudan tuzlu su alınır. Bu işlemle daha hızlı şekilde eritme sağlanırken kavernanın genişliği bu yöntem ile sağlanır. Farklı fazlarda gerçekleşen çözme işleminin fazları arasında bu iki yöntem arası değişim yapılarak eritme kontrollü olarak sağlanarak istenen hacim ve şekle ulaşılabilir. Bu yöntemle çözme tuz yapısının içeriğinin homojen olması durumunda oldukça başarılıdır. Fakat yapı çeşitli çözünmeyen malzemeler içerdiği durumda homojenlik sağlanmaz. Tuz yapılarında yapılan doğal gaz depolama prosesinde bilinmesi gereken bazı kavramlar bulunmaktadır. Bunlar;

Koruyucu yastık gazı, yastık gazı, maksimum depolama gazı, çalışma gazı, geri üretim ve enjeksiyon ifadeleridir. Bu ifadeleri kısaca açıklayacak olursak; Koruyucu Yastık Gazı; Muhafaza borusunun korozyona uğramasını engellemek ve kavernanın tavanında çözme kontrolü sağlamak amaçlı kullanılan gazdır.

Yastık gazı; Kaverna ömrü boyunca stabiliteyi sağlamak amaçlı kaverna içinde bulundurulması gereken gazdır.

Çalışma gazı; Depolanarak ihtiyaç haline iletim hattına verilebilecek olan gazdır.

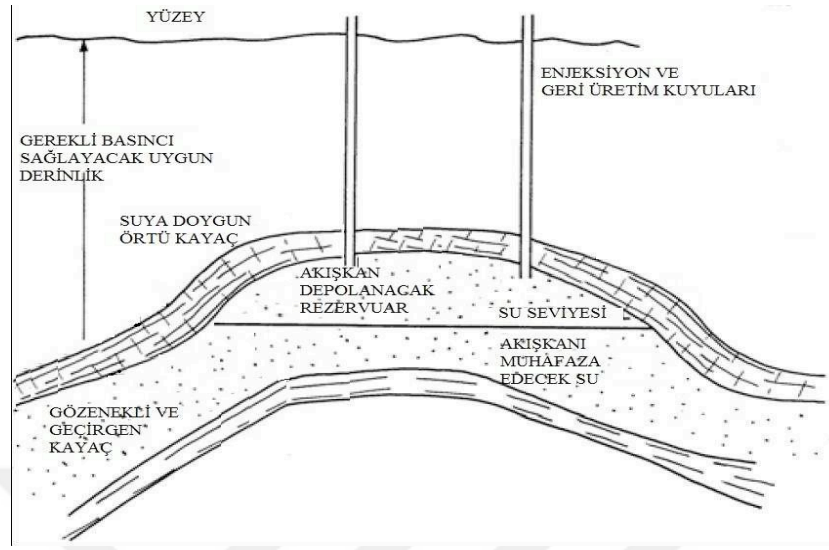
Maksimum depolama gazı; Yastık gazı ile çalışma gazının toplamıdır.

Enjeksiyon; Kompresörler vasıtasıyla sıkıştırılan doğal gazın kavernaya enjekte edilmesidir.

Geri üretim; Depolanan gazın gerektiğinde hatta tekrar verilmesi prosesidir (Şener, 2016).

Akiferlerde depolama; Geçirimsiz bir tabaka ile örtülü su içeren formasyonlara akifer adı verilmekte olup bu yapılarda doğal gazın depolanması mümkün olmaktadır. Maliyetin yüksek olması sebebi ile bu yöntem genel olarak tükenmiş rezervuar

bulunamadığı durumda tercih edilir. Tipik bir akifer yapısına ait görsel Şekil 2.7’de verilmiştir (Erdoğan, 2011)



Şekil 2.7. Tipik bir akifere dair görsel (Erdoğan, 2011).

Tükenmiş rezervuarlarda depolama; Doğal gazın yer altında boşluklu ve geçirgen yapıda ve birbiriyle bağlantılı küçük boşluklarda depolanmasıdır. Daha öncesinde içerisinde gaz bulundurmuş olup tükenmiş olan bu rezervuarlarda tekrar gaz depolamak mümkün ve etkilidir. Mevsimsel talep artışlarına cevap verebilen bu sistem çok fazla tercih edilmekte olup Dünya’da örnekleri mevcuttur.

Özetlenmiş olan tüm bu alternatif metotlar incelenerek karşılaştırması yapılmış ve Çizelge 2.1’de verilmiştir. Doğal gaz depolama yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarına dair kıyaslama Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Doğal gaz yeraltı depolama ortamlarının karşılaştırılması (URL-16).

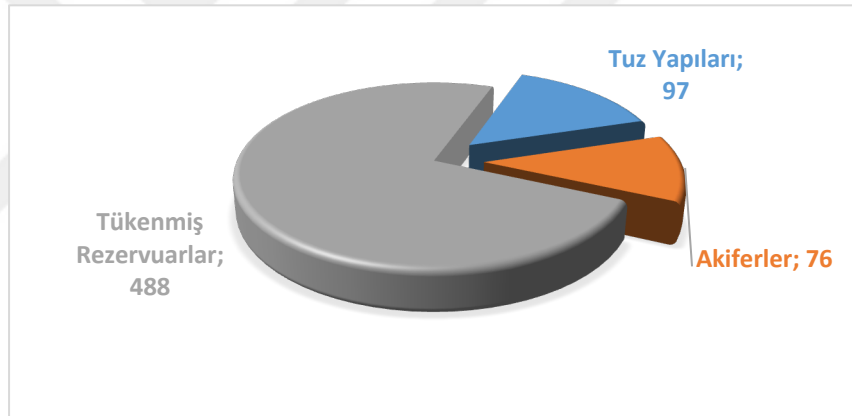
Parametreler	Depolama Ortamları		
	Tuz Yapıları	Tükenmiş Rezervuar	Akiferler
Yastık Gazı/Çalışma Gazı Oranı	%30 - %50	%100 - %150	%150 - %200
Enjeksiyon süresi(gün)	20 - 40	200 - 250	200 - 250
Geri Üretim Süresi(gün)	10 - 20	100 - 150	100 - 150
Yıllık Enjeksiyon- Geri Üretim Döngüsü	5 - 6	1 - 2	1 - 2
Gazın Su Muhteiyatı	Birkaç döngüden sonrası ihmal edilebilir	Önemli seviyede	Yüksek oranda

Çizelge 2.2. Doğal gaz yeraltı depolama ortamlarının depolama yatırım maliyetleri (URL-20).

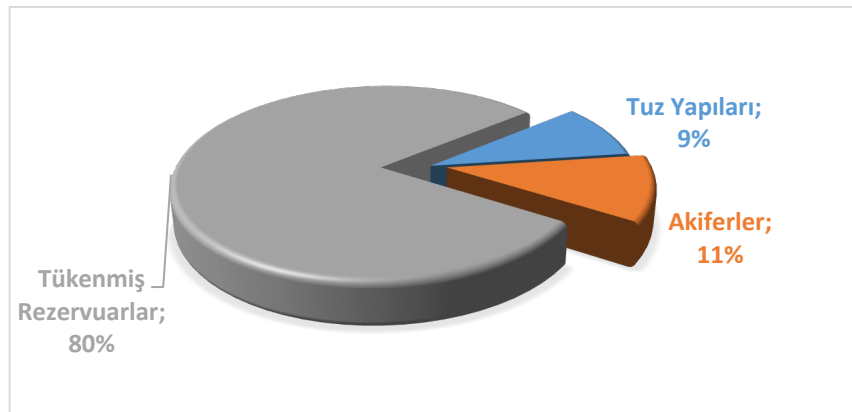
Depo Tipi (100 x 106 m ³ Yeraltı depolama sahası için)	Çalışma Gazı Yatırım Maliyeti (US\$/m ³)		Depolama Arz Debisi Yatırım Maliyeti US\$/m ³ /gün	
	Avrupa	A.B.D.	Avrupa	A.B.D.
Akifer	0,35- 0,6	0,14	35-60	10
Tükenmiş Rezervuar	0,35- 0,6	0,12	35-60	5
Tuz Yapıları	0,70-1	0-30	7,0-10	2

2021 yılı sonu itibarı ile dünya üzerinde 661 adet doğal gaz depolama tesisi bulunmakta olup bunların 488 adeti tükenmiş rezervuar, 97 adeti tuz yapıları, 76 adeti ise akiferlerdir.

Şekil 2.8’de doğal gaz depolama tesislerinin dağılımı verilmiştir. Dünya’da mevcut doğal gaz depolama tesislerinin çalışma gazı oranları ise Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



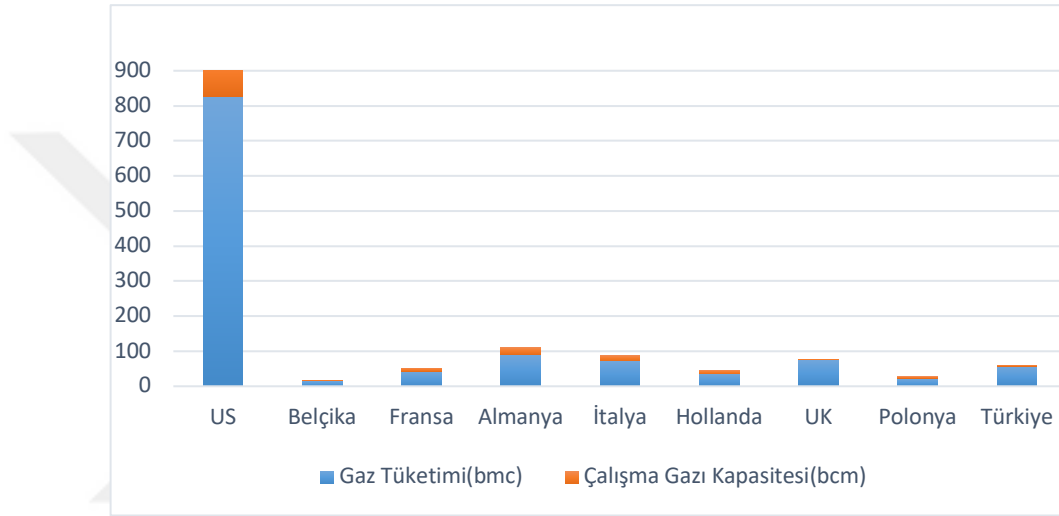
Şekil 2.8. Dünya’da doğal gaz depolama tesisleri (CEDİGAZ).



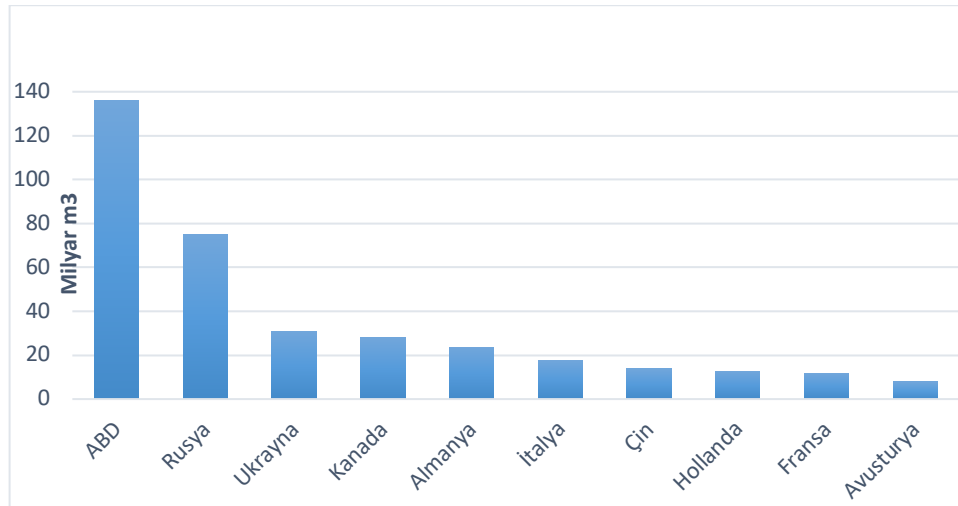
Şekil 2.9. Dünya’da mevcut doğal gaz depolama tesislerinin çalışma gazı oranları milyar m³ (CEDİGAZ).

Çizelge 2.3. Çalışma gazı kapasitesi ve gaz tüketim miktarı oranlarının yıllara göre değişimi (CEDİGAZ).

	1970	1980	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Çalışma Gazı Kapasitesi (Milyar m ³)	90	160	245	315	353	412	411	413	418	422	423
Gaz Tüketim Miktarı (Milyar m ³)	1027	1491	2009	2436	3201	3509	3534	3677	3677	3957	3885
Çalışma Gazı Kapasitesi/Tüketim Oranı (%)	8,8	10,8	12,2	12,9	11	11,8	11,6	11,2	11,2	10,7	10,9



Şekil 2.10. 2021 yılı ülkelerin tüketim ve çalışma gazı kapasitesi oranları (CEDİGAZ).



Şekil 2.11. En çok depolama miktarına sahip 10 ülke (CEDİGAZ).

2.1.3 Türkiye’de doğal gaz depolama

Türkiye’de arz güvenliğini sağlamak adına doğal gaz depolanmaktadır. Bu depolamalar incelenerek açıklanmıştır.

2.1.3.1 Marmara Ereğlisi LNG terminali

BOTAŞ tarafından ithal edilen gaz için Marmara Ereğlisi LNG Terminalinin 1989 yılında yapımına başlanılmış olup 1994 yılında işletmeye alınmıştır. Mevcut durumda 37 milyon Sm³/gün gazlaştırma kapasitesi mevcuttur. Marmara Ereğlisi LNG terminalinin üç ana amacı bulunmaktadır. Bunlar:

- İthalat yolu ile satın alınan LNG’yi depolamak
- LNG’yi gerektiğinde gazlaştırarak Rusya-Türkiye Boru Hattına iletmek
- Kara tankerlerine dolumu sağlamaktır (URL-21). LNG tesisine ait görsel Şekil 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.12. LNG tesisi (URL-21).

2.1.3.2 Dörtyol FSRU

Hatay Dörtyol’da bulunan Ertuğrul Gazi türk denizcilik siciline kayıtlı ilk fsru gemisi olup 25 Haziran 2021’de BOTAŞ tarafından işletmeye alınmıştır. FSRU (Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma) Boru hatlarına bağlı kalınmadan kaynak çeşitliliğini

artırmak ve spot piyasadan gaz tedarikini sağlayabilmek adına önem arz etmektedir. 110 milyon metreküp (170 bin m³ LNG) depolama kapasitesi ile dünyanın en büyük FSRU gemilerinin başında gelmekte ve günlük 28 milyon metreküp gazlaştırma kapasitesi de bulunmaktadır (URL-21). FSRU'ya ait görsel Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13. Dörtyol FSRU'ya dair görseller (URL-21).

2.1.3.3 Saros FSRU

Saros FSRU Terminali ve Kara Boru Bağlantı Hattı Tesisi Türkiye doğal gaz tüketiminin önemli bir bölümüne sahip olan Marmara Bölgesi başta olmak üzere, ülke arz güvenliğine büyük ölçüde katkı sağlayacaktır. Edirne ili, Keşan ilçesi, Sazlıdere

Köyü mevkiinde inşa edilen tesis, "Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Gemilerinin (FSRU) yanaşabilmelerine uygun şekilde tasarlanmıştır. 17 km uzunluğundaki kara boru bağlantı hattı vasıtasıyla günlük 28 milyon m³ doğal gazı şebekeye aktarabilmektedir. Saros projesi sayesinde hem konut hem sanayi tüketiminin üst seviyede olduğu Marmara'nın Trakya Bölgesinde kurularak buradaki talebe destek sağlanmıştır. Ayrıca Çanakkale Boğazı'ndaki gemi trafiğinden kaynaklı olabilecek kesinti olasılıklarına karşı da önlem olmaktadır. Bu tesis Avrupa ve Balkanlarda ülkemizi doğal gaz ticareti noktasında önemli bir konuma getirmiştir. Tesis; 265 metre uzunluğunda ve 460 metre genişliğinde deniz iskelesi, 1 ölçüm istasyonu, 17 km uzunluğunda 36 inç çapında boru hattı ve 2 pig istasyonuna sahiptir. Ayrıca proje yapım aşamasında çevreye olan duyarlılığıyla da dikkat çekmektedir. Bölgedeki habitata zarar vermemek adına azami özen gösterilmesinin yanı sıra dünyada ilk kez gerçekleştirilen bir işlemle inşaat faaliyetinin gerçekleştiği alandaki deniz çayırları bilimsel çalışmalar ile taşınarak bilim literatürüne de önemli katkı sağlamıştır. Gösterilen bu özen ve hassasiyet sayesinde proje "The Green Organisation" tarafından düzenlenen Yeşil Elma Ödülleri'nde Altın Ödüle layık görülmüştür (URL-21). Saros FSRU'ya ait görsel Şekil 2.14'te görülmektedir. Deniz çayırları taşıma çalışmasına dair görsel ise Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Saros FSRU (URL-21).



Şekil 2.15. Deniz çayırları taşımaya dair görseller (URL-21).

2.1.3.4 Silivri doğal gaz depolama tesisi

Tükenmiş rezervuar yapılarına örnek olarak verilebilecek olan Silivri yer altı doğal gaz depolama tesisi Türkiye'nin ilk doğal gaz depolama tesisi olma unvanına sahiptir. Silivri Doğal Gaz Depolama tesisi hali hazırda 4,6 milyar m³ lük doğal gaz depolama kapasitesine sahiptir (URL-21). Silivri tesisine dair görsel Şekil 2.16'da görülmektedir. Şekil 2.17'de rüzgar enerjisine dair görsel gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Silivri doğal gaz depolama tesisine ait görsel (URL-21).



Şekil 2.17. Silivri doğal gaz depolama tesisi rüzgar enerjisi santrali (URL-21).

2.1.3.5 Tuz Gölü doğal gaz depolama tesisi

Ülkemizin arz güvenliği için yürütülen doğal gaz depolama projelerinden olan Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Tesisi depolama çeşitlerinden Tuz yapılarında doğal gaz depolamaya örnek teşkil etmektedir. Aksaray'ın Sultanhanı İlçesinde yürütülmekte olan proje kapsamında yer altındaki tuz katmanları tatlı su vasıtasıyla eritilerek açığa çıkan boşluklara doğal gaz depolanmaktadır. Tamamlandığında 52 kuyu ile 5,4 milyar m³ depolama hacmi ve günlük 80 milyon m³ geri üretim kapasitesine ulaşacak olan tesis enerji arz güvenliği adına ülkemizin en büyük yatırımlarından biridir. Yerin 1500 m altında açılan kavernaların çözme işlemi sırasında açığa çıkan tuzlu su ise Tuz Gölüne deşarj edilmekte bu sayede Tuz Gölünün su seviyesi de artmaktadır. Aynı zamanda tesis elektrik enerjisi ihtiyacının %60'ını yine proje alanı içerisinde bulunan Güneş Enerjisi Santrali vasıtası ile üretmektedir. (URL-21). Tesisin görseli Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18. Tuz Gölü doğal gaz depolama tesisine ait görsel (URL-21).

2.1.3.6 Egegaz (LNG)

İzmir'in Aliağa ilçesinde 2001 LNG terminalidir. Egegaz LNG Terminali her biri 140.000 m³ olmak üzere iki tanka sahip olup, yıllık gazlaştırma kapasitesi 6 milyar m³'tür (Bektaşoğlu, 2016). Tesis görseli Şekil 2.19'da görülmektedir.

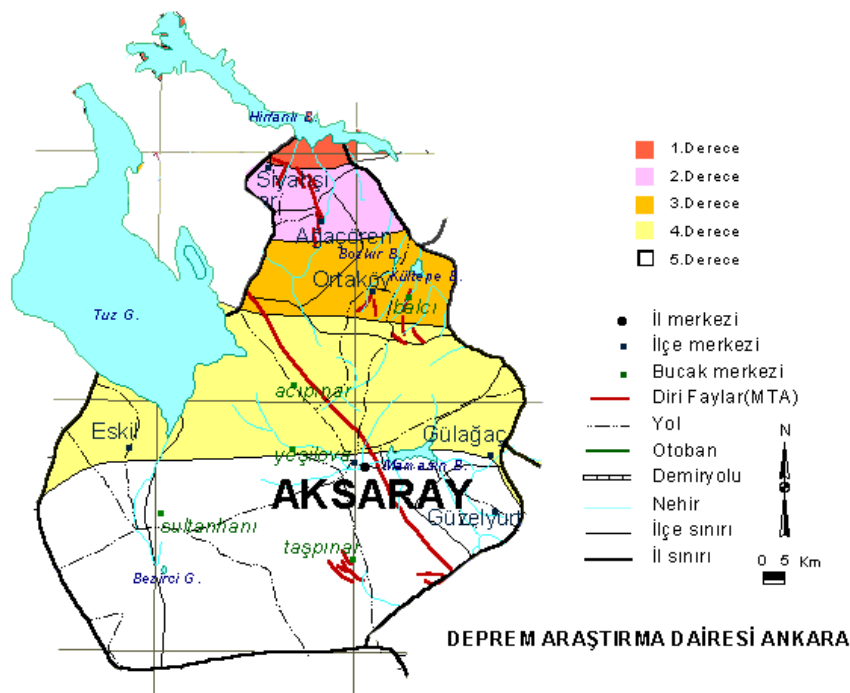


Şekil 2.19. Egegaz depolama tesisine ait görsel (Bektaşoğlu, 2016).

2.2 Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Projesinin Tanıtımı

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi doğal gaz depolama bir ülkenin arz güvenliği bakımından önemli olduğu kadar hukuki düzenlemelere göre de bir zorunluluktur. Bu sebeple Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Tesisi son derece kritik bir öneme haizdir. Bahsi geçen projede yerin yaklaşık 600 ila 700 m altında bulunan tuz domları tatlı su ile eritilerek oluşan açıklığa proje alanına yaklaşık 23 km uzaklıktaki Kayseri-Konya-Seydişehir ana iletim hattından alınan gazın depolanması ve ihtiyaç halinde yine aynı hattan ulusal şebekeye verilmesi sağlanmaktadır. Daha önce tuz yapılarında doğal gaz depolama için önemli olduğundan bahsedilen çözme işlemi için gereken su yaklaşık 120 km lik boru hattı vasıtasıyla Hirfanlı Barajından temin edilmekte yine kritik bir konu olarak çözme işleminden açığa çıkan tuzlu suyun deşarjı 40 km'lik boru hattı vasıtasıyla Tuz Gölü'ne deşarj edilmektedir. Proje sahası olarak belirlenen alan belirli özellikleri sebebi ile tercih edilmiş olup (Şekil 2.20) bunlar;

- Uygun derinlikte ve yeterli kalınlıkta tuz tabakasının varlığı
- Ana iletim hattına mesafesinin yakın oluşu
- Bölgenin deprem riskinin minimum seviyede oluşudur.



Şekil 2.20. Proje alanının depremsellik haritası (URL-20).

Proje kapsamında yapılan işlemlerin genel akış şeması Şekil 2.21’de verilmektedir.



Şekil 2.21. Genel akış şeması (Bektaşoğlu, 2016).

2.2.1 Su temin hattı

Tuz yapısında oluşturulmak istenen açıklık tatlı su ile eritmek sureti ile oluşturulmaktadır. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan suyun temini projenin ilk aşamasıdır.

İhtiyaç duyulan su Hirfanlı barajından yaklaşık 120 km’lik boru hattı vasıtası ile alınmaktadır. Su temini kapsamında baraj rezervuar alanından suyun alınabilmesi için bir su alma yapısı, suyun çekişini sağlayacak pompa istasyonları ile olası kesintileri dengelemek için su depoları mevcuttur. Mevcut Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Tesisi su alma yapısı Şekil 2.22; Şekil 2.23; Şekil 2.24; Şekil 2.25’de görülmektedir.



Şekil 2.22. Tuz Gölü doğal gaz yeraltı depolama projesi genel yerleşim planı (URL-20).



Şekil 2.23. Hirfanlı Barajı su alma yapısı (Bektaşoğlu, 2016).



Şekil 2.24. Su temin hattı inşaatı (Bektaşoğlu, 2016).



Şekil 2.25. Pompa istasyonu (Bektaşoğlu, 2016).

2.2.2 Tuzlu su deşarj hattı

Tuz yapılarının eritilmesi operasyonu sebebi ile açığa çıkan tuzlu su yaklaşık 40 km’lik boru hattı ile Tuz Gölü’ne deşarj edilmektedir. Açığa çıkan tuzlu su içeriği tamamen saf olmamakla birlikte içeriğinde çözünmeyen malzemeler de ihtiva etmektedir. Bu maddelerin çökmesi ve Tuz Gölünde ilave bir yüke sebep olmaması için yüzey tesislerinde inşa edilen 2 adet tuzlu su havuzunda bekletilmektedir. Yaklaşık 40 km’lik boru hattı ile oluşan tuzlu su kot farkı sayesinde herhangi bir ilave pompa gücüne ihtiyaç duymaksızın Tuz Gölü’ne deşarjı sağlanmaktadır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26. Tuzlu su deşarj hattı (URL-20).

Tuzlu su çöktürme havuzları Şekil 2.27’ de görülmektedir.



Şekil 2.27. Tuzlu su çöktürme havuzları (URL-20).

2.2.3 Doğal gaz bağlantı hattı

Proje kapsamında oluşturulan kavernalara enjekte edilecek olan doğal gaz Kayseri-Konya Seydişehir Ana İletim hattından alınacak yaklaşık 23 km’lik bir doğal gaz iletim hattı ile sağlanmakta olup, yine aynı hattan kavernalardaki gaz ana iletim şebekesine verilmektedir.

2.2.4 Yüzey tesislerinin inşası

Eritme ve gaz operasyonlarında kullanılacak olan ünitelerin inşası gerçekleşmektedir bu kapsamda eritme işlemi için ihtiyaç olan ünitelerin (tatlı su temin tesisi, tuzlu su havuzu, eritmede kullanılacak pompalar, su debisi ölçüm ünitesi, nitrojen ünitesi ,kontrol binası) ve Gaz operasyonlarını sağlamak için gerekli ünitelerin (kompresörler, ısıtıcılar, basınç düşürme ünitesi, susuzlaştırma ünitesi, ölçüm üniteleri, kavernalar, filtreler, trietilen glikol ünitesi) nin inşası gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28. Yüzey tesisleri inşasına dair görsel (Bektaşoğlu, 2016).

2.2.5 Sondaj faaliyetleri

Projenin çözme işlemi öncesi aşamalarından olan sondaj faaliyeti, yerin yaklaşık 700 m altında başlayıp yaklaşık 1500 metreye ulaşan tuz katmanına ulaşmak için yapılmakta olup yaklaşık her kaverna için 1500 metre sondaj yapılmaktadır. Sondaj aşamasında yerin altına bentonit adı verilen kil türevi bir malzeme enjekte edilmekte bu sayede var olan gözenek ve çatlakların doldurulması ile bir nevi rehabilite edilmesi sağlanmaktadır (Şekil 2.29).



Şekil 2.29. Sondaj kulelerinden bir görünüm (Bektaşoğlu, 2016).

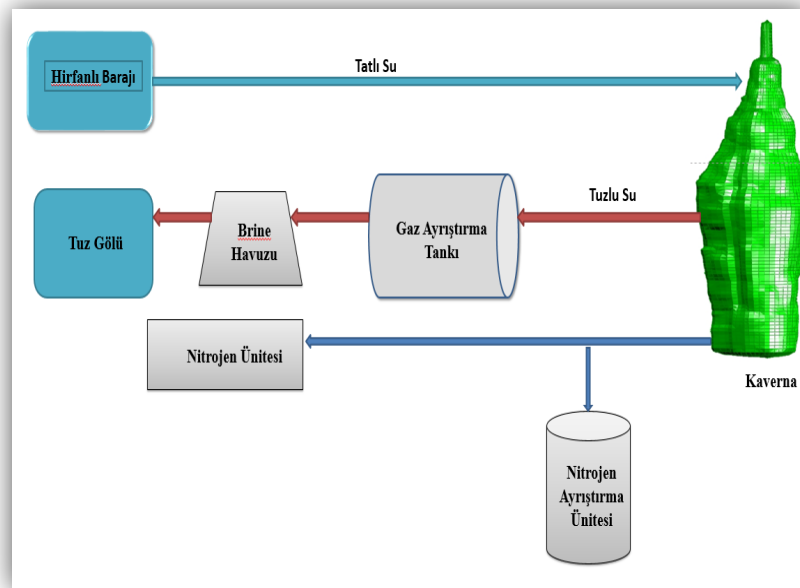
Kesintilerin atılabilmesi amaçlı tatlı su bazlı, ana bileşeni bentonit ve su olan polimer çamurlar kullanılmaktadır. Sondaj çamuru, kuyu alanlarında bulunan geçirimsiz havuzlarda biriktirilerek kullanım amaçlı sirkülasyonu sağlanmaktadır (Şekil 2.30).



Şekil 2.30. Çamur havuzlarından temsili görünüm (Bektaşoğlu, 2016).

2.2.6 Eritme/çözme faaliyetleri

Depolama kavernalarının oluşturulması için, öncesinde sismik veriler ile tespit edilen tuz yapılarına Hirfanlı Barajından alınan tatlı su enjekte edilmektedir. 1 m³ tuz eritmek için yaklaşık 9-10 m³ su ihtiyacı olmaktadır. Eritme işleminin akış şeması Şekil 2.31’da gösterilmektedir.



Şekil 2.31. Eritme işlemi akış şeması (Bektaşoğlu, 2016).

Tuz tabakalarının eritilmesi işlemi, yaklaşık olarak 1500-2000 m derinliğe kadar inebilen kuyular vasıtasıyla yapılmaktadır. Kuyular ile tuz domları birbirinden bağımsız üç hatla bağlıdır. Bu bağlantılar, iç içe yerleştirilmiş iki adet hattan oluşmaktadır. Bu bağlantılardan biri vasıtasıyla tatlı su verilerek tuzun erimesi sağlanırken açığa çıkan tuzlu su bir diğer hattan alınmaktadır. Üçüncü bağlantı ile ise sudan daha hafif olan ve tuzu çözmeyen koruyucu örtü (nitrojen) açıklığının kontrollü olarak eritilmesini sağlamak amacı ile enjekte edilmektedir (Şekil 2.32). Bu prosesten açığa çıkan tuzlu su genelde denize deşarj edilmekte olup Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Projesinde Tuz Gölü'ne deşarjı sağlanmaktadır. (Bektaşoğlu, 2016).



Şekil 2.32. Tuz eritme işleminde kullanılan tipik kuyu başı (Bektaşoğlu, 2016).

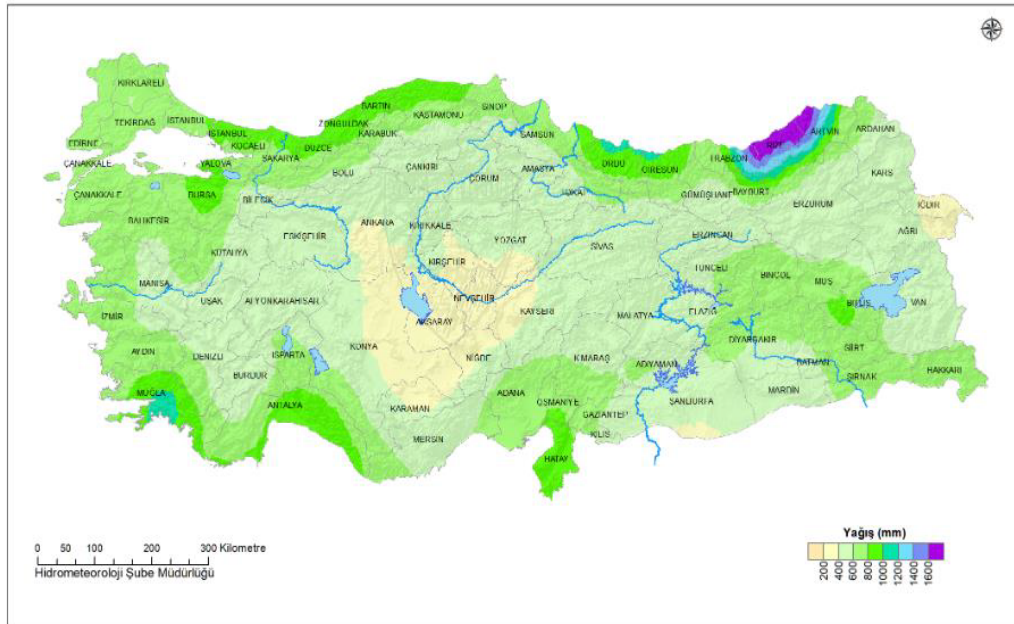
2.3 Tuz Gölü Havzası'ndaki Genel Durum

Tezin konusu olan Tuz Gölüne etkiyi açıklamak için öncesinde ilgili alanın önemi ve mevcut durumu değerlendirilmiştir.

Tuz Gölü Havzası olarak nitelendirilen alan Konya, Aksaray ve Ankara il sınırları içerisinde bulunmakta olup farklı kaynaklarda Şereflikoçhisar Tuzlası, Koçhisar Gölü, Tuz Gölü olarak da anılmaktadır. Deniz düzeyinden 905 metre yükseklikte bulunmaktadır (Güney, 2004).

Ülkemiz 25 hidrolojik havzaya ayrılmış durumdadır, Konya Kapalı Havzası 5,3 milyon hektar (53.850 km²) lık yüzölçümü ile bu havzalar içinde en önemli ve en büyük olanlarından biridir. Çalışma konusun olan Tuz Gölü ise bu havzada bulunmakta ve yaklaşık olarak 130 bin hektarlık (1.300 km²) bir alanı kaplamaktadır. Tuz Gölü bu özelliği ile Van Gölü'nden sonra Türkiye'nin ikinci büyük gölü olma özelliği taşımaktadır. Tuz Gölü ve çevresi Ramsar kriterlerine göre "A Sınıfı" sulak alan olarak nitelendirilmektedir. Bahar aylarında yağış ve kar erimeleri ile su bol iken Göl'ün hacmi 164.000 hektarlık bir alanı kaplayan göl yaz aylarında yağış azlığı ve buharlaşmanın etkisi ile büyük oranda kurumaktadır. Yaz aylarında Göl'ü besleyen kaynaklar yer altı suları, yüzey akım ve yağışlar ile beslenir. Tuz Gölü'nün çevresindeki araziler de tuzlu yapıya sahiptir. Tuz Gölüne su taşıyan akarsular kapalı havzanın en çukur bölgesinde kalan Göl'e çevre araziden getirdikleri tuzu taşırlar. Yüksek sıcaklık sebebi ile göl suları buharlaşırken tuz çökelererek kalır (Şahin vd., 2000).

Konya Kapalı Havzası yağış alma bakımından Türkiye'nin en az yağış alan bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 2.33).



Şekil 2.33. Türkiye yıllık yağış miktarları (1991-2020) (URL-22).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü yağış haritası incelendiğinde metrekareye düşen yağış miktarının en az olduğu bölgelerden birisi olduğu açıkça anlaşılmakta olup bu durum Tuz Gölünün su hacminin yıl içerisinde ve yıllar içinde oldukça azalması anlamına gelmektedir.

Tuz Gölü, Özel Çevre Koruma Bölgesi statüsünde bulunmakta olup, alanın bir kısmı I. Derece Sit alanı olarak değerlendirilmiştir.

Tuz Gölü, endemik tür sınıfına giren yani Ülkemizin başka hiçbir yerinde bulunmayan birçok türe ev sahipliği yapmaktadır.

Bozkır biyomu türlerinin yaşadığı en önemli alandır. Endemik bitkiler ile nesli tehlike altında olan pek çok canlı türü Tuz Gölü'nün çevresindeki farklı habitatlarda yaşamaktadır. Suçulluğunun (*Gallinago gallinago*) Türkiye'de bilinen tek üreme alanıdır. Ayrıca Flamingoların (*Phoenicopterus ruber*) Türkiye ve dünyadaki en önemli üreme alanlarından biridir (URL-23).

Tüm bu bilgilerden yola çıkarak ülkemizin en önemli sulak alanlarından ve endemik türler bakımından büyük önem arz eden göldeki kuraklık büyük bir sorun olarak görülmektedir. Bu kapsamda Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığımız, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğümüz kapsamında Tuz Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesindeki sorunların çözülmesi amacıyla çok sayıda çalışma yürütüldüğü bilinmektedir. Bu kapsamda Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü tarafından Tuz Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı 2014-2018 yıllarını kapsayacak şekilde hazırlanmış, alanın korunması kuraklığın önlenmesi ile alakalı alınacak aksiyonlar değerlendirilmiştir. İlgili yönetim planının devamı niteliğinde yeni hedefleri içerecek şekilde hazırlık çalışmaları sürdürülmektedir (URL-17). Yine aynı kurumca Tuz Gölü ÖÇKB'si Sulak Alanlarda Yaşayan Kuş Türlerini Koruma ve İzleme Projesi yürütülmüştür (URL-18). Tuz Gölü'ne Su Taşınması Projesi 2022 yılında Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığımız Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü uhdesinde yürütülmüş olup, Özel Çevre Koruma Bölgelerine yönelik yürütülen olduğu koruma faaliyetlerinin daha etkin olabilmesi için kuraklığın ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri kısmen de olsa ortadan kaldırmak ve alanda yaşayan canlıların hayatta kalabilmeleri için gerekli önlemleri almak adına su boruları aracılığı ile Tuz Gölü havzasına tatlı su taşınması hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında Tuz Gölü'ne deşarj edilen tuzlu suyun Tuz Gölü'ne olan etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda deşarjın başlamış olduğu 2015 yılından 2023 yılına kadar olan tuzlu su deşarj noktasından alınan tuzlu su örneklerinde su kalitesinin belirlenmesi amacı ile pH, elektirksel iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş katılar askıda katı maddeler, sülfat, klorür alkalinite, nitrat, nitrit, amonyum azotu, sodyum, magnezyum, kalsiyum, parametreleri incelenmiştir.

İlgili ölçümler proje kapsamında aylık olarak alınarak akredite laboratuvar tarafından analiz edilmiştir. Analiz sonuçları incelenerek her yılın deşarjı kendi içinde ve yıllık ortalamalar üzerinden istatistiki analizi yapılarak Tuz Gölü ile anlamlı farklılığı olup olmadığı, herhangi bir kirletici etkiye sahip olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Verilerin analizinde SPSS 25.0 for Windows paket programı kullanılmıştır. Verilerin tanımlanmasında ortalama ve standart sapma değerleri kullanılmıştır. Araştırma parametrelerinin standart normal dağılıma uygunluğu için Kolmogorov Smirnov normallik testi yapılmıştır.

3.1 İstatistiki Analiz

3.1.1 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)

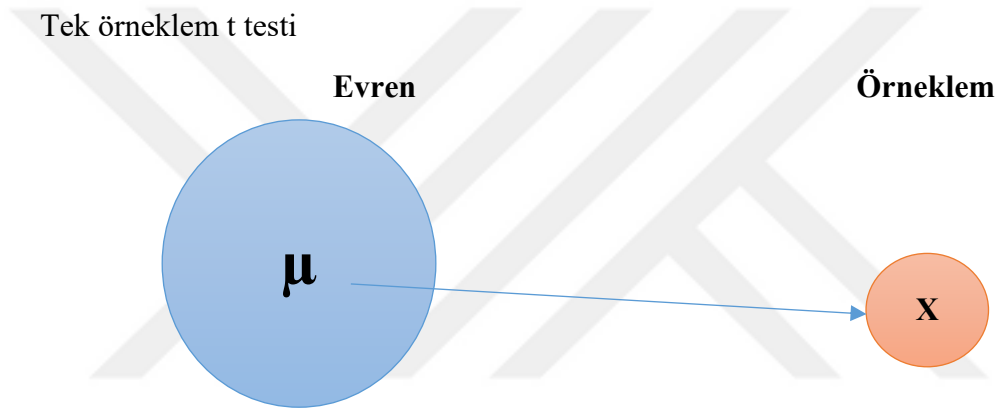
SPSS daha çok sosyal bilimler alanında kullanılmakla beraber eğitim, sağlık sektörleri başta olmak üzere birçok sektörde daha tutarlı bir Pazar araştırması yapmak ve veri eldesini sağlamak adına kullanılan bir programdır. Bunun yanı sıra mevcut anket sonuçlarını da değerlendirmek için tercih edilmektedir.

İstatistiksel analizin yapılmasını sağlamak amacıyla yazılan SPSS, homojen veya normal dağılıma uygun olan verilerin ayrıştırılması, daha sonra bu verilerin analiz edilmesi ve sonuca ulaştırması hedefi doğrultusunda kullanılmaktadır. Analiz edilmesi ve işlenmesi karmaşık ve zor olan veriler SPSS yazılımı ile daha hızlı ve kolay şekilde analiz edilebilmektedir. SPSS yazılımında kullanılan teknikler farklı veri değişkenleri arasındaki deseni inceleyip analiz etmek, dönüştürmek için kullanılır. Bu sayede veriler bir grafiğe de aktarılarak okuyucunun kolayca anlayabileceği bir formata dönüşür.

3.1.1.1 Normal dağılım testleri

Nicel bir değişkenin normal dağılıma uygunluğunu test etmek önceliklidir. Normal dağılıma uygunluğun sınanmasında en yaygın kullanılan iki test Kolmogorov Smirnov ve Shapiro Wilk testleridir. Örneklem büyüklüğü 30'dan küçük olması halinde du Shapiro Wilk testi ile örneklem büyüklüğü 30 ve üstü (olması halinde ise Kolmogorov Smirnov testi ile nicel değişkenin normal dağılıma uygunluğu sınanabilir. Eğer test sonucu $p>0,05$ ise değişken normal dağılım özelliği gösteriyor, $p<0,05$ ise değişken normal dağılım özelliği göstermiyor demektir.

3.1.1.2 Ortalama karşılaştırılması ne non-parametrik testler



Şekil 3.1. Tek örneklem T Testi.

Nicel bir değişken açısından Örneklemin ortalaması ile Evren ortalaması arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek amacı ile parametrik bir test olan Tek Örneklem t Testi (One-Sample T Test) kullanılır. One-Sample T Testinin yapılabilmesini varsayımları; Örneklemin Evren içerisinde rastgele seçilmesine, test edilecek değişkenin en az aralık ölçeğinde bir değişken olmasına ve aynı değişkenin verilerin de normal dağılım özelliği göstermesidir (Can, 2019).

Bu varsayımların yerine getirilmesi testin sağlıklı sonuç vermesi için önemli ve göz ardı edilemeyecek şartlardır. Örneklem ve Evren arasında ilgili değişken için bir uyum veya farksızlık araştırmacı için önemli veya anlamlı olarak değerlendirilebileceği gibi müdahaleli bir çalışma için söz konusu değişkenin Örneklem ortalamasının Evren ortalamasından farklılaşması da önemli veya anlamlı olabilir. Özetle Tek Örneklem t Testi farkın olup olmadığına dair objektif bir sonuç verir. Müdahalesiz bir çalışmada

Örnek Evrenden tesadüfî bir şekilde seçilmiş ise değişkenlerin Örnekleme de aynı şekilde temsil edilmesini beklenir

Tek Örneklem t Testi, tek bir değişkenin örneklem ortalamasının belirtilen (evren) değerden farklı olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılır. En az aralık ölçeğinde nicel bir değişkenin evren ortalaması ile Örneklem ortalamasını karşılaştırılır.

Örneklemin Evrenden rastgele seçildiği ve test edilen değişkenin en az aralık ölçeğinde ve normal dağılım gösterdiği varsayımından yola çıkarak analiz edilir.

Hipotezler;

H₀: Örneklem ortalaması ile Evren ortalaması arasında fark yoktur (sınanan hipotez).

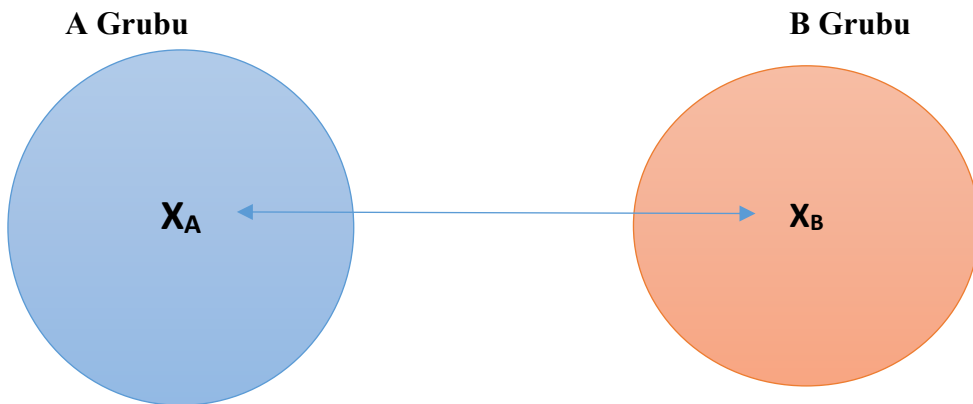
H₁: Örneklem ortalaması ile Evren ortalaması arasında fark vardır.

Test sonucunda;

$p > 0,05$ ise H₀ hipotezi doğrudur yani: Evren ortalaması ile örneklem ortalaması arasında fark yoktur.

$p < 0,05$ ise H₀ hipotezi reddedilir yani: Evren ortalaması ile örneklem ortalaması arasında fark vardır.

Bağımsız Gruplarda t Testi



Şekil 3.2. Bağımsız gruplarda T testi.

Birbirinden bağımsız iki veri grubunun bağımlı bir nicel değişkeninin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını analiz etmek için parametrik bir test olan Bağımsız Gruplarda t Testi (Independent Samples T-Test) yapılır.

Bu testin varsayımları; Örneklemin Evrenden rastgele seçilmesine, ortalamaları kıyaslanacak en az aralık ölçeğinde olan değişken verilerinin her iki grupta da normal dağılım özelliği göstermesi, iki grubun birbirinden bağımsız olması ve grupların varyanslarının eşit olmasıdır (Büyüköztürk, 2010; Field, 2009).

Bu varsayımlardan birincisi ilgili değişken verilerinin her iki gruptaki dağılımının normal dağılım özelliği göstermesi, örneklemin evrenden tesadüfi bir şekilde seçilmesi ve her bir grupta en az 10 örneklem sayısı ($n_1 \geq 10$ ve $n_2 \geq 10$) olması koşulu ile sağlanabilir. Bu koşulla bağımlı nicel değişken verilerinin her bir grupta değil de tüm örnekleme normal dağılımı sağlaması yeterlidir. İkincisi nicel değişken verilerinin iki gruptaki varyanslarının eşit olması zorunluluğu da yoktur. Bu test varyansların eşitliğini “Levene's Test for Equality of Variances” ile sınar ve varyansların eşit olması ve olmaması durumuna göre iki adet test değeri (t ve p) üretir.

İki grubun bir değişkeninin ortalamalarını karşılaştırır. İki bağımsız grubun bir nicel (en az aralık ölçeğinde) değişkeninin ortalamalarını karşılaştır.

Test; örneklem Evrenden rastgele seçilmiştir, gruplar birbirinden bağımsızdır, bağımlı değişken en az aralık ölçeğinde olan nicel bir değişkendir.

Bağımlı değişkene ilişkin ölçümlerin dağılımı her iki grupta da normal dağılım özelliği gösterir ve grupların varyansları eşittir varsayımları ile çalışır.

Non-Parametrik testi: Mann Whitney U Testi Hipotezleri:

H₀ : İki grubun ortalaması arasında fark yoktur (sınanan hipotez).

H₁: İki grubun ortalaması arasında fark vardır.

Test sonucu:

$p > 0,05$ ise H₀ hipotezi kabul edilir: İki grubun ortalaması arasında fark yoktur.

$p < 0,05$ ise H_0 hipotezi ret edilir: İki grubun ortalaması arasında fark vardır.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of ..
		F	Sig.	t
pH	Equal variances assumed	172,790	,000	-17,928
	Equal variances not assumed			-18,033
Elektrik_iletkenlik	Equal variances assumed	262,494	,000	-6,655
	Equal variances not assumed			-6,655
Tuzluluk	Equal variances assumed	40,859	,000	2,697
	Equal variances not assumed			2,681
Çözünmüş_katılar	Equal variances assumed	28,438	,000	2,788
	Equal variances not assumed			2,774
Askıda_maddeler	Equal variances assumed	86,787	,000	-1,795
	Equal variances not assumed			-1,795
Sülfat	Equal variances assumed	,232	,630	-14,100
	Equal variances not assumed			-14,100

Şekil 3.3. SPSS çıktısı 1.

		t-test for Equality of Means		
		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
pH	Equal variances assumed	171	,000	-1,16632
	Equal variances not assumed	86,000	,000	-1,16632
Elektrik_iletkenlik	Equal variances assumed	172	,000	-44936,89655
	Equal variances not assumed	86,000	,000	-44936,89655
Tuzluluk	Equal variances assumed	171	,008	9,91476
	Equal variances not assumed	85,009	,009	9,91476
Çözünmüş_katılar	Equal variances assumed	171	,006	5496,11347
	Equal variances not assumed	97,373	,007	5496,11347
Askıda_maddeler	Equal variances assumed	172	,074	-22,06552
	Equal variances not assumed	86,060	,076	-22,06552
Sülfat	Equal variances assumed	172	,000	-7186,02190
	Equal variances not assumed	120,411	,000	-7186,02190

Şekil 3.4. SPSS çıktısı 2.

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
pH	Equal variances assumed	,06506	-1,29474	-1,03791
	Equal variances not assumed	,06468	-1,29490	-1,03775
Elektrik_iletkenlik	Equal variances assumed	6752,09556	-58264,53501	-31609,25809
	Equal variances not assumed	6752,09556	-58359,61827	-31514,17483
Tuzluluk	Equal variances assumed	3,67648	2,65762	17,17189
	Equal variances not assumed	3,69792	2,56231	17,26720
Çözünmüş_katılar	Equal variances assumed	1971,44583	1604,60962	9387,61733
	Equal variances not assumed	1981,35408	1563,86409	9428,36285
Askıda_maddeler	Equal variances assumed	12,29352	-46,33111	2,20007
	Equal variances not assumed	12,29352	-46,50399	2,37295
Sülfat	Equal variances assumed	509,66281	-8192,02094	-6180,02285
	Equal variances not assumed	509,66281	-8195,08375	-6176,96004

Şekil 3.5. SPSS çıktısı 3.

Levene's Test for Equality of Variances: Grupların varyanslarının eşitliğinin sınandığı testtir. Bu testin sonucuna göre t testinin ilgili sonuçları alınır (ilgili satırdan).

F: Levene testinin değeri

Levene's Test for Equality of Variances Sig. değeri $p > 0,05$ iki grubun varyansları eşittir ve üst satırdaki test değerleri (t ve Sig. 2-tailed) kullanılır.

Levene's Test for Equality of Variances Sig. değeri $p < 0,05$ iki grubun varyansları eşit değildir ve alt satırdaki test değerleri (t ve Sig. 2-tailed) kullanılır.

t: t testinin değeri

df: Serbestlik derecesi

Sig. (2-tailed): t testine ait p değeri (gruplar arasında fark bu değere göre değerlendirilir).

95% Confidence Interval of the Difference Lower-Upper: %95 Güven Aralığında ortalamalar arası farkın alt ve üst sınırı değerleri.

3.1.1.3 Mann whitney U testi

Bağımsız Gruplarda t Testinin Non-Parametrik testi olan Mann Whitney U Testi. Bağımsız Gruplarda t Testinin varsayımlarının sağlanamaması durumunda, iki bağımsız grubun puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olup olmadığını analiz etmede kullanılır.

Mann Whitney U Testinde en az sıralama ölçeğindeki verileri grubuna bakılmaksızın bütün verileri küçükten büyüğe doğru sıralar ve 1'den başlayarak sıra sayısı verilerek sıra sayısına dönüştürür. Bu en az aralık ölçeğindeki verilerin basitçe sıralama ölçeğine dönüştürülmesi işlemidir. Ardından veriler karşılaştırılacak iki gruba ayrılır ve grupların sıra sayılarının ortalaması (sıra ortalaması/mean rank) hesaplanır (Can, 2019; Büyüköztürk, 2010). Mann Whitney U Testi, bağımsız iki grubun sıra ortalamasını karşılaştırır ve bunun sonucunda iki grubun puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı sonucuna ulaşır.

Mann Whitney U Testi iki grubun Mann Whitney U testi iki grubun medyanlarını değil sıra ortalamalarını karşılaştırır (Bryman ve Cramer, 1999:136; Carver ve Nash, 2012:250; Corder ve Foreman, 2009:58; Landau ve Everitt, 2004:41-53; Connolly, 2007:195). Farklılığın hesaplanmasında medyanların bir işlevi yoktur, bu nedenle testin sonucunda ulaşılan grupların birbirinden farklılaşmasını ya da farklılaşmamasını, medyanlar üzerinden açıklanması ve yorumlanması doğru olmaz. Özet değeri olarak medyan verilebilir ancak farklılaşmanın medyan değerleri üzerinden açıklanması ve yorumlanması doğru değildir.

Test özetle iki bağımsız grubun sıra ortalamasını (mean rank) karşılaştırır ve bunun sonucunda iki grubun puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı sınırlar.

Grupların birbirinden bağımsız olduğu, bağımlı değişkenin en az sıralama ölçeğinde bir değişken olduğu varsayımı ile çalışır.

Hipotezleri:

H0: İki grubun puanları arasında fark yoktur (sınanan hipotez).

H1: İki grubun puanları arasında fark vardır.

Test sonucu:

$p > 0,05$ ise H0 hipotezi kabul edilir: İki grubun puanları arasında fark yoktur.

$p < 0,05$ ise H0 hipotezi ret edilir: İki grubun puanları arasında fark vardır.

Mann-Whitney Test

Ranks				
	Örneklem	N	Mean Rank	Sum of Ranks
pH	Deney	87	44,99	3914,00
	Tuz gölü	86	129,50	11137,00
	Total	173		
Elektrik_iletkenlik	Deney	87	65,50	5698,50
	Tuz gölü	87	109,50	9526,50
	Total	174		
Tuzluluk	Deney	86	88,90	7645,50
	Tuz gölü	87	85,12	7405,50
	Total	173		
Çözünmüş_katılar	Deney	86	91,00	7826,00
	Tuz gölü	87	83,05	7225,00
	Total	173		
Askıda_maddeler	Deney	87	70,02	6092,00
	Tuz gölü	87	104,98	9133,00
	Total	174		

Şekil 3.6. SPSS çıktısı 4.

	Örneklem	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Sülfat	Deney	87	44,99	3914,00
	Tuz gölü	87	130,01	11311,00
	Total	174		
Klorür	Deney	87	50,93	4431,00
	Tuz gölü	87	124,07	10794,00
	Total	174		
Alkalinite	Deney	87	44,99	3914,00
	Tuz gölü	87	130,01	11311,00
	Total	174		
Nitrat	Deney	87	101,64	8843,00
	Tuz gölü	86	72,19	6208,00
	Total	173		
Nitrit	Deney	87	56,85	4946,00
	Tuz gölü	87	118,15	10279,00
	Total	174		
Amonyum_azotu	Deney	87	45,00	3915,00
	Tuz gölü	87	130,00	11310,00
	Total	174		
Sodyum	Deney	87	50,00	4350,00
	Tuz gölü	87	125,00	10875,00
	Total	174		
Magnezyum	Deney	87	44,00	3828,00
	Tuz gölü	87	131,00	11397,00
	Total	174		
Kalsiyum	Deney	87	129,00	11223,00
	Tuz gölü	87	46,00	4002,00
	Total	174		

Şekil 3.7. SPSS çıktısı 5.

Test Statistics ^a					
	pH	Elektrik_iletkenlik	Tuzluluk	Çözünmüş_katılar	Askıda_maddeler
Mann-Whitney U	86,000	1870,500	3577,500	3397,000	2264,000
Wilcoxon W	3914,000	5698,500	7405,500	7225,000	6092,000
Z	-11,848	-6,846	-,961	-2,582	-4,895
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,000	,336	,010	,000

Şekil 3.8. SPSS çıktısı 6.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Projenin Diğer Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi

4.1.1 Toprak üzerine etkiler

Proje yapım çalışmasında gerçekleştirilen yapım faaliyetleri sırasında oluşabilecek toprak üzerine olası etkiler bu bölümde değerlendirilmektedir.

Toprak her anlamda insan yaşamı için büyük öneme sahiptir. Yaşamsal faaliyetlerin sürdürülmesi için ekosistem döngüsü içinde en büyük yere sahip olan elementlerden biridir. Bitkisel toprak ise toprağın humus, mikroorganizma faaliyetleri ve canlılık adına toprağın en verimli kısmıdır. İki santimetrelilik üst toprağın oluşumu yaklaşık 500 yıl almaktadır. Üst toprak zemin özelliklerine göre 5cm'den başlayıp 30 cm'ye kadar ulaşabilen bir katmandır. Bu katmanın altında kalan kısım ise mikroorganizma faaliyetleri, humus gibi bakımlardan değerlendirildiğinde üst toprak özellikleri taşımamakta olup verimliliği düşüktür. Bu sebeplerden yola çıkarak herhangi bir inşaat faaliyeti öncesi üst toprağın korunması büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple ilk olarak toprağın bitkisel toprak katmanının analiz edilmesi ve inşaat faaliyeti öncesi hassasiyetle sıyırılması, uygun şekilde depolanması ve sonrasında kullanılması esastır. Özellikle boru hattı yapımlarında üst toprağın sıyrılarak inşaat faaliyetleri sonrası yerine konulması yani “eski haline getirme” çalışması yapılması önemlidir. Bu kapsamda bitkisel katman iş makineleri ile sıyrılır. Sıyırma işlemi sırasında üst toprağın alt toprak ile karıştırılmaması önemlidir. Mevcut projede yapılan tatlı su, tuzlu su boru hatları, kuyu alanlarının inşası, kuyular arası borulama, doğal gaz boru hatları ve yüzey tesislerinin inşası öncesi üst toprak belirli kurallara riayet edilerek sıyrılmakta ve depolanmakta olup bu sayede doğru toprak yönetimi sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda;

Tarım arazisi dışında kalan alanlarda en az 15 en çok 30 cm sıyırma yapılmakta, tarım arazilerinde sıyırma 45 cm'e kadar çıkabilmektedir. Üst toprak 15 cm'den az kalınlıkta ise var olan kısım sıyırılmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Üst toprak sıyırılmış çalışma koridoru (URL-20).

Üst toprak sıyırılacak alanın taşlık ve kayalık olması durumunda öncelikli olarak bu kaya ve taş parçaları temizlenerek sonrasında sıyırma yapılmaktadır (Şekil 4.2)



Şekil 4.2. Taşlık alanda yapılan toprak sıyırma çalışmaları (URL-20).

Üst toprak özellikle kirlenmeye maruz kalmayacağı iş makinelerinin üzerinden geçmeyeceği alanlarda korunaklı olarak ve alt topraktan ayrı depolanmaktadır. Alt ve üst toprağın karışmaması için geotekstil, taş tahkimat gibi çalışmalar uygulanarak karışması engellenmektedir (Şekil 4.3)



Şekil 4.3. Alt ve üst toprağın karışımını engellemek amacı ile yapılan örnek çalışmalar (Silt kafes uygulamaları) (URL-20).

Üst toprak depolanması sırasında su akışın sağlamak ve drenajı sağlamak amacı ile toprak yığınlarının etrafına drenaj kanalları açılmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Üst toprak depolamada drenaj kanalları açılması (URL-20).

- Ara geçişlerin sağlanması için yığınlar arası boşluk bırakılmaktadır.
- Depolama alanında toprak yüksekliği 2 metreyi geçmemeli ve maksimum 45 derece açı ile depolanmaktadır.
- Yığınları hava almasını engellemeyecek şekilde hafifçe sıkıştırma yapılmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Üst toprak sıkıştırma çalışması (URL-20).

- Gerekli olduğu durumlarda taşkın önleme amaçlı çevresine stabilizasyon destekleri konmalıdır.
- Üst toprak kesinlikle dolgu amaçlı kullanılmamakta, kazıların ve dolgunun bitimine müteakip serimi gerçekleştirilerek doğal bitki gelişimi ya da tarıma elverişli katman oluşturulması sağlanmaktadır.
- Kazı çalışmalarından açığa çıkan kazı toprağı Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğı uyarınca hafriyat alanlarına taşınmaktadır. (URL-20).

4.1.2 Su ve su kirliliğı üzerine etkiler

4.1.2.1 Evsel atık sular

Proje ve tesis işletme kısmında açığa çıkan evsel atık sular biyolojik paket arıtma sistemi ile arıtılmakta, Su Kirliliğı Kontrolü Yönetmeliğı kapsamında gerekli analizleri gerçekleştirilerek deşarjı sağlanmaktadır. Proje inşaat aşamasında açığa çıkan atık sular ise sızdırmaz tanklarda depolanmakta ve belirli aralıklarda vidanjörler vasıtası ile alınarak belediye arıtma tesisine gönderilmektedir.

4.1.2.2 Çamur suyu

Proje eritme aşaması öncesi yerin yaklaşık 100-1500 m arasında oluşturulacak kavernalar için gerçekleştirilen sondaj çalışmalarından kaynaklanan sondaj çamuru sızdırmaz havuzlarda depolanmaktadır. Bu noktada çamur atığının analizinin yapılarak ihtiyaç halinde yağ tutucu, susuzlaştırma gibi ön işlemler uygulanarak bertarafı önem arz etmektedir.

4.1.3 Çevresel gürültü

Proje kapsamında boru hatları, yüzey tesisleri ve diğer inşaat faaliyetlerinde kullanılan iş makinelerinden (Ekskavatör, Kamyon, Yükleyici, Traktör, Greyder, Mobil vinç, Beton mikseri, Beton pompası, Sideboom, Treyler, Bobcat, Kompaktör, Motopomp) çalışması kaynaklı çevresel gürültü oluşmaktadır. 30.11.2022 tarih ve 32029 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği” kapsamında sınır değerler Çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çevresel gürültü düzeyi sınır değerleri (URL-26).

Gürültü Kaynağı	Ölçülen Parametre	Çevresel Gürültü Düzeyi		
		Gündüz	Akşam	Gece
Endüstri tesisleri, ulaşım kaynakları	$L_{Aeq,5min}$	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)

İlgili limitlere göre gürültü limitleri gündüz 65 dB(A), akşam 60 dB(A) ve gece 55 dB(A) yı geçmemelidir. Düzenli olarak ölçümler alınmalı ve kontrol altında tutulmalıdır.

4.1.4 Hava Kirliliği Üzerine Etkiler

Proje çalışmaları sırasında yüzey tesisleri inşaatı, su tankları ve pompa istasyonlarının inşaatı, boru hattı inşası, kaverna alanları gibi alanlarda yapılan gerek üst toprak sıyırma ve taşıma işlemleri gerekse alt toprak kazıları faaliyetleri kaynaklı toz emisyonu mevcut olmaktadır. Toz emisyonlarının önüne geçmek ve kontrol altında tutmak adına düzenli sulama yapılması önem arz etmektedir.

4.2 Tuz Gölü'ne Deşarjın Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi

Tez çalışmasının bu kısmında proje kapsamında deşarj edilen tuzlu suyun 2015-2023 yılları arasındaki aylık ölçüm sonuçlarından yola çıkarak yıllık ortalamaları alınmıştır. Sonuç parametreleri Tuz Gölünün kendisinden alınan parametreler ile kıyaslanarak parametreler arası anlamlı farkın söz konusu olup olmadığı incelenmiştir. İnceleme kapsamında hem yıllık hem de tüm yılların ortalama sonucu dikkate alınarak ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

Verilerin analizinde SPSS 25.0 for Windows paket programı kullanılmıştır. Verilerin tanımlanmasında ortalama ve standart sapma değerleri kullanılmıştır. Araştırma parametrelerinin standart normal dağılıma uygunluğu için Kolmogorov Smirnov normallik testi yapılmıştır. Test sonucunda tüm parametrelerin dağılımı standart normal dağılımdan farklılık gösterdiğinden ($p < 0,05$), nonparametrik testler kullanılmıştır. İki grup arasındaki farkın anlamlılığı için Mann Whitney U testi yapılmıştır. Çizelge 4.12 İlişkisel tarama testinde, lineerizasyondan sapmalardan ötürü, Spearman's rho korelasyon analizi yapılmıştır (Yılmaz ve Turanlı, 2023).

Çizelge 4.2 ile Çizelge 4.11'e kadar olan tüm Çizelgeler Mann Whitney U testi olup, iki grup arası nonparametrik farka bakan analizdir. Test değeri dediğimiz, standart Çizelgelerden bakarak p değerini bulunması amacı ile kullanılan değerdir. P değeri ise 0.05 sınırının altında ise farklar anlamlıdır, üzerinde ise anlamlı değildir.

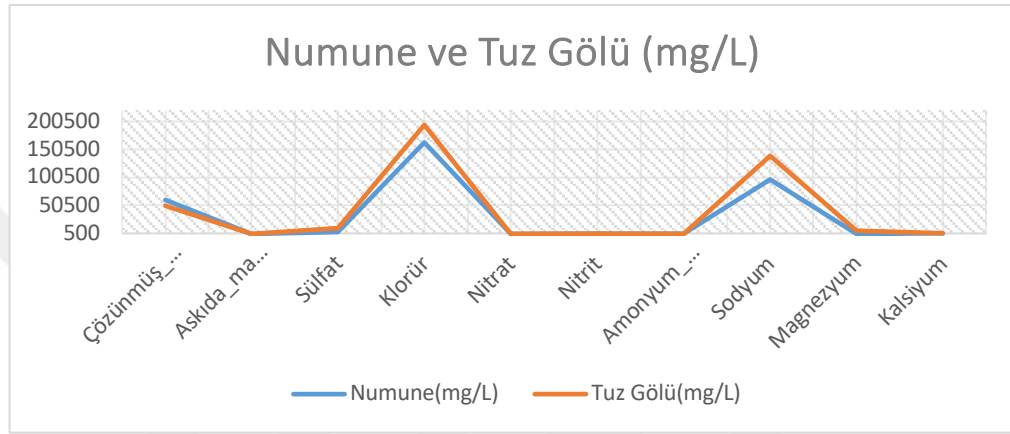
2015-2023 yılları arasındaki tüm ölçümlerin Tuz Gölü ve numune ölçümleri ortalama değerleri ile fark analizi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 2015-2023 yılları arasındaki tüm ölçümlerin Tuz Gölü ve numune ölçümleri ortalama değerleri ile fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,54	,60	7,71	0,00	86,000	0,000
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	55063,10	62979,35	>100000,00	0,00	1870,500	0,000
Tuzluluk	‰	95,98	34,29	>86,00	0,00	3577,500	0,336
Çözünmüş katılar	mg/L	54978,87	17737,18	50000,00	0,00	3397,000	0,010
Askıda maddeler	mg/L	83,61	114,65	105,90	0,00	2264,000	0,000
Sülfat	mg/L	2947,54	1975,67	9670,00	0,00	86,000	0,000
Klorür	mg/L	163791,09	34693,91	194139,00	0,00	603,000	0,000
Alkalinite	CaCO ₃ /L	116,72	32,60	159,60	0,00	86,000	0,000
Nitrat	mg/L	3,17	16,12	0,66	0,00	2467,000	0,000
Nitrit	mg/L	0,05	0,10	0,07	0,00	1118,000	0,000
Amonyum azotu	mg/L	0,16	0,20	0,97	0,00	87,000	0,000
Sodyum	mg/L	98709,65	32204,66	139581,00	0,00	522,000	0,000
Magnezyum	mg/L	37,21	17,95	4832,00	0,00	0,000	0,000
Kalsiyum	mg/L	1222,47	400,95	672,49	0,00	86,000	0,000

Analiz sonuçlarına göre numune ortalamalarından çözünmüş katılar ve kalsiyum değeri Tuz Gölü ortalamasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p<0,05$). Ancak pH, elektrik iletkenlik, askıda maddeler, sülfat, klorür, alkalinite, nitrat, nitrit, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları ise Tuz Gölü ortalama değerlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha düşüktür ($p<0,05$). Bu sonuçlara göre kirleticilerin düzeylerinin Tuz Gölü ortalamasının altında olduğu ve bu farkın anlamlı olduğu görülmektedir. Çözünmüş katı değerinin özellikle eritmenin ilk aylarında yüksek olduğu anlaşılmaktadır. İlk faz eritmeleri 2015 yılında başlamış ve bu yıla ait çözünmüş katı değeri Tuz Gölü'ne kıyasla yüksekken yıllar içerisinde aynı seviyeye gelmiş, 2022 yılında yeni kavernaların eritmesi başladığında ise yine yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak çözünmüş katı miktarının formasyondan ileri geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca eritme işlemine tabi tutulan kaverna sayısındaki artış da çözünmüş katı konsantrasyonundaki artışın sebebidir. Çözünmüş katı değerindeki artış özenle takip edilmeli ve havuzlarda biriktirilen tuzlu su içerisinde çökelen katı maddelerin temizliği ve bertarafı ilk aylarda daha sık aralıklarla yapılmalıdır. Kalsiyum değerinde gözlemlenen artış değerlendirecek olursa; kalsiyum içme ve kullanma sularında magnezyumla birlikte sertliğe sebep olduğu için önemli bir parametre olmakla birlikte içme suları ile alımı sağlık açısından faydalıdır. Fakat içme sularında tat olarak tercih edilmemektedir (Boysan ve Şengörür, 2009). Ayrıca yüzey suları açısından balık ve bitki yetiştiriciliği

açısından da önem arz etmekte olan bir mineraldir (Küçük, 2007). Araştırmaya konu olan Tuz Gölü açısından kalsiyum miktarındaki fazlalık su kalitesi yönünden ilave sertliğe sebep olabilecek olsa da göl ekosistemi açısından olumsuz bir etki göstermeyeceği düşünülmektedir. Şekil 4.6’da parametreler ve Tuz Gölü değerlerini kıyaslaması verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere değerler paralellik göstermekle birlikte değerler Tuz Gölünün altında kalırken çözünmüş katı ve kalsiyum değerleri numunelerde yüksektir.



Şekil 4.6. Tuz Gölü ve numune kıyaslaması.

2015 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 2015 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,58	0,60	7,71	0,00	86,000	0,000
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	111337,5	62979,35	>100000,00	0,00	1870,500	0,000
Tuzluluk	‰	105,14	34,29	>86,00	0,00	3577,500	0,336
Çözünmüş katılar	mg/L	59720,41	17737,18	50000,00	0,00	3397,000	0,010
Askıda maddeler	mg/L	85,79	114,65	105,90	0,00	2264,000	0,000
Sülfat	mg/L	2822,08	1975,67	9670,00	0,00	86,000	0,000
Klorür	mg/L	162944,64	34693,91	194139,00	0,00	603,000	0,000
Alkalinite	CaCO ₃ /L	118,171	32,60	159,60	0,00	86,000	0,000
Nitrat	mg/L	1,502	16,12	0,66	0,00	2467,000	0,000
Nitrit	mg/L	0,0625	0,10	0,07	0,00	1118,000	0,000
Amonyum azotu	mg/L	0,142	0,20	0,97	0,00	87,000	0,000
Sodyum	mg/L	96675,62	32204,66	139581,00	0,00	522,000	0,000
Magnezyum	mg/L	37,907	17,95	4832,00	0,00	0,000	0,000
Kalsiyum	mg/L	1224,155	400,95	672,49	0,00	86,000	0,000

2015 yılında tuzluluk, çözünmüş katılar ve nitrat değerleri numune ve Tuz Gölü ortalamasında benzer çıkmış olup, aradaki farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Diğer tüm ölçüm değerlerinin 2015 yılı tüm aylar için değeri Tuz Gölü için istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p<0,05$). Bu sonuçlardan yola çıkarak 2015 yılı parametreleri için deşarjın Tuz Gölü ile uyumlu olduğu görülmekte olup numunelerde daha yüksek olan parametre bulunmamaktadır.

2016 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. 2016 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,62	0,38	7,71	0,00	-0,744	0,000
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	100000	63219,85	100000,00	0,00	-0,744	0,000
Tuzluluk	%o	96,83	37,53	86,00	0,00	-0,744	0,317
Çözünmüş katılar	mg/L	55020,92	17392,97	50000,00	0,00	-0,744	0,317
Askıda maddeler	mg/L	10	,00	105,90	0,00	-0,744	0,000
Sülfat	mg/L	2320,92	355,15	9670,00	0,00	-0,744	0,000
Klorür	mg/L	169399,33	54128,26	194139,00	0,00	-0,744	0,021
Alkalinite	CaCo3/L	110,95	16,65	159,60	0,00	-0,744	0,000
Nitrat	mg/L	0,76	0,50	00,66	0,00	-0,744	0,083
Nitrit	mg/L	0,02	0,01	0,07	0,00	-0,744	0,000
Amonyum azotu	mg/L	0,06	0,04	0,97	0,00	-0,744	0,000
Sodyum	mg/L	106015,25	10895,21	139581,00	0,00	-0,744	0,000
Magnezyum	mg/L	38,6	20,14	4832,00	0,00	-0,744	0,000
Kalsiyum	mg/L	1059,67	206,98	672,49	0,00	-0,744	0,000

2016 yılında tuzluluk, çözünmüş katılar ve nitrat değerleri numune ve Tuz Gölü ortalamasında benzer çıkmış olup, aradaki farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). Kalsiyum değeri istatistiksel olarak anlamlı şekilde numune ölçümlerinde daha yüksektir. Diğer tüm ölçüm değerlerinin 2016 yılı tüm aylar için değeri Tuz Gölü için istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p<0,05$). Sonuçlar değerlendirildiğinde sadece kalsiyum değerinin yüksek olduğu anlaşılmakta ve daha önceki bölümde de ifade edildiği gibi bu yükseklik Tuz Gölü açısından kirletici özellikte olmadığı değerlendirilmektedir.

2017 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. 2017 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,8	0,46	7,71	0,00	12,000	0,000
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	100000	00,00	100000,00	0,00	72,000	1,000
Tuzluluk	‰	86	0,00	86,00	0,00	72,000	1,000
Çözünmüş katılar	mg/L	50000	0,00	50000,00	0,00	72,000	1,000
Askıda maddeler	mg/L	177,16	204,39	105,90	0,00	72,000	1,000
Sülfat	mg/L	3056,17	978,24	9670,00	0,00	0,000	0,000
Klorür	mg/L	159191,92	18441,95	194139,00	0,00	0,000	0,000
Alkalinite	CaCO ₃ /L	115,52	16,14	159,60	0,00	0,000	0,000
Nitrat	mg/L	1,71	0,87	0,66	0,00	22,000	0,004
Nitrit	mg/L	0,1	0,18	0,07	0,00	36,000	0,026
Amonyum azotu	mg/L	0,09	0,10	0,97	0,00	0,000	0,000
Sodyum	mg/L	82707,35	44413,94	139581,00	0,00	12,000	0,000
Magnezyum	mg/L	37,59	22,66	4832,00	0,00	0,000	0,000
Kalsiyum	mg/L	1391,08	658,10	672,49	0,00	0,000	0,000

2017 yılında nitrat, nitrit ve kalsiyum düzeyleri numunelerin ölçümlerinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p<0,05$). Ancak pH, sülfat, klorür, alkalın, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları ise Tuz Gölünde daha yüksektir ($p<0,05$). Elektrik iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş katılar ve askıda maddelerin ortalama değeri ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$).

Nitrat konsantrasyonu hem yüzeysel sular hem de içme suları için önemli bir parametredir. Gerek yüzey suları gerekse yer altı sularında nitrat kirliliğinin iki önemli sebebi bulunmaktadır. Bunlardan ilki tarımsal faaliyetler sırasında yoğun gübre kullanımı ile yer altı sularına karışım bir diğeri ise toprakta bulunan organik materyallerin parçalanmasıdır. Toprakta mevcut olan nitratın sadece bir kısmı bitkilerce tüketilmekte geri kalanı ise yağmur sularıyla beraber yer altı sularına sızmaktadır. Teorik olarak tarımsal amaçlı kullanılan gübredeki azotun yüzde 50 ile yüzde 70'inin bitkilerce tüketildiği bilinmektedir. Geri kalan kısım buharlaşma, organik diğer bileşiklerle birleşme yoluyla tutulduğu ve yaklaşık yüzde 15 ile 25'inin ise yer altı sularına karıştığı bilinmektedir. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu ve absorbe edebildiği azot miktarı, toprak yapısı, gübre miktarı, topraktaki nem ve su içeriği, hava sıcaklığı gibi parametreler yer altı suyuna karışma noktasında rol oynayan parametrelerdir. Yüksek gübre kullanımı olan tarım alanları hariç yer altı ya da yüzey sularında nitrat düzeyi 0-10 mg/L arasında bulunmaktadır (Akkurt vd., 2002).

Ülkemizde kabul gören TS 266 içme suyu standardında bakıldığında kabul edilebilir en yüksek değerin 50 mg/L olduğu görülmektedir. Bu limit AB standardında 50 mg/L iken Dünya Sağlık Örgütüncel toplam nitrojen karşılığı olarak nitrat ve nitrit sınır değeri 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca yürürlükteki mevzuat incelendiğinde 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” te ise limit değer 50 mg/L’dir (URL-25). Tuz Gölü,2nün mevcut nitrat ve nitrit değerine bakıldığında sırasıyla 0,66 ve 0,07 mg/L olduğu ve tipik yüzey sularına göre bu seviyenin oldukça düşük görülmektedir. Bu duruma gerekçe olarak tuzlu özelliği sebebiyle etrafında tarım amaçlı kullanılan arazilerin azlığı gösterilebilir. 2017 yılında alınan numunelerde ise nitrat ve nitrit değerleri sırası ile 1,71 ve 0,1 mg/L olup bu değer her ne kadar kabul eilebilir seviyelerin altında olsa da Tuz Gölü değerinin üzerindedir. Eritme işlemi yerin 1100 ila 1500 m altında ve yer altı sularına oldukça uzak noktada gerçekleştirilmekte olup bu artışın eritme kaynaklı olmadığı düşünülmektedir. Eritme işlemi için temin edilen tatlı suyun geldiği Hirfanlı Barajı bölgesi değerlendirildiğinde etrafında tarım arazileri mevcudiyeti ve yoğun tarım faaliyetleri sebebiyle gübreleme kaynaklı bu artışın gerçekmiş olabileceği değerlendirilmektedir.

2018 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 2018 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,35	0,60	7,71	0,00	0,000	0,000
Elektriksel iletkenlik	µs/cm	100000	0,00	100000,00	0,00	0,000	0,000
Tuzluluk	‰	86	0,00	86,00	0,00	72,000	1,000
Çözülmüş katılar	mg/L	50000	,00	50000,00	0,00	72,000	1,000
Askıda maddeler	mg/L	110,86	109,04	105,90	0,00	48,000	0,139
Sülfat	mg/L	2777	254,03	9670,00	0,00	0,000	0,000
Klorür	mg/L	174329,67	17156,10	194139,00	0,00	12,000	0,000
Alkalinite	CaCO ₃ /L	127,93	76,77	159,60	0,00	12,000	0,000
Nitrat	mg/L	1,01	0,62	0,66	0,00	72,000	1,000
Nitrit	mg/L	0,03	00,01	0,07	0,00	0,000	0,000
Amonyum azotu	mg/L	0,17	,17	0,97	0,00	0,000	0,000
Sodyum	mg/L	103092,75	12079,90	139581,00	0,00	0,000	0,000
Magnezyum	mg/L	30,18	2,04	4832,00	0,00	0,000	0,000
Kalsiyum	mg/L	1269,22	144,71	672,49	0,00	0,000	0,000

2018 yılında pH, elektrik iletkenlik, sülfat, klorür, alkalinite, nitrit, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları Tuz Gölü için daha yüksek düzeydedir ve farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Kalsiyum ortalamaları ise istatistiksel olarak anlamlı şekilde numunelerde daha yüksek düzeydedir ($p<0,05$). Tuzluluk, çözünmüş katılar, askıda maddeler ve nitrat ortalamasının numuneler ve Tuz Gölü arasındaki farkı ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). 2018 yılındaki sonuçlar değerlendirildiğinde anlamlı olarak yüksek olan tek parametrenin kalsiyum olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere kalsiyum miktarının yüksek oluşunun su kalitesi ve göl ekosistemi açısından olumsuzluk teşkil etmemektedir.

2019 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 2019 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		5,92	00,35	7,71	0,00	0,000	0,000
Elektriksel iletkenlik	μs/cm	100000	0,00	100000,00	0,00	0,000	0,000
Tuzluluk	‰	86	0,00	86,00	0,00	72,000	1,000
Çözünmüş katılar	mg/L	50000	0,00	50000,00	0,00	72,000	1,000
Askıda maddeler	mg/L	74,13	55,53	105,90	0,00	48,000	0,139
Sülfat	mg/L	3021,58	268,75	9670,00	0,00	0,000	0,000
Klorür	mg/L	180610,25	8001,07	194139,00	0,00	12,000	0,000
Alkalinite	CaCO ₃ /L	98,9	21,80	159,60	0,00	0,000	0,000
Nitrat	mg/L	0,9	,30	0,66	0,00	48,000	0,138
Nitrit	mg/L	0,07	,12	0,07	0,00	24,000	0,003
Amonyum azotu	mg/L	0,18	,14	0,97	0,00	0,000	0,000
Sodyum	mg/L	105892,92	39763,58	139581,00	0,00	24,000	0,003
Magnezyum	mg/L	35,14	8,37	4832,00	0,00	0,000	0,000
Kalsiyum	mg/L	1384,08	348,33	672,49	0,00	0,000	0,000

2019 yılında pH, elektrik iletkenlik, sülfat, klorür, alkalinite, nitrit, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları Tuz Gölü için daha yüksek düzeydedir ve farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Kalsiyum ortalamaları ise istatistiksel olarak anlamlı şekilde numunelerde daha yüksek düzeydedir ($p<0,05$). Tuzluluk, çözünmüş katılar, askıda maddeler ve nitrat ortalamasının numuneler ve Tuz Gölü arasındaki farkı ise istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). 2018 yılında olduğu gibi bu yılda da yine kalsiyum değeri yüksek olup bu durum kirlilik açısından olumsuz bir durum olarak değerlendirilmemektedir.

2020 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. 2020 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,39	,51	7,71	0,00	0,000	0,000
Elektriksel iletkenlik	µs/cm	100000	,00	100000,00	0,00	72,000	1,000
Tuzluluk	‰	86	,00	86,00	0,00	72,000	1,000
Çözünmüş katılar	mg/L	50000	,00	50000,00	0,00	66,000	0,317
Askıda maddeler	mg/L	85,67	66,18	105,90	0,00	72,000	1,000
Sülfat	mg/L	2252,42	772,55	9670,00	0,00	0,000	0,000
Klorür	mg/L	164273,67	21248,02	194139,00	0,00	0,000	0,000
Alkalinite	CaCO3/L	119,95	20,26	159,60	0,00	0,000	0,000
Nitrat	mg/L	1,43	0,47	0,66	0,00	0,000	0,000
Nitrit	mg/L	0,03	,03	0,07	0,00	12,000	0,000
Amonyum azotu	mg/L	0,26	,37	0,97	0,00	12,000	0,000
Sodyum	mg/L	115965,83	24570,34	139581,00	0,00	24,000	0,003
Magnezyum	mg/L	43,1	17,94	4832,00	0,00	0,000	0,000
Kalsiyum	mg/L	1361,92	399,23	672,49	0,00	0,000	0,000

2020 yılında nitrat ve kalsiyum ortalamaları numunelerde istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p < 0,05$). Elektrik iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş katılar, askıda maddeler düzeylerinin numuneler ve Tuz Gölü değerleri arasındaki farkları istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). pH, sülfat, klorür, alkalinite, nitrit, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum değerleri ise istatistiksel olarak anlamlı şekilde Tuz Gölünde daha yüksek düzeydedir ($p < 0,05$). Nitrat konsantrasyonu her ne kadar tipik yüzey sularındaki değerlerin altında olsa da Tuz Gölü’ne göre yüksek düzeyde olup bu durum eritmede kullanılan tatlı suyun temin edildiği Hirfanlı Barajı bölgesindeki tarımsal gübre kullanımı ile açıklanabilmektedir.

2021 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 2021 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,13	,43	7,71	0,00	0,000	0,014
Elektriksel iletkenlik	µs/cm	100000	,00	100000,00	0,00	0,000	0,008
Tuzluluk	‰	86	,00	86,00	0,00	8,000	1,000
Çözünmüş katılar	mg/L	50000	,00	50000,00	0,00	8,000	1,000
Askıda maddeler	mg/L	35,98	13,91	105,90	0,00	0,000	0,014
Sülfat	mg/L	3158,5	223,62	9670,00	0,00	0,000	0,014
Klorür	mg/L	183467,75	5218,87	194139,00	0,00	0,000	0,014
Alkalinite	CaCo3/L	119,2	6,18	159,60	0,00	0,000	0,014
Nitrat	mg/L	1,17	,05	,66	0,00	0,000	0,014
Nitrit	mg/L	0,01	,00	,07	0,00	0,000	0,008
Amonyum azotu	mg/L	0,12	,02	,97	0,00	0,000	0,014
Sodyum	mg/L	124468,25	13141,53	139581,00	0,00	0,000	0,014
Magnezyum	mg/L	42,23	14,02	4832,00	0,00	0,000	0,014
Kalsiyum	mg/L	1390,5	170,91	672,49	0,00	0,000	0,014

2021 yılında nitrat ve kalsiyum ortalamaları numunelerde istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p < 0,05$). Tuzluluk ve çözünmüş katılar düzeylerinin numuneler ve Tuz Gölü değerleri arasındaki farkları istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Askıda maddeler, pH, sülfat, klorür, alkalın, nitrit, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum değerleri ise istatistiksel olarak anlamlı şekilde Tuz Gölünde daha yüksek düzeydedir ($p < 0,05$). 2021 yılı sonuçları da önceki yıl sonuçlarına paralellik göstermektedir. 2022 yılı için ölçüm değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. 2022 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		6,82	1,06	7,71	0,00	0,000	0,002
Elektrisel iletkenlik	µs/cm	141300	65593,23	100000,00	0,00	9,000	0,108
Tuzluluk	‰	127,43	66,01	87,00	0,00	9,000	0,108
Çözünmüş katılar	mg/L	69040,33	36309,91	50000,00	0,00	12,000	0,253
Askıda maddeler	mg/L	168,57	150,48	105,90	0,00	6,000	0,040
Sülfat	mg/L	3345,83	832,11	9670,00	0,00	0,000	0,002
Klorür	mg/L	106833	32360,32	194139,00	0,00	0,000	0,002
Alkalinite	CaCO ₃ /L	123,27	11,87	159,60	0,00	0,000	0,002
Nitrat	mg/L	2,57	1,39	,66	0,00	6,000	0,040
Nitrit	mg/L	0,21	,12	,07	0,00	6,000	0,040
Amonyum azotu	mg/L	0,14	,14	,97	0,00	0,000	0,002
Sodyum	mg/L	57785,22	17696,22	139581,00	0,00	0,000	0,002
Magnezyum	mg/L	32,02	7,98	4832,00	0,00	0,000	0,002
Kalsiyum	mg/L	1223,32	252,23	672,49	0,00	0,000	0,002

2022 yılında askıda maddeler, nitrat ve nitrit düzeyleri ile kalsiyum düzeyleri numunelerde Tuz Gölüne göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p<0,05$). Elektrik iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş katılar için numune ve Tuz Gölü ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). pH, sülfat, klorür, alkalinite, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları ise istatistiksel olarak anlamlı şekilde Tuz Gölünde daha yüksek düzeydedir ($p<0,05$). 2022 yılında diğer yıllardan farklı olarak askıda katı madde parametresi Tuz Gölü'ne göre yüksektir. Katı maddelerin bir kısmı filtrasyonla tutulabilirken bir kısmı tutukamaz tutulamayan kısımlar. Çözünmüş katı madde olarak nitelendirilir. Yüzey sularında askıda katı madde konsantrasyonu önemli bir parametredir. Askıda katı madde parametresindeki artış suların fiziksel kirlenmesine neden olmakta ve bulanıklığa sebep olarak ışık geçirgenliğini azaltmaktadır. Bu da çözünmüş oksijen miktarının azalmasına sebep olmakta ve bunun sonucunda ortamda bulunan fauna ve flora zarar görmektedir. Toplam askıda katı madde birim hacme sahip su numunesinin 103 ila 105 °C de buharlaştırılması sonrası kalan katı maddelerin ağırlığıdır (Avcı, 2021). Bu parametredeki artış eritme için ihtiyaç olan tatlı suyun temin edildiği Hirfanlı barajındaki sedimantasyondan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

2023 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 2023 yılı için ölçüm değerleri ile Tuz Gölü değerleri arasındaki farklar ve fark analizi sonuçları.

		Örneklem				Test Değeri	p değeri
		Numune ortalaması		Tuz gölü			
	Birim	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma		
pH		7,32	,31	7,71	0,00	0,000	0,005
Elektriksel iletkenlik	µs/cm	160738	95992,90	100000,00	0,00	5,000	0,095
Tuzluluk	‰	206	25,43	86,00	0,00	0,000	0,007
Çözünmüş katılar	mg/L	113422,5	11349,07	50000,00	0,00	0,000	0,007
Askıda maddeler	mg/L	95,95	114,37	105,90	0,00	5,000	0,095
Sülfat	mg/L	5895,165	7828,65	9670,00	0,00	5,000	0,095
Klorür	mg/L	177065,2	68114,97	194139,00	0,00	10,000	0,577
Alkalinite	CaCO ₃ /L	130,6	15,76	159,60	0,00	0,000	0,005
Nitrat	mg/L	1,41	67,06	,66	0,00	10,000	0,577
Nitrit	mg/L	0.044	,04	,07	0,00	5,000	0,090
Amonyum azotu	mg/L	0,02	,00	,97	0,00	0,000	0,003
Sodyum	mg/L	72967,2	42334,87	139581,00	0,00	0,000	0,005
Magnezyum	mg/L	49,36	44,73	4832,00	0,00	0,000	0,005
Kalsiyum	mg/L	995,29	527,73	672,49	0,00	5,000	0,095

2023 yılında tuzluluk, çözünmüş katılar ortalamaları istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksektir ($p<0,05$). Elektrik iletkenlik, askıda maddeler, sülfat, klorür için numune ve Tuz Gölü ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). pH, alkalinite, amonyum azotu, sodyum ve magnezyum ortalamaları ise istatistiksel olarak anlamlı şekilde Tuz Gölünde daha yüksek düzeydedir ($p<0,05$).

Ölçüm değerlerinin numuneler için mevsimsel bağlılığını analiz etmek için yapılan Spearman's rho korelasyon analizi sonuçları Çizelge 4.12'te verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ölçüm değerlerinin numuneler için mevsimsel bağlılığını analiz etmek için yapılan Spearman's rho korelasyon analizi sonuçları.

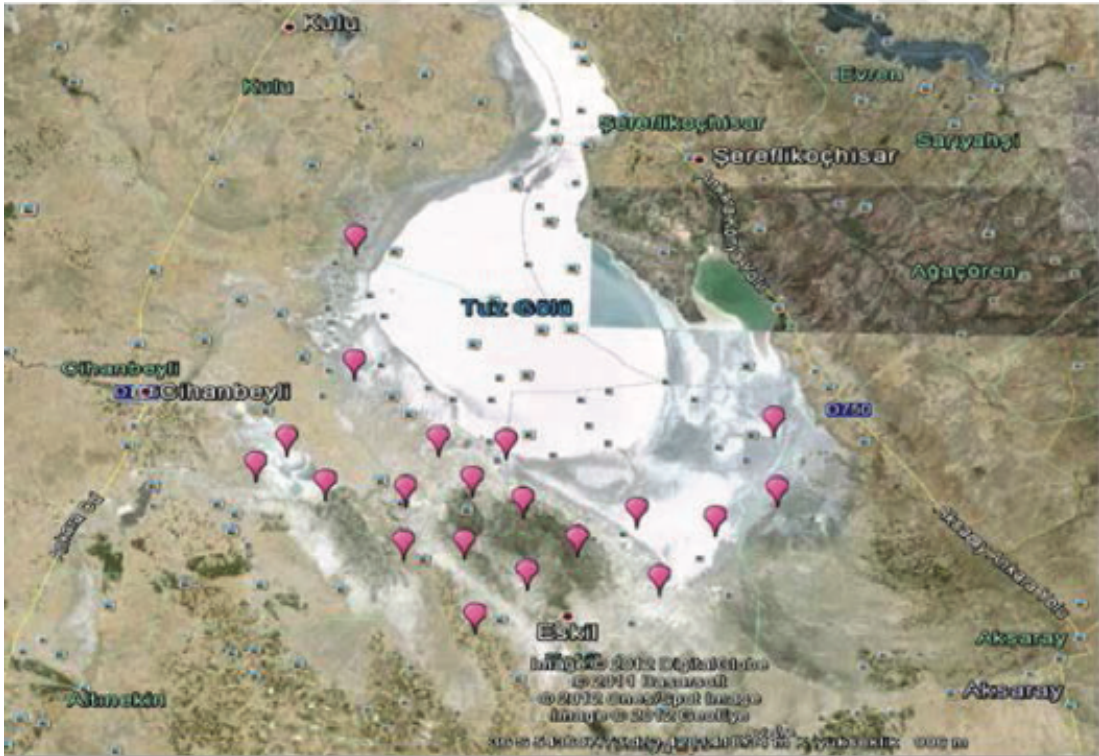
Ay	r	p
pH	-0,190	0,078
Elektrisel iletkenlik	0,004	0,970
Tuzluluk	-0,071	0,516
Çözünmüş katılar	-0,049	0,656
Askıda maddeler	-0,040	0,710
Sülfat	0,173	0,109
Klorür	0,134	0,217
Alkalinite	-0,294**	0,006
Nitrat	-0,012	0,914
Nitrit	0,200	0,063
Amonyum azotu	0,191	0,077
Sodyum	0,057	0,599
Magnezyum	-0,058	0,595
Kalsiyum	0,087	0,425

Spearman's rho korelasyon analizi sonuçlarına göre alkalinite düzeyi ile ay arasında negatif yönde ilişki vardır ($r=-0,294$; $p<0,01$). Dolayısıyla, ay ilerledikçe, alkalinite anlamlı şekilde azalmaktadır. Bunun dışındaki tüm ölçüm parametreleri numuneler için zamana bağlı olmayıp, tarihsel olarak farklılık göstermemektedir ($p>0,05$). Numunelerde aylara bağlı korelasyon olmayışı eritme yapılan kuyu sayısının sabit olmaması, belirli dönemlerde kuyu sayısının artması ya da mevcut kuyularda işlemin tamamlanmasıyla azalması, parametrelerin biyolojik değil kimyasal parametreler olması sebebiyle mevsimsel değişimlerden etkilenmeyişi ile açıklanabilir.

Tüm sonuçlardan yola çıkarak değerlendirme yapıldığında; deşarj edilen tuzlu suyun parametrelerinin Tuz Gölüne oldukça yakın oluşu dikkat çekmektedir. Bu durum Tuz Gölüne olan etkinin olumsuz bir sonucu olmayacağını ispat etmektedir. Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Projesi kapsamında Hirfanlı Barajından temin edilen tatlı su yer altına verilerek yer altında bulunan tuz domları eritilirken, oluşan tuzlu su ise Tuz

Gölüne deşarj edilmektedir. Daha önceki bölümlerde belirtildiğı üzere Tuz Gölü önemli bir sulak alan olup birçok endemik türe ev sahipliğı yapmakla beraber az yağış alması ve küresel iklim değışikliğinin de etkisiyle günden güne hacim kaybetmektedir. Bu durum Özel Çevre Koruma Bölgesi ve Ramsar kriterlerine göre ‘A Sınıfı’ sulak alan olarak nitelendirilen bölgede hem ekosistem hem biyoçeşitlilik adına ciddi risk teşkil etmektedir. Zira bu riski bertaraf etmek adına 2022 yılında Çevre Şehircilik ve İklim Değışikliği Bakanlığımız Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü uhdesinde “Tuz Gölü’ne Su Taşınması Projesi” yürütölmüş olup kuraklığın ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerini kısmen de olsa ortadan kaldırmak ve alanda yaşayan canlıların hayatta kalabilmeleri için gerekli önlemleri almak adına su boruları aracılığı ile Tuz Gölü havzasına tatlı su taşınması hedeflenmiştir.

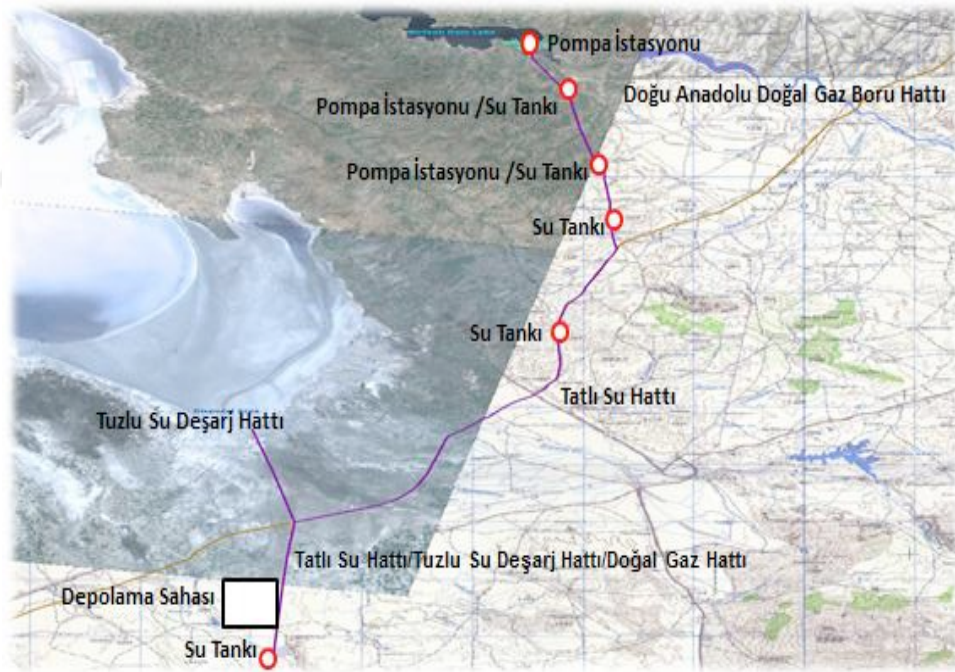
Bölgede mevcut olan flora incelendiğinde alanda bulunan 315 flora türünün IUCN (Uluslararası Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliğı) tarafından bildirilen “kırmızı liste” ye göre %30’u endemik tür iken bunlardan bir adeti tehşke altında, 9 adeti duyarlı, 39 adetinin ise düşük risk altında olduğı anlaşılmaktadır (URL-20). Bölgede bulunan flora türlerinin dağılımı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Tuz Gölü’nde bulunan endemik türlerin dağılımı (URL-20).

Yine bölgede bulunan fauna durumu incelendiğinde bölgede bulunmakta olan ve bulunması beklenen 146 adet fauna çeşidi bulunmaktadır. IUCN (Uluslararası Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği) tarafından bildirilen “kırmızı liste” ye göre mevcut 3 adet amfibiden 2 adeti düşük risk altında, 1 adeti ise yetersiz veri grubunda yer almaktadır. 15 adet sürüngen türü içerisinde 1 adeti duyarlı, 8 adeti düşük riskli iken 6 tanesi ilgili listede bulunamamıştır. Kuş türleri incelendiğinde bölgede 115 adet farklı kuş türü bulunmakta olup bunların 105 adeti düşük risk altında, 3 adeti tehdiye yakın, 3 adeti duyarlı, 2 adeti tehlike altında olarak değerlendirilmiş ve 1 adeti liste dışında olduğu görülmektedir (URL-20).

Doğal gaz depolama amaçlı olarak kavernaların eritilmesi için ihtiyaç duyulan su yaklaşık 130 km uzunluğundaki boru hattı vasıtasıyla Hirfanlı Barajından temin edilmekte olup hat Ankara İli Evren İlçesinden başlayıp Aksaray Sarıyahşi-Ağaçören-Ortaköy- Merkez- Sultanhanından geçerek proje alanına ulaşmaktadır (Şekil 4.7).



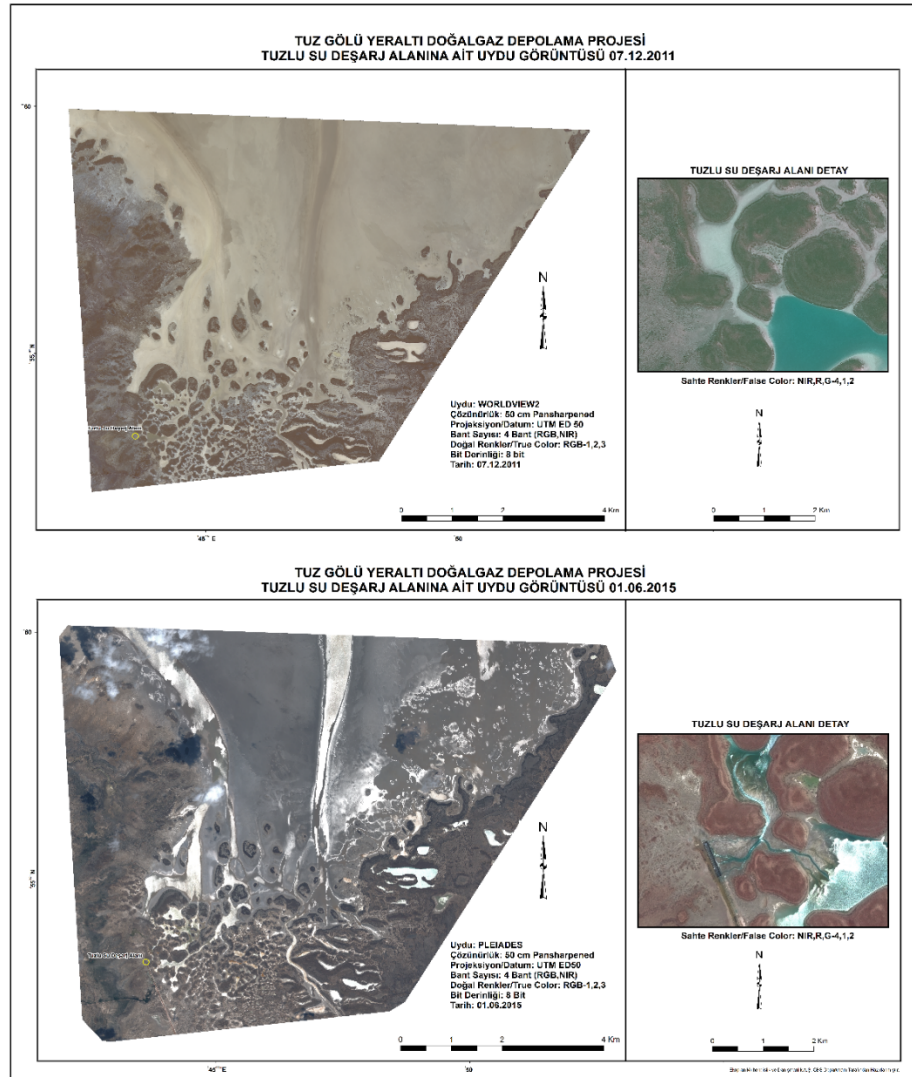
Şekil 4.8. Su temin hattı (URL-20).

Proje kapsamında her bir kaverna için saatlik 280-300 m³ suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan suyun miktarı günlük aylık ve yıllık miktarları Çizelge 4.13’de verilmektedir (URL-20).

Çizelge 4.13. Kaverna oluşumunda ihtiyaç duyulan su miktarı (URL-20).

Aşama	Bir Kavernanın Oluşumu İçin Gerekli Su Miktarı		
	Saatlik	Günlük	Yıllık
Çözme Aşaması	280 m ³	6.720 m ³	2.419.200 m ³

Her bir kaverna oluşumu için Saatlik 280, günlük 6720 ve yıllık 2.419.200 m³ tuzlu su deşarjı gerçekleşmekte olup her bir kavernanın eritme işleminin yaklaşık 1000 gün sürdüğü göz önünde bulundurulduğunda Tuz Gölüne ciddi miktarda su deşarjı söz konusu olmaktadır. Bu deşarj Tuz Gölünün su seviyesini artırmakta ve bu sayede bölgedeki türler açısından önem arz etmektedir. Bahsi geçem proje öncesi ve deşarj sonrası çekilen uydu görüntüsü Şekil 4.9’da görülmektedir. İlgili görselde Tuz Gölüne yapılan deşarj sonrası su seviyesinin artışı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.9. Tuz Gölü doğal gaz depolama projesi difüzör bölgesine ait uydu görüntüsü (BOTAŞ).

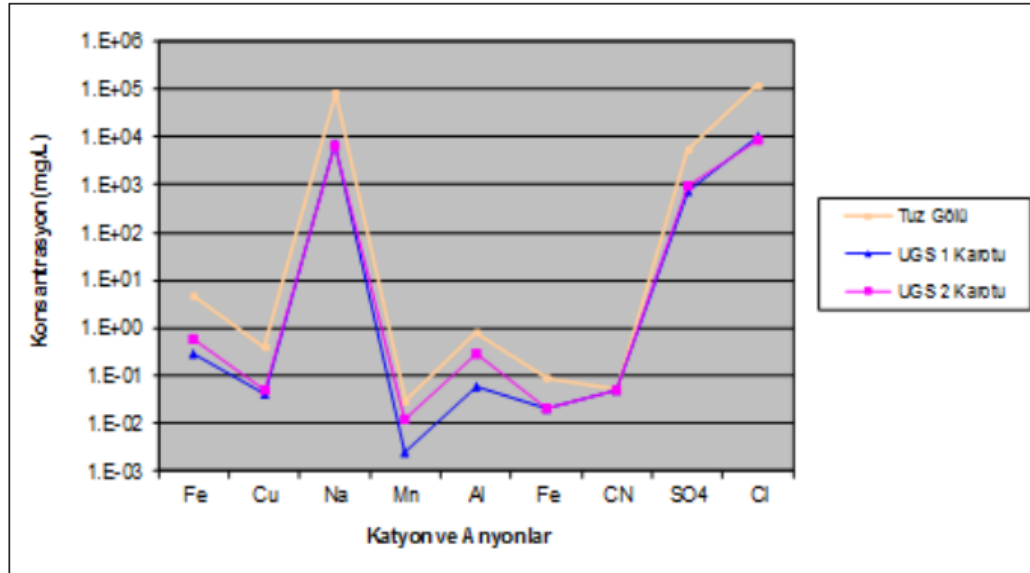
Ayrıca proje su deşajının gerçekleşmesine müteakiben Çevre ve Şehircilik Bakanlığının gerçekleştirdiği “Flamingo Popölasyonlarının Araştırılması, Korunması ve İzlenmesi Projesi” kapsamında yapılan incelemelerde Tuz Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi'nde

- 2016 yılında 9.564 adet,
- 2017 yılında 11.079 adet,
- 2018 yılında flamingo yavrusu 12.746 adet,
- 2019 yılında ise 20.385 adet flamingo yavrusu tespit edilmiştir (URL-24).

Bu sonuçlardan yola çıkarak projeden kaynaklı deşarjın Tuz Gölü'ne olumlu anlamda katkısı olduğu ve bölgedeki ekosisteme ve biyoçeşitliliğe katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama Projesi eritme faaliyetleri sonucu açığa çıkan tuzlu suyun Tuz Gölü'ne deşarjı sebebi ile herhangi bir kirliliğe sebep olup olmadığı araştırılmış, bu amaçla Tuz Gölü'nün mevcut parametreleri ile aylık olarak 2015-2023 yılları süresince alınan numune örnekleri karşılaştırılmıştır. pH, elektiriksel iletkenlik, tuzluluk, çözünmüş katılar askıda katı maddeler, sülfat, klorür alkalinite, nitrat, nitrit, amonyum azotu, sodyum, magnezyum, kalsiyum parametrelerine ait sonuçlar yıllık ortalamalar ve tüm yılların ortalama değerleri alınarak istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Tüm yılların analiz sonuçlarına bakıldığında kalsiyum ve çözünmüş katı parametreleri dışında tüm parametreler Tuz Gölü değerlerinin altındadır. Tuz Gölü Yeraltı Doğal Gaz Depolama Tesisi Projesi'ne ait ÇED Raporunun hazırlanması sürecinde tuzlu suyun deşarjı ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında, eritme işlemi sonucunda oluşan tuzlu suyun Tuz Gölü'nün benzer karakteristik özellikler gösterip göstermediğinin anlaşılması amacıyla DSI'nin havza ve sulama suyu projeleri ile İller Bankası'nın içme suyu projelerinde uzun yıllardan beri kullandığı "Niggle Diyagramı"ndan yararlanılmıştır.



Şekil 5.1. Niggle diyagramı.

Yukarıdaki diyagramdan da görüleceği üzere kuyulardan alınan karotlar ve Tuz Gölü'nden alınan su numuneleri anyon-katyon değişimleri ile benzerlik göstermektedir. Tuz Gölü'nden alınan su örneği ile proje sahasından analiz için alınan tuz domlarına ait karotların suda eritilmesi sonucu oluşan suyun aynı kaynaktan

olduğu sonucunu çıkarmanın mümkün olduğu belirtilmiştir. Deşarj edilen tuzlu suların yoğunluğunun Tuz Gölü su kütlesinin yoğunluğu ile aynı olması nedeniyle, mevcut durumda yürütülen proje kapsamında Tuz Gölü ekosisteminde, flora, fauna, toprak ve su yapısına herhangi bir olumsuz etkisi gözlenmeyeceği değerlendirilmiştir. Deşarj süresince aylık olarak numunelerin alınıp takibinin yapılması öngörülmüştür. Bu çalışmada ise gerçek analiz sonuçlarına dayanarak yapılan istatistiki çalışma ile yapılan değerlendirme sonucunda deşarj edilen su ile Tuz Gölü'nün değerlerinin birbirine yakınlığı istatistiki olarak analiz edilerek anlaşılmıştır. Kalsiyum değeri yüksekliği içme/kullanma sularında sertliğe sebep olacağı için önemli bir parametredir fakat Tuz Gölü bir içme suyu kaynağı olmadığından bu parametrenin yüksekliği bir kirlilik olarak değerlendirilmemektedir. Çözünmüş katı miktarı da yine Tuz Gölü'nden bir miktar yüksek olmakla birlikte eritme işlemindeki formasyonun yapısından ileri geldiği düşünülmektedir. Ayrıca eritilen kaverna sayısının sabit olmaması, farklı zamanlarda eritme işlemine başlanması da bir sebeptir. Tuz Gölü'ndeki kuraklık özellikle son yıllarda ciddi seviyede önem arz etmektedir. Daha önceki bölümlerde de değinildiği üzere birçok endemik türe ev sahipliği yapan gölün kurumaması için Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü tarafından hem yönetim planları hem de Tuz Gölü'ne su taşıma projeleri hayata geçirilmektedir. Tezin konusu olan Tuz Gölü Doğal Gaz Depolama tesisinden deşarj edilen suyun bu amaca hizmet etmekle beraber deşarj edilen suyun Tuz Gölü değerlerine oldukça yakın oluşu önemlidir. Hali hazırda deşarj edilen suyun parametreleri uygun seviyededir fakat ilerleyen zamanlar için sorun teşkil etmemek amaçlı öneriler aşağıda verilmiştir.

- Tuzlu su havuzlarında biriktirilen suya herhangi bir farklı deşarj gerçekleşmemelidir.
- Tuzlu su havuzlarında bekletilen tuzlu suyun içerisindeki çözünmeyerek çökelen maddeler düzenli aralıklarla temizlenerek bertarafı/geri kazanımı sağlanmalıdır. Bu sayede Tuz Gölüne katı madde taşınması önlenmelidir.
- Deşarjın kontrollü olarak gerçekleştirilmesi için aylık numuneler alınarak değerlendirilmeye devam edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Acar, C., 2018. A comprehensive evaluation of energy storage options for better sustainability, *International Journal of Energy Resource*, 42, 3732–3E746.
- Ağca, T., 2019. Enerji koridoru olma yolunda Türkiye'nin enerji arz güvenliği: avantajlar ve dezavantajlar, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Albayrak, K., 2019. Türkiye'nin enerji ekonomisi ve cari açık için yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, KTO., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Anıl, M. ve Bastancıoğlu, B., 2013. Tuz tabakalarında çözelti madenciliği ve oluşan boşlukta doğalgaz depolama imkanlarının araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28, 2, 149-160.
- Avcı, B., 2021. Doğal kaynak sularında sertlik, iletkenlik ve askıda katı madde gideriminin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Bektaşoğlu, İ., 2016. Tuz Gölü havzasında doğal gaz depolama amaçlı yer altı açıklıklarının oluşturulmasında kayaç özelliklerinin çözünme hızına etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, ASÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Bérest, P. ve Louvet, F., 2020. Aspects of the thermodynamic behavior of salt caverns used for gas storage, *Oil & Gas Science and Technology*, 75, 57, 1-10.
- Bostancı, Ş., 1982. Mekânîk odun hamuru üretimi ve sorunları, *KTÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 5, 1, 36-63.
- Bryman, A. ve Cramer, D., 1999. *Quantitative data analysis with SPSS release 8 for windows*, 1. baskı, Routledge, London.
- Büyüköztürk, Ş., 2010. *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı*, 11. baskı, Pegem Akademi, Ankara.
- Can, A., 2019. *SPSS ile bilimsel araştırma sürecinde nicel veri analizi*, 7. baskı, Pegem Akademi, Ankara.
- Carver, R. H. ve Nash G. J., 2012. *Doing data analysis with SPSS version 18*, Cole Cengage Learning, Boston.
- Cherni, A. ve Jouini, S. E., 2017. CO₂ emisyonları, yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme bağlantısına bir ARDL yaklaşımı: Tunus kanıtı, *Uluslararası Hidrojen Enerjisi Dergisi*, 42, 48, 29056-29066.
- Chester, L., 2010. Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature, *Energy Policy*, 38, 887-895.

- Connolly, P., 2007. Quantitative data analysis in education: A critical introduction using SPSS, Routledge, London.
- Corder, G. W. ve Foreman, D. I., 2009. Nonparametric statistics for non-statisticians: A step-by-step approach, A John Wiley & Sons, Inc. Publication, New Jersey.
- Çağlayan, D., Weber, N., Heinrichs, H., Linßen, J., Robinius, M., Kukla, P. ve Stolten, D., 2019. Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe, International Journal of Hydrogen Energy, 67793-6805.
- Çelikpala, M., 2014. Enerji güvenliği: NATO'nun yeni tehdit algısı, Uluslararası İlişkiler, 10,40, 75-99.
- Çoruh, B., 2019. Enerji arz güvenliği kapsamında Türkiye'nin enerji politikaları, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Durmuşoğlu, S., 2015. Türkiye'nin enerji politikaları ve komşu ülkeler ile uluslararası ilişkilerine etkileri, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Erdal, L., 2011. Enerji arz güvenliğini etkileyen faktörler ve yenilenebilir enerji kaynakları alternatifi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- Erdoğan, S. M., 2011. Doğal gazın yeraltında depolanmasının modellenmesi ve etkileyen parametrelerin incelenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ergin, M. N., 2020. Enerji arz güvenliği kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve sürdürülebilir enerji politikaları, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.
- Eser, M., 2021. Yenilenebilir enerji santrallerinin teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi: Türkiye yenilenebilir enerji dönüşüm projesi önerisi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, AÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Field, A., 2009. Discovering statistics using SPSS, 3. baskı, Sage Publications Ltd., London.
- Gabrielli, P., Poluzzi, A., Kramer, G., Spiers, D. C., Mazzotti, M. ve Gazzani, M., 2020. Seasonal energy storage for zero-emissions multi-energy systems via underground hydrogen storage, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109629.
- Günaydın, A., 2020. Doğal gaz piyasasının gelişimi ve türkiye doğal gaz piyasasının yapılanma süreci, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, AİBÜ., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bolu.
- Güney, E., 2004. Türkiye hidrocoğrafyası, Çantay Kitabevi, İstanbul.

- Habibi, R., Moomivand, H., Ahmadi, M. ve Asgari, A., 2021. Stability analysis of complex behavior of salt cavern subjected to cyclic loading by laboratory measurement and numerical modeling using LOCAS (Case study: Nasrabad gas storage salt cavern), *Environmental Earth Sciences*, 80, 317, 1-21.
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., 2017. Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji, *SETA*, 197, 8-9.
- Karakurt, İ., Aydın, G. ve Aydın, K., 2009. Yeraltı jeolojik rezervuarlarında karbondioksitin depolanması, *Tubav Bilim Dergisi*, 2, 2, 175-184.
- Kaya, T., 2016. İklim değişikliği etkileri ve adaptasyon önerileri, *Yılmaz Basımevi*, İstanbul.
- Küçük, S., 2007. Büyük Menderes nehri su kalite ölçümlerinin su ürünleri açısından incelenmesi, *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4,1-2, 7 – 13.
- Landau, S. ve Everitt, B. S., 2004. A handbook of statistical analyses using SPSS, Chapman & Hall/CRC Press LLC, New York.
- Lankof, L., Polański, K., Ślizowski, J. ve Tomaszewska, B., 2016. Possibility of energy storage in salt caverns, *AGH Drilling Oil Gas*, 33, 2, 405-415.
- Liu, W., Zhang, X., Fan, J., Li, Y. ve Wang, L., 2020. Evaluation of potential for salt cavern gas storage and integration of brine extraction: Cavern utilization, yangtze river delta region, *Natural Resources Research*, 29, 5, 3275-3290.
- Liu, W., Zhang, Z., Chen, J., Fan, J., Jiang, D., Jjk, D. ve Li, Y., 2019. Physical simulation of construction and control of two butted-well horizontal cavern energy storage using large molded rock salt specimens, *Energy the International Journal*, 682-684.
- Merey, Ş., 2019. Prediction of pressure and temperature changes in the salt caverns of Tuz Golu underground natural gas storage site while withdrawing or injecting natural gas by numerical simulations, *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 205, 1-21.
- Önder, S. ve Ocak, Ö. R., 2018. Sürdürülebilir enerji kaynaklarının avantajları, *Uluslararası Yeşil Başkentler Kongresi*, 901-907.
- Öznazik, H., 2019. Türkiye’de enerji arz güvenliği: Uygulanan politikalar ve etkileri, *Yayımlanmamış Doktora Tezi*, GÜ., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Öztürk, S., 2007. Doğal gazın depolanması ve Türkiye için önemi, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, KOÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Portarapillo, M. ve Benedetto, A., 2021. Risk assessment of the large-scale hydrogen storage in salt caverns, *Energies*, 14, 2856, 1-12.
- Şahin, C., Doğanay, H. ve Özcan, N. A., 2000. Türkiye coğrafyası, *Gündüz Yayıncılık*.

- Şahin, Ö., 2022. Türkiye’de enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, SÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Şener, G., 2016. Çözelti madenciliği ile yer altı tuz domlarında doğal gaz depolama, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, GÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şener, T., Türkiye doğal gaz piyasasında konutlarda doğal gaz talebinin fiyat esnekliği: Panel veri uygulaması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, BÜ., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Şengönül, E., Enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu çerçevesinde alternatif enerji kaynaklarının önemi: Türkiye örneği, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, SÜ., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Şöhret, M., 2015. Enerji güvenliğinin ekonomi politiği ve uluslararası çatışmalara etkisi, Beta Yayınları.
- Tarkowski, R. ve Czapowski, G., 2018. Salt domes in Poland e Potential sites for hydrogen storage in caverns, International Journal of Hydrogen Energy, 43, 21414-21427.
- Toprak, M., 2008. Petrol sahalarında doğal gazın depolanması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tutar, F. K., Tutar, E. ve Aker, G., 2018. Türkiye'nin Avrupa Birliği uygulamaları kapsamında enerji politikaları, Social Sciences Studies Journal, 4, 21, 3446-3464.
- Türeyen, Ö. İ., 2000. Effects of wellbore conditions on the performance of underground gas- Storage reservoirs, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yang, Y., Yang, S., Li, Z., Fang, Q., Wu, J., Cai, J. ve Sun, W., 2020. Analysis of hazard area of dispersion caused by leakage from underground gas-storage caverns in salt rock, Advances in Civil Engineering, 1-11.
- Yapar, M., 2020. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı-iktisadi büyüme ilişkisi: Gelişmekte olan ülkeler ve Türkiye örneği, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İÜ., Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yergin, D., 2006. Ensuring energy security, Foreign Affairs, 85, 2, 69-82.
- Yıldız, B., 2020. Avrupa Birliği'nin enerji politikası ve enerji arz güvenliği ekseninde Türkiye'nin rolü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, K. ve Turanlı, M., 2023. A Multi-disciplinary investigation of linearization deviations in different regression models, Asian Journal of Probability and Statistics, 22, 3, 15-19.

Zhang, X., Liu, W., Jiang, D., Qiao, W., Liu, E., Zhang, N. ve Fan, J., 2021. Investigation on the influences of interlayer contents on stability and usability of energy storage caverns in bedded rock salt, Energy the International Journal, 1-10.

URL-1 <https://www.cheshireeast.gov.uk/PDF/Non_renewable_and_renewable_energy.pdf>, Erişim tarihi: 20.02.2022.

URL-2 <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>>, Erişim tarihi: 02.03.2023

URL-3 <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>>, Erişim tarihi: 02.03.2023

URL-4 <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/Ulusal_Enerji_Denge_Cizelgelari/2020.xlsx>, Erişim tarihi: 05.03.2023.

URL-5 <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf>, Erişim tarihi: 05.03.2023

URL-6 <<http://naturalgas.org/overview/background.asp>>, Erişim Tarihi: 06.03.2023.

URL-7 <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>>, Erişim tarihi: 06.03.2022.

URL-8 <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>>, Erişim tarihi: 30.07.2022

URL-9 <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf>>, Erişim tarihi: 07.03.2023

URL-10 <http://aperc.ieej.or.jp/file/2010/9/26/APERC_2007_A_Quest_for_Energy_Security.pdf>, Erişim tarihi: 08.03.2022.

URL-11 <<https://enerji.enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Mevzuat/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>>, Erişim tarihi: 13.03.2022

URL-12 <<https://enerji.enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Mevzuat/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>>, Erişim tarihi: 13.03.2023

URL-13 <<https://enerji.gov.tr/neupgm-boru-hatlari-ve-projeleri>>, Erişim tarihi: 13.03.2022

URL-14 <<https://www.tpao.gov.tr/file/2003/sektor-raporlari-2018-2735e5d18395d1ba.pdf>>, Erişim tarihi 13.03.2023

- URL-15 <<https://www.botas.gov.tr/uploads/sayfaResim/745066-almanak-son-26-subat-1-baski.pdf>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-16 <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2017/10/doğalgaz_raporu_304.pdf>, Erişim tarihi:15.03.2023
- URL-17 <<https://aksaray.csb.gov.tr/tuz-golu-ozel-cevre-koruma-bolgesi-yonetim-planitoplantisi-ilimizde-gerceklestirilmistir-haber-283598>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-18 <https://webdosya.csb.gov.tr/db/tabiati/projeler/tuz_golu_ockb_sulak_alanlardayasayan_kus_turlerini_koruma_ve_izl_20230207115227.pdf>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-19 <<https://www.csb.gov.tr/flamingo-nufusu-iki-kat-artti-bakanlik-faaliyetleri-27593>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-20 <<https://www.botas.gov.tr/Icerik/tuz-golu-dogal-gaz-yeralti-dep/11>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-21 <<https://www.botas.gov.tr/Sayfa/depolama/19>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-22 <<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/aylik-normal-yagis-dagilimi.aspx>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-23 <https://tvk.csb.gov.tr/tuz-golu-ockbsi-sulak-alanlardayasayan-kus_turlerini_koruma_ve-izleme-projesi-flamingo--phoenicopterusrroseus-populasyonunun-arastirilmesi-korunmasi-ve-izlenilmesi-proje>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-24 <<https://www.csb.gov.tr/flamingo-nufusu-iki-kat-artti-bakanlik-faaliyetleri-27593>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-25 <<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7510&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>>, Erişim tarihi 13.03.2023
- URL-26 <<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39864&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>>, Erişim tarihi 13.03.2023

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nagehan AKTER ÖNAL

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Bölümü, 2011-2015

Yüksek Lisans : Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Ana Bilim Dalı, 2015-2019

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Akter Önal, N. ve Çelebi, H., 2024. Statistical analysis of the environmental impacts of brine discharged by the tuz gölü natural gas storage project on Tuz Gölü, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8, 1, 40-53.