

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI



TÜRKİYE’NİN ENERJİ POTANSİYELİ, STRATEJİLERİ
VE ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Sükrü İNAN

HAZIRLAYAN
Cihan BASARAN

MALATYA-2026

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI

TÜRKİYE’NİN ENERJİ POTANSİYELİ, STRATEJİLERİ VE ENERJİ ARZ
GÜVENLİĞİ

Cihan BAŞARAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞÜKRÜ İNAN

MALATYA 2026

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli, Stratejileri ve Enerji Arz Güvenliği” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve gereklerine aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün yapıtların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Cihan BAŞARAN



ÖNSÖZ

Enerji, modern dünyada bireylerin yaşam kalitesinden devletlerin ekonomik ve politik bağımsızlığına kadar uzanan geniş bir yelpazede hayati bir rol oynamaktadır. Özellikle sanayileşme ve teknolojik gelişimle birlikte artan enerji talebi, ülkeleri mevcut kaynaklarını daha verimli kullanmaya ve alternatif arayışlara yöneltmiştir. Stratejik bir geçiş sürecinde olan Türkiye için enerji arz güvenliğinin sağlanması, sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin temel taşı oluşturmaktadır.

"Türkiye'nin Enerji Potansiyeli, Stratejileri ve Enerji Arz Güvenliği" başlığını taşıyan bu çalışma, ülkemizin enerji profilini detaylandırarak, arz güvenliğini tehdit eden faktörleri ve bu riskleri asgariye indirecek yenilenebilir enerji stratejilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, fosil yakıtlara olan dışa bağımlılığın azaltılması noktasında yerli ve yenilenebilir kaynakların sunduğu potansiyel kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Bu tezin planlanması ve yürütülmesi aşamalarında, bilimsel desteğini ve değerli vaktini benden esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Şükrü İNAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca, lisansüstü eğitimim ve tez hazırlık sürecim boyunca sağladıkları manevi destek ve sabır için aileme ve akademik gelişimime katkıda bulunan tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım.

Cihan BAŞARAN

ÖZET

Enerji, insan hayatında olduğu gibi devletler için de mühim bir yere sahiptir. Gelişmiş devletler var olan güçlerini koruyabilmek adına enerjiye ihtiyaç duyarken, gelişmekte olan ülkeler için ise “enerji” kalkınma hedeflerini gerçekleştirmede önemli bir kalemi oluşturmaktadır. Petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen kaynak ihtiyacının neredeyse tamamına yakını ithal eden Türkiye, kaynaklarını çeşitlendirebilmek, sürdürülebilir kılmak, olumsuz çevresel etkileri azaltabilmek ve kaynaklarını daha güvenilir kılmak hedefleriyle yenilenebilir enerji yatırımlarına hız kazandırmıştır.

Sürdürülebilirlik, kullanılabilirlik, maliyet ve sosyo-politik etkileri bakımından farklılık gösteren çeşitli enerji kaynakları vardır. Her bir enerji kaynağının seçimi, kısıtlı kaynaklar ve rasyonel koşullarda enerji arz güvenliğini farklı şekilde etkilemektedir. Bu kapsamda enerjide dışa olan bağımlılığı azaltmak ve iklim değişikliği ile başa çıkabilmek adına ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.

Türkiye’de artan nüfus, sanayileşme ve üretim artışı ile paralel olarak enerji talebi de artmış, yüksek düzeyde fosil yakıtlara bağımlılık ciddi derecede enerji arz riski yaratmıştır. Bunun sonucu olarak yükselen enerji talebinin karşılanması noktasında farklı arayışlar meydana gelmiştir. Bu arayışların çıkış noktası ise yine Türkiye’nin kendi kapasitesinde görülmüştür.

Bu çalışmada, Türkiye’de genel enerji profili ile yenilenebilir enerjinin rezerv- üretim-tüketim durumu değerlendirilmiş olup, ülkenin enerji politikasına ışık tutabilecek noktalar belirlenmeye çalışılmıştır. Temel amaç, Türkiye’nin enerji arz güvenliğini yenilenebilir enerji kaynakları bağlamında incelemektir.

Anahtar Kelimeler : Türkiye, Enerji, Yenilenebilir Enerji, Enerji Arz Güvenliği

ABSTRACT

Energy has an important place for states as well as for people. While developed states need energy to maintain their existing power, for developing countries, “energy” constitutes an important item in achieving their development goals. Türkiye, which imports almost all of the prices of non-renewable resources such as oil and natural gas, has accelerated flexible energy investments with the aim of diversifying its resources, reducing the effects of sustainable, negative stress and making its resources more reliable.

There are a number of diverse energy sources that vary in sustainability, availability, cost and socio-political aspects. The selection of each energy source, its scarce resources and consumed energy supplies are different. Countries are turning to energy resources in order to reduce cooling, which is a limitation in energy, and to cope with climate change.

Energy demand is also increasing in parallel with the increasing population, industry and production in Türkiye, and the policy of high levels of fossil fuels has created a serious energy supply risk. Different searches are emerging to meet the rising energy demand. The starting point of these searches is again in Türkiye’s own capacity.

In this sense, the general energy profile and the reserve-production-consumption situation of replacement energy in Türkiye have been evaluated, and points that can shed light on the country's energy policy are continuing to be determined. The main purpose is to examine energy sources to change Türkiye’s energy supply.

Key Words : Türkiye, Energy, Renewable Energy, Energy Supply Security

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM.....	2
ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI ÇEŞİTLERİ	2
1.1. Enerji Kavramı.....	2
1.2. Enerji Kaynakları	3
1.2.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	4
1.2.1.1. Fosil Kaynaklı Enerji Kaynakları	5
1.2.1.1.1. Kömür.....	5
1.2.1.1.2. Petrol.....	9
1.2.1.1.3. Doğalgaz	12
1.2.1.2. Çekirdek Kaynaklı Enerji Kaynakları.....	14
1.2.1.2.1. Nükleer Enerji.....	14
1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	18
1.2.2.1. Hidrolik Enerji	20
1.2.2.2. Güneş Enerjisi	25
1.2.2.3. Biyokütle Enerjisi.....	29
1.2.2.4. Rüzgâr Enerjisi.....	33

1.2.2.5. Jeotermal Enerji.....	36
1.2.2.6. Dalga Enerjisi	41
1.2.2.7. Hidrojen Enerjisi.....	44
1.2.3. Maslow'un İhtiyaçlar Hiyerarşisi ve Enerjinin Temel Rolü	46
1.2.4. Yenilenebilir Enerjinin Geleceği.....	47
İKİNCİ BÖLÜM	51
TÜRKİYE'NİN ENERJİ POTANSİYELİ	51
2.1. Türkiye'nin Enerji Kaynaklarının Görünümü	51
2.2. Türkiye'nin Birincil ve İkincil Enerji Kaynakları	52
2.2.1. Petrol Kaynakları.....	54
2.2.2. Doğalgaz Kaynakları.....	58
2.2.3. Kömür Kaynakları.....	61
2.3. Türkiye'nin Kaynaklarına Göre Enerji Potansiyelleri.....	65
2.3.1. Türkiye'de Kömür Enerjisi Potansiyeli	65
2.3.2. Türkiye'de Doğalgaz Enerjisi Potansiyeli.....	69
2.3.2.1. Karadeniz Doğal Gaz Potansiyeli	73
2.3.2.2. Türkiye'deki Doğalgaz Boru Hatları.....	74
2.3.3. Türkiye'de Petrol Enerjisi Potansiyeli	78
2.3.3.1. Türkiye'de Petrol Boru Hatları	80
2.3.4. Türkiye'de Nükleer Enerji Potansiyeli	82
2.3.5. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli.....	85
2.3.6. Türkiye'de Hidroelektrik Enerji Potansiyeli.....	85
2.3.7. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Portföyünde Güneş Potansiyeli	87
2.3.8. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	89
2.3.9. Türkiye'de Jeotermal Enerjisi Potansiyeli	90
2.3.10. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Potansiyeli	93
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	97

ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNİN TEMEL PARAMETRELERİ VE STRATEJİK BİLEŞENLERİ.....	97
3.1. Enerji Arz Güvenliği Kavramının Tanımı ve Kapsam Boyutu	97
3.2. Enerji Arz Güvenliği Kavramının Tarihsel Gelişimi.....	99
3.3. Enerji Arz Güvenliği Kavramını İlgilendiren Boyutlar	102
3.3.1. Bilimsel Yönden Kullanılabilirlik	105
3.3.2. Mühendislik ve Teknolojik Açıdan Erişilebilirlik.....	105
3.3.3. Ekonomik Açıdan Karşılabilirlik	106
3.3.4. Sosyal Açıdan Kabul Edilebilirlik	106
3.4. Enerji Sistemlerinde Arz Güvenliğini Etkileyen Çok Boyutlu Değişkenler	107
3.4.1. Ekonomik Hususlar.....	108
3.4.1.1. Fiyat	109
3.4.1.2. İkame Edilebilirlik ve Talep Esnekliği.....	111
3.4.1.3. Tüketim Düzeyi ve İthalat Bağımlılığı	112
3.4.1.4. Enerji Yönetimi	113
3.4.1.5. Uluslararası Organizasyonlar	113
3.4.1.6. İş Birliği, Anlaşma ve Birleşmeler	114
3.4.2. Siyasi Faktörler	116
3.4.2.1. Siyasi Kargaşalar.....	117
3.4.2.2. Terör Etkisi.....	118
3.4.2.3. Ambargo.....	120
3.4.3. Coğrafi Faktörler	121
3.4.3.1. Uzaklık.....	121
3.4.3.2. Konum ve Güzergâh	122
3.4.3.3. Jeopolitik Özellik.....	123
3.4.4. Çevresel ve Sosyal Faktörler	124
3.4.4.1. Doğal Afet Olayları	125

3.4.4.2. Çevre ve İklim Değişiklikleri.....	126
3.4.4.3. Sosyal Etmenler	128
3.4.4.4. Teknolojik Etmenler	129
3.5. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Stratejileri ve Arz Güvenliğine Etkisi.....	130
3.5.1. 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma Dair Kanun (YEK Kanunu).....	132
3.5.2. 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun	134
3.5.3. Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) Yönetmeliği	135
3.6. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Projeleri ve Arz Güvenliğine Etkisi	136
3.6.1. Milli Güneş Enerjisi Sistemi Geliştirilmesi (MİLGES)	137
3.6.2. Milli Rüzgâr Enerjisi Sistemi Geliştirilmesi (MİLRES).....	137
3.6.3. Milli Hidroelektrik Santrali Geliştirilmesi (MİLHES).....	137
3.6.4. Biyokütleden Sıvı Yakıt Üretimi (TRİJEN).....	137
3.7. Türkiye'de Enerji Arz Güvenliğinin Belirleyicisi Olarak Yenilenebilir Enerji ..	138
4. SONUÇ.....	142
KAYNAKÇA	144

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1: Yakıt Çeşitlerine Göre Enerji Tüketimindeki Değişimler	5
Tablo 2: Türkiye'de Fosil Enerji Rezervlerinin Durumu.....	53
Tablo 3: 1999-2024 Yılları Arası Türkiye Ham Petrol Üretimi.....	56
Tablo 4: Doğal Gaz İçerisinde Bulunan Gazlar ve Oranları.....	58
Tablo 5: 1999-2024 Yılları Arasında Türkiye Doğalgaz Üretimi	60
Tablo 6: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Linyit Üretimleri	63
Tablo 7: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Taş Kömürü Üretimleri	63
Tablo 8: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Asfaltit Üretimleri	64
Tablo 9: Türkiye'nin Önemli Linyit Havzaları ve Sahaları	67
Tablo 10: Türkiye'nin Yıllar İtibariyle Ham Petrol Dış Alımı ve Petrol Ürünleri Tüketimi..	79
Tablo 11: 2021 Yıl Sonu İtibariyle TPAO Ortak Arama ve Üretim Bölgeleri	80
Tablo 12: Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli	88
Tablo 13: Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Desteklenmesi: Kanun Kapsamındaki Güncel Fiyat Tarifeleri ve Teşvik Cetvelleri	134
Tablo 14: Türkiye'nin Sahip Olduğu YEKA'lar ve Yerlilik Oranları	136
Tablo 15: Enerji Güvenliği Bileşenleri ve Göstergeleri	141

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması.....	4
Şekil 2: 1960-2024 Yılları Arasında Dünya Kömür Üretimi	8
Şekil 3: 1965-2024 Yılları Arası Dünya Kömür Tüketimi	9
Şekil 4: 1960-2024 Yılları Arasında Dünya Petrol Üretimi	11
Şekil 5: 1965-2024 Dünya Petrol Tüketimi	11
Şekil 6: 1960-2024 Yılları Arasında Dünya Doğalgaz Üretimi	13
Şekil 7: 1965-2024 Dünya Doğalgaz Tüketimi	13
Şekil 8: 1965-2024 Yılları Arasında Dünya Nükleer Enerji Üretimi	15
Şekil 9: 1965-2024 Dünya Nükleer Enerji Tüketimi	16
Şekil 10: Ülkelere Göre Nükleer Enerji Üretimi (2024).....	17
Şekil 11: 2021’de Dünyada yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücün dağılımı.	18
Şekil 12: Dünyada 1965-2024 Yılları Arasında Hidroelektrik Üretimi.	23
Şekil 13: Bölgelere göre hidroelektrik kurulu güç kapasitesi.....	23
Şekil 14: 1965-2024 Dünya Hidroelektrik Enerji Tüketimi	24
Şekil 15: Dünyada 1965-2024 Yılları Arasında Dünya Güneş Enerjisi Üretimi.....	28
Şekil 16: 1965-2024 Yılları Arası Dünya Güneş Enerjisi Tüketimi.....	28
Şekil 17: Dünyada 1990-2023 Yılları Arasında Dünya Biyokütle Enerjisi Üretimi.	32
Şekil 18: Dünyada 1978-2024 Yılları Arasında Dünya Rüzgâr Enerjisi Üretimi.	35
Şekil 19: 1965-2024 Dünya Rüzgâr Enerji Tüketimi	36
Şekil 20: Dünyada 2000-2024 Yılları Arasında Dünya Jeotermal Enerjisi Üretimi	40
Şekil 21: 2015-2035 Yılları Arası Küresel Petrol Talebinin Tarihsel Verileri.....	48
Şekil 22: Türkiye Kurulu Güç Oranları	54
Şekil 23: 1965-2024 yılları arası Türkiye Petrol tüketimi	57
Şekil 24: 1965-2024 Yılları Arasında Türkiye Doğalgaz Tüketimi	61
Şekil 25: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Kömür Tüketimleri	64
Şekil 26: Yıllara Göre Kömür Sondajı Metrajları ve Rezerv Artış Grafiği.....	66
Şekil 27: Türkiye’nin Önemli Linyit Havzaları ve Sahaları	67
Şekil 28: Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları	69
Şekil 29: 4646 Sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu Kapsamı.....	70
Şekil 30: Doğal Gaz Piyasası Kanunu’nda Öngörülen Model.....	71
Şekil 31: EPDK Tarafından Yapılan Düzenlemeler ve Gelecek Projeksiyonları.....	71

Şekil 32: Karadeniz Havzaları ve Deniz Alanında Delinen Kuyular ile Keşfedilen Gaz Sahaları	74
Şekil 33: Türkiye'de Doğalgaz Boru Hatları Haritası	77
Şekil 34: Türkiye Ham Petrol Boru Hatları Haritası	82
Şekil 35: Türkiye Hidroelektrik Santralleri Haritası.....	87
Şekil 36: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	88
Şekil 37: Jeotermal Kaynaklar ve Volkanik Alanlar Haritası.....	92
Şekil 38: Türkiye Jeotermal Kaynak Alanları ve Sıcaklık Dağılımı	92
Şekil 39: Türkiye'nin Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası	93
Şekil 40: Türkiye’de İllere Göre Biyokütle Potansiyel Dağılımı	93
Şekil 41: Türkiye'nin Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santrali Dağılım Haritası.....	95
Şekil 42: Enerji Güvenliğini Etkileyen Faktörler	108
Şekil 43: 1990 ve 2022 Yılları arası Brent Ham Petrol Spot Fiyatları ve Doğal Gaz İthalat Fiyatlarının Grafiği.....	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AKÇT	: Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu
APEREC	: Asya Pasifik Enerji Araştırma Merkezi
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası
BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
BTC	: Bakü Tiflis Ceyhan Boru Hattı
BTE	: Bakü Tiflis Erzurum Boru Hattı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
DTÖ	: Dünya Ticaret Örgütü
ECT	: Enerji Şartı Anlaşması
EIA	: Enerji Bilgi Dairesi
EMEC	: Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi
EPDK	: Enerji Piyasaları Düzenleme Kurulu
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EPİAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A.Ş.
FSRU	: Yüzer Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi
GEA	: Küresel Enerji Ajansı
GECF	: Gaz İhraç Eden Ülkeler Forumu
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
GSYİH	: Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
GW	: GigaWatt
GWh	: GigaWatt/Saat
HDI	: İnsani Gelişme Endeksi
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı

IEP	: Uluslararası Enerji Programı
IIASA	: Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü
KKF	: Kapasite Kullanım Faktörleri
KW	: KiloWatt
KWh	: KiloWatt/Saat
LNG	: Sıvı Doğal Gaz
LPG	: Sıvı Petrol Gazı
MAPEG	: Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MİLGES	: Milli Güneş Enerjisi Sistemi Geliştirilmesi
MİLHES	: Milli Hidroelektrik Santrali Geliştirilmesi
MİLRIS	: Milli Rüzgâr Enerjisi Sistemi Geliştirilmesi
MOSES	: Enerji Güvenliğini Değerlendirme Modeli
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
MW	: MegaWatt
MWe / MWt	: MegaWatt Elektrik / Megawatt Termal
MWh	: MegaWatt/Saat
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NATO	: Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
NGS	: Nükleer Güç Santrali
OECD	: Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği
OWID	: Our World in Data
PV	: Fotovoltaik
PMEC	: Pasifik Deniz Enerji Merkezi
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
SETA	: Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı
SMR	: Küçük Modüler Reaktörler
TANAP	: Trans Anadolu Boru Hattı
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TGE	: Konsantre Güneş Enerjisi
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TP	: Türkiye Petrolleri
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

TRİJEN	: Biyokütleden Sıvı Yakıt Üretimi Projesi
TSKB	: Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VAR	: Vektör Otoregresyon
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK Kanunu	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma Dair Kanun
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YİD	: Yap-İşlet Devret
YİS	: Yap-İşlet Sahip Ol

GİRİŞ

Enerjinin insan yaşamındaki rolü geçmişten bugüne önemli ölçüde evrim geçirerek devletler için ekonomik, askeri ve politik alanların temel taşı haline gelmiştir. Nüfus artışının da etkisiyle küresel nüfus ve üretim arttıkça, enerji talebi benzeri görülmemiş bir hızla artmıştır. Günümüzde enerji yalnızca günlük yaşamı sürdürmek için değil, aynı zamanda bir ulusun uluslararası ticarete rekabet üstünlüğünü sürdürmesi için de hayati önem taşımaktadır. Tüketici talebini sürekli olarak karşılama yeteneği, sürekli enerji üretimiyle eş anlamlı hale gelmiştir. Bu durum, geleneksel kaynakları tamamlayacak ve sonunda yerini alacak alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyacın artmasına yol açmıştır.

Bu alternatifler arasında yenilenebilir enerji, önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Nitekim, ülkelerin yenilenebilir enerjiyi mevcut enerji kaynaklarına entegre ederek kaynak kıtlığı risklerini ve dış enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını azaltabileceği ve yerel enerji kullanımının verimliliğini artırabileceği bir fırsat oluşmuştur. Ancak, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması, özellikle maliyet ve gelişmiş teknolojik altyapı ihtiyacıyla ilgili olarak hala zorluklarla karşı karşıyadır. Bu zorluklar ve akabinde Türkiye'de artan enerji talebi, yerel enerji üretiminin büyümesinin çok ötesinde gerçekleşmiş ve bu da arz açığını kapatmak için ithal petrol, doğal gaz ve kömüre olan bağımlılığın artmasına yol açmıştır.

Bahse konu gelişmelerden yola çıkarak, devlet raporları gibi birincil kaynaklar ile akademik literatür ışığında bu çalışmada “Türkiye’nin enerji potansiyeli ve stratejileri bağlamında enerji arz güvenliğinin kapsamı nedir?” sorusuna döküman analizi çerçevesinde cevap aranmıştır. Tezin birinci bölümünde; enerjinin tarihsel gelişimi ve küresel enerji görünümü yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut durumu kategorize edilerek değerlendirilmiştir. İkinci bölümde; Türkiye’nin birincil ve ikincil enerji kaynakları detaylandırılarak; kömür, doğal gaz, petrol ve nükleer enerjinin yanı sıra hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi kaynakların ülkenin enerji portföyündeki potansiyeli analiz edilmiştir. Üçüncü bölümde ise; enerji arz güvenliğinin kullanılabilirlik, erişilebilirlik, karşılanabilirlik ve kabul edilebilirlik gibi temel parametreleri ele alınmış; Türkiye’nin jeopolitik konumu ve ekonomik dinamikleri doğrultusunda geliştirdiği yenilenebilir enerji stratejileri, mevzuat çalışmaları (YEK Kanunu, YEKA) ve milli teknoloji projelerinin (MİLGES, MİLRES, MİLHES, TRİJEN) enerji güvenliğine sağladığı uzun vadeli katkılar analiz edilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI ÇEŞİTLERİ

1.1. Enerji Kavramı

Enerji, eski Yunanca iş sözcüğünden türemiş olup, iş yapmak, güç yaratmak anlamına gelmektedir (Aydın, 2014: 21). Enerji, doğada ilk ortaya çıktığı günden bu yana canlıların hayatta kalabilmesi için en önemli kaynaklardan biri olmuştur (Uğurlu, 2007: 1). İnsanoğlu ilk kez sıcaklık, yemek pişirme ve barınmayı sağlayan ateşle karşılaştığında ilk enerji keşfini yapmış ve ilk yakıt olarak odunu kullanmıştır. Ateşin keşfi enerji sektöründeki ilk ve en önemli keşif olarak kabul edilmektedir (Pamir, 2007: 56). İnsanın yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için her alanda enerjiye ihtiyaç duyduğu görülmüştür.

Enerjinin ilk kullanım alanı 18. yüzyılda buhar motorlarının icadıyla başlamıştır. 19. yüzyılın başında sanayi devrimiyle birlikte enerji kaynaklarına olan ihtiyaç hızla artmış, dolayısıyla enerji kaynağı amacıyla önce odun, daha sonra kömür, petrol, doğalgaz gibi yanıcı maddeler enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. İnsanoğlunun, enerjinin çeşitli alanlarını kullanması ve ürünlerini tanimasından sonra hayatı daha fazla kolaylaşmıştır. Bu öğrenmelerin sonucunda enerji sayesinde hayatın akışı değişmiştir ve modern uygarlıklar kurulmuştur (Aydın, 2014: 21).

İnsanlığın ve medeniyetlerin günümüzde ve gelecekte devamı enerji kaynaklarına bağlıdır. Ateş ve hayvan gücüyle başlayan enerji tüketimi, kömürle devam etmiş zamanla makineler devreye girmiştir. Bugün ise çeşitli kaynaklardan enerji üretilmektedir. Enerji zamanla ülkelerin sosyo-ekonomik büyüme, siyasi gelişmeler, şehirleşme, nüfus hareketi ve gelişen teknolojiye bağlı olarak gelişmesinde önemli bir unsur olarak görülmüştür. Enerjinin böyle bir unsur olması ülkelerin enerjiyi önemsedğini ve ulaşmak istediği bir kaynak olarak görmesi haline getirmektedir. Enerji, gelişmeyi ve kalkınmayı sağlayan bir unsur olduğu için özellikle gelişmekte olan ülkelerde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Avcı, 2009: 42).

Enerji kaynakları bir ülkenin iş kapasitesini geçmişten günümüze değin belirleyen kritik faktörler arasında yer almaktadır. Örneğin, rüzgâr enerjisi daha önce gemilerin denizde seyahat etmesini sağlamak için kullanılırken, günümüzde rüzgâr enerjisinden enerji üretimi sağlanmaktadır. Başka bir deyişle, milletlerin, toplumların ve bireylerin enerjiye olan ihtiyacı ve bu enerjinin çevre ve doğa ile olan bağlantısı bir süreklilik yaratmaktadır.

Enerji ihtiyacı uluslararası sistemde yer alan her ülke için temel bir ihtiyaç niteliğindedir. Gelişmiş ülkeler mevcut kapasitelerini koruyabilmek için, gelişmekte olan ülkeler ise kapasitelerini geliştirebilmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Diğer ülkelere benzer olarak, Türkiye'nin mevcut ekonomik büyümesi ve mevcut büyüme hedefleri enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine, sürdürülebilirliğine ve güvenilirliğine dayalı bir takım enerji politikalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Hızlı nüfus artışı, sanayileşmenin de gelişmesi gibi nedenler enerjiye olan talebi ve enerji tüketim oranını her geçen yıl artırmaktadır (Kaya vd., 2018: 220). Başka bir ifadeyle, insan yaşamıyla bir bütün olan enerji; ulaşım ve üretimin sektörünün yanında günlük ihtiyaçların karşılanmasında da doğrudan rol alan bir etmendir.

1.2. Enerji Kaynakları

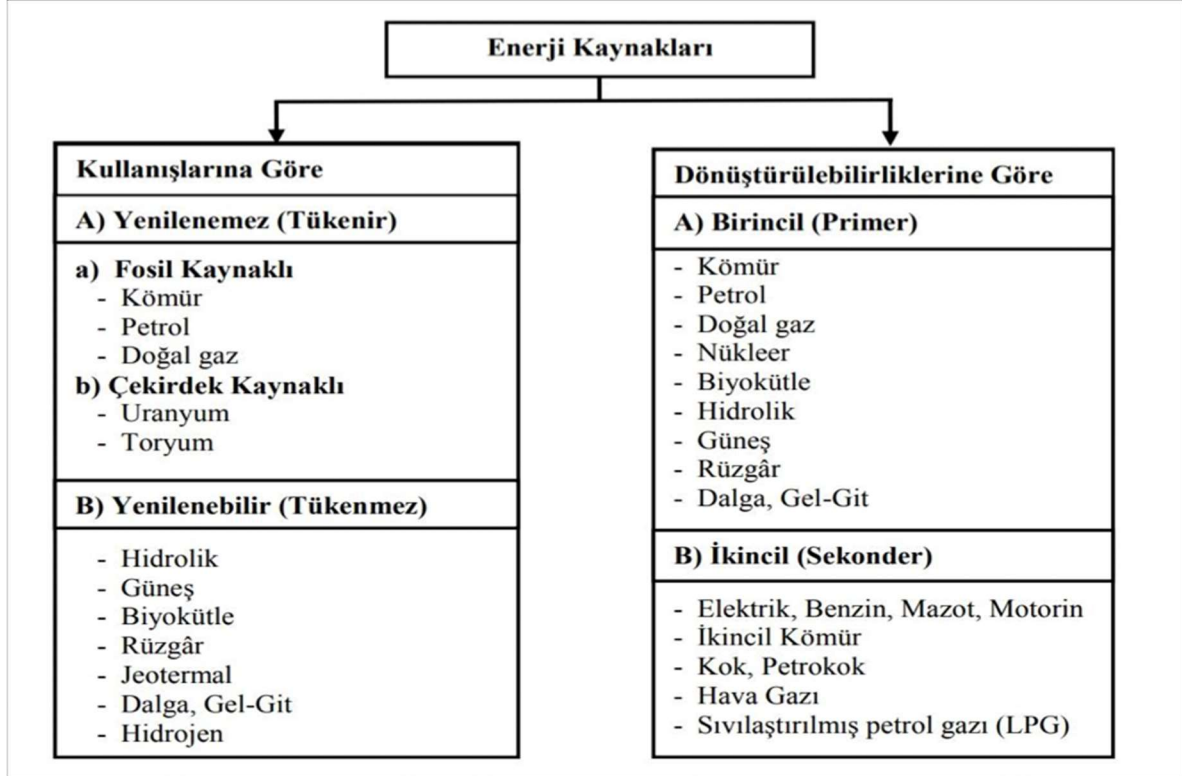
Enerji ihtiyacının karşılanması, enerjinin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Bu çerçevede enerji, kullanımına ve dönüşümüne bağlı olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Enerji sistemleri analizinde kaynaklar, doğada bulundukları işlenmemiş halleriyle birincil enerji ve bu kaynakların çeşitli teknolojik proseslerden geçirilerek nihai kullanıma uygun hale getirilmiş formu olan ikincil enerji şeklinde iki temel aşamada sınıflandırılmaktadır. Birincil enerji, doğada bulunan ve çıkarıldıktan sonra enerji üretmek için kullanılabilen bir kaynak olarak tanımlanırken; ikincil enerji, birincil enerjinin işlenmesi ve dönüştürülmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, birincil enerji kaynakları enerjinin odak noktası halindedir. İkincil (işlenmiş) enerji kaynakları ise birincil enerjinin yerini, zamanlamasını, etkinliğini veya verimliliğini artırarak kullanım kapsamını genişletmektedir (Koç ve Kaya, 2015: 37).

Modern enerji literatüründe kaynaklar; doğada sınırlı rezervlere sahip olan ve tüketildikçe tükenen yenilenemeyen kaynaklar ile doğal döngüler içerisinde sürekli kendini yenileyebilen yenilenebilir kaynaklar şeklinde ikili bir tasnife tabi tutulmaktadır. Yenilenemeyen enerji, rezervleri değişken olan, tüketildikçe azalan ve stok değişken enerjiyi ifade etmekte ve fosil kökenli ve çekirdek kökenli olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji ise değişken akışlı, işlenmeden elde edilebilen, sürekli yenilenen ve kullanım için doğada hazır olarak bulunan enerjidir (Koç ve Kaya, 2015: 37).

Diğer sınıflandırmalara ek olarak, enerji, ilgili literatürde ticari enerji ve ticari olmayan enerji kaynakları olmak üzere iki başlıkta ele alınmaktadır. Ticari enerji, büyük uluslararası ve yerel pazarlara sahip modern endüstriyel ekonomilerin ihtiyaçlarını karşılayan enerji türlerini

içermektedir. Ticari olmayan enerji ise, ekonominin geleneksel sektörleri tarafından kullanıldığı enerjiyi ifade etmektedir (Doğan ve Narin, 2024: 127-128).

Şekil 1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması



Kaynak: (Koç ve Kaya, 2015: 37)

1.2.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

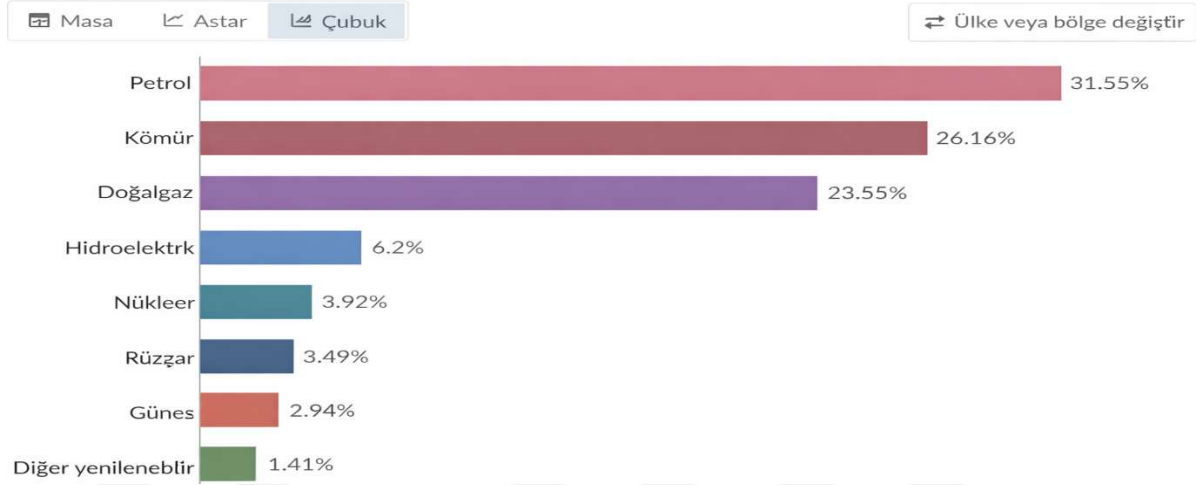
Yenilenemeyen enerji kaynakları, yenilenemeyen ve tükenebilir kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu kaynaklar; Petrol, kömür, doğalgaz ve nükleer enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Dünyada en çok kullanılan ve tüketilen enerji kaynaklarıdır. British Petroleum'un (BP) 2021 yılında yayınladığı rapora göre dünya genelinde enerji kaynaklarının tüketimine bakıldığında petrol en çok tüketilen enerji kaynağı olmaya devam etmiştir (BP, 2021). 2024 yılı küresel enerji istatistikleri incelendiğinde kömür, toplam birincil enerji tüketiminin %26,16'sını karşılayarak en çok tercih edilen ikinci yakıt olma özelliğini sürdürmüştür. Kömürü takiben, en yaygın kullanılan üçüncü enerji kaynağı olarak doğal gaz, küresel enerji sepetinde kritik bir ağırlığa sahip olmayı sürdürmektedir. Yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynaklarını karşılaştıran bu rapor doğrultusunda, 2024 yılında üretilen enerjinin %85,18'i yenilenemeyen enerji kaynaklarından, %14,04'ü ise yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1: Yakıt Çeşitlerine Göre Enerji Tüketimindeki Değişimler

Enerji tüketiminin kaynaklara göre payı, Dünya, 2024

Yerine koyma yöntemi kullanılarak birincil enerjinin yüzdesi olarak ölçülmüştür.

Our World
in Data



Kaynak: <https://ourworldindata.org/grapher/share-energy-source-sub?tab=discrete-bar&time=latest> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Bunun yanında enerji arz güvenliği sorunu son dönemde ülkeleri farklı doğal kaynak arayışına yönelttiğinden yenilenemeyen doğal kaynaklara olan tercih azalmaktadır. 1925 yılında fosil yakıtların karşıladığı enerji talebinin %80'i kömürden karşılanırken, günümüzde fosil yakıtlardan gelen enerji talebinin dağılımına bakıldığında petrol %31'ini, doğalgaz %23'ünü ve kömür %26'sını karşılamaktadır (Tablo 1). Dünyadaki insan sayısının artmasıyla birlikte enerjiye olan ihtiyaç da hızla büyüyor. Ancak uzmanlar, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynakların bu talebe sonsuza dek yanıt veremeyeceği konusunda uyarıyor. Yapılan araştırmalara göre, doğal gazın yaklaşık 53, petrolün 51 ve kömürün 134 yıllık ömrü kalmış durumda. Bu tablo, gelecekte enerjimizi tamamen yenilenebilir kaynaklardan karşılamak zorunda kalacağımızı net bir şekilde ortaya koymaktadır (EÜAŞ, 2018: 4).

1.2.1.1. Fosil Kaynaklı Enerji Kaynakları

1.2.1.1.1. Kömür

Kömür enerjisinin ilk kullanım yeri ve tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte, farklı kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında şu çıkarımlarda bulunabilir; Fransa'daki Grotte du Lazaret mağarasında yapılan kazılarda 300.000 yıl öncesine ait kömür yakma izleri bulunmuştur. Almanya'daki Schöningen kazılarında ise 700.000 yıl öncesine ait kömürleşmiş ağaç kabukları ve yanan tahta parçaları keşfedildi. Çin'de MÖ 7000 yıllarına ait kömür

madenciliği faaliyetlerine dair kanıtlar mevcuttur. Japonya'da ise MÖ 5000'e ait kömür kullanımı bulguları vardır. Theophrastos (MÖ 371-287) yazılarında kömürden bahseder ve yakıt olarak kullanıldığını belirtir. Plinius the Elder (MS 23-79) kömürü tanımlamış ve ısınma ve metal işlemede kullanıldığını belirtmiştir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, kömür enerjisinin ilk kullanımının en az 300.000 yıl öncesine dayandığı söylenebilir. Kullanımının ilk nerede başladığı ise kesin olarak bilinmemekle birlikte, Avrupa ve Asya'da bağımsız olarak ortaya çıkmış olma ihtimali yüksektir. Kömürün kullanımı, ısınma, pişirme, aydınlatma ve metal işleme gibi çeşitli amaçlar için tarih boyunca önemli bir rol oynamıştır. Sanayi Devrimi sırasında ise kömür, buhar gücünün gelişmesiyle birlikte büyük bir önem kazanmış ve modern dünyanın şekillenmesinde kilit rol oynamıştır.

Yenilenemeyen fosil kaynakların en önemlilerinden biri kömürdür. Kömürler, bitkisel kökenli organik maddelerin uygun koşullarda birikmesi ve bakteri aktivitesi, basınç ve sıcaklığın etkisi altında birkaç yıl içerisinde dönüşümü ile oluşmaktadır. Yüzyıllar boyunca biriken ve zamanla değişen kömürler, hidrojen, kükürt ve nitrojen gibi karbon açısından zengin elementlerden oluşmaktadır. Bunlar siyah ve kahverengi renkte yanabilen oluşumlardır. Dünya da birçok kömür, özelliklerine göre çeşitli bölgelerden üretilmektedir (TKİ, 2018).

Kömürler yapılarına ve özelliklerine göre sınıflandırılır. Bu enerji kaynağı yanma derecesine ve karbonizasyon türüne göre sınıflandırılır; Linyit, bitümlü, alt bitümlü ve antrasit kömürüne ayrılır. En önemli özelliği karbon miktarının değişkenliğidir. Kömürün uzun yıllar beklemesi, içerdiği karbon miktarını olumlu etkiler ancak daha az olgunlaşmış kömürün karbon içeriği de daha düşük olmaktadır (TKİ, 2020).

Özellikle Sanayi Devrimi ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç arttıkça, o dönemde kömür en değerli enerji kaynağı olarak görülmekteydi. Kömürü dünyanın en önemli fosil yakıtı haline getiren bu olgu, sanayileşmeyle birlikte giderek daha popüler hale gelmiştir. Artan enerji talebi, kömür ihraç eden ülkelerin prestijini artırmıştır. Bu anlamda 19. yüzyıl İngiltere'si büyük önem taşımaktaydı. Kömürün enerji kaynaklarından aldığı pay yüzyıllardır önemini korumuştur. Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu (AKÇT), dünya savaşları sonrasında enerji kaynaklarını yönetmek amacıyla 1952 yılında kurulmuştur.

Kömürün enerji kaynakları içindeki payının büyük olması ve fiyatlarının düşük olduğu yıllarda, enerji piyasasının fiyat istikrarının sağlanması açısından oldukça önem arz etmekteydi. Ancak 1970'li yıllardaki petrol krizi ve kömürün çevreye olan olumsuz etkisi ve sanayileşme sürecinde kömürün çok miktarda tüketilmesi ve çeşitli alternatif kaynakların tercih edilmesi nedeniyle de kömür önemini kaybetmeye başladı ve ülkeler enerji arz güvenliğini sağlamak için alternatif kaynaklar aramaya yönelmiştir (Yeşilyurt, 2011: 7).

Yıllarca evlerin ısıtılmasında kullanılan kömür, zamanla etkinliğini yitirmeye başlamış ve demir çelik fabrikalarının kok ihtiyacını karşılamada; linyit ise ağırlıklı olarak termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmıştır. Enerji kaynaklarından daha ucuza elde edilebilmesi avantaj sayılsa da çevreye verdiği zarar dezavantajları arasındadır. Çevreye olumsuz etkisi olan kömürün küresel ısınmaya da etkisi fazladır. Karbondioksit emisyonu ürettiği için hava ve çevre kirliliği üzerinde büyük etkisi vardır.

Enerji arz güvenliği açısından fosil kaynaklara sahip ülkelerin elektrik üretiminde kömürü tercih ettiği görülmektedir. Ülkelerin kömürü dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla enerji kaynağı olarak değerlendirdiği ve birçok nedenden dolayı halen enerji üretiminde kullanıldığı görülmektedir. (Pipe, 2013c: 3).

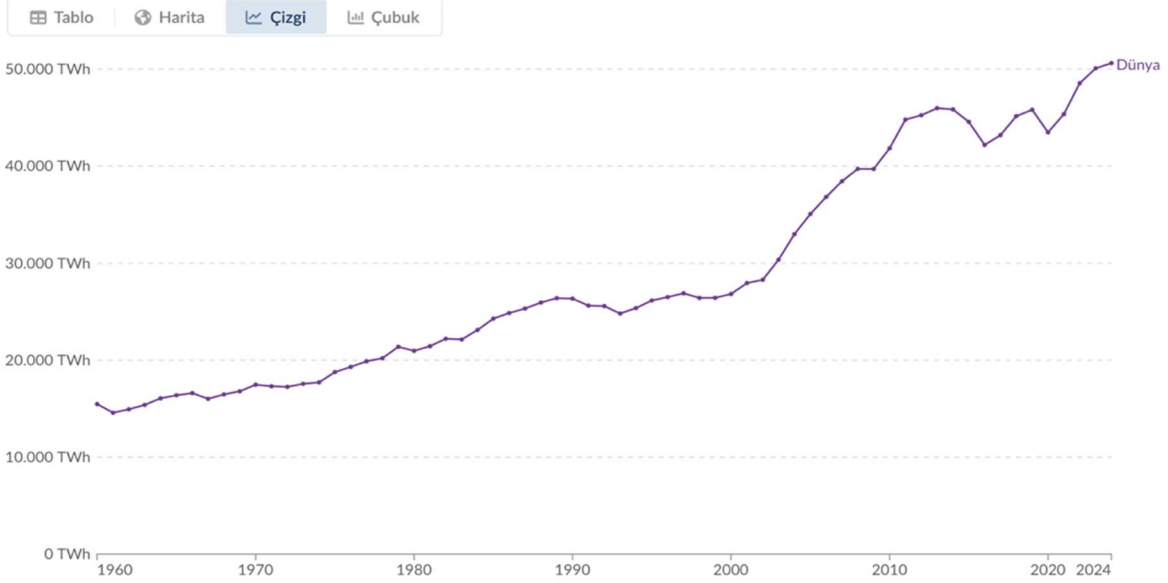
Kömür uzun yıllardan beri dünyanın en yaygın kullanılan enerji kaynaklarından biri olmuştur ancak küresel enerji dönüşümü ve iklim değişikliği hedefleri nedeniyle kullanımı azalmaktadır. Kömür tüketimi özellikle 2000'li yılların başında hızla arttı, ancak 2010'ların sonlarında düşüş eğilimine girdi. Kömürün endüstriyel kullanım alanı ağırlıklı olarak elektrik enerjisi üretimi üzerine yoğunlaşmakla birlikte; çelik imalatı ve çimento sektörü gibi kritik endüstriyel süreçlerde de stratejik bir hammadde olarak işlev görmektedir. Çin, Hindistan, ABD, Avustralya gibi ülkeler kömür rezervleri ve üretim kabiliyetleri nedeniyle kömür enerjisinde avantajlı konumdadır. Ancak bu ülkeler yenilenebilir enerjiye geçişlerini hızlandırmakta ve kömürden uzaklaşmaya yönelik stratejiler uygulamaktadır. Son yıllarda kömür enerjisine yapılan yatırımlar azalıyor ve özellikle gelişmiş ülkeler kömürden çıkıp yenilenebilir enerjiye geçiş projelerine daha fazla önem vermektedirler.

Şekil 2: 1960-2024 Yılları Arasında Dünya Kömür Üretimi

Kömür üretimi

Terawatt-saat cinsinden ölçülür.

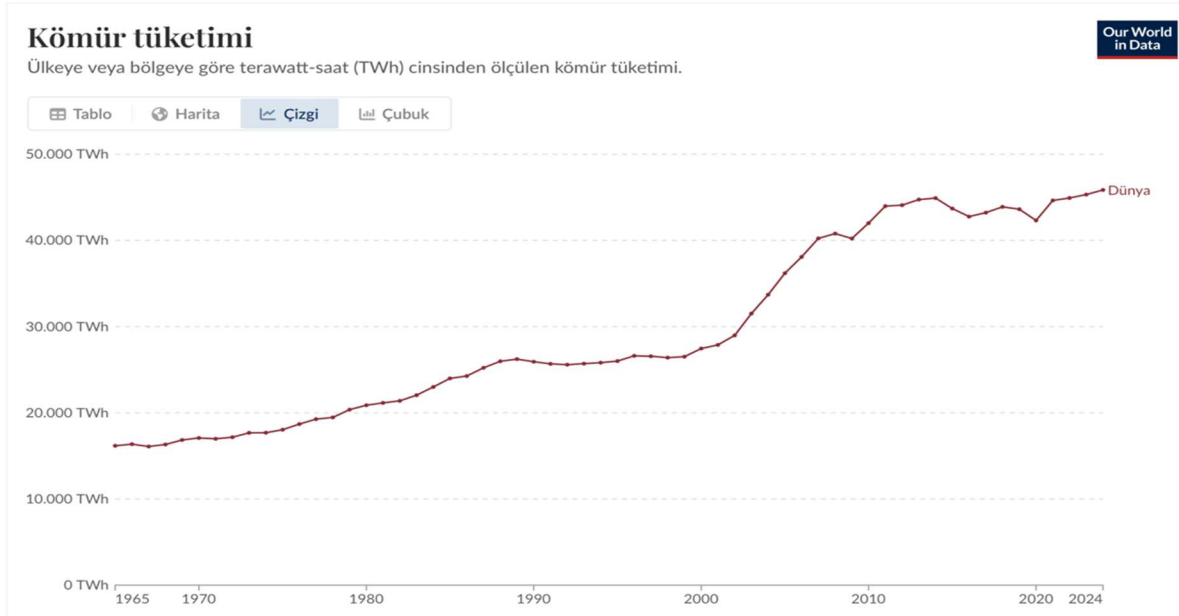
Our World
in Data



Kaynak:https://ourworldindata.org/grapher/coal-production-by-country?time=1960..latest&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 2 incelendiğinde, dünya kömür üretiminin 1960–2024 döneminde uzun vadede artan bir eğilim sergilediği anlaşılmaktadır. 1960’lı ve 1970’li yıllarda üretim görece yavaş bir artış göstermiş, 1980 ve 1990’lı yıllarda ise artış hızının sınırlı kaldığı ve üretimin dalgalı bir seyir izlediği görülmüştür. 2000’li yılların başından itibaren küresel ölçekte artan enerji ihtiyacıyla birlikte kömür üretiminde belirgin bir yükseliş yaşanmış ve bu artış 2010’lu yıllarda da devam etmiştir. 2020 yılında küresel salgının etkisiyle üretimde kısa süreli bir düşüş gözlenmesine karşın, sonraki yıllarda bu gerileme telafi edilmiş ve dünya kömür üretimi 2024 yılı itibarıyla yeniden yüksek seviyelere ulaşmıştır. Genel olarak şekil, küresel enerji dönüşümüne yönelik politikalara rağmen kömürün dünya enerji arzındaki önemini sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

Şekil 3: 1965-2024 Yılları Arası Dünya Kömür Tüketimi



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/coal-consumption-by-country-terawatt-hours-twh?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 3'e göre dünya kömür tüketimi 1965–2024 döneminde uzun vadede artış göstermiştir. 1960–1990 aralığında tüketim kademeli ve görece sınırlı bir artış sergilerken, 2000'li yılların başından itibaren küresel enerji talebindeki yükselişe paralel olarak belirgin biçimde hızlanmıştır. 2010 sonrasında tüketim yüksek seviyelerde dalgalı bir görünüm kazanmış, 2020 yılında yaşanan geçici düşüşe rağmen izleyen yıllarda yeniden artarak 2024 itibarıyla yüksek düzeyini korumuştur. Bu eğilim, küresel enerji dönüşümü hedeflerine karşın kömürün dünya enerji tüketimindeki ağırlığını sürdürdüğünü göstermektedir (Our World in Data, 2025).

1.2.1.1.2. Petrol

Milyonlarca yıl önce petrolün tarihsel gelişimi sırasında dünyanın büyük bir alanının sularla kaplı olduğu dikkate alındığında deniz hayvanlarının ölümü, deniz tabanında çökeltilere neden olmuştur. Ayırışma zamanla sıkıştırılmış halde kalır ve sıcaklık ve basıncın etkisi altında petrole dönüşmektedir. Petrolün yapısı, oluşum sürecinde maruz kaldığı koşullara bağlı olarak değişebilmektedir. Kalitesi, rengi, yoğunluğu, ağırlığı vb. özellikleri farklılık gösterebilmektedir. Petrol, dünya enerji piyasasının “can damarı” olarak nitelendirilmekte ve günümüz küresel ekonomisinin en stratejik enerji kaynağı olma özelliğini sürdürmektedir.

Hayatın neredeyse her alanında aktif olarak yer almıştır. Pek çok şeyin yapımında hammadde olarak kullanılan petrol, kullandığımız arabalardan uçaklara, bilgisayarlardan tarım ilaçlarına kadar hayatın pek çok alanında yerini almaktadır. Günümüzde ülkeler arasındaki sorunların temel nedeni petrolün diğer enerji kaynaklarına göre daha fazla tüketilmesidir (Pipe, 2013a: 4-6).

Petrolün ilk kullanımı antik çağlara kadar uzanmaktadır. Mezopotamya'da MÖ 6000 civarında su yalıtımı ve mum yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Modern petrol kullanımı 19. yüzyılda başlamıştır. 1859'da Pensilvanya'da Edwin Drake tarafından ilk petrol kuyusu açılmış ve bu olay modern petrol endüstrisinin başlangıcı olarak kabul edilir.

Amerika Birleşik Devletleri petrolü ilk kez 1850'lerde sanayide kullanmış ve giderek büyük bir sanayi haline gelmiştir. Enerji talebi arttıkça ticari petrol siyasallaşmıştır. Petrol, gelişen teknoloji ve buna bağlı nüfus artışı, ülkeler için stratejik önem kazanmış ve politik bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca 20. yüzyıla damgasını vurarak petrol ülkelerinin ifade hakkı ve enerji arz güvenliği konusunu gündeme getirmiştir. Günümüzde kesintisiz ve ucuz enerji bulunabilirliğinin sağlanması konusunda aktif bir politika izlenmektedir. Enerji piyasasında yaşanabilecek olası fiyat dalgalanmaları, arz güvenliğini ciddi oranda etkilediği için dışa bağımlı ülkeleri sürekli önlem almaya zorlamaktadır. Uygulanan bu politikalar, enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği ve arz güvenliğinin tahkimi gibi kolektif hedefler çerçevesinde anlam kazanmaktadır. (Alkin ve Atman, 2006: 4; Erdal, 2011: 58).

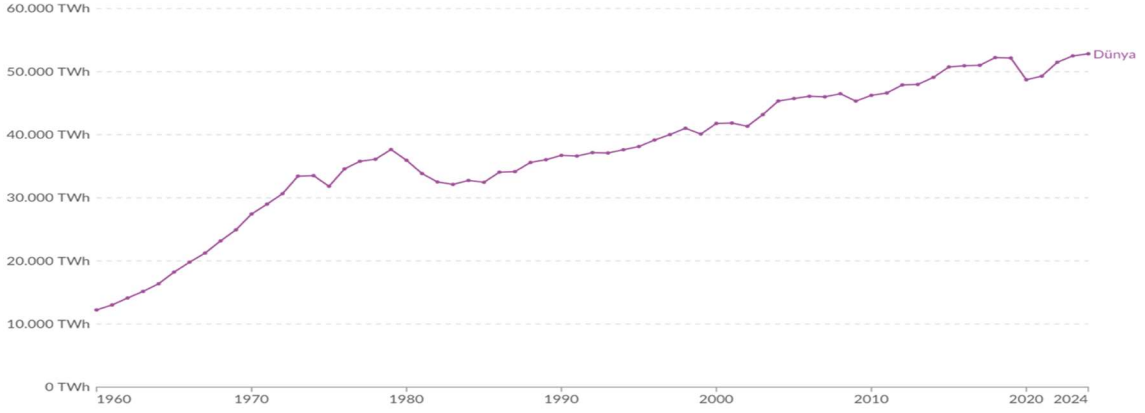
Petrol, 20. yüzyılın başından bu yana dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biri olmuştur ve halen küresel enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak çevresel kaygılar, enerji verimliliği önlemleri ve yenilenebilir enerjiye artan yatırımlar nedeniyle 2000'li yılların ortalarından bu yana birçok ülkede petrol kullanımı yavaş yavaş azalmaktadır. Petrol enerjisinin sektörel dağılımı açısından bakıldığında, ulaştırma sektörü en büyük payı alırken, bunu sanayi, enerji üretimi ve konut ısıtma gibi diğer sektörler takip etmektedir. Suudi Arabistan, Rusya, ABD, Kanada gibi ülkeler büyük rezervlere ve üretim kapasitesine sahip olup, petrol enerjisinde avantajlara sahiptirler. Bu ülkeler petrol endüstrisine yoğun yatırım yaparak ekonomik güçlerini korumakta ve enerji ihracatından büyük miktarda gelir elde etmektedirler.

Şekil 4: 1960-2024 Yılları Arasında Dünya Petrol Üretimi

Petrol üretimi

Terawatt-saat cinsinden ölçülür.

Tablo Harita Çizgi Çubuk



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/oil-production-by-country?time=1960..latest&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 4 incelendiğinde, dünya petrol üretiminin 1960–2024 döneminde genel olarak artış eğilimi sergilediği görülmektedir. 1960’lı ve 1970’li yıllarda üretim hızlı bir yükseliş göstermiş, 1980’li yıllarda ise küresel ekonomik ve jeopolitik gelişmelerin etkisiyle dalgalı bir seyir izlemiştir. 2000’li yıllardan itibaren artan enerji talebine paralel olarak petrol üretimi yeniden yükselmiş, 2020 yılında yaşanan COVID 19 salgını sebebiyle kısa süreli düşüşe rağmen izleyen yıllarda toparlanarak 2024 itibarıyla yüksek seviyesini korumuştur. Bu eğilim, petrolün küresel enerji arzındaki belirleyici rolünü sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

Şekil 5: 1965-2024 Dünya Petrol Tüketimi

Petrol tüketimi

Terawatt-saat cinsinden ölçülür.

Masa Harita Astar Çubuk



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/oil-consumption-by-country?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 5 incelendiğinde dünya petrol tüketimi 1965–2024 döneminde uzun vadede artış eğilimi göstermiştir. 1960’lı ve 1970’li yıllarda tüketim hızlı bir yükseliş sergilerken, 1980’li yıllarda artışın yavaşladığı ve dalgalı bir görünüm kazandığı görülmektedir. 2000’li yıllardan itibaren küresel enerji talebindeki büyümeye paralel olarak petrol tüketimi yeniden hızlanmış, 2020 yılında yaşanan geçici düşüşün ardından toparlanarak 2024 itibarıyla yüksek seviyesini korumuştur. Bu eğilim, enerji dönüşümüne yönelik politikalara rağmen petrolün küresel enerji tüketimindeki merkezi konumunu sürdürdüğünü göstermektedir (Our World in Data, 2025).

1.2.1.1.3. Doğalgaz

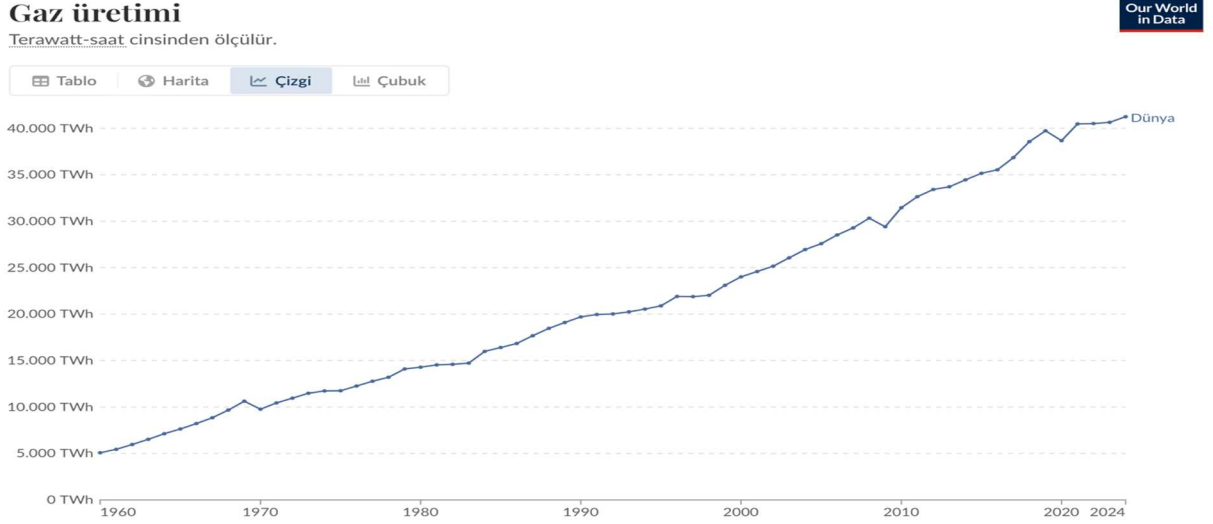
Fosil yakıtların en önemli kaynaklarından biri olan doğalgaz, yüzyıllar boyunca biriken tortulardan üretilen bir enerji kaynağıdır. Zamanla katmanlaşan bu çökeltiler, maruz kaldıkları sıcaklık ve basınç nedeniyle petrol haline gelir ve bu yağ, zamanla doğal gaz kabarcıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Böylece geçirgen kayanın içinden yükselen gaz kabarcıkları, sert kayaya çarpıp sıkışınca kadar zemine doğru yükselmektedir. Yapısındaki ana bileşeni aslında metan gazıdır. Metan gazı birçok gazın birleşiminden oluşmaktadır. Doğal gazın küçük bir kısmı ise bütan ve etan gibi gazlardan oluşur. Bilinen doğalgaz renksiz ve kokusuz olduğundan olası sızıntıları anlamak için doğalgaz yabancı maddelerle karıştırılmaktadır. (Gültekin ve Örgün, 1993: 39).

Doğalgazın ilk kullanımı oldukça eskilere dayanır ve tek bir kişiye veya tarihe indirgenemez. Farklı uygarlıklar ve kültürler, farklı zamanlarda doğalgazı çeşitli şekillerde kullanmışlardır. MÖ 2000 civarında Çin’de doğalgaz bambudan borularla taşınarak ısı ve aydınlatma için kullanılmıştır. Mezopotamya’da doğalgaz tapınaklarda ve saraylarda aydınlatma için kullanılmıştır. Orta Çağ’da İran’da doğalgaz yeraltı mağaralarından toplanarak ısı ve pişirme için kullanılmıştır. 18. yüzyılda Avrupa’da doğalgaz aydınlatma için kullanılmaya başlanmıştır. 19. yüzyılda doğalgaz sanayi ve evlerde ısıtma için kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde enerji kaynaklarının büyük bir kısmını doğalgazın oluşturduğu bilinmektedir. Yenilenemeyen doğal kaynaklar arasında olumsuz çevresel etkisi kömürden çok daha azdır. Günümüzde elektrik üretiminden ziyade ısınma ihtiyacının karşılanması için tercih edilmektedir. Hâlihazırda çok az sayıda ülke doğal gaz enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen birçok ülke bu kaynağı ithal etmektedir. Bu açıdan bakıldığında ithalatçı ülkelerdeki enerji arz güvenliği sorunu, dolayısıyla doğal gaz arzında herhangi bir nedenle sorun yaşayan

ülkelerde ortaya çıkabilecek kriz durumlarında önemli bir endişe kaynağı olmaktadır. (Pipe, 2013b: 17).

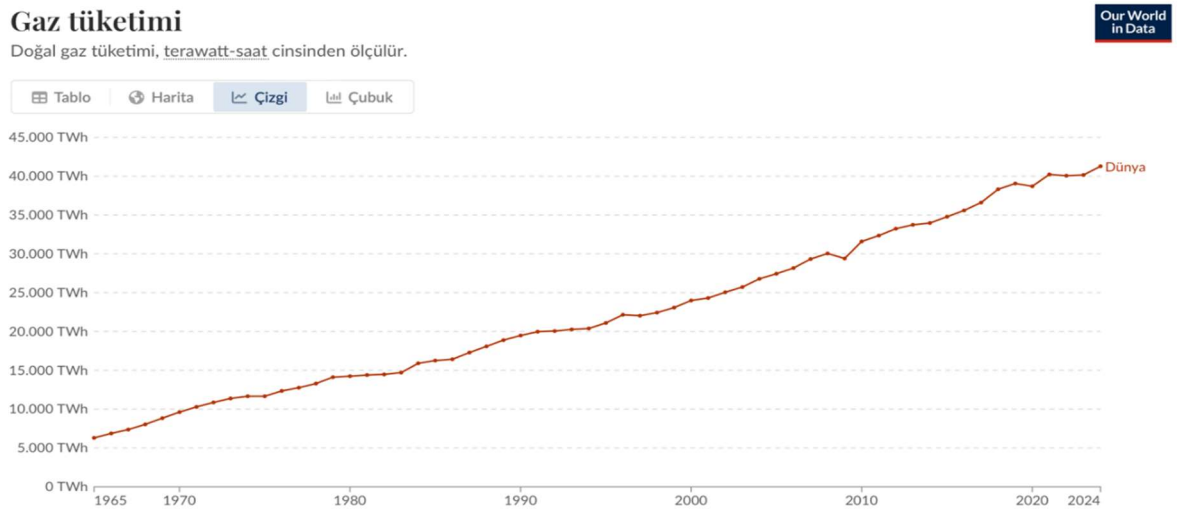
Şekil 6: 1960-2024 Yılları Arasında Dünya Doğalgaz Üretimi



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/gas-production-by-country?time=1960..2024&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 6 incelendiğinde dünya doğal gaz üretimi 1960–2024 döneminde uzun vadeli ve sürekli bir yükseliş sergilemiştir. Özellikle 2000 sonrasında artan küresel enerji talebiyle birlikte üretim ivme kazanmış, 2010 sonrası yıllarda yaşanan sınırlı dalgalanmalara rağmen 2024 itibarıyla tarihsel olarak yüksek bir düzeye ulaşmıştır. Bu görünüm, doğal gazın küresel enerji sistemindeki ağırlığının giderek arttığını ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

Şekil 7: 1965-2024 Dünya Doğalgaz Tüketimi



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/gas-consumption-by-country?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 7 incelendiğinde dünya doğal gaz tüketimi 1965–2024 döneminde istikrarlı bir artış göstermiştir. Özellikle 2000’li yıllardan sonra tüketimdeki ivmelenme, doğal gazın küresel enerji talebinde giderek daha fazla tercih edildiğini ortaya koymaktadır. 2010 sonrasında görülen sınırlı dalgalanmalara rağmen tüketim düzeyi yükselmiş ve 2024 itibarıyla tarihsel olarak yüksek seviyesini korumuştur. Bu eğilim, doğal gazın küresel enerji sisteminde önemli bir rol üstlendiğini göstermektedir (Our World in Data, 2025).

Doğal gaz, son birkaç on yılda, özellikle de küresel enerji tüketiminde kullanımının hızla arttığı 2000’li yılların başından itibaren, enerjide önemli bir rol üstlenmiştir. Doğal gazın kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara göre daha temiz yanma özelliğinden dolayı toplam enerji tüketimindeki payı giderek artmaktadır. Doğal gazdan üretilen enerjinin sektörel dağılımı incelendiğinde elektrik üretimi, ısınma ve sanayi üretimi gibi alanlarda yoğun kullanımlara rastlanmaktadır. Rusya, ABD, Katar, İran gibi ülkeler büyük doğal gaz rezervlerine ve üretim yeteneklerine sahip olup, bu alanda hakim konumdadırlar. Bu ülkeler doğal gaz üretimi ve ihracatı yoluyla küresel enerji piyasalarında önemli bir rol oynamaktadır. Doğal gaz enerji yatırımları altyapı geliştirme, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) tesisleri ve ihracat terminalleri gibi alanlarda yoğunlaşmakta, aynı zamanda enerji geçiş sürecinde doğal gazın geçiş yakıtı olarak kullanımı da teşvik edilmektedir. Ancak yenilenebilir enerjiye geçişte doğalgazın gelecekteki rolüne ilişkin tartışmalar devam ediyor.

1.2.1.2.Çekirdek Kaynaklı Enerji Kaynakları

1.2.1.2.1. Nükleer Enerji

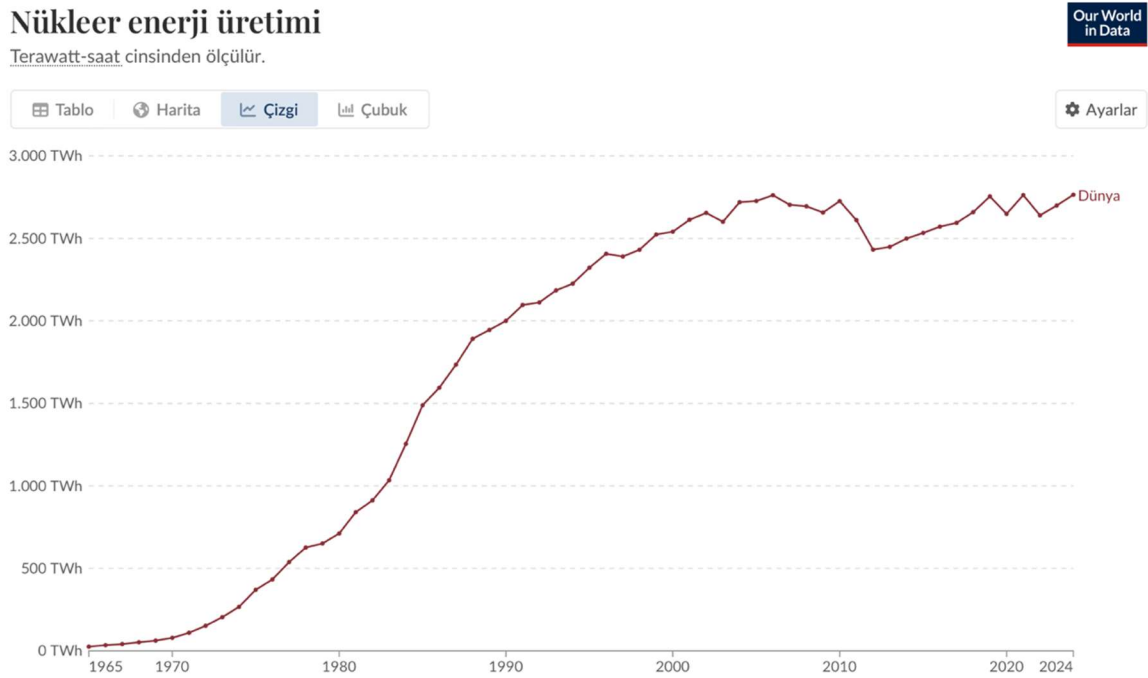
Geleceğin enerji arzında önemli bir yer tutan nükleer enerji, atom çekirdeğinde gerçekleşen fisyon ve füzyon tepkimeleriyle oluşur (IAEA, 2022). Bu teknolojinin sürdürülebilirliği, stratejik hammaddeler olan uranyum ve toryum rezervlerine bağlıdır. Halihazırda kullanılan nükleer santrallerde uranyum kullanılırken, toryum yalnızca sınırlı sayıda eyalette ve belirli tipteki santrallerde kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi atom çekirdeğinin bölünmesiyle üretilse de füzyon santrallerine yönelik araştırmalar hızla devam etmektedir.

1932 yılında nötronun keşfinden sonra, II. Dünya Savaşı'nın büyük etkisiyle nükleer alandaki bilimsel araştırmalar hızla gelişmiştir. Atom çekirdeğinin bölünmesiyle enerji açığa çıktığının keşfedilmesinin ardından, ilk nükleer reaktör 1942 yılında Chicago Üniversitesi'nde inşa edilmiştir. Bu ilerlemelerin sonucunda 1943 yılında ilk kontrollü zincirleme reaksiyon

yaratılmış, bunu 1945 yılında ilk atom silahı ve 1951 yılında nükleer enerjinin elektrik üretiminde ilk kez kullanılması takip etmiştir. Bu çalışmalara paralel olarak 20 yıl içerisinde nükleer enerjinin temel prensipleri uygulamaya konulmuştur.

Nükleer enerjinin temel prensipleri askeri amaçlarla geliştirilmiştir. İkinci Dünya Savaşı'nda ABD'nin atom bombasını üretmesiyle günümüzde kullanılan nükleer enerjinin temelleri atılmıştır (Basalla, 2013: 252). Günümüzde dünya çapında pek çok ülke enerji ihtiyacını karşılamak için nükleer enerjiye yönelmektedir. Ancak nükleer enerjinin askeri amaçlarla kullanılması ve çevreye verdiği kalıcı zararlar göz ardı edilemeyecek riskler içermektedir. Olası nükleer kazaların ve radyoaktif atıkların doğa üzerindeki kalıcı tahribatı, bu enerji türünün kullanımında azami dikkati gerektirmektedir. İnsan sağlığını ve biyolojik çeşitliliği korumak adına, nükleer tesislerin işletilmesinden atıkların güvenli bir şekilde depolanmasına kadar her aşamada “sıfır hata” prensibiyle hareket edilmeli ve sıkı denetim mekanizmaları uygulanmalıdır.

Şekil 8: 1965-2024 Yılları Arasında Dünya Nükleer Enerji Üretimi



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/nuclear-energy-generation?tab=line&time=earliest..2024&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 8 incelendiğinde, dünya nükleer enerji üretiminin 1965'ten 2000'li yılların başına kadar hızlı bir artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu dönemde nükleer santrallerin yaygınlaşmasıyla birlikte üretim belirgin biçimde yükselmiştir. 2000'li yıllardan sonra artış

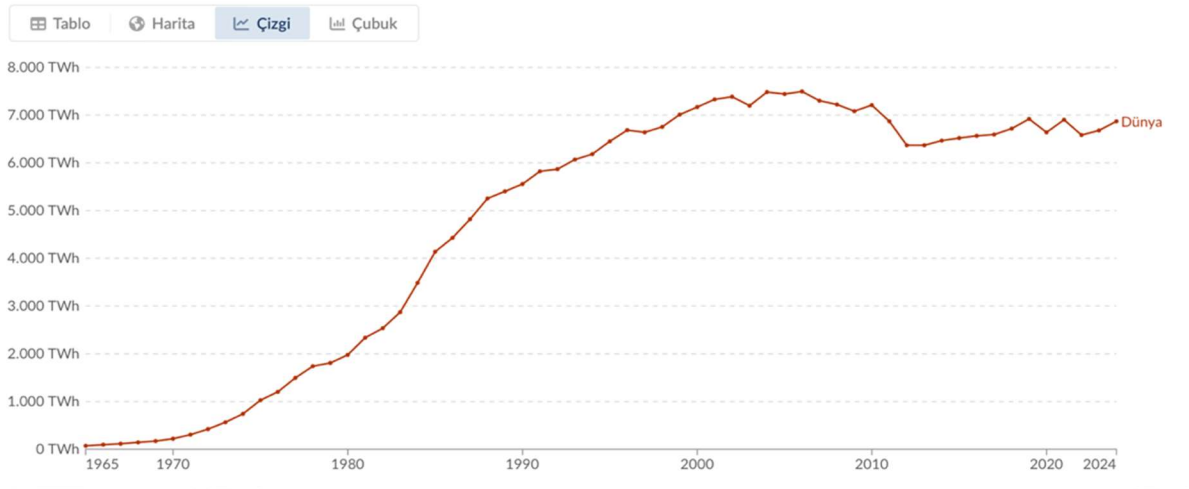
hızının yavaşladığı, bazı yıllarda ise güvenlik endişeleri ve politika değişimlerinin etkisiyle geçici düşüşlerin yaşandığı görülmektedir. Buna rağmen son yıllarda nükleer enerji üretiminin yeniden artış eğilimine girdiği ve 2024 itibarıyla yüksek seviyelerini koruduğu dikkat çekmektedir. Bu genel görünüm, nükleer enerjinin küresel enerji arzında istikrarlı ancak sınırlı büyüyen bir kaynak olarak varlığını sürdürdüğünü göstermektedir (Our World in Data, 2025).

Nükleer enerji, 1950'lerden itibaren küresel enerji üretiminde önemli bir yer edinmiştir. 1970'ler ve 1980'lerde yaşanan hızlı bir büyümenin ardından, nükleer enerjinin dünyadaki toplam kullanım oranı 1990'lardan bu yana nispeten durağan kalmıştır. Ancak, iklim değişikliğiyle mücadele çerçevesinde karbon emisyonlarını azaltma hedefleri doğrultusunda bazı ülkeler nükleer enerjiyi yeniden değerlendirmeye başlamıştır. Nükleer enerjiden üretilen enerji, ağırlıklı olarak elektrik üretiminde kullanılmakta, bazı durumlarda ise askeri ve araştırma amaçlı da değerlendirilmektedir. Fransa, nükleer enerji açısından en avantajlı ülkelerden biridir ve elektrik üretiminin yaklaşık %70'ini nükleer santrallerden elde etmektedir. ABD, Çin ve Rusya da büyük nükleer enerji kapasitesine sahip diğer önemli ülkeler arasında yer alır. Bu ülkeler, yeni reaktör inşaatları, mevcut tesislerin modernizasyonu ve küçük modüler reaktörler (SMR) gibi yeni teknolojilere yönelik yatırımlar yapmaktadır. Bununla birlikte, nükleer enerjiye yapılan yatırımlar, güvenlik endişeleri, atık yönetimi ve yüksek maliyetler gibi zorluklarla da karşı karşıyadır, ancak düşük karbonlu enerji üretimi için nükleer enerji hala stratejik bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 9: 1965-2024 Dünya Nükleer Enerji Tüketimi

Nükleerden birincil enerji tüketimi

Birincil enerji, ikame yöntemi kullanılarak terawatt-saat cinsinden ölçülür.

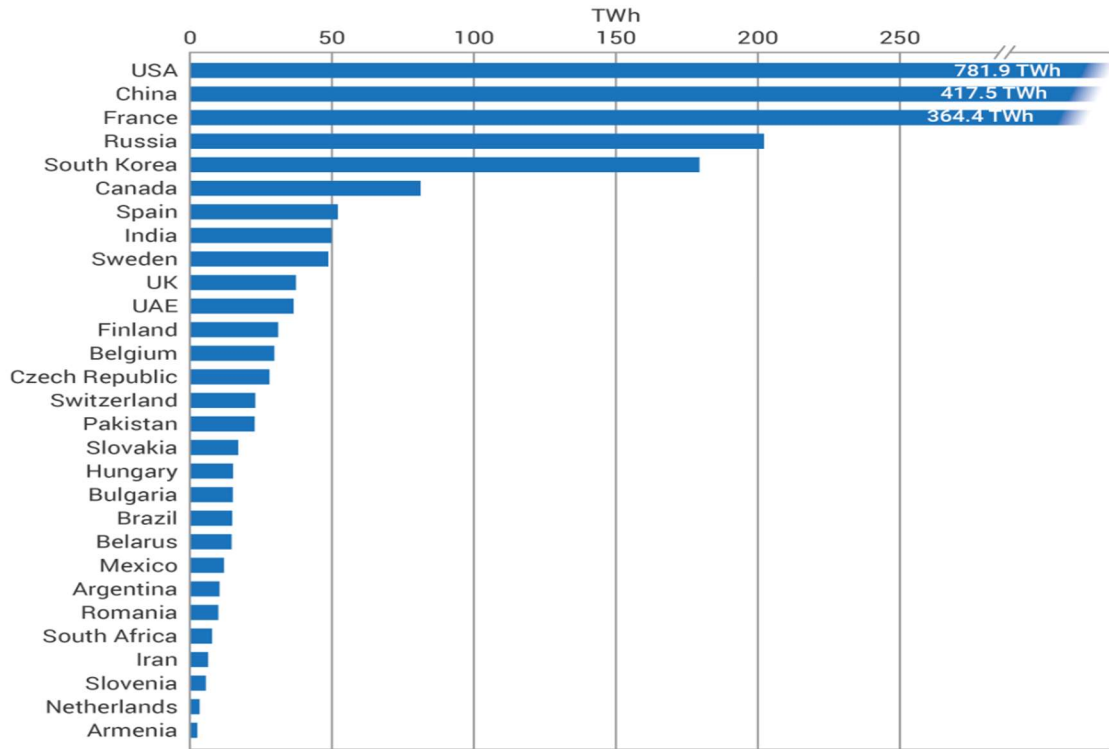


Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-nuclear?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 9 incelendiğinde, nükleer kaynaklardan sağlanan birincil enerji tüketiminin 1965'ten 2000'li yılların başına kadar hızlı ve sürekli bir artış gösterdiği görülmektedir. Bu artış, nükleer santrallerin birçok ülkede devreye alınmasıyla doğrudan ilişkilidir. 2000'li yılların ortalarından sonra tüketimde artış hızının yavaşladığı, bazı dönemlerde ise güvenlik kaygıları ve politika tercihleri nedeniyle gerilemeler yaşandığı dikkat çekmektedir. Ancak son yıllarda nükleer enerjinin enerji güvenliği ve karbon salımını azaltma hedefleri çerçevesinde yeniden önem kazanmasıyla birlikte tüketim düzeyinin toparlandığı ve 2024 itibarıyla görece istikrarlı bir seyir izlediği anlaşılmaktadır. Bu görünüm, nükleer enerjinin küresel enerji sisteminde dalgalı ancak kalıcı bir yer edindiğini ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

Dünya Nükleer Birliği (WNA) verilerine göre, 2023 itibarıyla, on dört ülke elektrik üretiminin en az dörtte birini nükleer enerjiden sağlamaktadır. Fransa, elektrik ihtiyacının yaklaşık %70'ini nükleer kaynaklardan karşılayarak bu alanda en yüksek oranı elde etmektedir. Ukrayna, Slovakya ve Macaristan ise elektrik üretimlerinin yaklaşık yarısını nükleer enerjiden sağlamaktadır. Bu veriler, nükleer enerjinin belirli ülkelerde enerji güvenliği ve arz istikrarı açısından kritik bir rol oynadığını göstermektedir:

Şekil 10: Ülkelere Göre Nükleer Enerji Üretimi (2024)



Kaynak: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

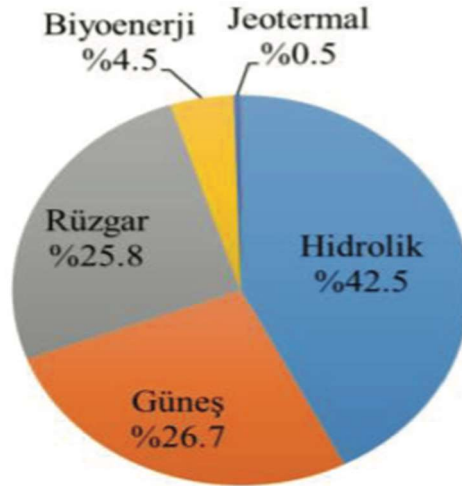
Şekil 10 incelendiğinde nükleer enerji, günümüzde sınırlı sayıda ülkede yoğunlaşmasına rağmen küresel elektrik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Düşük karbonlu bir kaynak olması nedeniyle nükleer enerji, özellikle enerji arz güvenliği ve iklim politikaları kapsamında bazı ülkeler için stratejik bir seçenek olarak öne çıkarken, küresel ölçekte büyümenin temkinli ve dengeli bir seyir izlediği görülmektedir (World Nuclear Association, 2025).

1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, kullanılan bir doğal kaynağın tükenmeden daha hızlı kendini yenileyebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilen ve doğada sürekliliği olan enerjilerdir. Yenilenebilir doğal kaynaklar sürekli olduğundan zamanla tükenmez, tekrar tekrar kullanılabilir ve yenilenemeyen (fosil) enerjiler için alternatiftir (Yaman, 2007: 236).

Yenilenebilir enerji, ülkelerin dış ülkelere bağımlılığını azaltan niteliğiyle kritik bir öneme sahiptir. Enerjinin doğal kaynaklar yoluyla temin edilmesi bu durumun temel nedenidir. Ancak günümüz dünyasında kullanılan enerji göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kullanımının alt sıralarda yer aldığı görülmektedir. Aşağıda oransal olarak bu kaynakların dağılımı verilmiştir (Şekil 11).

Şekil 11: 2021’de Dünyada yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücün dağılımı.



Kaynak: (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2022; Ritchie, Roser ve Rosado, 2022; International Renewable Energy Statistics (IRENA), 2022)

Fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım eğiliminin her geçen gün arttığı görülmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının 2021 yılı kurulu güç dağılımı Şekil 11’de gösterilmektedir. Dünyada en yüksek kurulu güç hidrolik enerji kaynağına

ait olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerjiye dayalı kurulu gücün %42.5'ini dünyada hidrolik enerji oluşturmaktadır. Dünyada hidrolik enerjiden sonra güneş, rüzgâr, biyoenerji ve jeotermal enerji gelmektedir (ETKB, 2022; Ritchie, vd., 2022; IRENA, 2022).

Son on yılda dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde genel bir artış eğilimi görülmüştür. Hidroelektrik, Dünyada en fazla üretilen yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla yerli enerji üretimi sağlanmakta ve çevreye verilen zarar önemli ölçüde azaltılmaktadır. Ayrıca tüketici talebi arttıkça petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların fiyatları da yükselmekte ve bu kaynaklara sahip olan ülkeler ve sahip olmayan ülkeler arasında ciddi bir dengesizlik ortaya çıkmaktadır (Erdoğan ve Seçgin, 2008: 2).

Enerji güvenliği alanında son yıllarda artan çalışmalarla birlikte yenilenebilir enerji tüketimindeki değişimler kritik önem kazanmıştır. Energy Institute'un yayımladığı Dünya Enerji İstatistikleri Raporu verilerine göre, 1965'ten 2022'ye kadar küresel yenilenebilir enerji tüketiminde önemli bir artış yaşanmıştır.

Yenilenebilir enerji tüketimi, özellikle son 50 yılda belirgin bir büyüme göstermektedir. Verilere göre, 2022 itibarıyla toplam yenilenebilir enerji tüketimi yaklaşık 4,19 exajoule olarak saptanmıştır. Bu kapsamda, 2012'de 2,13 exajoule olan yenilenebilir enerji tüketimi, son on yıl içinde yaklaşık iki katına çıkarak 2022'de 4,19 exajoule seviyesine yükselmiştir. Ayrıca, 1965-2022 yılları arasında yıllık ortalama yenilenebilir enerji tüketimi 29,15 exajoule olarak tespit edilmiştir. Bu çerçevede, küresel ölçekte yenilenebilir enerjiye olan talebin uzun vadeli artışına devam edeceği görülmektedir.

Verilerde öne çıkan hususlardan biri, yenilenebilir enerji tüketimindeki büyüme oranıdır. 1965 ile 2022 arasındaki toplam büyüme oranı %333,92 olarak kaydedilmiştir. Bu artış, enerji sektöründeki yenilenebilir kaynaklara yönelik ilginin artış gösterdiğini ve ülkelerin enerji güvenliği stratejilerinde yenilenebilir enerjiye daha fazla önem vermeye başladığını işaret etmektedir. Ancak, son 10 yıldaki ortalama büyüme oranı incelendiğinde, yaklaşık -%9,18 gibi bir düşüş yaşandığı gözden kaçırılmaması gereken bir durumdur. Bu negatif büyüme oranı, bazı ülkelerin yenilenebilir enerjiye geçiş hızında bir yavaşlama yaşanmasıyla açıklanmaktadır.

Yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinde ortaya çıkan yapısal zorluklar göz önüne alınması gereken bir etmendir. Özellikle fosil yakıt kaynaklarına bağımlı olan ekonomiler için yenilenebilir enerjiye geçiş, büyük ölçekli finansal yatırımlar ve teknolojik dönüşümler

gerektirmektedir. Bu duruma rağmen rapor verilerine göre, 1965'te sadece 0,98 exajoule olan yenilenebilir enerji tüketimi, yıllar içinde hızla artış göstermiş ve 2022 itibarıyla 4,19 exajoule seviyesine ulaşmıştır. Bu durum, enerji güvenliği stratejileri kapsamında yenilenebilir enerjinin rolünü artırma ve sürdürülebilir enerji politikaları geliştirme gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Dünya Enerji İstatistikleri Raporu, yenilenebilir enerji tüketimindeki tarihsel artışı ve bu artışın enerji güvenliği üzerindeki olumlu etkilerini açıklamaktadır. Yıllık ortalama tüketim ve toplam büyüme oranları, yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinin hızlandığını belirtmektedir. Ancak son 10 yıldaki negatif büyüme oranı, bu sürecin tüm ülkelerde aynı hızda ilerlemediğini ve bazı yapısal engellerin varlığına dikkat çekmektedir.

1.2.2.1.Hidrolik Enerji

Dünyanın başlangıcından günümüze kadar var olan su, insanlığın ilk zamanlarında çeşitli ihtiyaçların karşılanması ve tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Elektriğin keşfiyle birlikte hidroelektrik üretim potansiyeli fark edilmiş ve hidroelektrik enerjiden elektrik üretimine başlanmıştır (Dinçer vd., 2017: 556). Su gücünün enerji potansiyeli keşfedilince hidroelektrik santraller ortaya çıkmıştır. Hidroelektrik enerjide kaynağın su olması nedeniyle, hidroelektrik santraller ihtiyaçların olduğu yerlerde değil, kaynakların olduğu yerlerde kurulmasını kaçınılmaz kılmıştır. Nehir akışının özelliklerine bağlı olarak belirli bölgelerde hidroelektrik santraller kurulabilmektedir.

Dünya çapında ilk hidroelektrik santralinin inşaatı 1881 yılında başlamıştır (Dinçer vd., 2017: 556). Hidroelektrik santraller yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasına rağmen çevreye önemli zararlar verebilmektedir. Akarsuların akış düzenindeki değişiklikler, kültürel ve tarihi alanlar başta olmak üzere yerleşim alanlarının etrafında yer alan barajların sular altında kalması ve bitki türlerinin zarar görmesi çevre güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Yaman ve Haşıl, 2018: 148).

20. yüzyılın başlarında hidroelektrik dünyanın birçok yerinde önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Norveç, Brezilya ve Çin gibi ülkeler büyük hidroelektrik santralleri inşa etmeye başlamıştır. 1950'li yıllara kadar küresel hidroelektrik kapasitesi 100 Gigawatt'ın altında iken günümüzde ise hidroelektrik toplam enerji üretiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

1960- 1970 döneminde büyük hidroelektrik projeleri hayata geçirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Sovyetler Birliği ve Brezilya gibi ülkeler büyük barajlar inşa etmiş; 1970'lerin sonunda küresel hidroelektrik kapasitesi yaklaşık 400 GW'a ulaşmıştır (Kök, 1979). Hidroelektrik kapasitesi 1980'li ve 1990'lı yıllarda hızla artmış; Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için büyük ölçekli hidroelektrik projelerine yatırım yapmaya başlamıştır. Bu ilerleyiş neticesinde, 1990'ların sonunda küresel kurulu hidroelektrik kapasitesi 600 GW'ı aşmıştır.

Hidroelektrik enerjisi 2000'li yıllardaki ağırlığını korumayı başarmış olsa da; teknolojik gelişmeler ve çevre politikaları sayesinde rüzgâr ve güneş enerjisi bu dönemde yükselen birer değer olarak ön plana çıkmıştır. 2000'li yılların sonlarında küresel kurulu hidroelektrik kapasitesi 800 GW'ı aşmış; hidroelektrik dünya elektrik üretiminin yaklaşık %16'sını oluşturmuştur. Kurulu hidroelektrik kapasitesi 2010'larda artmaya devam etmiş, ancak bu artış önceki yıllara göre daha yavaş olmuştur. Bu durumun temel nedeni, çevresel kaygılar ve sosyal etkilerdir.

2019 yılı itibarıyla küresel kurulu hidroelektrik kapasitesi 1,2 TW'ye (1.200 GW) ulaşmıştır. 2020'li yıllardan itibaren önceki dönemlerin devamı olarak hidroelektrik, küresel elektrik üretiminde önemli bir rol oynamaya devam etmiştir. 2023 yılı itibarıyla küresel hidroelektrik kapasitesi yaklaşık 1,3 TW'dir. Hidroelektrik enerjinin küresel elektrik üretimindeki payının %15-16 civarında kalması beklenmektedir.

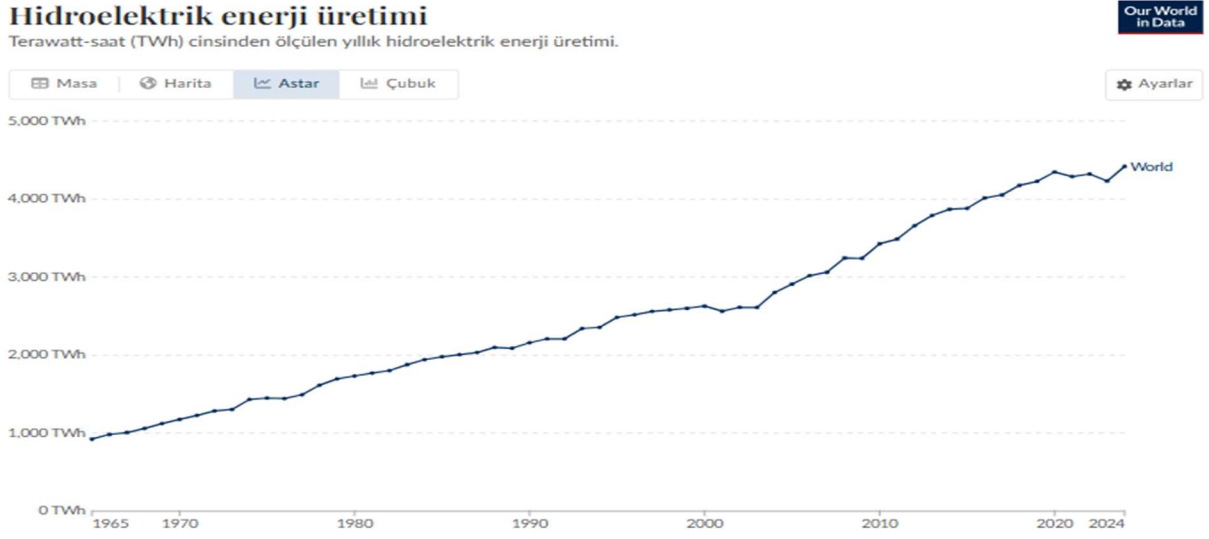
Hidroelektrik esas olarak elektrik üretmek ve bunu yukarıdaki sektörlerle dağıtmak için kullanılmaktadır. Küresel olarak hidroelektrik enerji üretiminin yaklaşık olarak % 30-40'ı sanayi, % 30-35'i konut, %15-20 ticari ve kurumsal, %10'u ise tarım ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Bu dağılım ulusal ve bölgesel enerji politikalarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, enerji yoğun endüstrilere sahip bir ülke, endüstride daha büyük oranda hidroelektrik kullanabilir. Hidroelektrik Enerji Avantajı Ülkeler coğrafi yapıları, bol su kaynakları, mevcut hidroelektrik altyapıları ve hükümet politikaları nedeniyle bu alanda öne çıkmaktadır. Bu ülkeler arasında Çin, Brezilya, Kanada, ABD, Norveç, Hindistan, Rusya, Kongo ve Etiyopya yer almaktadır (Dinçer vd., 2017: 556).

Çin uluslararası sistemde en büyük hidroelektrik kapasitesine sahip ve sürekli yeni projelere yatırım yapan aktördür. Büyük baraj projelerine odaklanan ülke, enerji ihtiyacının çoğunu hidroelektrik enerjiden karşılamakta ve sektöre büyük yatırımlar gerçekleştirmektedir.

Ülke, Amazon nehirleri üzerinde büyük barajlar inşa etmeye devam etmektedir (Reuters, 2025). Kanada hidroenerjiye yoğun yatırım yapan bir diğer ülkedir. Ülkenin hidroelektrik kapasitesi özellikle Quebec, British Columbia ve Manitoba eyaletlerinde yoğunlaşmıştır (Dış Ekonomik İlişkiler Kurulu (DEİK), 2015: 19). Hindistan artan enerji ihtiyacını karşılamak için hidroelektrik yatırımlarını arttırmaktadır (Ticaret Bakanlığı, 2024). Norveç, mevcut hidroelektrik kapasitesini korumak ve artırmak için özellikle Himalaya bölgesinde büyük baraj projeleri inşa etmektedir. Ülkenin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı hidroelektrik enerjiden sağlanmaktadır (World Energy Council, 2021). Rusya, özellikle Sibirya ve Uzak Doğu'da hidroenerji çalışmalarına yönelmektedir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2020). Afrika kıtasındaki enerji yatırımlarına ilişkin değerlendirmelerde, Demokratik Kongo Cumhuriyeti; sahip olduğu geniş su kaynakları ve nehir sistemleri nedeniyle hidroelektrik üretim kapasitesi açısından stratejik bir ülke olarak öne çıkmakta ve bu potansiyelin değerlendirilmesine yönelik büyük ölçekli projeler gündemde yer almaktadır (World Bank, 2020).

Çin dünyanın en büyük hidroelektrik enerji üreticisidir. 2023 yılı itibarıyla Çin, dünya hidroelektrik üretiminin yaklaşık %28'ine sahip iken (Anadolu Ajansı (AA), 2024), Brezilya dünyanın en büyük ikinci hidroelektrik üretim ülkesidir, ülkenin elektrik üretiminin yaklaşık %60'ı hidroelektrikten gelmektedir. Kanada ise, dünyanın en büyük üçüncü hidroelektrik üretim ülkesidir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki elektriğin yaklaşık yüzde 20'sini hidroelektrik enerjiden gelmektedir (Viessmann, 2026). Ülkenin enerji üretiminin yaklaşık %6-7'si hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır. Rusya hidroelektrik üretimi açısından dünyada beşinci sırada yer almaktadır. Hidroelektrik, Rusya'nın enerji üretiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (Erkan, 2013: 95). Norveç, ülkenin elektrik üretiminin yaklaşık %95'ini üreten hidroelektrik alanında önemli bir oyuncudur (World Energy Council, 2021). Hindistan, hidroelektrik enerji üretiminde önemli bir ülke olup, elektrik üretiminin yaklaşık %12'si hidroelektrik santrallerden sağlanmaktadır. Etiyopya, hidroelektrik enerji üretiminde Afrika'nın önde gelen ülkelerinden biridir ve ülkenin enerji üretiminin büyük kısmı hidroelektrik enerjiden sağlanmaktadır. Hidroelektrik kaynakları. Demokratik Kongo Cumhuriyeti dünyanın en zengin hidroelektrik potansiyeline sahip ülkelerinden biri olmasına rağmen bu potansiyel henüz tam olarak değerlendirilememiştir. Bu ülkeler hidroelektrik enerji üretiminde lider konumdadır ve coğrafi avantajlarından, bol su kaynaklarından ve bolluğundan yararlanmaktadır. Bu üretim durumu, çeşitli ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasında ve yenilenebilir enerjinin arttırılmasında önemli rol oynamaktadır.

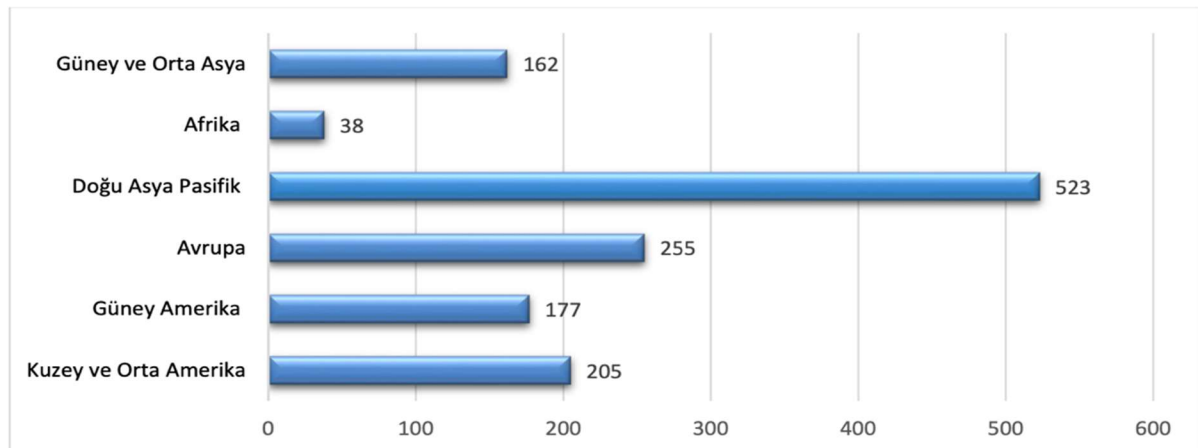
Şekil 12: Dünyada 1965-2024 Yılları Arasında Hidroelektrik Üretimi.



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/hydropower-generation?tab=line&country=~OWID_WRL (14.11.2025) (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 12'ye bakıldığında, dünya genelinde hidroelektrik enerji üretiminin 1965'ten 2024'e kadar uzun vadede düzenli bir artış gösterdiği görülmektedir. İlk yıllarda üretim artışı daha sınırlı ilerlerken, özellikle 1980'li yıllardan sonra büyük ölçekli baraj projelerinin devreye girmesiyle birlikte üretimde daha belirgin bir yükseliş yaşanmıştır. 2000'li yıllar sonrasında hidroelektrik üretimi artışını sürdürmüş, bazı dönemlerde küçük dalgalanmalar görülsede genel yükselme eğilimi korunmuştur. Bu tablo, hidroelektriğin yenilenebilir enerji kaynakları içinde uzun süredir istikrarlı ve güvenilir bir üretim kaynağı olarak önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir (Our World in Data, 2025).

Şekil 13: Bölgelere göre hidroelektrik kurulu güç kapasitesi



Kaynak: IHA, 2022 Hydropower Status Report, <https://www.hydropower.org>

Şekil 13'te görüldüğü gibi 2021 yılı için hidroelektrik kapasitelerinin bölgelere göre dağılımının toplam kapasitenin 1.360 Gwh'ın %18'lik kısmının 255 (Gwh) Avrupa bloğunda olduğu görülmektedir. Türkiye ise Avrupa bloğunda Norveç'ten sonra 31,4 Mwh kapasitesi ile ikinci sırada ortalamayı yükseltmektedir (Tatlıcı, 2023: 32).

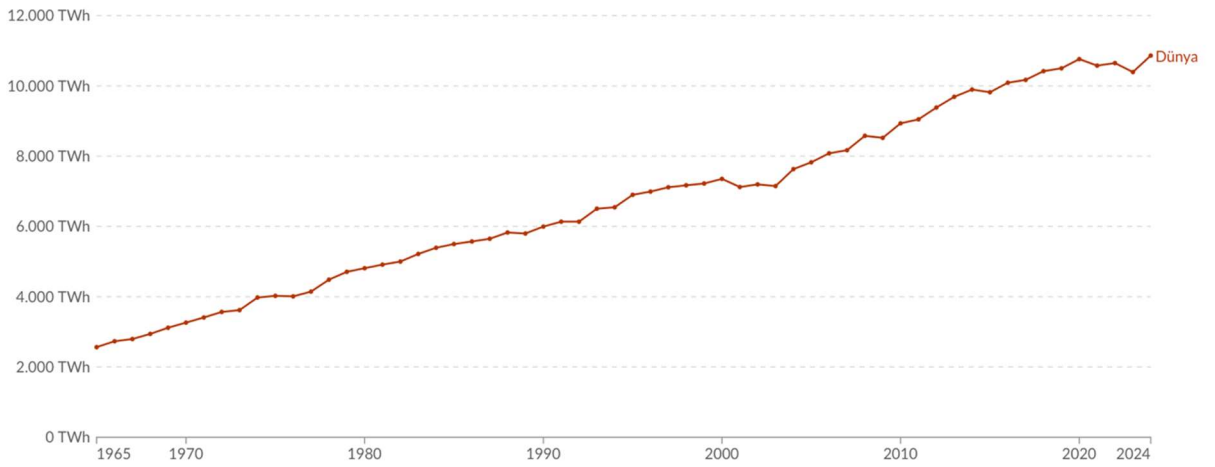
Şekil 14: 1965-2024 Dünya Hidroelektrik Enerji Tüketimi

Hidroelektrikten birincil enerji tüketimi, 1965'ten 2024'e

Birincil enerji ikame yöntemine dayanır ve terawatt-saat cinsinden ölçülür.

Our World
in Data

Tablo Harita Çizgi Çubuk



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-hydro?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 14'e göre hidroelektrikten elde edilen birincil enerji tüketimi 1965–2024 döneminde uzun vadede düzenli biçimde artmıştır. Zaman zaman sınırlı dalgalanmalar görülse de genel eğilim, hidroelektriğin küresel enerji sisteminde kalıcı ve güvenilir bir kaynak olarak önemini koruduğunu göstermektedir (Our World in Data, 2025).

Energy Institute'un Dünya Enerji İstatistikleri verilerine göre, ülkelerin hidroelektrik enerji tüketimleri belirgin farklılıklar göstermektedir. 2022 yılı itibarıyla toplam hidroelektrik enerji tüketimi yaklaşık 4,06 exajoule olarak tespit edilmiştir. 1965-2022 yılları arasındaki ortalama yıllık tüketim ise 100,57 exajoule seviyesinde yer almıştır. Bu veriler, hidroelektrik enerjinin yıllar içinde değişen bir kullanım grafiği sergilediğini ve enerji sektöründe önemli bir yere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak verilerin toplam büyüme oranı incelendiğinde, -%90,22 gibi bir azalma yaşandığı gözlemlenmektedir. Bu durum, bazı ülkelerin fosil yakıt ya da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiğini işaret etmektedir.

Son 10 yıllık dönemde hidroelektrik enerji tüketiminde -%9,69 gibi negatif bir büyüme oranı kaydedilmiştir. Bu düşüş, hidroelektrik enerji üretiminde küresel olarak bir yavaşlamayı göstermektedir. Hidroelektrik enerji santrallerinin bakım maliyetleri, çevresel etkiler ve iklim değişikliği sebebiyle azalan su kaynakları gibi faktörler bu azalmanın başlıca sebepleri arasında yer almaktadır. Hidroelektrik enerji tüketimindeki farklılıklar, ülkelerin ekonomik yapıları ve enerji politikaları ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek tüketim gösteren ülkelerde hidroelektrik enerjiye yönelik teşvikler ve altyapı projeleri büyük önem taşırken, düşük tüketim gösteren ülkelerde bu tür projelere yeterli finansman sağlanamamaktadır.

1.2.2.2.Güneş Enerjisi

Dünyanın en önemli enerji kaynağı olarak kabul edilmekte ve birçok yenilenebilir enerji kaynağının kaynağı olarak bilinmektedir. Bir yıl içerisinde yeryüzüne düşen güneş enerjisinin, dünyadaki tüm fosil yakıt rezervlerinden elde edilebilecek enerjinin yaklaşık 15-20 katı kadar olabileceği bilinmektedir (İncecik, 2008: 27).

Ayrıca güneş enerjisi dünyanın her yerinde bulunduğundan yenilenebilir enerji kaynakları arasında farklı bir anlam taşımaktadır. Antik çağlardan günümüze kadar kullanılan güneş enerjisinin bugünkü haliyle ilk kullanımı 18. yüzyılda birçok alanda ve biçimde başlamış, bazı dönemlerde kesintiye uğrasa da günümüze kadar gelişimini sürdürmüştür (Kaplukan, 2014: 73-74).

Güneş enerjisinin ilk kullanımı oldukça eskilere dayanır ve tek bir kişiye veya tarihe indirgenemez. Farklı uygarlıklar ve kültürler, farklı zamanlarda güneş enerjisinden çeşitli şekillerde yararlanmışlardır: Antik Yunan ve Roma'da MÖ 3. yüzyılda Yunanlılar ve Romalılar, güneş ışığını binaları ısıtmak için aynalar kullanmışlardır. Kuzey Amerika'daki bazı Kızılderili kabileleri, güneş ışığını kurutma raflarında yiyecekleri kurutmak için kullanmışlardır. Mısırlılar, güneş ışığını yiyecek pişirmek için kullandıkları güneş fırınları yapmışlardır. Antik Yunanlılar, güneş ışığıyla çalışan su ısıtma sistemleri geliştirmişlerdir. 1839'da Alexandre Edmond Becquerel, güneş ışığının elektrik üretmek için kullanılabileceğini keşfetmiştir. 1883'de Charles Fritts, ilk güneş pili olarak kabul edilen selenyum bazlı bir güneş pili üretmiştir. 1954'de ilk ticari güneş pili, Bell Labs tarafından geliştirilmiştir.

Güneş enerjisinin modern kullanımı 20. yüzyılda hız kazanmıştır. Petrol fiyatlarının artması ve çevresel kaygılar, güneş enerjisine olan ilgiyi artırmıştır. Günümüzde, güneş enerjisi elektrik üretimi, su ısıtma, binaları ısıtma ve soğutma gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

2000'li yılların başında güneş enerjisinin kullanımı oldukça sınırlıydı. 2000 yılında küresel güneş enerjisi üretim kapasitesi yaklaşık 1,5 GW idi. Bu dönemde güneş panelleri ve diğer güneş enerjisi teknolojileri pahalılığını korumaktaydı, dolayısıyla güneş enerjisi üretimi genellikle özel projelerle sınırlıydı. 2010'lu yılların başında güneş enerjisi üretim kapasitesi hızla artmaya başladı. 2010 yılında küresel güneş enerjisi üretim kapasitesi yaklaşık 40 GW iken, 2015 yılında bu kapasite yaklaşık 227 GW'a ulaştı. 2010'lu yılların sonunda güneş enerjisinin maliyeti önemli ölçüde düştü ve 2019 yılında küresel güneş enerjisi üretim kapasitesi yaklaşık 580 GW'a ulaştı. 2020 yılında küresel güneş enerjisi üretimi 710 GW'ı aştı ve 2023 yılında küresel güneş enerjisi üretimi yaklaşık 1,2 terawatt'a (TW) ulaşmıştır. Aynı zamanda güneş enerjisi üretiminin 2030 yılına kadar önemli ölçüde büyümeye devam etmesi beklenmektedir. IEA'nın (Uluslararası Enerji Ajansı) tahminlerine göre küresel kurulu güneş enerjisi kapasitesinin 2030 yılına kadar 3 terawatt'a ulaşması bekleniyor. Bu gelişmeler, güneş enerjisinin küresel enerji karışımında giderek artan bir paya sahip olduğunu ve gelecekte de önemli bir rol oynamaya devam edeceğini göstermektedir.

Güneş enerjisinden üretilen enerjinin sektörel dağılımı, güneş enerjisinin kullanım alanına ve sektörün ihtiyaçlarına göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak güneş enerjisinden aşağıdaki alanlarda yararlanılmaktadır:

Bireysel evler için elektrik üretmek amacıyla çatıya monte edilen güneş panelleri yaygın bir kullanım alanıdır. Bu enerji evsel elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Endüstriyel tesisler ve ticari binalar, güneşin gücünden yararlanır ve büyük ölçekli güneş enerjisi sistemleri kurarak enerji maliyetlerini azaltır. Büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri, ulusal enerji şebekesine bağlanarak genel elektrik arzına katkıda bulunur. Güneş enerjili sulama pompaları özellikle tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler enerji maliyetlerini düşürür ve kırsal alanlarda enerjiye erişimi artırır. Sera ısıtma ve aydınlatmasında güneş enerjisinden yararlanılmaktadır.

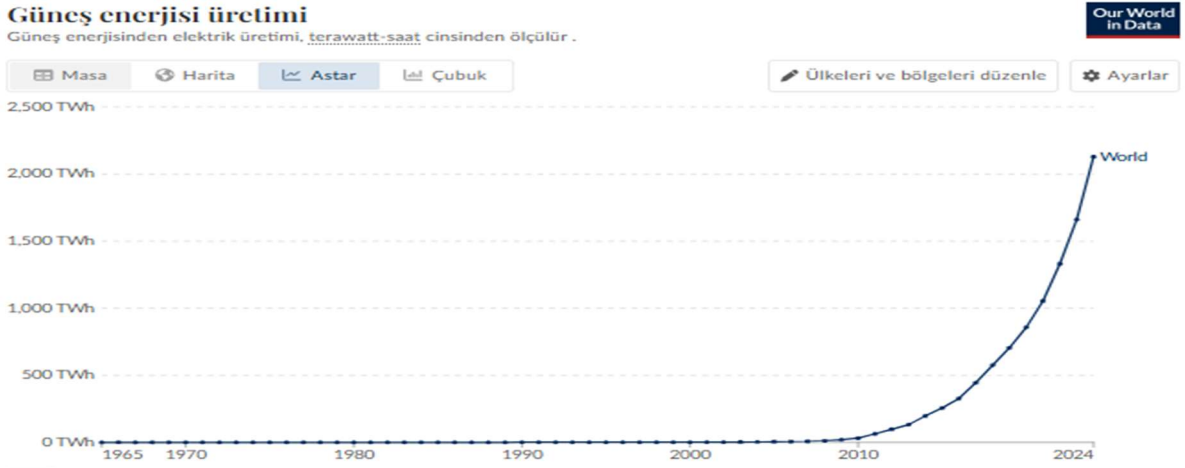
Endüstriyel tesislerde, özellikle enerji yoğun endüstrilerde güneş enerjisinin kullanımı yaygındır. Bu enerji üretim sürecini desteklemek için kullanılabilir. Bazı sanayi kuruluşları, üretim süreçlerinde doğrudan güneş enerjisini kullanarak sürdürülebilirlik hedeflerini

desteklemektedir. Elektrikli araç şarj istasyonlarında güneş enerjisi kullanılmakta ve bu alanda giderek büyüyen bir trend haline gelmektedir. Bazı yenilikçi projeler güneş arabaları geliştirmeye odaklanmaktadır.

Sokak aydınlatması, trafik ışıkları gibi altyapı projelerinde güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Devlet binaları ve kamu hizmeti sağlayan diğer binaların güneş enerjisiyle donatılması, enerji maliyetlerini düşürmekte ve çevresel etkiyi azaltmaktadır. Güneş enerjisi, denizcilik sektöründe su arıtma, aydınlatma ve diğer enerji ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, taşınabilir cihazların şarj edilmesi, uzak bölgelerde enerji temini gibi çeşitli mobil uygulamalarda kullanılmaktadır.

Çin, ABD, Hindistan, Avustralya, İspanya, Mısır, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkeler güneş enerjisi açısından avantajlı ülkeler arasındadır. Çin, dünyanın en büyük kurulu güneş enerjisi üretim kapasitesine sahip ülkesidir. 2023 yılına gelindiğinde Çin'in kurulu güneş enerjisi kapasitesi yaklaşık 700 GW'a yaklaşmıştır. Çin, büyük ölçekli güneş enerjisi çiftliklerine ve güneş enerjisi üretim tesislerine yoğun yatırım yapmaktadır. Tengger Çölü'ndeki "Büyük Güneş Duvarı" ve diğer dev güneş enerjisi santralleri gibi dev projeler de bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, özellikle Kaliforniya, Arizona ve Nevada gibi güneş enerjisi açısından zengin eyaletlerde önemli yatırımlar yapılıyor. 2023 yılına gelindiğinde ABD'nin güneş enerjisi kapasitesi 170 gigawatt'a ulaşmıştır. Ivanpah Güneş Enerjisi Sistemi ve Hindistan'ın Mojave Çölü'ndeki Topaz Güneş Çiftliği gibi büyük projeler, yenilenebilir enerji kapasitelerini artırmak için önemli yatırımlar bulunmaktadır. 2023 yılına gelindiğinde Hindistan'ın kurulu güneş enerjisi kapasitesi 96 GW'a yakın olması ulaşmıştır. Başlıca projeler arasında Rajasthan'daki Bhadla Güneş Parkı (2,2 GW) ve Gujarat'taki Kurnool Ultra Büyük Güneş Parkı yer almaktadır. Avustralya, kişi başına düşen güneş enerjisi yatırımı açısından dünya liderlerinden biridir. 2023 yılına kadar ulusal güneş enerjisi kapasitesi 35 GW'a ulaşmıştır. Almanya, güneş enerjisi üretim kapasitesi açısından Avrupa'nın önde gelen ülkelerindendir. Almanya'nın 2023 yılı itibarıyla yaklaşık 80 GW kurulu güneş enerjisi kapasitesi bulunmaktadır. Birleşik Arap Emirlikleri'nin büyük ölçekli güneş enerjisi projelerine yatırım yapmakta iken, Almanya genellikle küçük ve orta ölçekli güneş enerjisi sistemlerine yatırım yapmaktadır. 2023 yılı itibarıyla BAE'nin kurulu güneş enerjisi kapasitesi yaklaşık 5 GW olacaktır. Dubai'deki Muhammed bin Rashid Al Maktoum Güneş Parkı, dünyanın en büyük güneş enerjisi santrallerinden biridir. Suudi Arabistan, Vizyon 2030 planı çerçevesinde yenilenebilir enerjiye büyük yatırımlar yapmaktadır. 2023 yılı itibarıyla ülkenin güneş enerjisi kapasitesi hızla artmaktadır. Noor Solar Project ve Sakaka PV IPP gibi projeleri vardır.

Şekil 15: Dünyada 1965-2024 Yılları Arasında Dünya Güneş Enerjisi Üretimi.



Kaynak: <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 15 incelendiğinde, güneş enerjisi üretiminin uzun yıllar boyunca oldukça sınırlı kaldığı, ancak özellikle 2010 sonrası dönemde çok hızlı bir artış sürecine girdiği görülmektedir. Bu keskin yükseliş, güneş teknolojilerindeki maliyet düşüşleri, devlet teşvikleri ve yenilenebilir enerji politikalarının yaygınlaşmasıyla yakından ilişkilidir. 2015 sonrası dönemde artışın daha da hızlanması, güneş enerjisinin küresel enerji sisteminde kısa sürede önemli bir üretim kaynağı haline geldiğini göstermektedir. Genel olarak bu eğilim, güneş enerjisinin yenilenebilir enerji dönüşümünde en hızlı büyüyen kaynaklardan biri olduğunu ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

Şekil 16: 1965-2024 Yılları Arası Dünya Güneş Enerjisi Tüketimi



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-consumption-from-solar?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 16 incelendiğinde, güneş enerjisinden elde edilen birincil enerji tüketiminin 1965'ten 2000'li yılların sonuna kadar oldukça sınırlı düzeylerde kaldığı görülmektedir. Bu durum, güneş enerjisi teknolojilerinin uzun süre yüksek maliyetli olması ve yaygın kullanım alanı bulamamasıyla ilişkilendirilebilir. Ancak 2010 sonrası dönemde teknoloji maliyetlerinin düşmesi, destekleyici enerji politikaları ve yatırımların artmasıyla birlikte güneş enerjisi tüketiminde çok hızlı bir yükseliş yaşanmıştır. Özellikle son on yılda gözlenen bu keskin artış, güneş enerjisinin küresel enerji sisteminde giderek daha önemli bir birincil enerji kaynağı haline geldiğini göstermektedir (Our World in Data, 2025).

1.2.2.3.Biyokütle Enerjisi

Ağaçlar, bitkiler, hayvan artıkları ve orman ürünleri gibi doğal kaynaklardan elde edilen bir enerji kaynağıdır (Yaman, 2007: 261). Başka bir deyişle, toprak ve su kaynaklarında bulunan hızla yenilenen bitki türlerinin, evsel katı atıkların, orman ürünlerinin kullanımından kaynaklanan atıkların ve gıda atıklarının sonucu ortaya çıkan enerji türüdür (Bayraç, Özarslan, 2018: 2).

Tahıl ürünleri, özel olarak yetiştirilen bitkiler, çimen, yosun, deniz yosunu, hayvan dışkısı, gübre, endüstriyel atıklar ve hatta evlerden atılan tüm organik atıklar (meyve ve sebze artıkları) da biyokütle kaynaklarını oluşturmaktadır (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), 2023).

Farklı uygarlıklar ve kültürler, farklı zamanlarda biyokütleyi enerji kaynağı olarak çeşitli şekillerde kullanmışlardır. Mısırlılar, Romalılar, Yunanlılar ve diğer antik uygarlıklar evleri ve binaları ısıtmak ve aydınlatmak için odun ve diğer biyokütle kaynaklarını kullanmışlardır. Orta Çağ'da, hayvan gübresi ve diğer organik maddeler gübre olarak kullanılmıştır.

18. yüzyılda, James Watt buhar makinesini icat etmesi ile birlikte buhar makineleri fabrikalarda ve ulaşımda kullanılmaya başlanmıştır. Buhar makineleri genellikle odun veya kömür gibi biyokütle ile çalıştırılmıştır. 19. yüzyılda, biyokütle yakılarak çalışan elektrik santralleri kurulmaya başlanmıştır.

Biyokütle enerjisinin ilk kullanımı hakkında kesin bir bilgi olmasa da, arkeolojik bulgular ve tarihi kayıtlar, biyokütle kullanımının insan tarihinde oldukça eski olduğunu göstermektedir. Modern enerji sistemlerinde biyokütle; elektrik enerjisi üretimi, termal ısıtma-soğutma çevrimleri ve ulaşım sektörü gibi geniş bir yelpazede stratejik bir kaynak olarak

değerlendirilmektedir. Çeşitli biyokütle hammaddeleri, gelişmiş transformasyon teknolojileri aracılığıyla fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek katı, sıvı veya gaz formundaki yakıtlara dönüştürülmektedir. Bu süreçlerin neticesinde birincil ürün olarak biyodizel, biyoetanol ve biyogaz gibi sürdürülebilir enerji taşıyıcıları elde edilirken; eş zamanlı olarak hidrojen ve organik gübre gibi ekonomik değeri yüksek yan ürünlerin üretimi de gerçekleştirilmektedir

Bu bağlamda küresel biyokütle enerji üretimine bakıldığında ABD %46 ile ilk sırada yer alırken, onu %24 ile Brezilya takip etmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 18). Birçok ülke biyokütleden modern enerji üretimine sahiptir. Bunlar Finlandiya, İsveç, Fransa, Almanya, Avusturya, Çin, Hindistan, Brezilya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi biyokütle enerjisi altyapısını geliştiren ve teşvik edici politikalar uygulayan ülkelerdir (Saraçoğlu, 2017: 142). Bu ülkeler, ormansal ve tarımsal kaynaklara dayalı biyokütle enerjisi üretimi alanında gelişmekte ve uyguladıkları politikalarla küresel biyokütle sektörünün işleyişinde önemli bir konuma sahip olmaktadır.

2000'li yılların başında biyokütle enerjisi, toplam küresel enerji üretiminin yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. Ancak bu dönemde gelişmekte olan ülkeler biyokütle enerjisinden ağırlıklı olarak odun ve bitkisel atıklar gibi geleneksel yöntemlerle yararlanmışlardır. 2010 yılına gelindiğinde biyoyakıt, biyogaz ve biyokütle enerji santralleri gibi modern biyokütle enerji kaynaklarının kullanımında artış yaşanmıştır. Bu, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika gibi bölgelerde çevresel kaygılar ve yenilenebilir enerji politikaları nedeniyle gerçekleşmektedir. 2010-2020 seneleri arasında biyokütle enerjisinin kullanımı önemli ölçüde arttı. 2015 yılında biyokütle enerjisi küresel enerji arzının yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır. Biyokütle enerjisi, özellikle Avrupa Birliği'nde (AB) yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Birçok ülke fosil yakıtların yerine geçmek ve karbondioksit emisyonlarını azaltmak için biyokütle enerjisini teşvik etmektedir. 2020'li yıllarda biyokütle enerjisi, küresel enerji üretiminin sürdürülebilir bir kaynağı olarak giderek daha fazla benimsenmeye başlanmıştır. Özellikle karbon nötrlüğü hedeflerine ulaşmak isteyen ülkeler, enerji karışımlarına biyokütle enerjisini dahil etmişlerdir.

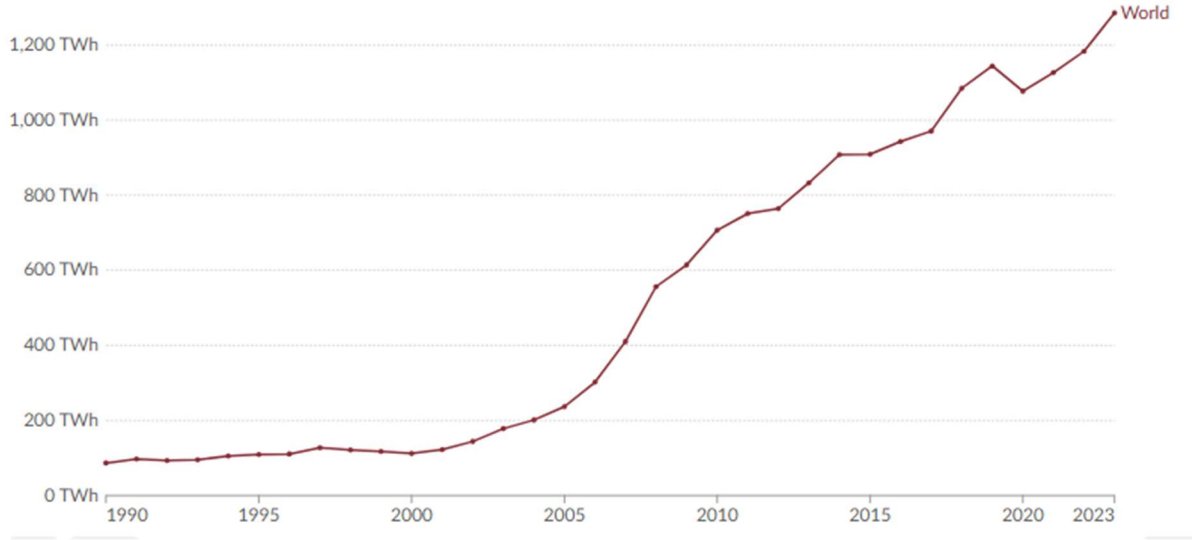
2022 yılına gelindiğinde biyokütle enerjisi, toplam küresel yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık %8-10'unu oluşturmaktadır. Bu oran, yenilenebilir enerji üretiminde güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynaklarının yanı sıra biyokütlenin de önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Biyokütle enerjisinin sektörel dağılımı bölgeye ve ülkeye göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, bazı ülkelerde biyokütle enerjisi öncelikle elektrik üretimi için kullanılırken, diğer

ülkelerde biyokütle enerjisi öncelikle ısıtma veya biyoyakıt üretimi için kullanılabilir. Ancak genel anlamda biyokütle enerjisinin en büyük payının elektrik üretimi ve ısıtma sektörlerinde olduğu söylenebilir.

Biyokütle enerjisinde avantajlı olan ülkeler, biyokütle kaynaklarının bolluğu, geniş tarım ve orman alanları, teknolojik altyapı, enerji politikaları ve biyoyakıt üretiminde uzmanlaşmış endüstriler gibi çeşitli faktörler nedeniyle öne çıkmaktadır. Bu ülkeler arasında Brezilya, ABD, Almanya, Çin, Kanada, İsveç, Finlandiya ve Endonezya yer almaktadır. AB biyokütle enerjisine büyük yatırımlar yapmaktadırlar. Avrupa Yeşil Anlaşması kapsamında, biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynaması beklenmektedir. AB fonları, biyokütle Ar-Ge projeleri, biyokütle enerji santralleri ve biyoyakıt üretim tesisleri için önemli miktarda finansman sağlamaktadır. Çin, enerji ihtiyacını karşılamak ve karbon emisyonlarını azaltmak için biyokütle enerjisine önemli yatırımlar yapmaktadır. Çin hükümeti biyokütle enerjisi üretimini artırmaya yönelik teşvik ve destek programları uygulamaktadır. Hindistan biyokütle enerjisine yatırımları artırmakta ve enerji çeşitliliğini sağlamak için biyokütleye dayalı projeler geliştirmektedir. Hükümet, biyokütle enerjisinin gelişimini teşvik etmek amacıyla çeşitli finansman ve destek programları uyguluyor ve Kanada, orman ürünleri endüstrisinin bir yan ürünü olan biyokütle enerjisine önemli yatırımlar yapmaktadır. Güneydoğu Asya ülkeleri büyük biyokütle enerjisi potansiyeline sahiptir. Özellikle palmye yağı üretimi sırasında oluşan atıklardan biyoyakıt üretimi bu ülkelerde yaygınlaşmıştır.

Avustralya özellikle orman ürünleri ve tarımsal atıkların biyokütle enerjisi sektöründe kullanılmasıyla ilgilenmektedir. Ülke biyokütle enerjisini artırmak için stratejik yatırımlar yapmaktadır. Bu ülkeler biyokütle enerjisine yapılan yatırımlarla hem enerji üretiminde çeşitlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır. Yatırımlar genellikle biyokütle enerji santralleri, biyoyakıt üretim tesisleri ve biyokütle araştırma ve geliştirme projelerine odaklanmaktadır. 2022 yılına gelindiğinde biyokütle enerjisi, toplam küresel enerji arzının yaklaşık %8-10'unu oluşturacaktır. Bu oran biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji içerisinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Biyokütle enerjisi üretimi son yıllarda artış göstermiştir. Bu büyüme, yenilenebilir enerjiye olan talebin artması ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma çabalarıyla bağlantılıdır. Özellikle biyokütle enerji santralleri ve biyoyakıt üretimine yönelik yatırımlar artırılmaktadır.

Şekil 17: Dünyada 1990-2023 Yılları Arasında Dünya Biyokütle Enerjisi Üretimi.



Kaynak: <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 17 incelendiğinde, biyokütle enerjisi üretiminin 1990–2023 döneminde genel olarak istikrarlı bir artış eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. 1990’lı yıllarda üretim görece sınırlı bir seviyede seyrederken, 2000’li yılların ortalarından itibaren biyokütlenin yenilenebilir enerji politikaları kapsamında daha fazla değerlendirilmesiyle birlikte artış hız kazanmıştır. Özellikle 2010 sonrası dönemde üretimdeki yükseliş daha belirgin hale gelmiş ve biyokütle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir tamamlayıcı unsur olarak öne çıkmıştır. Bu eğilim, biyokütlenin atıkların değerlendirilmesi ve enerji çeşitliliğinin artırılması açısından küresel enerji sisteminde kalıcı bir rol üstlendiğini göstermektedir (Our World in Data, 2025).

Avrupa, biyokütle enerjisi üretiminde önde gelen bölgelerden biridir. Almanya, İsveç ve Finlandiya gibi Avrupa ülkeleri biyokütle enerjisini elektrik, ısı ve biyoyakıt üretmek için kullanmaktadırlar. AB, biyokütle enerjisi projelerini teşvik etmek için çeşitli destek programları sunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada biyokütle enerjisi üretiminde önemli oyuncular. Amerika Birleşik Devletleri büyük ölçekte biyoetanol ve biyodizel üretmekte, Kanada ise orman atıklarından enerji üretiminde güçlü bir varlığa sahiptir. Çin, Hindistan ve Endonezya gibi ülkeler biyokütle enerjisi üretimi açısından büyük potansiyele sahiptir. Çin, özellikle biyogaz üretimi ve tarımsal atıkların enerji üretiminde kullanılması konusunda ilerleme kaydetmektedir. Endonezya ve Malezya, biyoyakıt üretmek için palmiye yağı atıklarını kullanmaktadırlar.

1.2.2.4.Rüzgâr Enerjisi

En eski yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Günümüzde en çok kullanılan enerji üretim teknolojilerinden biri olarak kabul edilen rüzgâr enerjisi büyük önem taşımaktadır (Apaydın vd., 2009: 103).

Rüzgâr enerjisi, rüzgârın kuvvetli olduğu yerlere kurulan ve havadaki belirli bir enerji döngüsü sonucunda elektrik üreten rüzgâr türbinleri aracılığıyla elde edilmektedir (Avcı, 2009: 61). Rüzgâr enerjisinin tarihine baktığımızda, geçmişte farklı amaçlarla kullanıldığı görülmektedir. Rüzgâr, başlangıçta deniz taşımacılığında, yelkenli gemilerde, daha sonra tahıl öğütmede ve su pompalarında, yel değirmenleri şeklinde de enerji kaynağı olarak kullanılmıştır (Kaplukan, 2007: 185).

Rüzgâr enerjisinden ilk elektrik üretimi 1888 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde bir yel değirmeninden elde edilmiştir (Erdoğan, 2015: 49). İlk rüzgâr türbininden elektrik üretimi ise 1891 yılında Danimarka'da gerçekleştirilmiştir.

2000 yılında rüzgâr enerjisi küresel elektrik üretiminin yaklaşık %0,5'ini oluşturmaktadır. Bu dönemde rüzgâr enerjisi sektörü henüz başlangıç aşamasındaydı ve sınırlı bir paya sahiptir. 2010 yılında rüzgâr enerjisi toplam elektrik üretiminin yaklaşık %2,5'ini oluşturmuştur. Bu dönemde özellikle Avrupa ve ABD'de rüzgâr enerjisi yatırımı ve üretim kapasitesi artmıştır. 2015 yılı itibarıyla rüzgâr enerjisinin toplam küresel elektrik üretimi içindeki payı yaklaşık %4,8 düzeyindedir. Bu dönemde rüzgâr enerjisi sektörü hızlı bir büyüme göstererek birçok ülkede önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. 2020 yılında rüzgâr enerjisi toplam elektrik üretiminin yaklaşık %7,5'ini oluşturmaktadır. Bu büyüme, rüzgâr enerjisi teknolojisindeki ilerlemeler, düşen maliyetler ve artan küresel yenilenebilir enerji hedefleriyle bağlantılıdır.

2021 ve 2022'de rüzgâr enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payı %8,5-9,0 arasında değişmesi beklenmektedir. Bu dönemde küresel rüzgâr enerjisi üretimi hızla yaygınlaşmış ve birçok ülke elektrik üretiminde rüzgâr enerjisini kullanmaya başlamıştır. Rüzgâr enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payının önümüzdeki yıllarda da artmaya devam etmesi beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve diğer enerji araştırma kuruluşları, rüzgâr enerjisinin toplam elektrik üretimi içindeki payının 2030 yılına kadar %10-15'e çıkabileceğini öngörmektedir.

Rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin sektörel dağılımı, enerjinin hangi alanlarda kullanıldığını ve hangi sektörlerde daha yaygın olduğunu göstermektedir. Rüzgâr enerjisi, başlıca elektrik üretimi amacıyla kullanılsa da sektörel dağılımda bazı belirgin eğilimler mevcuttur: Elektrik üretimi, ısıtma, endüstriyel kullanım, ulaşım bu sektörler arasındadır.

Rüzgâr enerjisinde avantajlı olan ülkeler genellikle rüzgâr enerjisi potansiyeli büyük olan, rüzgâr enerjisi teknolojisini geliştiren ve bu alana yoğun yatırım yapan ülkelerdir. Bu avantajlar coğrafi konum, rüzgâr hızı, teknik altyapı ve enerji politikası gibi faktörler tarafından belirlenmektedir. Danimarka, Almanya, İspanya, ABD, Birleşik Krallık, Hollanda, Çin, Türkiye ve Brezilya bu ülkeler arasındadır.

Ørsted ve Vestas gibi büyük rüzgâr enerjisi şirketleri Danimarka'nın rüzgâr enerjisi altyapısının önemli bir parçasını oluşturuyor ve Almanya, rüzgâr enerjisine büyük ölçekli yatırım yapıyor. İspanya rüzgâr enerjisi sektöründe önemli yatırımlar yapmaktadır. Ülke, rüzgâr enerjisi projelerinin yanı sıra rüzgâr türbini üretiminde de önemli rol oynamaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri rüzgâr enerjisi üretim kapasitesini artırmak için yoğun yatırım yapmaktadır. Özellikle Ortabatı ve kıyı bölgelerinde birçok rüzgâr enerjisi projesi hayata geçirilmiştir. Birleşik Krallık, deniz üstü (offshore) rüzgâr projelerinde küresel bir liderdir ve bu alana yoğun yatırımlar yapmaktadır.

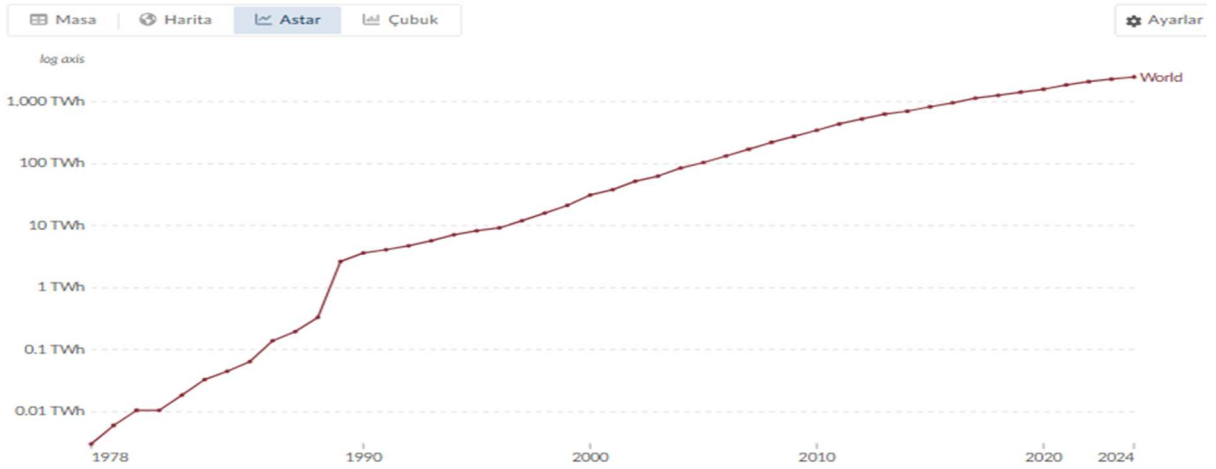
Hollanda rüzgâr enerjisi sektörüne yoğun yatırım yaparak rüzgâr enerjisi üretim kapasitesini artırmaktadır. Küresel rüzgâr enerjisi projeksiyonlarında deniz üstü (offshore) projelere yönelik eğilim hız kazanırken; Çin, rüzgâr enerjisi kurulu gücünü maksimize etmek amacıyla bu alanda yoğun sermaye yatırımları gerçekleştirmekte ve dünya genelindeki pazar liderliğini pekiştirmektedir. Benzer bir stratejik yaklaşımla Türkiye de rüzgâr enerjisi açısından sahip olduğu yüksek potansiyeli değerlendirmek ve üretim kapasitesini genişletmek adına sektörel yatırımlarını çeşitlendirerek, küresel rüzgâr enerjisi piyasasındaki rekabetçi konumunu güçlendirmeye devam etmektedir. Rüzgâr enerjisi projeleri. Brezilya, rüzgâr enerjisi projelerine yatırım yaparak enerji üretiminde çeşitlilik sağlamaktadır. Çin, dünyanın en büyük rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesine sahip ülkesidir. 2023 yılı itibarıyla Çin'in kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi 400 GW'ı aşmıştır. Amerika Birleşik Devletleri, 2023 yılına kadar yaklaşık 150 GW'a ulaşan kurulu kapasiteyle devasa bir rüzgâr enerjisi üretim kapasitesine sahiptir. Danimarka gelişmiş rüzgâr enerjisi kapasitesine sahiptir ve 2023 yılına kadar yaklaşık 10 GW kurulu güce ulaşacaktır.

2023 yılında Almanya'nın rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesi yaklaşık 75 GW olacaktır. İspanya, 2023 yılına kadar yaklaşık 30 GW kurulu kapasiteye ulaşacak kadar büyük bir rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesine sahiptir. İngiltere'nin kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi 2023 yılına kadar yaklaşık 25 GW olacaktır. Hollanda rüzgar enerjisi 2023 yılına kadar yaklaşık 7 GW Kurulu güce sahip olacak. 2023 yılında Türkiye'nin rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi yaklaşık 11 GW olacaktır. Brezilya'nın kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi 2023 yılına kadar yaklaşık 20 GW olacak.

Şekil 18: Dünyada 1978-2024 Yılları Arasında Dünya Rüzgâr Enerjisi Üretimi.

Rüzgar enerjisi üretimi

Rüzgar enerjisinden yıllık elektrik üretimi, terawatt-saat (TWh) cinsinden ölçülür. Bu, hem karasal hem de denizel rüzgar enerjisini kapsar. Açık deniz rüzgar kaynakları.



Kaynak: <https://ourworldindata.org/grapher/wind-generation?tab=line&country=~OWID>
WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

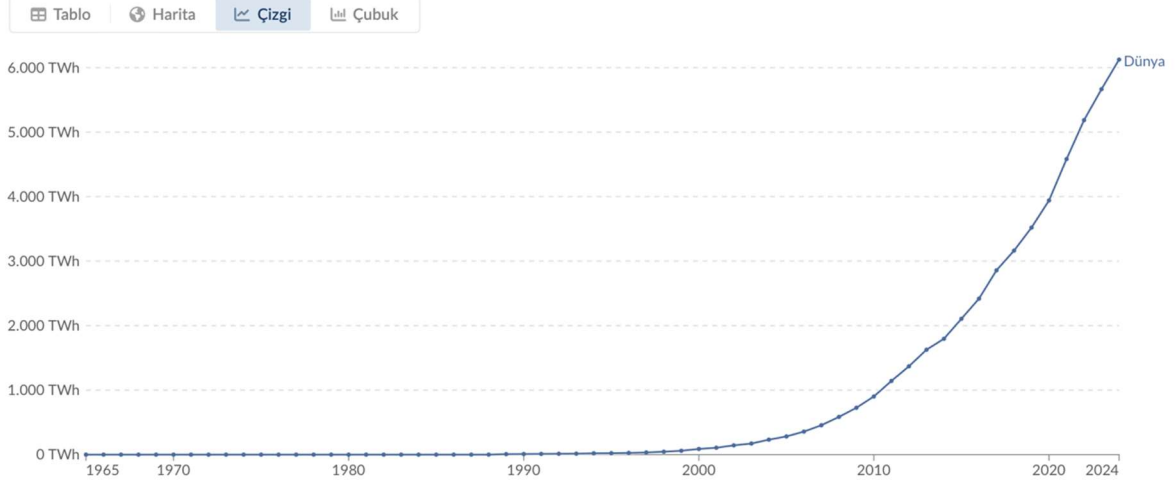
Şekil 18'e bakıldığında, rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin 1970'li yılların sonlarından itibaren çok düşük düzeylerde başladığı, ancak özellikle 1990'lı yıllardan sonra istikrarlı bir artış eğilimine girdiği görülmektedir. 2000'li yıllarla birlikte rüzgâr enerjisi teknolojilerindeki gelişmeler, yatırım maliyetlerinin azalması ve yenilenebilir enerjiye yönelik politikaların yaygınlaşması üretimi belirgin biçimde hızlandırmıştır. 2010 sonrası dönemde artış daha güçlü bir ivme kazanmış ve rüzgâr enerjisi küresel elektrik üretimi içinde giderek daha önemli bir kaynak haline gelmiştir. Bu genel görünüm, rüzgâr enerjisinin dünya enerji dönüşümünde temel ve kalıcı bir rol üstlendiğini göstermektedir (Our World in Data, 2025).

Şekil 19: 1965-2024 Dünya Rüzgâr Enerji Tüketimi

Rüzgardan kaynaklanan birincil enerji tüketimi

Birincil enerji ikame yöntemine dayanır ve terawatt-saat cinsinden ölçülür.

Our World
in Data



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-wind?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 19 incelendiğinde, rüzgâr kaynaklı birincil enerji tüketiminin 1965'ten 2000'li yılların başına kadar oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Ancak 2000 sonrası dönemde rüzgâr enerjisine yapılan yatırımların artması, teknolojik gelişmeler ve yenilenebilir enerjiye yönelik politikaların güçlenmesiyle birlikte tüketimde hızlı bir yükseliş yaşanmıştır. Özellikle 2010 sonrasında bu artış belirgin biçimde hızlanmış ve rüzgâr enerjisi küresel enerji tüketimi içinde önemli bir konuma ulaşmıştır. Bu genel eğilim, rüzgâr enerjisinin temiz enerji dönüşümünde giderek daha merkezi bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

1.2.2.5. Jeotermal Enerji

Yer altında bulunan termal etkinin etkisiyle yeraltı sularının ısınması ve bu ısınan suyun da yüzeye çıkmasıyla üretilen bir enerji türü olarak tanımlanmaktadır (Avcı, 2009: 57). Jeotermal enerjiden ilk olarak 20. Yüzyılın ortalarında faydalanılmaya başlanılmıştır. Dünya çapında ilk kullanımı 1827 yılında olmuş ancak ilk kez 1904 yılında doğal buhardan elektrik üretilmiş, 1930 yılında ise doğal sıcak su ısıtma amaçlı kullanılmaya başlanmıştır (Canik vd., 2000: 1).

Jeotermal enerjiye yönelik ilk büyük yatırımlar 1970'li ve 1980'li yıllarda gerçekleştirmiştir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri, İzlanda, İtalya ve Filipinler gibi

lkelerde jeotermal enerji tesislerinin inşasına başlandı. Bu dönemde kapalı devre jeotermal enerji sistemlerinin geliştirilmesiyle verimlilik artırılmıştır.

1990'lı yıllarda özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Filipinler ve Endonezya'da büyük jeotermal enerji santralleri inşa edilmiştir. Bu dönemde jeotermal enerjinin kullanımı dünya çapında, özellikle de gelişmekte olan ekonomilerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Jeotermal enerjiye olan ilgi 2000'li yılların başından itibaren artış göstermiştir. 2000 yılında küresel jeotermal enerji kurulu kapasitesi yaklaşık 8 GW iken, 2010 yılında 10 GW'a ulaşmıştır. Jeotermal enerji teknolojisi hem verimlilik hem de maliyet açısından ilerlemeler kaydetmiş ve bu da daha fazla ülkenin bu kaynağa yatırım yapmasına yol açmıştır. 2010'lu yıllarda küresel jeotermal enerji üretimi istikrarlı bir şekilde artmıştır. Kurulu güç 2010 yılında yaklaşık 10 GW iken, 2020 yılında yaklaşık 14 GW'a ulaşacaktır. Kenya, Türkiye ve Meksika gibi yeni oyuncular jeotermal enerjide önemli kapasite geliştirmişlerdir. Jeotermal enerjiye ilgi 2020'li yıllarda da devam etmektedir. 2023 yılı itibarıyla jeotermal enerjinin küresel kurulu kapasitesi 16 gigawatt'a yaklaşmış olup, jeotermal enerji her geçen gün daha fazla ülke tarafından keşfedilmeye devam etmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji hedefine sahip ülkeler jeotermal enerjiye yatırımlarını arttırmaktadır.

Jeotermal enerjinin en yaygın kullanımı elektrik üretmektir. Küresel jeotermal enerjinin yaklaşık %70-75'i elektrik üretiminde faydalanılmaktadır. Termik santrallerde jeotermal buhar ve sıcak su kullanarak jeotermal enerjiyi elektriğe dönüştürmek. Bu enerji santralleri genellikle yüksek sıcaklıktaki jeotermal alanlara kurulmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve İzlanda gibi ülkeler jeotermal enerjiden elektrik üretiminde önemli ülkelerdir. Jeotermal enerjinin yaklaşık %20-25'i doğrudan ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Doğrudan ısıtma, jeotermal enerjinin doğrudan kullanılabileceği ısıtma uygulamalarını içermektedir. Bu, bina ısıtması, sera ısıtması, su ürünleri yetiştiriciliği, endüstriyel işlemlerde ısı kullanımı vb. uygulamaları içerir. İzlanda'da jeotermal enerji binaları ısıtmak ve sıcak su sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde Türkiye, Japonya ve Çin gibi ülkelerde de direkt ısıtma uygulamaları yaygındır. Jeotermal enerji, jeotermal ısı pompaları ve yer altı ısıtmasından faydalanan bina ısıtma ve soğutma sistemlerinde de kullanılmaktadır. Bu alan jeotermal enerjinin daha düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmasıdır. Bu sistemler soğutma ve ısıtma çevrimleri için yer altı ısısından faydalanabilir ve enerji verimliliğini artırabilir. Toprak kaynaklı ısı pompaları konut ve ticari binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Çin ve diğer ülkeler toprak

kaynaklı ısı pompalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerdir. Endüstriyel uygulamalarda jeotermal enerjinin küçük bir kısmı (%5'ten az) kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında kurutma işlemleri, gıda işleme, kimyasal üretim ve maden çıkarma gibi endüstriyel faaliyetler yer almaktadır. Jeotermal enerji, endüstriyel proseslerde ısıya ihtiyaç duyan sektörlerde kullanılmaktadır ancak bu kullanım genellikle yerel ve spesifik ihtiyaçların karşılanmasına yöneliktir.

Jeotermal enerjide avantajlı olan ülkeler, yer altı yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar, volkanik aktivite, fay hatları gibi jeolojik koşullara sahip olan ülkelerdir. Ayrıca bu ülkeler teknolojik yetenekler, yatırım fırsatları ve enerji politikaları aracılığıyla jeotermal enerji potansiyelini kullanabilirler. Bu ülkeler arasında İzlanda, ABD, Filipinler, Endonezya, Kenya, Türkiye, İtalya, Meksika, Japonya ve Yeni Zelanda yer almaktadır.

Dünyanın en büyük jeotermal enerji üreticisi olan ABD, büyük yatırımlar yapmıştır. Özellikle Kaliforniya, Nevada ve Utah gibi eyaletlerde yeni jeotermal enerji santralleri inşa ediliyor. Federal ve eyalet düzeyindeki teşvikler, vergi indirimleri ve araştırma ve geliştirme desteği, jeotermal enerjiye yapılan yatırımı arttırmıştır. Gayzer Jeotermal Alanı dünyadaki en büyük jeotermal enerji üretim alanlarından biridir ve genişlemeye devam etmektedir. Filipinler, jeotermal enerjiye yoğun yatırım yaparak dünyanın önde gelen ülkelerinden biri haline gelmiştir. Jeotermal enerji, ülkenin elektrik üretiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Devlet, özel sektör ortaklığıyla jeotermal enerjiye yönelik teşvikler sağlıyor ve yeni alanların geliştirilmesini desteklemektedir. Leyte ve Mindanao'daki büyük jeotermal enerji santralleri ülkenin enerji ihtiyacının çoğunu karşılamaktadır. Dünyanın en büyük jeotermal potansiyeline sahip ülkelerinden biri olan Endonezya, bu alanda önemli yatırımlar yapmaktadır. Hükümet, jeotermal enerji projelerini teşvik etmek için özel sektöre mali destek ve teşvik sağlamaktadır. Sarulla Jeotermal Enerji Santrali dünyanın en büyük jeotermal enerji tesislerinden biri ve Endonezya'daki yatırımın önemli bir örneğidir. Türkiye son yıllarda jeotermal enerjiye yönelik yatırımları önemli ölçüde artırdı. Özellikle Aydın, Denizli ve Manisa bölgelerinde yeni jeotermal enerji santralleri inşa edilmiş ve mevcut kapasite artırılmıştır. Ayrıca seracılık ve şehir ısıtması gibi doğrudan ısıtma uygulamaları da desteklenmektedir. Kızıldere ve Germencik jeotermal enerji santralleri Türkiye'nin en büyük jeotermal enerji üretim tesisleri arasında yer almaktadır. Kenya, Afrika'da jeotermal enerjiye en büyük yatırımın yapıldığı ülke konumunda. Hükümet, Rift Vadisi'ndeki jeotermal kaynakları geliştirmek için yerel ve uluslararası finansmanı kullanmaktadır. Kenya'nın enerji ihtiyacının büyük bir kısmı jeotermal enerjiden

karşılanmaktadır. Olkaria Jeotermal Enerji Santrali, Afrika'nın en büyük jeotermal enerji üretim tesislerinden biridir. İzlanda jeotermal enerjiye yatırım konusunda önde gelen ülkelerden biridir. Ülkenin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı jeotermal ve hidroelektrik enerjiden karşılanmaktadır. İzlanda ayrıca kentsel ısıtma sistemlerinde de jeotermal enerjiyi yoğun olarak kullanmaktadır. Reykjavik'teki ısıtma sistemi, jeotermal enerji kullanılarak doğrudan ısıtma uygulamalarının en güzel örneklerinden biridir. İtalya, jeotermal enerji üretiminde uzun bir geçmişe sahip ve bu sektördeki yatırımları sürdürülebilir bir şekilde arttırmaktadır. Toskana bölgesinde yeni jeotermal enerji santralleri ve kapasite genişletme projeleri yapım aşamasındadır. Radrello jeotermal enerji santrali dünyanın en eski jeotermal enerji tesislerinden biridir ve İtalya'nın bu alandaki tarihi liderliğini göstermektedir. Meksika, jeotermal enerjiye yönelik yatırımları artırarak bu kaynağın enerji üretimindeki payını artırmaktadır. Ülke genelinde yeni jeotermal sahalar keşfediliyor ve enerji santralleri inşa edilmektedir. Monte Prieto jeotermal sahası, Meksika'daki en büyük jeotermal enerji üretim alanlarından biridir. Japonya'nın jeotermal enerjiye yatırım yapma potansiyeli olmasına rağmen bu konuda hala sınırlıdır. Ancak son yıllarda yenilenebilir enerjiye yönelik teşviklerin etkisiyle jeotermal enerjiye olan ilgi artmıştır. Beppu ve Hokkaido'daki yeni jeotermal enerji projeleri, Japonya'nın sektöre yatırımları artırdığını gösteriyor. Yeni Zelanda jeotermal enerji yatırımlarıyla dikkat çekmektedir. Ülke, jeotermal enerji kapasitesini artırarak sürdürülebilir enerji üretimine yönelik büyük bir adım atmıştır. Wairakei ve Kawerau jeotermal enerji santralleri Yeni Zelanda'nın bu alandaki en büyük yatırımlarıdır.

Amerika Birleşik Devletleri dünyanın en büyük jeotermal enerji üreticisidir. 2023 yılı itibarıyla ülkenin toplam jeotermal enerji kapasitesi 3.700 MW'ı aşmakta olup, toplam kapasite yaklaşık 1.900 MW ile küresel jeotermal enerji üretiminin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Filipinler'deki jeotermal enerji üretimi, toplam elektrik üretiminin yaklaşık %12'sini oluşturmaktadır. Endonezya, toplam 2.300 MW'ın üzerindeki üretim kapasitesiyle jeotermal enerji üretimi açısından dünyanın ikinci büyük üreticisidir. Hedef, 2030 yılına kadar kapasiteyi 6.000 MW'a çıkarmak. Türkiye, Jeotermal Enerji Üretimi Üretim kapasitesi son yıllarda hızla artarak 2023 yılında 1.700 MW'a ulaşmıştır. Türkiye dünyanın en çok jeotermal enerji üreten 5 ülkesinden biridir. Kenya, 2023 yılına kadar yaklaşık 1.000 MW'lık toplam enerji üretim kapasitesiyle Afrika'nın en büyük jeotermal enerji üreticisidir. Kenya, İzlanda küçük bir ülke olmasına rağmen elektrik üretiminin %50'sini jeotermal enerjiden sağlayarak bu alanda dünya liderlerinden biri haline gelmiştir. Kişi başı üretim verimliliği baz alındığında jeotermal enerji, dünyadaki en rasyonel enerji üretim yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır ve toplam

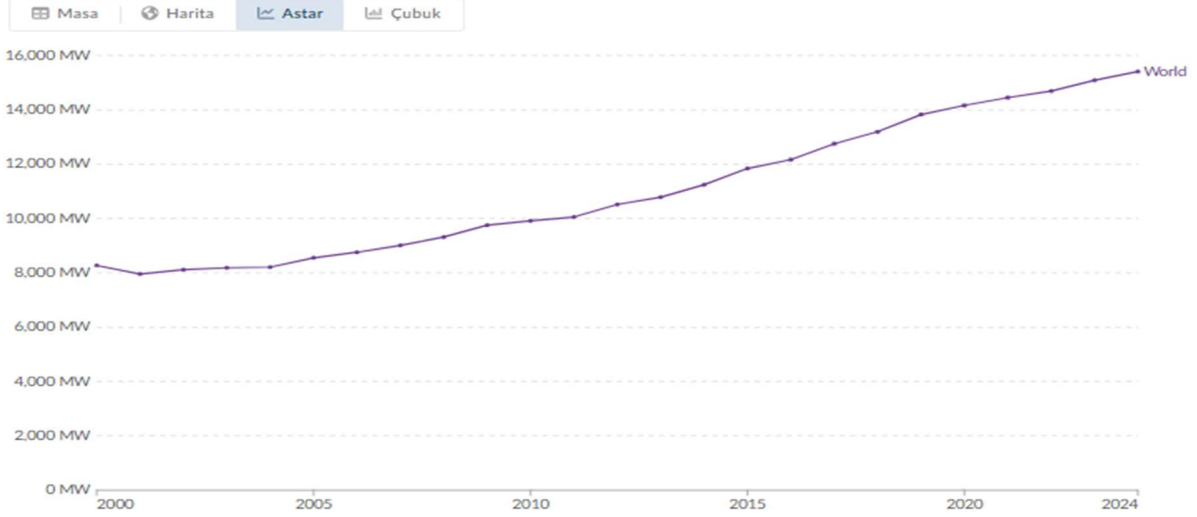
kurulu gücü takriben 750 MW civarındadır. İzlanda'nın elektrik üretiminin yaklaşık %25'i ve ısıtma ihtiyacının %90'ı jeotermal enerjiden sağlanmaktadır. Meksika, toplam 950 MW'ın üzerindeki kapasitesiyle jeotermal enerji üretiminde önemli bir oyuncudur. En Büyük Küresel üretimin önemli bir payını oluşturan en büyük jeotermal enerji üreticilerinden biridir. İtalya, toplam 900 MW'a yakın üretim kapasitesiyle dünyada jeotermal enerjiden yararlanan ilk ülkelerden biridir. İtalya, jeotermal enerji üretiminde uzun bir geçmişe sahiptir ve Avrupa'nın en büyük üreticilerinden biridir. Yeni Zelanda, toplam yaklaşık 1.000 MW üretim kapasitesiyle jeotermal enerji üretiminde önemli bir ülkedir. Büyük potansiyeline rağmen jeotermal enerji, Yeni Zelanda'nın elektrik üretiminin yaklaşık %17'sini oluşturmaktadır. Toplam kapasitesi 600 MW civarında olan Japonya, jeotermal enerjiyi artırmayı hedefliyor ancak potansiyeli nedeniyle bu alanın daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

Şekil 20: Dünyada 2000-2024 Yılları Arasında Dünya Jeotermal Enerjisi Üretimi

Kurulu jeotermal enerji kapasitesi

Jeotermal enerjinin toplam kurulu kapasitesi, megavat cinsinden ölçülmüştür.

Our World
in Data



Kaynak: https://ourworldindata.org/grapher/installed-geothermal-capacity?tab=line&country=~OWID_WRL (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 20 incelendiğinde, dünya genelinde jeotermal enerjinin yıllar içinde yavaş ama sürekli biçimde büyüdüğünü göstermektedir. Bu durum, jeotermalin sınırlı kullanım alanlarına rağmen uzun vadeli enerji politikalarında yerini koruduğunu ortaya koymaktadır (Our World in Data, 2025).

1.2.2.6.Dalga Enerjisi

Okyanus akıntıları ve okyanusların taşıdığı dalgaların, okyanusun belirli bölgelerine kurulan türbinlere bu dalgaların çarpması sonucu oluşan mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir (Kurt, 2021; 34). Dünyanın 3/4'ünün sularla kaplı olduğu dikkate alındığında suyun dünyanın en büyük enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Dalga enerjisi geleceğin bir enerji kaynağı olarak düşünülse de dalga hızlarındaki farklılık, deniz yüzeyine kurulan sistemlerin kurulum maliyeti, bakım maliyetlerinin yüksek olması gibi sorunlar dalga enerjisinin dezavantajları olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır (Erdal, 2011: 78). Dalga enerjisinin tarihine baktığımızda araştırmaların 1970'li yıllarda başladığını görülmektedir. İlk olarak fabrika ve ağır makinelerin işletilmesinde kullanılmış ve ilk patenti 1799 yılında Paris'te alınmıştır (Kurt, 2021: 34). Bu sistemlerin dezavantajları ise dalga enerjisi için kurulan sistemlerin dalgaları kırarak deniz suyunun dönüşümünü yavaşlatması, biyolojik yaşamı etkilemesi ve kayalıklardaki kurulumu ile görüntü ve gürültü kirliliğine neden olmaktadır. Bahsedilen dezavantajlarla karşılaştırıldığında yenilenebilir potansiyel, her türlü dalga oluşumunda enerji temini ve kıyı yerleşimlerinin enerji ihtiyacının karşılayabilmesi gibi avantajları, dezavantajlarından ağır basmaktadır. Bu nedenle son yıllarda yenilenebilir enerji alanında önemli bir yer edinmiştir.

2000'li yıllardan önce dalga enerjisi araştırmalarının çoğu araştırma ve geliştirme aşamasında kalmıştır. Bu dönemdeki projeler genellikle küçük ölçekli deneysel uygulamalardır. Dalga enerjisine olan ilgi, 2000'li yılların başından itibaren Avrupa (özellikle İskoçya, Portekiz) ve Avustralya gibi ülkelerde geliştirilen pilot projelerle artmıştır. Bu projeler, dalga enerjisinin pratik uygulamalarını ve teknik zorluklarını test etmek için tasarlanmıştır. 2010'lu yıllar boyunca dalga enerjisine daha fazla yatırım yapılmış ve teknoloji geliştikçe bu enerji kaynağının ticari potansiyele sahip olduğu kanıtlanmaya başlanmıştır. Ancak dalga enerjisinin toplam enerji üretimi içindeki payı hala düşüktür. Dalga enerjisi teknolojisine yapılan yatırımlar 2020'li yıllarda artarak devam etmektedir. AB özellikle dalga ve diğer okyanus enerjilerine finansman sağlamakta ve bu alanda çeşitli projeler geliştirmektedir. Bu dönemde bazı projeler başarıyla ticari ölçekli üretime geçti ancak toplam enerji üretimindeki payları oldukça sınırlı kalmıştır. Dalga enerjisinin yaygınlaşabilmesi için altyapı yatırımlarında, teknoloji geliştirmede ve maliyetlerin azaltılmasında ilerleme kaydedilmesi gerekmektedir.

Dalga enerjisinin ana kullanımı alanı elektrik üretimidir. Üretilen elektrik, deniz kenarındaki yerleşim yerlerine, endüstriyel tesislere veya elektrik şebekelerine entegre edilerek

genel enerji arzına katkıda bulunmaktadır. Bu elektrik, dalga enerjisinin yerel elektrik üretiminin önemli bir kaynağı olabileceği adalar, uzak kıyı bölgeleri ve enerji maliyetlerinin yüksek olduğu yerler başta olmak üzere ev, iş yeri ve endüstriyel tesislerde kullanılabilir. Limanlar ve deniz tesisleri, operasyonlarını desteklemek için dalga enerjisinin ürettiği elektriği kullanabilirler. Bu, enerji maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur ve operasyonları daha sürdürülebilir hale getirmektedir. Dalga gücü, tuzlu suyu tatlı suya dönüştürmek için gereken enerjiyi sağlayabilecektir. Bu, su kıtlığı çeken kıyı bölgeleri için önemli bir çözüm sağlamaktadır. Dalga gücü, özellikle şebekenin ulaşamadığı uzak adalar ve kıyı bölgeleri için sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak hizmet verebilecektir. Üniversiteler, araştırma kurumları ve özel şirketler dalga enerjisine yönelik test alanları ve pilot projeler geliştirmek için çalışmaktadırlar. Bu projeler, bu teknolojinin ticari uygulaması için gerekli bilgileri sağlamaktadır.

Dalga enerjisinde avantaja sahip ülkeler genellikle uzun kıyı şeridinde sahip, açık okyanusta güçlü ve kalıcı dalga hareketi olan alanlardır. İskoçya, Portekiz, Avustralya, İrlanda, Norveç, Kanada, Şili ve Yeni Zelanda gibi bu ülkeler yüksek dalga enerjisi potansiyeline sahip olup bu sektöre yatırım yapmaya uygun coğrafi ve iklim koşullarına sahiptirler.

Birleşik Krallık ve özellikle İskoçya, dalga enerjisinde lider konumdadır. İskoçya'daki Avrupa Deniz Enerjisi Merkezi (EMEC), dalga enerjisi cihazlarının test edilmesi ve geliştirilmesi için ana merkezdir. Burada birçok farklı dalga enerjisi teknolojisi test edilmiştir. Birleşik Krallık hükümeti ve özel sektör dalga enerjisi projelerine milyarlarca sterlin yatırım yaptı. Örneğin, Pelamis Wave Power gibi projeler İngiltere'de dalga enerjisi teknolojisinin geliştirilmesine öncülük etmiştir ve Portekiz, Avrupa'da dalga enerjisi yatırımlarında önde gelen ülkelerden biridir. Dalga enerjisi pilot projeleri ülkenin batı kıyısında, özellikle Agusadura gibi bölgelerde devam etmektedir. Agusadura Dalga Enerjisi Parkı, dünyada ticari ölçekte faaliyet gösteren ve Pelamis dalga enerjisi ekipmanlarını kullanan ilk parktır. Proje, dalga enerjisi teknolojisini fizibilitesini test etmek için yapılan büyük bir yatırımdır. Avustralya, Güney Avustralya ve Batı Avustralya kıyılarında dalga enerjisi potansiyeline sahiptirler. Bu ülkeler bu alandaki proje ve araştırmalara büyük yatırım yapmışlardır. Carnegie Clean Energy gibi şirketler Avustralya'da dalga enerjisi projeleri geliştirmektedir. Örneğin, Perth yakınlarındaki Garden Island'da kurulan CETO projesi, enerji üretimi ve tatlı su üretimi için dalga enerjisinden yararlanmayı amaçlamaktadır. İrlanda, dalga enerjisinin potansiyelinden yararlanmak için kamu ve özel yatırımları arttırmıştır. Ülke, dalga enerjisi teknolojisini test

etmek ve geliştirmek için çeşitli projelere ev sahipliği yapıyor ve okyanus enerjisi yeniliklerini desteklemek için finansman sağlamış ve okyanus enerjisi şamandıraları gibi projeleri finanse etmiştir. Bu projeler dalga enerjisinin potansiyelinin hayata geçirilmesi yönünde önemli adımlar atmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, zellikle Kaliforniya, Oregon ve Hawaii gibi büyük okyanus enerjisi potansiyeline sahip bölgelerde dalga enerjisi projelerine yatırım yapmaktadır. lke aynı zamanda bu alandaki Ar-Ge araştırmalarını federal düzeyde de desteklemektedir. Dalga Enerjisi dlleri gibi yarışmalar ve teşvikler, Amerika Birleşik Devletleri'nde dalga enerjisi teknolojisinin gelişimini teşvik etmektedir. Ayrıca Pasifik Deniz Enerji Merkezi (PMEC) gibi araştırma merkezleri de dalga enerjisi teknolojisinin geliştirilmesine odaklanmıştır. şili, uzun Pasifik kıyı şeridi nedeniyle dalga enerjisi potansiyeline sahip bir diğer ülkedir. lke, yenilenebilir enerji projelerine yaptığı yatırımlarla tanınmakta ve dalga enerjisi projelerine de ilgi göstermektedir. şili, dalga enerjisi projeleri geliştirmek için çeşitli uluslararası ortaklıklar ve yerel projeler başlatmıştır. Özellikle kıyı bölgelerindeki uzak yerleşim yerleri için dalga enerjisi zmleri değerlendirilmektedir. Norveç, denizcilik ve yenilenebilir enerji konusunda uzmanlaşmış bir ülkedir. lke, dalga enerjisi teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanmasına yoğun yatırım yapmakta ve Langley Wave Energy gibi Norveçli şirketler dalga enerjisi sektöründe yenilikçi zmler geliştirilmiştir. Norveç hükümeti de bu alandaki araştırma ve geliştirme projelerini desteklemektedir. İtalya, Akdeniz'deki konumu nedeniyle dalga enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. lke, dalga enerjisi projelerine yatırım yaparak bu alandaki yeteneklerini artırmayı hedeflemektedir. Enel Green Power gibi İtalyan enerji şirketleri dalga enerjisi sektöründe projeler geliştirerek okyanus enerjisi kullanımını artırmıştır.

Birleşik Krallık ve özellikle İskoçya, dalga enerjisi üretiminde nc konumdadır. İskoçya'nın batı kıyısındaki güçlü ve ısrarcı dalgalar nedeniyle Portekiz, dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için burada bir dizi pilot proje ve test tesisi kurmuştur. Avustralya dalga enerjisi sektöründe çeşitli projeleri hayata geçirmiştir ancak dalga enerjisinin ülkenin genel enerji üretimindeki payı sınırlı kalmaktadır. İrlanda, dalga enerjisi potansiyelini değerlendirmek için bir dizi pilot projeye ve devreye alma operasyonuna ev sahipliği yapmaktadır. Ülkenin batı kıyısındaki dalga hareketi, özellikle Kaliforniya ve Oregon kıyıları boyunca bölgenin dalga enerjisi potansiyelini desteklemektedir ve şili, Pasifik Okyanusu'nun uzun olması nedeniyle dalga enerjisi potansiyeline sahiptir. Norveç, denizcilik ve yenilenebilir enerji alanında geniş deneyime sahip bir ülkedir. Dalga enerjisi projeleri ülkenin kuzey

kıyılarında ve denizinde test edilirken, İtalya dalga enerjisinin Akdeniz'deki potansiyelini değerlendirerek ve bu alanda çeşitli projelere ev sahipliği yapmaktadır.

1.2.2.7.Hidrojen Enerjisi

Hidrojen dünya üzerinde en çok bulunan elementtir. Dünyanın en temel enerji kaynağı olarak bilinen hidrojen, diğer elementlerle bileşik halinde bulunur (Yaman, 2007: 253). Hidrojen, kompleks haldeki bu elementlerin uygun teknikler kullanılarak ayrıştırılmasıyla elde edilmektedir. Hidrojenin en önemli özelliklerinden biri depolanabilir olmasıdır. Üretilen hidrojen depolandıktan sonra boru hattı veya tankerle taşınabilir. Ancak taşıma ve depolama maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle kullanımı yaygın değildir. Yakıt pili teknolojisi ile genel olarak hidrojenden elektrik üretilmektedir. NASA, uzay aracında elektrik ve su sağlayan yakıt hücrelerine yönelik araştırmaları destekleyerek bunların uzaydaki rolünü giderek daha önemli bir hale getirmiştir.

Hidrojenin dünyada ilk kez 16. yüzyılda keşfedildiği ancak 18. yüzyıla kadar yanıcı olduğu düşünülmemektedir (YEGM, 2023). 1960'lı yıllarda uzay yakıt hücrelerinin dünyanın tüm enerji sorunlarına çözüm olabileceği düşüncesi ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarda yakıt hücrelerinin çeşitli şekillerde enerji kaynağı olarak kullanılması üzerine araştırmalar başlamış ve 2000'li yıllarda ülkelerin enerji politikaları üzerine önemli bir konum kazanmıştır.

Dünyadaki gelişmeler göz önüne alındığında, özellikle ulaştırma sektöründe 2010 yılından itibaren hidrojenin diğer yakıtlara alternatif olarak kullanılmasına yönelik araştırmalar hız kazanmıştır (Tutar, Eren, 2011: 7). Bu durumda hidrojenin üretim sahalarından kullanım sahalarına taşınması için gerekli lojistik altyapının ve hidrojen istasyonlarının inşasını mümkün kılmıştır.

Her ne kadar hidrojen enerjisi üzerinde 20. yüzyılın ortalarından beri çalışılıyor olsa da 2000'li yıllardan önce büyük ölçekli ticari uygulamalar oldukça sınırlı kalmıştır. Hidrojen sıklıkla endüstriyel işlemlerde ve uzay araştırmalarında yakıt olarak kullanılmaktadır. 2000'li yıllarda özellikle yakıt hücresi ve hidrojen üretim teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak hidrojen enerjisinin yaygın kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır ve 2010'lu yıllarda hidrojen enerjisine yönelik yatırım ve araştırmalarda artış görülmüştür. Japonya ve Güney Kore gibi ülkeler hidrojen ekonomisini desteklemek için stratejiler geliştirdiler. 2020'li yıllarda hidrojen enerjisine olan ilgide önemli bir artış görülmüştür. Paris Anlaşması'nın

hedefleri doğrultusunda karbon emisyonlarını azaltma çabaları, yeşil hidrojene yatırımın artmasına yol açmıştır.

Hidrojen, kimya endüstrisinde amonyak üretimi, metanol üretimi ve rafinasyon proseslerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde hidrojenin en büyük kullanımı, çelik üretiminde karbonun yerini alarak karbon emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olan bu sektörde gerçekleşmektedir. Bu alanda hidrojenin kullanımı artıyor ancak henüz başlangıç aşamasındadır. Hidrojen petrokimya endüstrisinde çeşitli kimyasal işlemlerde kullanılır. Hidrojen, yakıt hücresi araçlarda (araba, otobüs, kamyon, tren) yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar elektrikli arabalara benzer şekilde çalışıyor ancak yakıt olarak hidrojen kullanıyorlar ve bu hidrojen, uzun yol kamyonları, gemiler ve hatta uçaklar gibi ağır nakliye araçlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Hidrojenin bu sektördeki payı artmaktadır. Hidrojen yakıt ikmal istasyonları ve ulaşım altyapısına yapılan yatırımlar, hidrojenin ulaşımında kullanımını desteklemektedir.

Hidrojen yakıt hücreleri aracılığıyla elektrik üretmek için kullanılabilir. Bu kullanım özellikle enerji depolama ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu açısından önemlidir. Hidrojen, aşırı üretilen yenilenebilir enerjiyi depolamanın bir yöntemi olarak kullanılabilir. Bu özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin sürekliliğinin sağlanması açısından önemlidir. Hidrojen, birleşik ısı ve güç sistemlerinde elektrik ve ısı üretmek için kullanılabilir. Hidrojen doğrudan ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanılabilir. Özellikle doğalgaz altyapısı olan bölgelerde hidrojenin doğalgazla harmanlanarak ev ve ticari binalarda ısıtma ve elektrik üretiminde kullanıma potansiyeli bulunuyor. Bu kullanım şu anda kısıtlı olsa da pilot projeler devam ediyor.

Hidrojen enerjisinde avantajlı olan ülkeler genellikle yenilenebilir enerji kaynakları bol, endüstriyel altyapısı güçlü ve hidrojen enerjisi teknolojisine stratejik yatırımları olan ülkelerdir. Japonya, Almanya, Güney Kore, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hollanda, Avustralya ve Norveç vb. bu ülkeler arasındadır.

Japonya, hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının kurulumu ve tanıtımına büyük yatırım yapmaktadır. Ülke hidrojenle çalışan araçlardan oluşan bir ağ inşa etmektedir. Almanya, Ulusal Hidrojen Stratejisi çerçevesinde büyük ölçekli yatırımlar yapmaktadır. Strateji, yeşil hidrojenin üretimini ve kullanımını teşvik etmeyi amaçlamış ve Güney Kore, hidrojen ekonomisini teşvik etmek için kapsamlı planlar geliştirmiş ve önemli bütçe yatırımları ayırmıştır. Bu projeler

hidrojen üretimi, depolaması ve yakıt hücrelerine odaklanmaktadır. Çin, hidrojen üretimi ve teknolojisinin gelişimini desteklemek için kapsamlı stratejiler geliştiriyor ve büyük ölçekli projelere yatırım yapmaktadır. Bu, özellikle limanları ve iletim hatlarını kapsıyor ve Avustralya, güneş ve rüzgâr enerjisinden hidrojen üretmek için büyük ölçekli projeler yürütmektedir. Norveç, hidroelektrik enerji kullanarak yeşil hidrojen üretmeye yönelik projeler geliştirmektedir.

Japonya, hidrojen üretiminde sıvı hidrojene ve yeşil hidrojene özellikle önem vermektedir. Ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimini teşvik eden projelere yatırım yapmaktadır. Almanya yeşil hidrojen üretimine önemli yatırımlar yapmaktadır. Ülkenin, özellikle hidrojen üretiminde endüstriyel ve yeşil hidrojen projelerine odaklanarak, rüzgâr ve güneş enerjisinden hidrojen üretimini teşvik etmeye yönelik projeleri vardır. Ülke, hidrojenin sanayi ve ulaşımda kullanımını destekleyecek bir strateji geliştirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri çeşitli hidrojen üretimlerinde aktif olarak yer almaktadır. Çin, gri hidrojen (fosil yakıtlardan) ve yeşil hidrojen (yenilenebilir enerji kaynaklarından) üretmektedir. Çin, hidrojen üretiminde önemli bir oyuncu ve endüstriyel ve yeşil hidrojen üretimini artırmaya yönelik stratejiler geliştirmektedir. Hollanda, hidrojen üretiminde yeşil hidrojen projelerine özellikle önem vermektedir. Ülke, yenilenebilir enerji kullanımı yoluyla hidrojen üretimini artırmayı hedeflemektedir. Avustralya büyük ölçekli yeşil hidrojen projelerine odaklanıyor ve hidrojen üretmek için güneş ve rüzgâr enerjisini kullanıyor; Norveç ise hidrojen üretmek için hidroelektrik kullanmaktadır. Ülke düşük karbonlu enerji üretiminde liderdir.

1.2.3. Maslow'un İhtiyaçlar Hiyerarşisi ve Enerjinin Temel Rolü

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte günün ihtiyaçlarına ve koşullarına göre önce ısınma, ardından günlük işleri kolaylaştıran kişisel cihazlar enerjiye olan talebi arttırmıştır. Ayrıca A. Maslow'un 1943 yılında önerdiği insan ihtiyaçları hiyerarşisinden de referans alınarak, insanların öncelikle temel ihtiyaçları olan fizyolojik ihtiyaçlarını karşılamaları gerektiği ileri sürülmektedir (Maslow, 1943: (50), 370-396). İnsanın fizyolojik ihtiyaçlarını karşılayanın en önemli bileşeni enerjidir.

Dünyada sanayi devrimi ile birlikte makinelerden yararlanılarak oluşturulan üretim yöntemleri enerjiye olan talebi arttırmıştır. Her ne kadar üretim düzeyindeki artışın ve bunun sonucunda ekonomik büyümenin tek nedeni enerji olmasa da ülke ekonomilerinin gelişmesinde büyük önem taşımaktadır.

Eyalet ekonomilerinin enerji tüketimini düşük seviyede tutarken önemli bir büyüme hızına ulaşacağı aşikardır. Bir ülkenin günlük faaliyetlerini sürdürebilmesi için gerekli enerjiye sahip olması gerekmektedir. Enerji, uluslararasıdaki davranışı ve gücü etkileyen en önemli kaynaktır. Eğer devletler kendi enerjilerini kendi kaynaklarından üretemiyorlarsa, bunu daha ucuz ülkelere satın almak zorundadırlar. Bu durumu bir metaforla anlatmak istediğimizde “hastayı seruma bağlamak” olarak tanımlayabiliriz. Sonuçta hastanın hayatta kalması artık kendisine değil, diğer faktörlere (serum gibi) bağlı bulunmaktadır (Kasapoğlu, 1996: 1).

Enerji üretim mekanizmaları; ulusların küresel ölçekteki rekabet gücünü, mali dengelerini, dış ticaret dengelerini ve nihayetinde makroekonomik büyüme performanslarını doğrudan etkileyen deterministik unsurların başında gelmektedir. Bununla birlikte, enerji arzının yalnızca miktar bazlı sürekliliği yeterli görülmemekte; elde edilen bu arzın sürdürülebilir parametrelerle desteklenmesi, hedeflenen ekonomik ve çevresel çıktıların optimize edilmesi açısından zorunluluk arz etmektedir. Enerjinin üretim süreçlerinin önemli bir bileşeni olarak kullanılması ekonomide önemli bir faktör haline gelmiş ve her zaman kritik öneme sahip olmuştur.

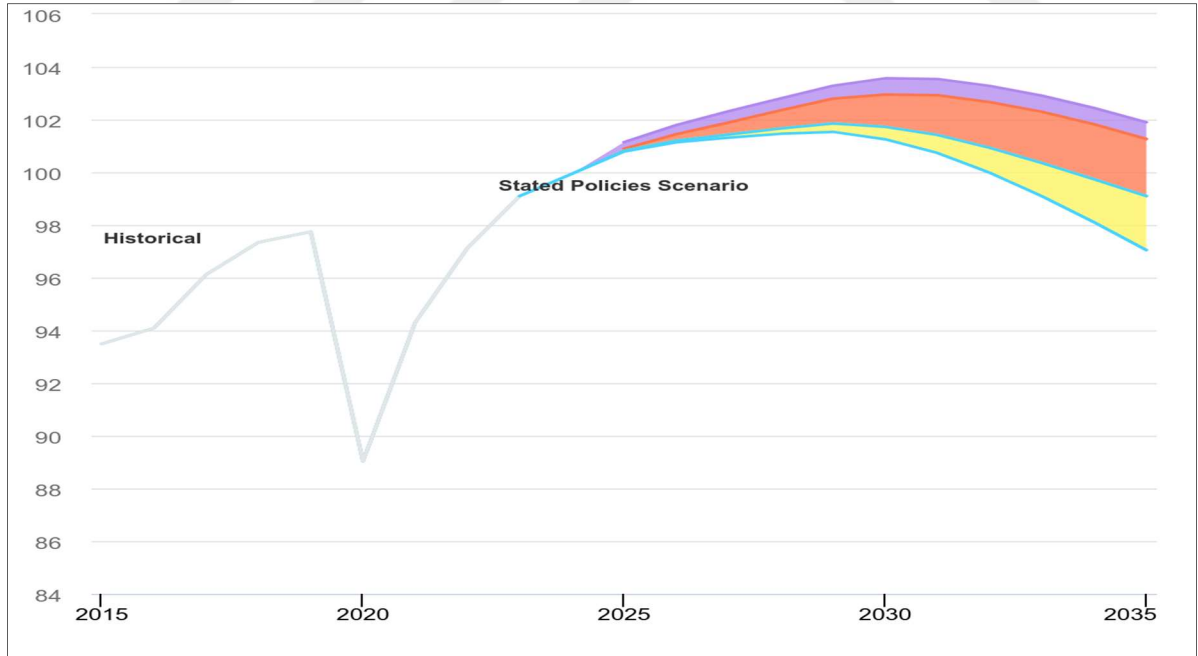
Herhangi bir sektör veya üretimde enerji ihtiyacı makul bir şekilde karşılanmazsa ekonomide önemli sorunlar yaşanacaktır. Artan enerji tüketimi, ilave üretime ve gelişmiş ekonomik sektörlere olan ihtiyacın artmasına neden olmaktadır. Sanayileşmiş ve gelişmiş ülkelerde tüketilen enerji miktarı diğer ülkelere göre daha fazladır (Başol, 1993:160).

1.2.4. Yenilenebilir Enerjinin Geleceği

Yenilenebilir enerjinin gücü, hızlı teknolojik gelişmelerin yanı sıra; teknolojik seçeneklerin zenginliğinden, çeşitliliğinden ve erişilebilirliğinden kaynaklanmaktadır. Dünyadaki tüm ülkeler en az bir önemli yenilenebilir enerji kaynağına sahiptir. Yenilenebilir enerji birçok farklı kaynak ve teknoloji seçeneği sunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) aynı zamanda enerji çeşitliliğini artırarak enerji güvenliğinin sağlanması için de çalışmaktadır. Araştırmalar, yenilenebilir enerji kullanan ülkelerin şimdiye kadar iklim değişikliğinden etkilendiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji aynı zamanda enerji çeşitliliğini ve fosil yakıt ithalatını azaltmak için de kullanılmaktadır. Diğer yaklaşımlar arasında ekonomik büyüme, istihdam ve yerel çevre kirliliği yer almaktadır (IEA, 2012: 11).

Şekil 21’de, 2015-2035 yılları arasında küresel petrol talebinin tarihsel verileri ve "Belirtilen Politikalar Senaryosu" (Stated Policies Scenario) kapsamında geleceğe yönelik projeksiyonları sunulmaktadır. 2015 yılından 2020'ye kadar petrol talebinde genel bir artış eğilimi görülmektedir; ancak, 2020 yılında talepte ani bir düşüş yaşanmıştır. Bu düşüş, COVID-19 pandemisinin küresel enerji talebi üzerindeki olumsuz etkileriyle ilişkilendirilebilir. 2025 sonrasına ait projeksiyonlar, mevcut politikaların uygulanması durumunda küresel petrol talebinin zirveye ulaşacağını ve ardından düşüşe geçeceğini öngörmektedir. Şekilde, senaryoya bağlı olarak üç farklı projeksiyon çizgisi sunarak, gelecekteki olası talep değişimlerini tahmin etmektedir. En yüksek talep senaryosunda görece yatay bir seyir öngörülürken, en düşük senaryoda belirgin bir azalma görülmektedir. Bu farklı senaryolar, ülkelerin mevcut enerji politikalarını sürdürmesi, temiz enerjiye geçişin hızlanması ve enerji verimliliği gibi çeşitli etkenlerin etkisini yansıtmaktadır. Genel olarak, grafikteki eğilim, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru geçiş sürecinin hızlanması ile birlikte küresel petrol talebinin zirveye ulaştıktan sonra azalacağına işaret etmektedir. Bu, küresel enerji politikalarının petrol talebi üzerindeki dönüştürücü etkisinin altını çizmektedir.

Şekil 21: 2015-2035 Yılları Arası Küresel Petrol Talebinin Tarihsel Verileri



Kaynak: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024/executive-summary>

(Erişim Tarihi: 09.01.2026)

OECD üyesi ülkeler için en önemli konulardan biri, çeşitli yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonuna yönelik politikaların geliştirilmesidir. Bu, iyi bir esneklik

kaynağı planlamasıyla başarılabilir. Dayanıklılık kaynaklarının dört boyutu bulunmaktadır. Esnek tedarik, depolama, yakın pazarlar arasında daha yakın iletişim ve en azından talep tarafının iyi yönetilmesi (IEA, 2012: 11). Türlerine göre rüzgâr, güneş ve bazı hidroelektrik santraller için hava koşulları oldukça önemli faktörler arasında sayılmaktadır. Elbette bu sistemlerin sınırlamaları enerji güvenliği açısından da tehdit oluşturmaktadır. Mevcut tehlikeler öncelikle jeopolitik yapılardan kaynaklansa da yenilenebilir enerji teknolojileri doğanın kendisinden gelen tehditlere karşı savunmasız olacaktır.

Maliyet rekabeti yenilenebilir enerji sistemlerinin önünde engel olmaya devam etmektedir. Hidroelektrik ve biyokütle gibi geleneksel enerji kaynakları için durum böyle olmasa da rüzgâr enerjisi sistemleri için rekabetçi hale gelmektedir. Ancak diğer yenilenebilir enerji sistemlerinin hala teşviklere ihtiyacı olmaktadır. Teşvikler piyasa başarısızlıklarını telafi etmek için faydalıdır ancak zamanla ortadan kaldırılmalıdır. Teşvikler gelişen teknolojileri rekabetçi hale getirmek için kullanılmakta ve dışsallıkları içselleştirmenin bir yolu olarak görünmektedir, ancak teknolojinin kendi ayakları üzerinde durabilmesi için teşviklerin bir süre sonra ortadan kalkması gerekmektedir. Güneş enerjisi sistemleri kurulum yöntemine göre şebekeye bağlı tip ve bağımsız tip olmak üzere iki tipe ayrılmaktadır. Güneş enerji sistemleri, şebekeden bağımsız sistemler için en rekabetçi enerji kaynağıdır, ancak bu potansiyelden yararlanmanın önünde engeller bulunmaktadır. Biri bilgi ve farkındalık eksikliği, diğeri ise eksik finansman modelidir. (IEA, 2012: 12).

Bir güneş enerjisi sisteminin rekabet gücü büyük ölçüde rakiplerine bağlıdır. Güneş enerjisi doğru alanlara (fazla güneş ışığı alan bölgelere) kurulursa, elektriğin en yüksek fiyata satılmasıyla mümkün olan en yüksek enerji tedariki olmasını sağlayacaktır. Fotovoltaik (PV) güneş teknolojisinde ise durum farklıdır. Fotovoltaik paneller ne kadar çok güneş ışığı alırsa o kadar çok elektrik üretirken aynı zamanda ortam sıcaklığı arttıkça bu panellerin verimi düşmektedir. Termal güneş enerjisi teknolojisinde sıcaklığın artması verimlilik üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Yenilenebilir enerjinin geleceği düşünüldüğünde rüzgâr enerjisinin hem teknoloji hem de rekabet gücü açısından önemli ilerlemeler kaydettiği söylenebilmektedir. Ancak teknolojik gelişme potansiyeli açısından en önemli sistemlerden biri güneş enerjisidir. Ayrıca iki yenilenebilir enerji teknolojisi de dikkat çekmektedir. Bunlar okyanus enerjisi ve jeotermal enerji sistemleridir. Bu teknolojilerin potansiyeli günümüzün küresel enerji talebinden yüzlerce kat daha fazladır. Bu teknoloji yarışında kimin kazanacağını elbette bilemeyiz ancak

rekabetin hem fiyatları düşüreceğini hem de teknolojiyi ve verimliliği artıracığını söyleyebiliriz.

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre elektrik alanında yenilenebilir enerjinin payı 2035 yılında %50'ye ulaşacaktır. Bunu mutlak bir değer olarak alırsak, bugün dünya enerji üretimi 3.700 TWh olup, 2035 yılında 15.000 TWh'ye ulaşması beklenmektedir. Aynı tahminlere göre ulaşımda biyoyakıt kullanımı 2035 yılına kadar %27'ye ulaşacaktır (IEA, 2011). Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı son beş yılda önemli ölçüde artmasına rağmen, potansiyelin yalnızca küçük bir kısmından yararlanıla bilinmiştir.

Bugüne kadar elektrik ve ısıtma teknolojileri atıl durumda kalmıştır. Biyoenerji ve biyoyakıt teknolojilerinin ne kadar sürdürülebilir şekilde kullanılabileceği konusunda belirsizlikler vardır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı arttıkça ve maliyetler düştükçe, maliyet açısından rekabetçi teknolojiler enerji üretim karışımını genişletmektedir. Ürün portföyü, düşük maliyetli ve güvenilir teknolojisi sayesinde hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal, biyoenerji, enerji ve ısıtma sektörlerinde geliştirme fırsatları sunmaktadır. Ürün portföyünün önümüzdeki 10 yıl içerisinde fotovoltaiik ve Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) teknolojileri ile desteklenmesi beklenmektedir. Rekabetçi maliyetler ve teknolojiye olan güvenin artmasıyla bu teknolojiler, yalnızca yenilenebilir enerji için finansal desteğe ihtiyaç duyan ülkelerde değil, aynı zamanda geleneksel yakıt maliyetlerinin daha düşük olduğu ülkelerde de kullanılacaktır.

Gelişmekte olan ülkelerin çoğu güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal enerji gibi bol miktarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Gelişmekte olan ülkelerde kaynak durumu ise; bu ülkelerde kullanımın desteklendiği ülkelere göre daha iyidir. Örneğin, Kuzey Afrika'daki ortalama radyasyon miktarı Almanya'dakinin iki katıdır, dolayısıyla fotovoltaiik enerji üretimi oldukça verimlidir ve enerjinin seviyelendirilmiş maliyeti düşüktür. Gelişmekte olan ülkeler genellikle daha yüksek enerji üretim maliyetlerine ve elektrik talebinde daha hızlı bir büyümeye sahiptirler. Bu ekonomilerde sürdürülebilir ve güvenli yatırım portföylerini teşvik etmek amacıyla yenilenebilir enerji kullanımını artırma fırsatları bulunmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE’NİN ENERJİ POTANSİYELİ

Türkiye yaklaşık 86 milyon nüfusu ve giderek büyüyen ekonomisi ile enerjiye olan ihtiyacı günden güne artmaktadır. Enerjiye olan talep, özellikle de Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkeleri arasında önemli bir yere sahiptir. Enerjiye dayalı alanda, Türkiye uyguladığı enerji politikalarıyla ortaya çıkabilecek enerji sorunlarını kabul edilebilir seviyeye getirmek ve enerji konusunda sürdürülebilirliği sağlamak için enerji piyasasında kaynak çeşitliliğini sağlamayı hedeflemektedir. Coğrafi olarak önemli bir konuma sahip olan Türkiye enerji kaynakları bakımından fakir durumdadır. Bu durum Türkiye’yi dış kaynaklara bağımlı hale getiren en önemli etkeni oluşturmaktadır. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları verilerine ve çalışmalarına bakıldığında, bu sektörde enerjiye olan dışa bağımlılığının devam edebileceği öngörülmektedir. Bu nedenle enerji arz güvenliği konusu Türkiye için son derece önem arz eden bir konu olarak görülmektedir (Karagöl vd., 2016: 5-6).

Ülkemiz de enerji üretimi farklı kaynaklardan elde edilmektedir, yer altı kaynakları ve ülkemizin coğrafi yapısından da faydalanılarak farklı çeşitlerde enerji üretimi sağlanmaktadır. Ülkemizde enerji üretim ve tüketimi yaşanan nüfus artışı, teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli artan oranda bir değişiklik göstermektedir. 2018 yılına ait enerji tüketim ve üretim miktarlarına bakıldığında, tüketim miktarı artış sağlayarak 303,3 milyar kwh aynı şekilde üretim miktarı da artış sağlayarak 303,9 milyar kwh’a ulaşmıştır.

2.1. Türkiye’nin Enerji Kaynaklarının Görünümü

Enerji tüketimi Türkiye dahil tüm dünyada hızla artmaktadır. Bu artışın ana nedenleri arasında nüfus ve gelir artışı, artan göç nedeniyle kentsel gelişme ve teknolojik gelişmeler yer almaktadır. Teknolojik inovasyonların ivme kazanması, başta enerji ekosistemi olmak üzere tüm üretim ve hizmet sektörlerinde yapısal bir dönüşümü tetiklemektedir. Bu dinamik süreçte, enerji kaynaklarının rasyonel kullanımı ile tüketim verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu stratejik projeksiyonların oluşturulmasını kritik bir gereklilik haline getirmektedir.

Türkiye'nin sahip olduğu kompleks tektonik ve jeolojik formasyonlar, geniş bir yelpazede maden rezervlerinin oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Küresel maden kaynakları hiyerarşisinde 168 ülke arasında yer alan Türkiye, özellikle maden çeşitliliği bakımından 22. sıradaki konumuyla dikkat çekmektedir. Ülke, endüstriyel hammaddelerin yanı sıra metalik

madenler, enerji hammaddeleri ve jeotermal kaynaklar açısından yüksek bir potansiyel barındırmaktadır. Nitekim dünya genelinde ticari karşılığı bulunan 90 maden türünden 77'sinin Türkiye'de varlığı kanıtlanmış olup, bunların 60'a yakını halihazırda işletilmektedir. Jeostratejik açıdan ise Türkiye, Hazar Havzası, Orta Asya ve Orta Doğu'nun zengin hidrokarbon rezervlerine olan coğrafi yakınlığı sayesinde kritik bir enerji koridoru işlevi görmektedir. Bu konum, Türkiye'yi enerji arzı ve talebi arasında stratejik bir “doğal köprü” haline getirerek küresel enerji güvenliğindeki vazgeçilmezliğini pekiştirmektedir (ETKB, 2013).

Türkiye enerji piyasasında son dönemde gözlemlenen yapısal dönüşümler ve ivme kazanan talep artışı, yerel üretim kapasitesinin ihtiyacı karşılama noktasında kısıtlı kalmasına yol açmış; bu durum, ülkenin dış kaynaklı enerji tedarikine olan kronik bağımlılığını daha da derinleştirmiştir. Bu durumun sonucunda ithalata bağımlılığın ve Türkiye'nin enerji kullanımlarının maliyetlerinin her geçen yıl artmasına sebep olmuştur. Ayrıca sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmıştır. Bu kaynakların ekonomik fayda sağlaması, enerji maliyetlerini düşürmesi, çevre dostu bir enerji üretim yöntemi sağlaması ve doğal kaynakların tükenmesi gibi sorunların önlenmesinde yardımcı olması giderek önem kazanmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları, enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltarak ülkenin enerji güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamasını sağlamaktadır.

2.2. Türkiye'nin Birincil ve İkincil Enerji Kaynakları

Türkiye enerji sektörü, toplam birincil enerji arzının çoğunu fosil yakıtlardan karşılamaktadır; 2019 yılında toplam birincil enerji arzının %83'ünü, 2018 yılında ise toplam nihai tüketimin %73'ünü oluşturmaktadır. Geri kalanı ise enerji üretimi için kullanılan jeotermal ve hidroelektrik enerji de dahil olmak üzere çeşitli yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır.

Söz konusu dinamikler, yükselen enerji talebinin efektif bir biçimde karşılanmasının yanı sıra makroekonomik istikrarın ve demografik genişlemenin sürdürülebilirliğinde kilit bir rol oynamaktadır. Fosil yakıtlara dayalı tüketim modelinin çevresel maliyetleri, yerli kaynakların mevcut talebi karşılamadaki yetersizliği ve dışa bağımlılığın yarattığı riskler; yenilenebilir enerji alternatiflerini stratejik bir zorunluluk haline getirmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji portföyünü genişletmesi; hidrokarbon kaynaklı bağımlılığın minimize edilmesi ve milli enerji arz güvenliğinin tahkim edilmesi noktasında hayati bir öneme haizdir.

Tablo 2: Türkiye'de Fosil Enerji Rezervlerinin Durumu

Kaynaklar	Kaynak (Rezerv) Miktarı	2024 Yılı Üretim Miktarları
Linyit	20,53 Milyar ton	80,5 milyon ton
Taş Kömürü	1,52 milyar ton	1,4 milyon ton
Petrol (Ham)	51,08 milyon ton	2,98 milyon ton
Doğal Gaz	710 milyar m ³	9.5 milyon m ³

Kaynak: (ETKB, TPAO ve TKİ, 2024)

Yukarıda gösterilen Tablo 2’de 2024 yılına ait rezerv ve üretim hacimleri görülmektedir. Türkiye’de fosil enerji kaynakları içinde linyit, rezerv büyüklüğü bakımından öne çıkmakta; ancak üretim miktarının görece sınırlı kalması, çevresel ve politik tercihlerle ilişkilendirilmektedir. Taş kömürü ve ham petrol hem rezerv hem de üretim açısından düşük seviyelerde olup, bu durum bu kaynaklarda dışa bağımlılığın sürdüğünü göstermektedir. Doğal gazda rezerv miktarı dikkate değer olmakla birlikte üretimin sınırlı düzeyde kalması, yerli üretimin enerji talebini karşılamada yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak tablo, Türkiye’nin kömür türlerinde görece bir potansiyele sahip olduğunu, petrol ve doğal gazda ise kısıtlı bir yapının devam ettiğini göstermektedir (ETKB); Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO); Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), 2023).

Son dönemde enerji talebinde gözlenen ivmelenme, düşük maliyetli ve kesintisiz enerji erişimini bir zorunluluk haline getirmiştir. Türkiye’nin de dahil olduğu hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ekonomilerde, özellikle endüstriyel faaliyetlerin genişlemesine bağlı olarak enerji sarfiyatı hızla yükselmektedir. Buna karşın, konvansiyonel kaynakların sınırlı rezerv ömürleri ve çevresel tahribatın restorasyon maliyetleri, bu kaynaklara olan yönelimi zayıflatmaktadır. Bu tablo, ekolojik sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerji alternatiflerinin stratejik değerini yükseltmektedir. Fosil yakıtlara ikame teşkil eden bu temiz kaynaklar, çevre dostu üretim modellerinin tesis edilmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, enerji talebindeki artışın yönetilebilir bir düzlemde tutulması, yenilenebilir enerji entegrasyonunun derinleştirilmesiyle doğrudan ilişkilidir.

Şekil 22: Türkiye Kurulu Güç Oranları



Kaynak: <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/enerji-bulteni-ocak-20250210.pdf> (Erişim

Tarihi: 09.01.2026)

Türkiye; güneş, hidroelektrik ve rüzgâr gibi sürdürülebilir enerji formları açısından kayda değer bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu kaynakların yüksek katma değerli enerjiye dönüştürülme süreçleri, özellikle teknolojik dışa bağımlılık ve yüksek ilk yatırım maliyetleri nedeniyle ekonomik bir sınırlayıcıyla karşı karşıya kalmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin maliyetli olması ülkemizde yenilenebilir enerji üretimine geçişi oldukça yavaşlatmıştır. Son yıllarda ise teknolojinin gelişimi ve yenilenebilir enerjiye olan talep artışı ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmanın öneminin artması, yenilenebilir enerji üretim maliyetlerinde pozitif bir düşüş meydana getirmiştir. Türkiye'nin enerji kaynaklarının çeşitliliği ve düşen maliyetler göz önüne alındığında, yenilenebilir enerjinin özellikle elektrik üretimindeki payı artırılması yönündeki çalışmalar önem kazanmıştır. Sonuç olarak sürdürülebilir bir geleceğe ulaşmak için gerekli adımlar hızla atılmaya başlanmıştır.

2.2.1. Petrol Kaynakları

Küresel ekonomide hem stratejik bir hammadde hem de jeopolitik bir güç unsuru olarak kabul edilen petrol, hidrokarbon esaslı ve yenilenemeyen bir enerji kaynağıdır. Etimolojik kökeni Latince 'petro' (taş) ve 'oleum' (yağ) kelimelerine dayanan bu bileşik, temel olarak karbon ve hidrojenle oluşmakla birlikte eser miktarda azot, oksijen ve kükürt ihtiva etmektedir. Ham petrol sıvı formdaki rafine edilmemiş yağı, doğal gaz ise gaz halindeki hidrokarbonları temsil ederken; bitüm ve katran gibi yapılar ise daha ağır ve katı hidrokarbon karışımlarını ifade etmektedir. Beşeriyetin petrol ile olan etkileşimi antik dönemlere kadar uzanmaktadır; nitekim M.Ö. 3200'lerde Mezopotamya'da inşaat ve gemicilik faaliyetlerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılan bu kaynak, M.Ö. 300'lerde Mısır'da mumyalama

işlemlerinde tercih edilmiştir. Modern anlamda petrolün bir sanayi koluna dönüşümü 19. yüzyılın ortalarında gerçekleşmiş, özellikle Abraham Gesner'in doğal yağdan gazyağı rafine etmesiyle 20. yüzyılın en belirleyici enerji unsuru haline gelmiştir (Gümüş ve Altan, 1995: 1). Gazyağı üretimi Aydınlanma Dönemi için tam bir devrim niteliğinde olmuş ve kısa sürede büyük bir talep yaratmıştır. Dünyada ilk ticari petrol arama faaliyetleri 1850'li yılların sonlarında ABD'nin Pensilvanya şehrinde bulunan Pennsylvania Rock Oil Company adlı şirketle başlamıştır (Gümüş ve Altan, 1995: 2).

ABD, 1900'lü yılların ilk çeyreğine kadar petrol sektöründe rakipsiz kalsa da ilk çeyrekte itibaren dünya çapında rakip şirketler kurulmaya başlamıştır. Dönemin en önemli petrol üreticilerinden biri olan Bakü'nün petrol üretimini kullanarak Çarlık Rusya'sını oluşturmuştur (Gümüş ve Altan, 1995: 4). Daha sonra petrolün zamanla ulusal politika ve eylemleri etkileyen ve belirleyen bir faktör haline geldiği ve petrol faaliyetlerinin dünya çapında hızla büyümeye devam ettiği gözlemlenmiştir. 9-14 Eylül 1960 tarihleri arasında Bağdat Konferansı'nda gelişmekte olan ülkeler (kurucu üye İran, Irak, Kuveyt, Suudi Arabistan ve Venezüella) tarafından OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü) adında organize edilmiştir. Söz konusu organizasyon; petrolün küresel sistemdeki stratejik ağırlığını pekiştirmek, üye ülkelerin enerji politikaları arasında eşgüdüm sağlamak ve dışsal pazar baskılarına karşı ortak bir direnç mekanizması oluşturmak amacıyla tesis edilmiştir. Günümüzde İran, Irak, Kuveyt, Suudi Arabistan ve Venezuela gibi kurucu üyelerin yanı sıra Libya, BAE, Cezayir, Nijerya, Angola, Gabon, Ekvator Ginesi ve Kongo'dan oluşan geniş bir üyelik yapısına sahiptir (Alkin ve Atman, 2006: 92). OPEC çatısı altında birleşen bu aktörler, kısa sürede küresel fiyatlama mekanizmalarında belirleyici bir güç haline gelmişlerdir. Lakin 1980'li yıllarla birlikte, gelişmiş ekonomilerin petrole olan kronik bağımlılığı kırmak adına alternatif enerji modellerine yönelmesi, kartelin piyasa üzerindeki domine edici etkisini zayıflatmıştır. Bu yapısal değişimlerin bir yansıması olarak OPEC üyeleri 1982'de üretim kotaları uygulama ve fiyat revizyonlarına gitme mecburiyetiyle karşı karşıya kalmışlardır. Kartelin piyasa gücü tarihsel zirvesinin gerisinde olsa da küresel hidrokarbon siyasetindeki ağırlığı halen geçerliliğini korumaktadır. Türkiye özelinde petrol arama faaliyetlerinin kökeni Osmanlı İmparatorluğu'nun son dönemlerine kadar uzanmaktadır. 1890 yılında İskenderun civarında gerçekleştirilen ilk sondaj girişimlerinde sığ derinliklerde kısıtlı doğal gaz emarelerine rastlanmıştır. Bunu takiben 1898'de Trakya Ganos bölgesindeki çalışmalarda da hidrokarbon izleri rapor edilmiştir. 1914 yılında kurulan Türkiye Petrolleri Şirketi, özellikle Musul sahalarında imtiyaz elde etme çabasına girmiş ancak Birinci Dünya Savaşı'nın patlak

vermesiyle operasyonel faaliyetlerini askıya almak durumunda kalmıştır. Bu kaotik süreçte dahi Musul bölgesindeki geleneksel yöntemlerle açılmış kuyulardan kısıtlı üretim faaliyetleri sürdürülmüştür (Atalay, 2003: 10). Türkiye'de petrol arama faaliyetleri 1950'li ve 1960'lı yıllarda artmasına rağmen 1970'li yıllarda azalmış ve durağanlaşmıştır. Ancak bu yıllardaki petrol şokları ve ardından gelen krizler, ambargolar ve fiyat artışları nedeniyle 1980'li yıllarda araştırma faaliyetlerinde ikinci bir artış başlamıştır. Ne yazık ki 1990'lı yıllara gelindiğinde petrol aramaları yeniden gerilemiştir (Atalay, 2003: 184). Araştırma faaliyetlerinin sonuçları, Türkiye'nin petro devlet özelliği taşımasına rağmen büyüme alanında ülkenin kalkınması açısından büyük önem taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle araştırma faaliyetleri mümkün olduğu ölçüde artırılmalıdır. Türkiye, bölgedeki stratejik önemi nedeniyle Orta Asya, Kafkaslar ve Orta Doğu petrollerini pazara sunma fırsatını etkin bir şekilde değerlendirmiştir. Bu bağlamda Türkiye, uluslararası petrol ve boru hatları yatırımları sayesinde uluslararası bir enerji terminali ve enerji köprüsü olarak önemli bir konuma gelmiştir.

Tablo 3: 1999-2024 Yılları Arası Türkiye Ham Petrol Üretimi

Yıllar Years	HAM PETROL ÜRETİMİ (M.TON) CRUDE OIL PRODUCTION(M.TONS)
1999	2 939 896
2000	2 749 105
2001	2 551 467
2002	2 441 534
2003	2 375 044
2004	2 275 530
2005	2 281 131
2006	2 175 668
2007	2 134 175
2008	2 160 067
2009	2 401 799
2010	2 496 113
2011	2 367 251
2012	2 337 551
2013	2 398 454
2014	2 455 893
2015	2 515 662
2016	2 571 928
2017	2 551 929
2018	2 850 828
2019	2 984 800
2020	3 202 924
2021	3 441 659
2022	3 583 040
2023	4 094 898
2024	5 310 039

Kaynak: <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/Genel/Petrolistatistikleri>

Tablo 3'te ülkemizin son 26 yıllık petrol üretimi verilmiştir. 2017 yılında petrol üretimimiz 2,5 milyon ton civarlarında gerçekleşmiştir. Yıllar itibari ile sürekli değişiklik

gösteren petrol üretimimiz 2024 yılına gelindiğinde ise yaklaşık 5,31 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de ham petrol üretiminin 1999–2008 döneminde genel olarak azalma eğilimi gösterdiği, 2009 sonrasında ise dalgalı ancak kademeli bir artış sürecine girdiği görülmektedir. Özellikle 2018 yılından itibaren üretimdeki artışın hızlandığı, 2020 sonrası dönemde ise bu yükselişin daha belirgin hale geldiği dikkat çekmektedir. 2024 yılında ulaşılan üretim seviyesi, son 25 yılın en yüksek değerine işaret etmekte olup, bu artış yeni saha keşifleri, üretim teknolojilerindeki gelişmeler ve yerli petrol arama faaliyetlerine verilen önemin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Genel olarak tablo, Türkiye’nin ham petrol üretiminde uzun süreli bir düşüş döneminin ardından son yıllarda toparlanma ve artış eğilimine girdiğini ortaya koymaktadır (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, 2024).

Şekil 23: 1965-2024 yılları arası Türkiye Petrol tüketimi



Kaynak: <https://ourworldindata.org/grapher/oil-consumption-by-country?tab=line&country=~TUR> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 23’e göre Türkiye’de petrol tüketimi 1965–2024 döneminde genel olarak artan bir eğilim sergilemiştir. 1960’lı ve 1970’li yıllarda tüketim kademeli biçimde yükselirken, 1980 ve 1990’lı yıllarda artış hızının dönemsel olarak dalgalandığı görülmektedir. 2000’li yıllardan itibaren ekonomik büyüme, ulaşım talebindeki artış ve sanayileşmenin etkisiyle petrol tüketimi daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. 2010 sonrasında kısa süreli düşüşler yaşansa da genel eğilim korunmuş, özellikle son yıllarda tüketim yeniden artarak yüksek düzeyini sürdürmüştür. Bu görünüm, petrolün Türkiye enerji tüketimi içinde uzun vadede önemli bir konumda kalmaya devam ettiğini göstermektedir (Our World in Data, 2025).

2.2.2. Doğalgaz Kaynakları

Kömür ve petrol ile benzer şekilde fosil kaynaklı bir yakıt olan doğal gaz; milyonlarca yıllık süreçte yer altında biriken bitkisel ve hayvansal organik materyallerin, ekstrem sıcaklık ve basınç koşulları altında geçirdiği jeokimyasal dönüşümler neticesinde meydana gelmektedir. Fiziksel olarak havadan daha düşük bir yoğunluğa sahip olan bu renksiz ve kokusuz karışım; ağırlıklı olarak metan (CH₄) olmak üzere etan, propan ve azot gibi gaz bileşenlerinden oluşmaktadır. Çevresel etkileri bakımından analiz edildiğinde doğal gaz, yanma süreci sonunda atmosfere salınan emisyon miktarı açısından diğer konvansiyonel hidrokarbonlara oranla daha temiz bir enerji alternatifi sunmaktadır.

Tablo 4: Doğal Gaz İçerisinde Bulunan Gazlar ve Oranları

Gaz Türü	Formülü	Oranı
Metan	CH ₄	%70-90
Etan	C ₂ H ₆	%0-20
Propan	C ₃ H ₈	%0-20
Bütan	C ₄ H ₁₀	%0-20
Karbon Dioksit	CO ₂	%0-8
Oksijen	O ₂	%0-0.2
Azot	N ₂	%0-5
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	%0-5
Nadir Gazlar	A, He, Ne, Xe	%0-1

Kaynak: ([Energy BC](#), 2016)

Tablo 4'te sunulan veriler ışığında, doğal gazın bileşenlerini oluşturan gaz türleri ve bunların volümetrik dağılımları analiz edildiğinde, karışımın domine edici unsurunun metan (CH₄) gazı olduğu açıkça görülmektedir. Söz konusu tablodaki veriler, doğal gaz kompozisyonunun geri kalan kısmının ise etan, propan ve bütan gibi diğer hidrokarbonlar ile karbondioksit, oksijen ve azot gibi inorganik bileşiklerden oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca karışım içerisinde hidrojen sülfür ve eser miktarda soy gazların (argon, helyum, neon, ksenon) bulunduğu da tespit edilmektedir.

Doğal gaz, oluşum süreci milyonlarca yıl öncesine dayanan konvansiyonel bir fosil yakıt olmakla birlikte; bu kaynağın rezervlerden çıkarılması, rafine edilmesi ve ticari kullanıma

sunulmasına yönelik teknolojik metodolojiler nispeten yakın bir geçmişte olgunlaşmıştır. Tarihsel süreçte yıldırım düşmesi veya sismik hareketler gibi doğal fenomenler neticesinde yeryüzüne sızarak alev alan doğal gaz, antik medeniyetler tarafından metafiziksel bir güç olarak yorumlanmış; bu durum zamanla çeşitli mitolojik anlatıların ve efsanelerin doğmasına zemin hazırlamıştır. Bu inanışların en dikkat çekici örneklerinden biri, M.Ö. 1000 civarında antik Yunanistan'daki Parnassus Dağı'nda gözlemlenen ve kehanet merkezi olarak kabul edilen doğa olaylarıdır.

Dönemin Yunanlıları, ilahi kökene sahip olduğuna inandıkları için alevler üzerine bir tapınak inşa ettiler. Tapınak, kehanetlerinin alevlerden esinlendiğini iddia eden Delhi Kâhini olarak bilinen bir rahibeyi barındırıyordu. Öte yandan Çin halkı da bu yangınları kendi lehine görmüştür. Tarihsel kayıtlara göre Çinliler, doğal gazın yer yüzeyine sızdığı noktaları tespit ederek, bu kaynağın nakliyesi için bambu kamışlarından müteşekkil ilk boru hattı sistemlerini inşa etmişlerdir. Söz konusu enerji kaynağını deniz suyunun evaporasyonu (buharlaştırılması) sürecinde kullanarak tuzu ayırtmış ve bu yöntemle içilebilir su temin etmişlerdir (Kidnay ve Parrish, 2019: 1).

Tarihsel kronolojide doğal gazın ısınma ve aydınlatma gereksinimlerini karşılamak üzere kullanımı 17. yüzyılda İtalyanlara kadar uzanmaktadır. Bununla birlikte, bu enerji kaynağının ticari ölçekte pazarlanması ve endüstriyel kullanımına yönelik ilk girişimler İngiltere tarafından gerçekleştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise Albay Dranke, Pennsylvania'da açılan kuyularda doğal gaz ve petrolü birlikte keşfetmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde endüstriyel ölçekli üretimi hedefleyen ilk kuyu, 1821 yılında William Hart'ın öncülüğünde New York'un Fredonia bölgesinde faaliyete geçirilmiştir. Bu girişim, aynı zamanda ülkenin ilk doğal gaz kuruluşu olan Fredonia Gas Light Company'nin temelini oluşturması bakımından Amerikan enerji tarihinde öncü bir adım olarak kabul edilmektedir (Amerikan Petrol Enstitüsü (API), 2023).

Robert Bunsen ve asistanı Peter Pesaga tarafından yapılan araştırmalar sonucunda 1885 yılına kadar aydınlatma amaçlı kullanılan doğal gaz, günümüzde laboratuvar ekipmanlarında ısıtma ve dezenfeksiyon amacıyla kullanılmaktadır (Kidnay ve Parrish, 2019: 1).

120 mil (yaklaşık 193,12 km) uzunluğunda bir doğal gaz boru hattı ilk olarak 1891 yılında Indiana ile Chicago arasında inşa edilmiştir (Acar vd. 2011: 37). 1951'de Amerika Birleşik Devletleri kıtasını baştan sona geçen başka bir boru hattı inşa edilmiştir. Lojistik açıdan büyük bir eşik olan 1840 mil uzunluğundaki boru hattı, Los Angeles Körfezi'nin zengin

rezervlerini tüketim talebinin çok daha yoğun olduğu New York ve New Jersey gibi merkezlere nakletmek amacıyla inşa edilmiştir. Öte yandan, sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) endüstriyel ölçekteki ilk üretimi Los Angeles'ta gerçekleştirilmiş ve bu kaynak deniz yoluyla İngiltere'ye ihraç edilerek küresel enerji ticaretinde yeni bir dönem başlatmıştır (Pipeline Knowledge, 2023). İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra dünyada sanayinin hızla gelişmesiyle birlikte doğalgaz kullanımı da artmıştır.

Tablo 5: 1999-2024 Yılları Arasında Türkiye Doğalgaz Üretimi

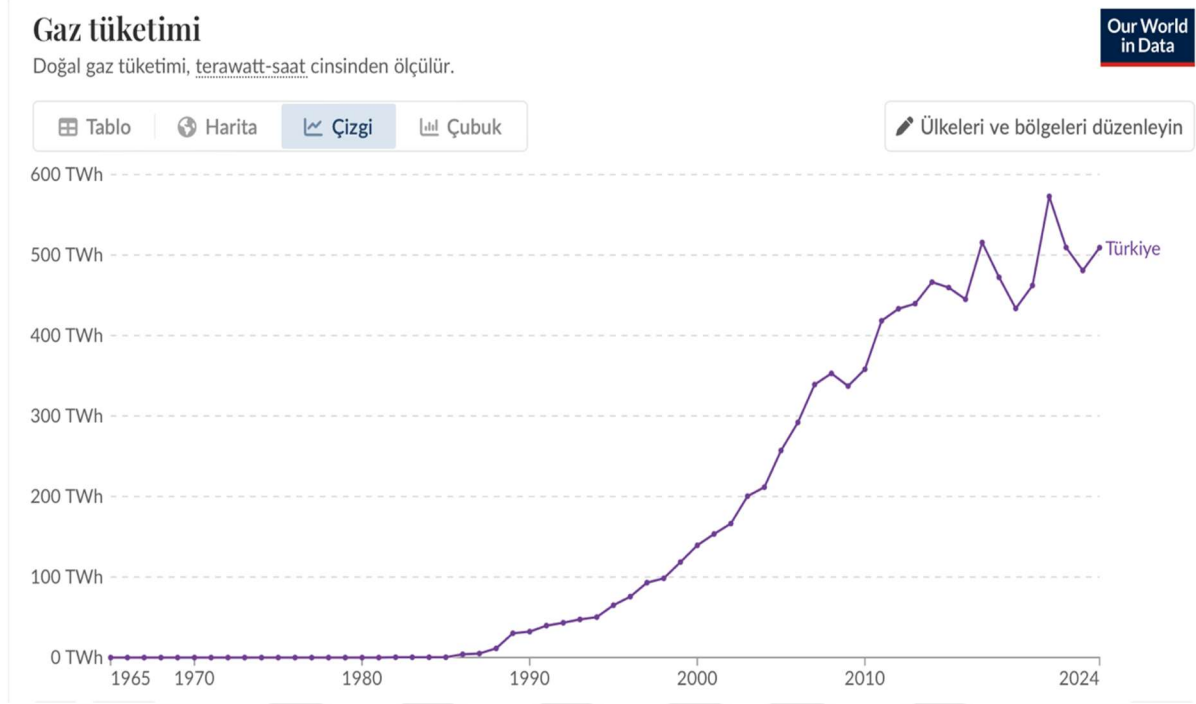
Yıllar Years	DOĞALGAZ ÜRETİMİ (M3) NATURAL GAS (CUBIC METER)
1999	731 098 727
2000	639 222 969
2001	311 562 545
2002	378 402 738
2003	560 633 511
2004	707 008 763
2005	896 424 950
2006	906 587 974
2007	893 055 000
2008	1014 530 570
2009	729 414 369
2010	725 993 340
2011	793 397 572
2012	664 353 885
2013	561 544 788
2014	502 108 992
2015	398 723 410
2016	381 596 942
2017	364 295 167
2018	435 518 023
2019	483 381 033
2020	457 826 359
2021	415 036 880
2022	408 017 074
2023	851 970 209
2024	2 348 722 942

Kaynak: <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/Genel/Petrolistatistikleri>

Tablo 5 incelendiğinde, Türkiye’de doğal gaz üretiminin 1999–2024 döneminde istikrarlı bir artış eğilimi göstermediği, aksine uzun yıllar boyunca düşük ve dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir. 2000’li yılların ortalarında üretimde sınırlı bir yükseliş yaşansa da bu artış kalıcı olmamış, 2010 sonrasında üretim tekrar gerilemiştir. Buna karşılık 2023 ve özellikle 2024 yılında kaydedilen belirgin artış, Karadeniz doğal gaz sahalarının devreye alınmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu son gelişme, Türkiye’nin doğal gazda yerli üretim kapasitesini artırma yönünde önemli bir adım attığını; ancak genel tablo itibarıyla üretimin uzun süre talebi

karşılamaktan uzak kaldığını göstermektedir (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG), 2024).

Şekil 24:1965-2024 Yılları Arasında Türkiye Doğalgaz Tüketimi



Kaynak: <https://ourworldindata.org/grapher/gas-consumption-by-country?tab=line&country=~TUR> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 24 incelendiğinde, Türkiye’de doğal gaz tüketiminin 1980’li yılların sonuna kadar oldukça sınırlı kaldığı, bu tarihten sonra ise özellikle enerji arz yapısındaki dönüşümle birlikte hızla artmaya başladığı görülmektedir. 1990’lı ve 2000’li yıllarda doğal gazın elektrik üretimi, sanayi ve konutlarda yaygın biçimde kullanılmaya başlanması tüketimde belirgin bir sıçramaya yol açmıştır. 2010 sonrasında tüketim yüksek seviyelerde dalgalı bir seyir izlerken, genel eğilim artış yönünde devam etmiştir. Son yıllarda görülen dalgalanmalar iklim koşulları, ekonomik faaliyetler ve enerji politikalarındaki değişimlerle ilişkilendirilebilir. Genel olarak şekil, doğal gazın Türkiye’nin enerji tüketimi içinde zamanla stratejik ve vazgeçilmez bir kaynak haline geldiğini göstermektedir (Our World in Data, 2025).

2.2.3. Kömür Kaynakları

Dünya genelinde en yaygın kullanılan birincil enerji kaynaklarının başında gelen kömür, hidrokarbon esaslı konvansiyonel bir yakıttır. Kimyasal kompozisyonu temel olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmakla birlikte; bünyesinde kükürt ve azot gibi elementleri de barındırmaktadır. Kömürün niteliksel karakterizasyonu; maruz kaldığı jeolojik süreçler,

karbonizasyon derecesi ve termal geçmişine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, her kömür türü; sabit karbon oranı, nem ve kül muhtevası ile mineral ve kükürt içeriği bakımından farklı spesifikasyonlara sahiptir (Ablabekova, 2008).

Kömürün spesifik niteliklerine göre optimize edilmiş kullanım alanlarının belirlenmesi, küresel ölçekte standartlaştırılmış bir sınıflandırma sistemini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda ilk kapsamlı taksonomi, 1857 yılında Uluslararası Kömür Komisyonu tarafından çok uluslu numune analizlerine dayalı olarak tesis edilmiştir. Takip eden süreçte Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), bu kategorizasyonu daha sistematik bir yapıya kavuşturarak kömürleri; 'sert kömürler' (antrasit ve taşkömürü) ile 'kahverengi kömürler' (linyit ve alt-bitümlü kömür) olmak üzere iki temel sınıfa ayırmıştır (T.K.İ., 2009 2).

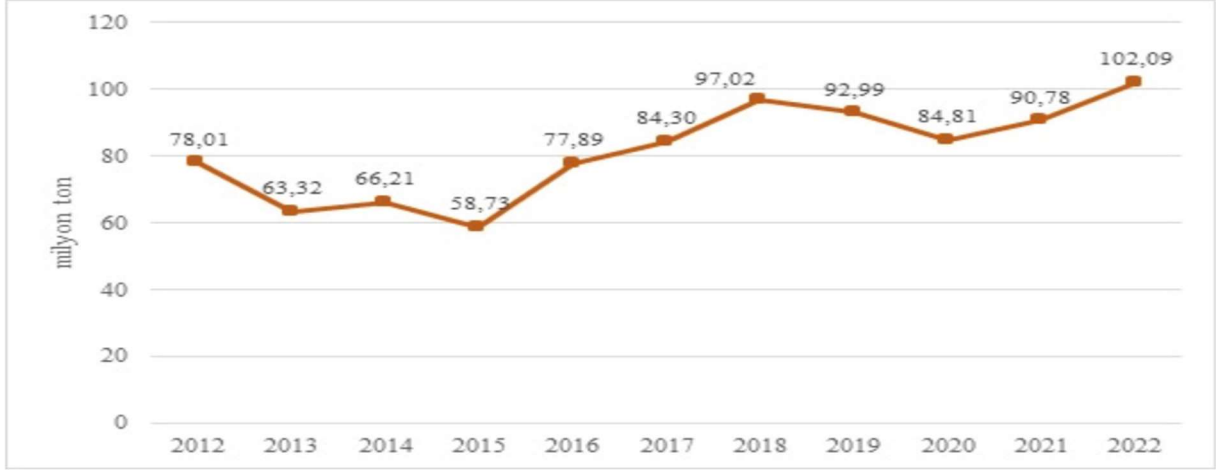
Kömürün enerji kaynağı olarak kullanımına dair kesin bir tarih saptanamamakla birlikte, literatürdeki ilk kayıtlar bu kaynağın Çinliler tarafından değerlendirildiğine işaret etmektedir. Madencilik faaliyetlerinin kökeni 12. yüzyıla kadar dayansa da, kömürün birincil enerji faktörü olarak yoğun kullanımı ancak 18. yüzyılın ikinci yarısındaki Sanayi Devrimi ile ivme kazanmıştır. Endüstriyel dönüşüm süreci, stratejik bir hammaddeye dönüşen kömüre yönelik talebi radikal bir biçimde artırmıştır. Anadolu coğrafyasında ise madencilik sektörü, özellikle 19. yüzyılda yeni rezervlerin saptanmasıyla ivme kazanmış; bu dönemde linyit ve taşkömürü gibi kritik kaynaklar envantere dahil edilmiştir. Akdeniz havzasında nadir bulunan yüksek kalorili kömür yatakları, Türkiye'nin Zonguldak havzasında 1829 yılında tespit edilmiş ve 1848 yılı itibarıyla endüstriyel işletmeye açılmıştır (Yorulmaz, 1998: 283).

Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu'nun temeli 1951'de imzalanan Paris Antlaşmasıyla yapılmıştır. Topluluk, Fransa, Almanya, Belçika, İtalya, Hollanda ve Lüksemburg arasında yapılan bir anlaşma kapsamında oluşturuldu. Topluluğun hedefleri öncelikle çelik ve kömür üretimini kontrol etmek ve böylece askeri sanayide kullanımının önlenmesi, mevcut sektörlerde ekonomik kalkınmanın başlatılması, istihdam olanaklarının sağlanması ve o dönemdeki yaşam standartlarının iyileştirilmesini sağlamaktır (Ersoy, 2016: 2-3).

Fosil enerji kaynaklarından biri olan kömür, tarih boyunca insanın hayatta kalmasına yardımcı olmuş ve günümüzde de önemini korumaya devam ettirmiştir. Günümüzde temiz kömür teknolojisinin aktif gelişimi ve teknolojinin gelişmesi göz önüne alındığında, Türkiye'nin kömür kaynaklarımızdan öncelikli olarak faydalanmasının, enerjide dışa bağımlılığımızın azalmasına yardımcı olacağı ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Aktaş, 2011: 16).

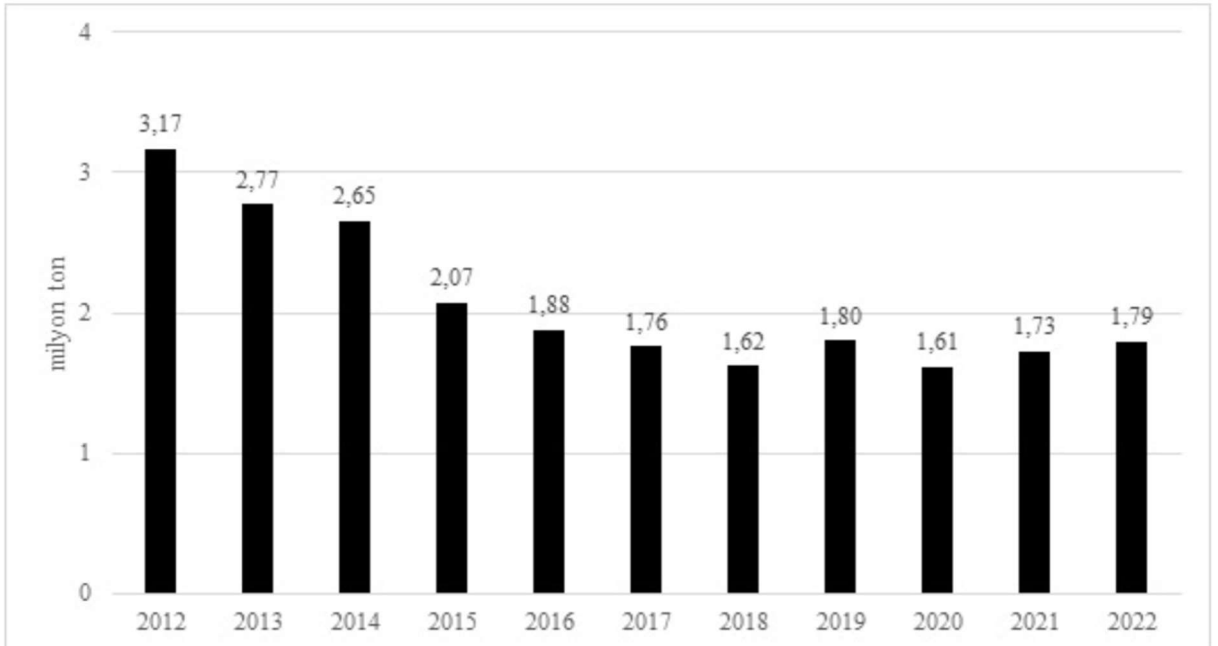
Küresel ölçekte elektrik ve termal enerji üretimi süreçlerinde stratejik bir paya sahip olan kömür, birim maliyet açısından rekabetçi bir üretim kapasitesi sunmaktadır. Bunun yanı sıra, yerli kaynakların değerlendirilmesi yoluyla ulusların dış kaynaklı enerji arzına olan yapısal bağımlılığını minimize etme noktasında kritik bir işlev üstlenmektedir

Tablo 6: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Linyit Üretimleri



Kaynak: <https://www.enerji.gov.tr>

Tablo 7: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Taş Kömürü Üretimleri



Kaynak: <https://www.enerji.gov.tr>

Tablo 8: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Asfaltit Üretimleri



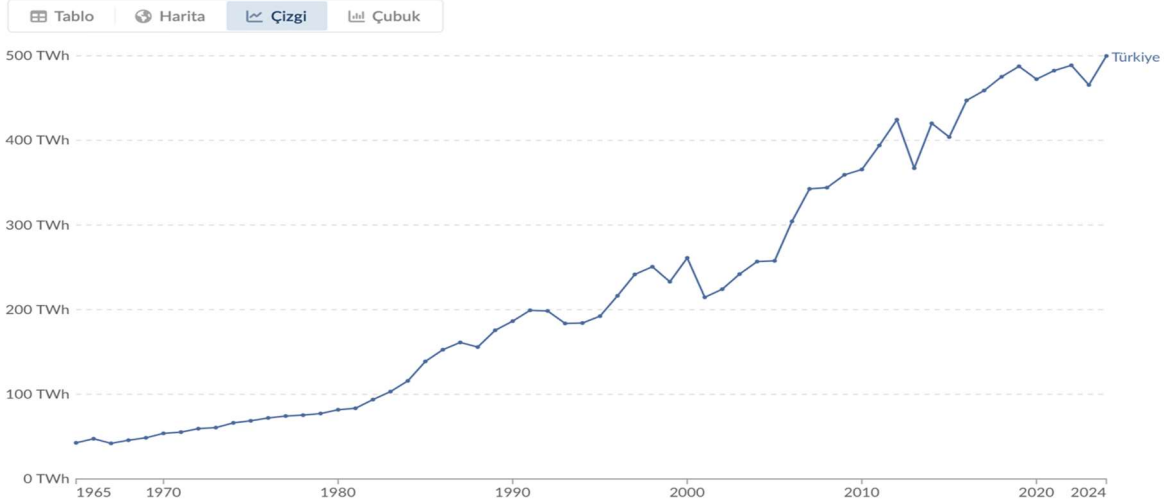
Kaynak: <https://www.enerji.gov.tr>

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, (Tablo 6,7 ve 8) 2022 yılında Türkiye’de toplam kömür üretimi; 102,09 milyon ton linyit, 1,49 milyon ton asfaltit, 1,79 milyon ton taş kömürü olmak üzere toplam 105,37 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 25: Yıllar İtibariyle Ülkemiz Kömür Tüketimleri

Kömür tüketimi

Ülkeye veya bölgeye göre terawatt-saat (TWh) cinsinden ölçülen kömür tüketimi.



Kaynak: <https://ourworldindata.org/grapher/coal-consumption-by-country-terawatt-hours-twh?tab=line&country=~TUR&mapSelect=~TUR> (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Şekil 25’e bakıldığında, Türkiye’de kömür tüketiminin 1960’lı yıllardan itibaren genel olarak artan bir seyir izlediği görülmektedir. 1970’li ve 1980’li yıllarda tüketim kademeli

biçimde yükselirken, 1990'lı yıllarda sanayi üretimi ve elektrik talebindeki artışa paralel olarak daha belirgin bir artış yaşanmıştır. 2000'li yılların başında tüketimde dalgalanmalar görülmekle birlikte, özellikle 2010 sonrasında kömür tüketimi yüksek seviyelere ulaşmıştır. Son yıllardaki dalgalı seyir ise enerji talebi, çevresel düzenlemeler ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla ilişkilendirilebilir. Genel olarak şekil, kömürün Türkiye enerji tüketiminde uzun süre önemli bir rol oynadığını ve son dönemde de belirli ölçüde bu konumunu koruduğunu göstermektedir (Our World in Data, 2025).

2.3. Türkiye'nin Kaynaklarına Göre Enerji Potansiyelleri

2.3.1. Türkiye'de Kömür Enerjisi Potansiyeli

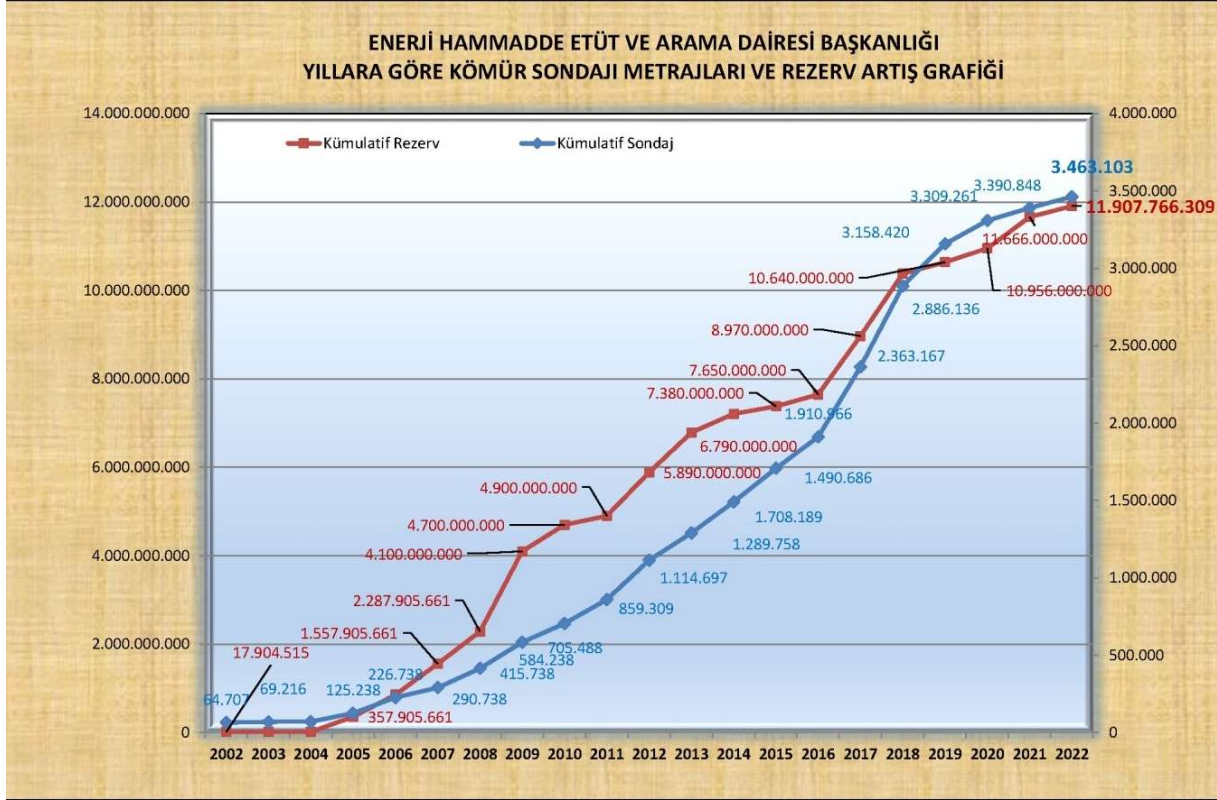
Ülkemizde Cumhuriyetin kurulmasıyla birlikte linyit madenciliği ve aramacılığına önem verilmeye başlandığı anlaşılmaktadır. Bu çerçevede Amasya-Çeltek, Yozgat-Yerköy, Kütahya-Tunçbilek-Değirimsaz ve Aydın-Nazilli-Girenez madenleri 1927 yılında işletmeye alınmış, yer altı yataklarımızı incelemek üzere Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü kurulmuş, 1935 yılında ise kömür arama çalışmalarına başlanmıştır. Bilimsel hale getirilen bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. MTA, 1939-1984 yılları arasında 40.000 kilometrekarelik alanda detaylı etütler yapmış, toplam 1.459.000 metre sondaj tamamlamış ve 117 linyit yatağının olduğunu tespit etmiş bulunmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda linyit rezervinin 8,3 milyar ton olduğu belirlenmiş ve 1984'ten 2004'e kadar olan dönem kömür aramaları açısından istikrarlı bir dönem olmuştur.

Genel Müdürlüğü tarafından 2005 yılında ivme kazandırılan kömür arama stratejileri kapsamında, 2022 yılı sonu verilerine göre kümülatif olarak 3.469.787 metrelik sondaj faaliyeti icra edilmiştir. Bu operasyonlar neticesinde; Karapınar-Ayrancı, Eskişehir-Alpu, Afyon-Dinar, Tekirdağ-Malkara, İstanbul-Silivri, Edirne-Merkez-Meriç ve Muş gibi yüksek rezervli yataklar başta olmak üzere toplamda 29 yeni linyit/kömür sahası ekonomiye kazandırılmıştır. Mevcut üç petrol sahasında ise rezerv geliştirme çalışmalarıyla kapasite artışı kaydedilmiştir. Bunlara ek olarak, Maden Kanunu çerçevesinde henüz 'maden keşfi' statüsüne girmemekle birlikte, potansiyel barındırdığı saptanan 8 adet kömür kaynak sahası da literatüre dahil edilmiştir.

Bu çerçevede, 2005 ile 2022 yılları arasını kapsayan arama ve tetkik faaliyetleri neticesinde, Türkiye'nin toplam linyit rezervlerinde %143 oranında bir artış kaydedilerek rezerv miktarı 11,91 milyar ton geliştirilmiştir. Söz konusu artışın bileşenleri incelendiğinde; 10,25 milyar tonluk kısmın MTA sahalarından, 1,658 milyar tonluk kısmın ise EÜAŞ ve TKİ

sahalarından sağlandığı görülmektedir. Bu kapsamlı saha geliştirme çalışmaları sonucunda, özel sektöre ait linyit rezervleri de dahil edildiğinde toplam rezerv hacmi 20,4 milyar ton seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 26: Yıllara Göre Kömür Sondajı Metrajları ve Rezerv Artış Grafiği



Kaynak: Maden Tetkik ve Arama (MTA), www.mta.gov.tr

Ülkemiz kömür rezervleri dünya toplam rezervlerinin yaklaşık %2,1'ini oluşturmakta olup, linyit açısından da önemli bir konuma sahiptir. Ancak linyitimizin %79'unun kalorifik değerinin 2500 kcal/kg'ın altında olması termik santrallerde kullanımını ön plana çıkarmaktadır.

Son dönem verilerine göre, yıllık yaklaşık 70 milyon ton düzeyinde seyreden toplam kömür üretiminin %85 gibi büyük bir bölümü termik santrallerde yakıt olarak tüketilmektedir. Türkiye'nin mevcut kurulu gücü incelendiğinde; yerli kömür odaklı santraller 11.365 MW, ithal kömür odaklı santraller ise 8.993 MW kapasiteye sahiptir. Bu toplam 20.358 MW'lık kapasite, genel elektrik kurulu gücünün %20,4'ünü teşkil etmektedir. Rezerv potansiyeli saptanmış olan linyit sahalarının stratejik bir planlamayla operasyonel hale getirilmesi ve mevcut ünitelere yapılacak kapasite artırımları sayesinde, yerli kömüre dayalı kurulu gücün 20.000 MW seviyelerine taşınabileceği öngörülmektedir.

Şekil 27: Türkiye'nin Önemli Linyit Havzaları ve Sahaları



Kaynak: (MTA, www.mta.gov.tr)

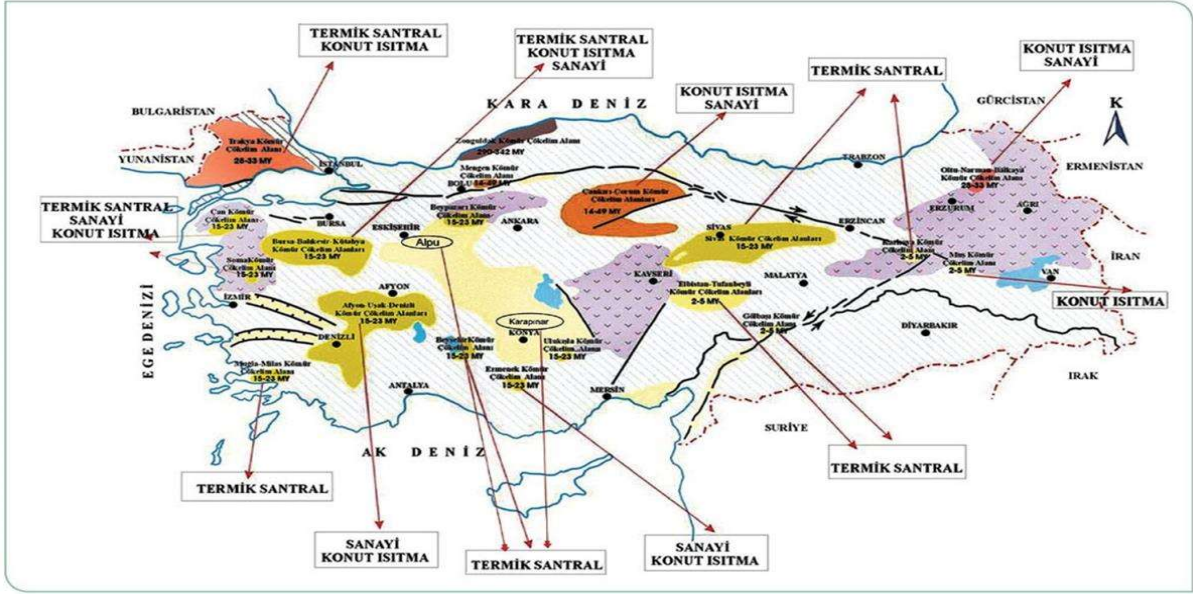
Tablo 9: Türkiye'nin Önemli Linyit Havzaları ve Sahaları

KÖMÜR SAHALARI	TOPLAM REZERV (ton)
Afşin- Elbistan	4.642.340.000
Afşin — Elbistan (MTA)	515.000.000
Manisa-Soma	861.450.000
Adana-Tufanbeyli	429.549.000
Adıyaman-Gölbasi	57.142.000
Bingöl — Karlıova	88.884.000
Ankara-Beyşehir	498.000.000
Afyon-Dinar-Dombayova	941.500.000
Bolu — Mengen	142.757.000
Muğla — Milas	750.214.000
Çankırı-Orta	123.165.000
Çanakkale — Çan	92.483.000
Kütahya-Tunçbilek	317.732.000

Kütahya-Seyitömer	198.666.000
Sivas — Kangal	202.607.000
Kütahya-Gediz	23.945.000
Tekirdağ-Çerkezköy	573.600.000
Tekirdağ-Malkara	1.533.300.000
Tekirdağ — Saray	141.175.000
Amasya-Yeniçelttek	19.791.000
Yozgat — Sorgun	13.206.000
Bolu — Göynük	43.454.000
Çorum-Dodurga	38.500.000
Konya-Karapınar	1.832.000.000
Konya (Beyşehir-Seydişehir)	348.000.000
Bolu (salıp.-Merkez)	98.000.000
İstanbul (Silivri)	1.100.000.000
Eskişehir (Alpu)	1.453.000.000
Eskişehir (Koyunağılı)	57.430.000
Muş-Merkez	400.000.000
Edirne	90.000.000
Bursa (Keleş — Orhaneli)	85.000.000
Balıkesir	34.000.000
Ankara (Gölbaşı)	48.000.000
Diğerleri	2.116.110.000
TOPLAM	20.210.000.000

Kaynak: (MTA, www.mta.gov.tr)

Şekil 28: Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları



Önemli Kömür Sahaları ve Potansiyel Kullanım Alanları
Kaynak: (MTA, www.mta.gov.tr)

2.3.2. Türkiye’de Doğalgaz Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, doğal gazı bir enerji kaynağı olarak ilk kez 1976 yılında tanımış ve özellikle enerji krizi sonrası artan tüketimin de etkisiyle doğalgaz ithalatına ağırlık vermeye başlamıştır. Tüketim arttıkça enerji arzı sorunlarının da ortaya çıkmasıyla enerji arz-talep dengesizliği oluşmaya başlamıştır. Fosil kaynaklı enerji tüketim projeksiyonlarında doğal gazın payının ivme kazanmasının temel faktörlerinden biri; bu kaynağın, kömür ve petrol gibi diğer hidrokarbonlara kıyasla Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik hedefleri üzerinde çok daha düşük bir emisyon profili sergilemesidir. Bu durum doğal gaz tüketiminin giderek artmasının ve yıllar geçtikçe dışa bağımlılığın artmasının en büyük nedenlerindendir. Yenilenemeyen fosil kaynakların genel durumu göz önüne alındığında, Türkiye'nin doğal gaz rezervlerinin de düşük olduğu görülmektedir. Mevcut rezervlerin hızla tükenmesi iç tüketimin karşılanamamasının en önemli nedenleri arasındadır (TPAO, 2017: 34).

Ülkemizin doğal gaz piyasası hem pazar hem de ithalatçı ülke olarak çok önemli bir konuma sahip ve Avrupa'da ilk beş ülke arasında yer almaktadır. 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanununun 2001 yılında yürürlüğe girmesiyle birlikte doğal gaz piyasasının serbestleşme süreci başlamıştır. 2001'den bu yana geçen yaklaşık 20 yılda ülkemizde çok önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Doğal Gaz Piyasası Kanununun yürürlüğe girmesinden önce Türkiye doğal gaz piyasası tekel (mono polistik) bir yapı içerisindeydi. Kanun öncesi dönemde Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ)'ın ithalat, iletim ve satışta yasal tekele

sahip olduğu görülmektedir. Doğal Gaz Piyasası Kanununun yürürlüğe girmesiyle birlikte bu süreç giderek değişmiş, doğal gaz piyasası rekabet ortamına dönüşmüştür. Şekil 29'da kanunun kapsamı ve öncelikleri özetlenmektedir. Bu kapsamda öncelikle Elektrik Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK), 4646 sayılı Kanunla doğal gaz piyasasını da kapsama yetkisini almış, adını Enerji Piyasası Denetleme Kurumu olarak değiştirmiş ve denetim kapsamını genişletmiştir. Daha sonra LPG ve petrol piyasaları da EPDK'nın düzenleme kapsamına alınmıştır. Doğal gaz piyasası açısından bakıldığında Enerji Piyasası Denetleme Kurumu da diğer bağımsız idari kurumlar gibi kanundan kaynaklanan bazı yasama, idari ve yargısal düzenleme yetkilerine sahiptir (Caner, 2020). Bu kapsamda 4646 sayılı Kanunun yürürlüğe girmesini takip eden dönemde enerji piyasasının açılması, bu piyasanın bağımsız düzenleme ve denetiminin sağlanması ve şeffaflık ve rekabet ilkeleri içerisinde doğal gaz piyasasının rekabete açılması beklenmektedir (Şekil 29).

Gaz Piyasası Kanunu, tedarik zincirleri olarak da bilinen piyasa faaliyetlerini birbirinden ayırmıştır. İthalattan nihai tüketiciye ve satışa kadar olan faaliyetler Gaz Piyasası Kanunu çerçevesinde EPDK tarafından lisanslanmakta, böylece piyasa katılımcılarının piyasaya katılımını sağlayan serbest ve rekabetçi bir model oluşturulmaktadır (Şekil 30). Bu Kanunda tanımlanan faaliyetler şu şekilde sıralanabilir: (i) ithalat, (ii) iletim, (iii) toptan satış, (iv) depolama (yeraltı gaz depolama ve LNG terminalleri kapsamında gazın depolanması ve temini) (v) dağıtım, (vi) ihracat, (vii) sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) dağıtım ve (viii) CNG iletimi ve satışlarıdır.

Şekil 29: 4646 Sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu Kapsamı



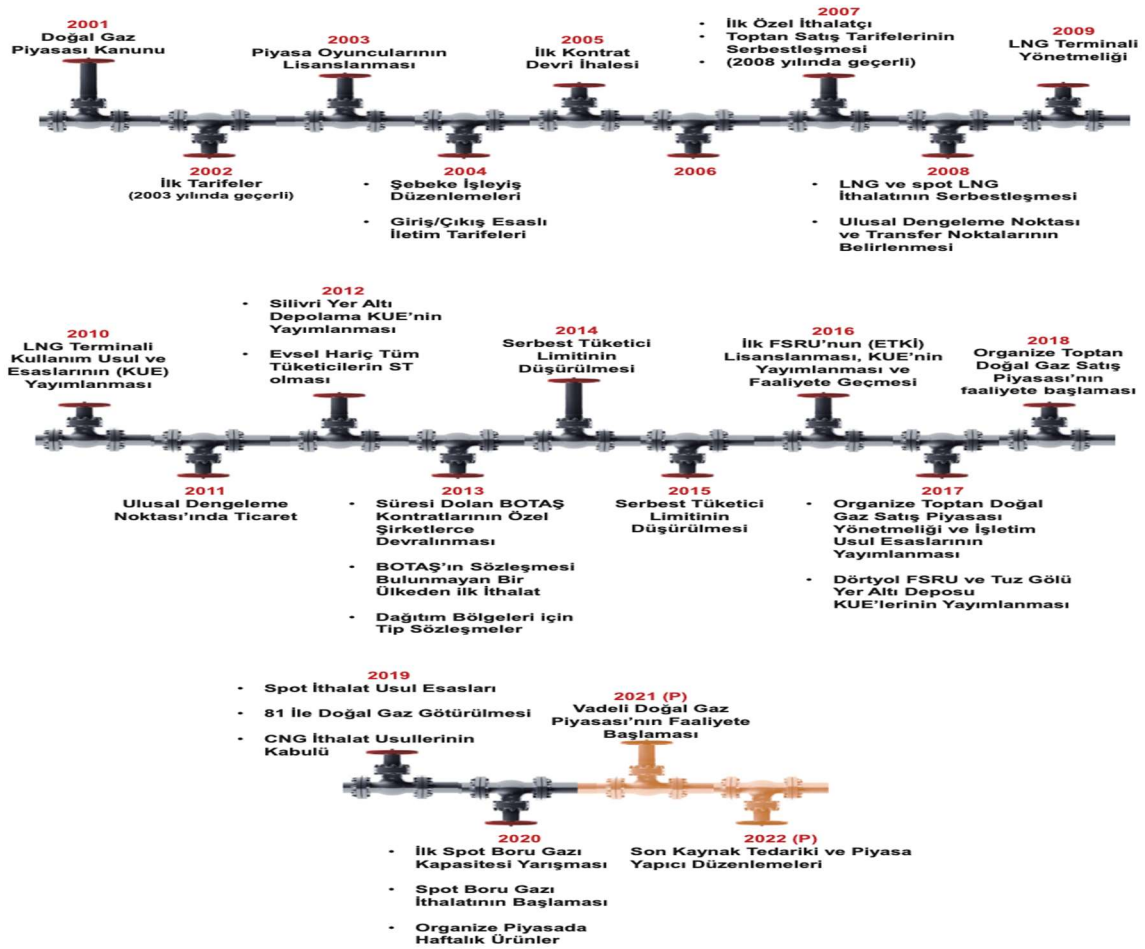
Kaynak: (Caner, 2020).

Şekil 30: Doğal Gaz Piyasası Kanunu'nda Öngörülen Model



Kaynak: (Caner, 2020).

Şekil 31: EPDK Tarafından Yapılan Düzenlemeler ve Gelecek Projeksiyonlar



Kaynak: (Caner, 2020).

Şekil 31'de 4646 sayılı Gaz Piyasası Kanunu'nun yürürlüğe girdiği 2001 yılından bu yana EPDK tarafından geliştirilen düzenlemeler ve geleceğe yönelik projeksiyonlar gösterilmektedir. Kanunun yürürlüğe girmesinin ardından 2002 yılında ilk tarife onayları, 2003 yılında ise lisanslama süreci gerçekleştirilmiştir. 2004 yılında ağ operasyonlarına yönelik düzenlemeler geliştirilmiştir. Bu düzenlemeler kapsamında EPDK, ithalata yönelik tüm giriş noktalarında, tüm tüketim noktalarında ve çıkış noktalarında iletim sistemlerine ilişkin ticari ve teknik kurallar önermektedir. Bu hükmün temel amacı, tüm bu hakları elinde bulunduran tüzel kişinin dışındaki tüzel kişilerin de bunları eşit şartlarda kullanabilmelerini sağlamaktır. Arz yönlü rekabeti sağlamak amacıyla 2005 yılında kanunun gerektirdiği ilk ithalat sözleşmesi devir ihalesi yapıldı. Bunun sonucunda BOTAŞ'ın elindeki sözleşmeler özel sektörün eline geçmiş ve 4 milyar metreküp özel sektöre devredilmiştir. 2007 yılında BOTAŞ dışında ilk özel ithalatçıların da sisteme girdiği görülmektedir. Aynı dönemde rekabetçi bir ortam sağlamak amacıyla toptan satış tarifeleri geçici olarak gevşetilmiştir. LNG'nin serbestleştirilmesinin ve spot LNG ithalatının temeli sayılabilecek iletim sistemindeki sanal doğal gaz alışverişini sağlayacak ulusal dengeleme noktaları ve aktarma noktaları 2008 yılında sisteme tanıtılmıştır. 2009 yılında LNG sektörünün liberalleşmesiyle birlikte, biri özel, diğeri kamu olmak üzere iki kara terminalinden üçüncü kişilerin eşit şekilde yararlanmasını sağlayacak LNG terminallerine ilişkin usul ve esaslar hakkında yönetmelik yayımlanmıştır. Ertesi yılda ise bu yönetmeliğe ait usul ve esaslar onaylanmıştır. 2012 ve 2013 yıllarına baktığımızda yer altı depolama alanlarının rekabet koşullarının sağlanması amacıyla kullanılması konusunda da aynı düzenlemelerin yapıldığı görülmektedir. EPDK, arz yönlü liberalizasyon programlarına benzer şekilde talep tarafında da ilerici bir liberalleşme yaklaşımı sergilemektedir. Bu çerçevede, 2013 yılında özel sektörün BOTAŞ'ın 2012 yılında sona eren sözleşmelerini yeniden sözleşme yapmasına olanak tanıyan bir hüküm oluşturulmuştur. Bunun sonucunda özel sektör 6 milyar metreküp kapasite için yeni sözleşmelere imza atarak arz tarafında rekabet oluşumunu sağlamıştır. Bu süreç devam ettikçe serbest tüketime yönelik limitler giderek azaltılmış ve arz yönünde rekabet ortamı sağlayan bu düzenlemeler talep tarafından da desteklenmiştir. 2016 yılında yüzer LNG terminallerinin lisanslandırılmasına ve terminalin eşit şartlarda kullanılmasına yönelik düzenlemeler üçüncü taraflar tarafından yapılmıştır. 2017 yılında doğal gaz piyasamız çok önemli bir dönüşüm yaşamıştır. Organize toptan doğal gaz satış piyasası EPDK'nın çıkardığı yönetmelik çerçevesinde kurulmuştur. Bu gelişme ile, Avrupa ve Dünya Doğal Gaz Ticaret Borsalarına benzer bir altyapı kurularak gaz ticaret merkezi olma yolunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. 2017 yılında ikinci yüzer LNG terminali olan Dörtyol FSRU terminali ile yeni

yer altı gaz depolama yatırımı olan Tuz Gölü tesisinin kullanımına ilişkin usul ve esaslar EPDK tarafından onaylanmıştır. Türkiye'de gaz borsası olarak tanımlayabileceğimiz, gazın rekabetçi koşullarda ve uluslararası standartlara uygun olarak fiyatlandırılabilmesi, Balkanlar, Akdeniz ve Kafkaslar dahil bölgemize özgü organize toptan doğal gaz satış pazarı EPDK hükümleri çerçevesinde 1 Eylül 2018 tarihinde faaliyete geçirilmiştir. 2019 yılında ülkemiz kanunu, spot ithalat düzenlemeleri çerçevesinde usul ve esaslar oluşturmuş ve sözleşmenin sona ermesinden sonra yeni spot girişine izin verilmesi veya kısa süreye gerek kalmaksızın spot ticaret kapsamında spot gazın girişine izin verilmesi amacıyla düzenlemeler oluşturmuştur. Aynı dönemde sıkıştırılmış doğalgaz ithalatına ilişkin usul ve esaslar kabul edilmiştir. EPDK, 2020 yılında ilk kez borulu doğal gaz araştırmasını yerinde gerçekleştirerek ilk yarışmasını gerçekleştirmiştir. 2021 yılında ise vadeli doğal gaz sözleşmelerinin satış yapabilecek seviyeye ulaşılması umulmaktadır.

Karadeniz'de doğal gazın keşfedilmesinin ardından bu gazın kademeli olarak piyasaya girmesi beklenmekte ve BOTAŞ, EPIAŞ, EPDK ve özel sektör temsilcileri 2023 yılına kadar olan gelecek sözleşmelerin alınıp satılabilmesini sağlamak amacıyla bir dizi çalıştay aracılığıyla bu süreci değerlendirmektedir.

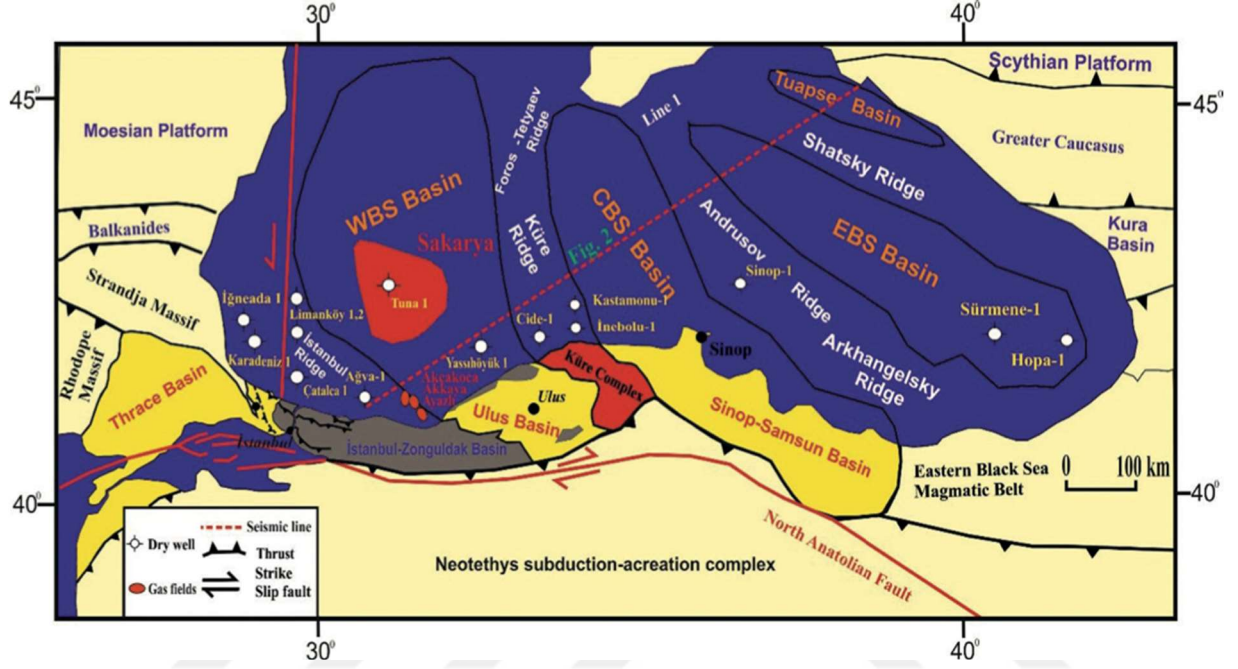
2.3.2.1. Karadeniz Doğal Gaz Potansiyeli

Karadeniz'de karada ve denizde hidrokarbon arama çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmektedir. Akçakoca sığ bölgesinde daha önce yapılan gaz keşifleri çok sınırlı olsa da en önemli keşif Ağustos 2020'de Romanya-Türkiye sınırında Tuna Nehri'nin oluşturduğu denizaltı yelpazesi olarak da bilinen Tuna-1 kuyusunda yapılmıştır (Ş. Şen, 2020).

Karadeniz deniz havzasında geçmişten günümüze pek çok sondaj faaliyeti gerçekleştirilmiştir. İlk kuyular sığ açık denizlerde açılan Karadeniz 1 ve İğne Ada 1 kuyularıdır. Daha sonraki dönemde Limanköy 1 ve 2 sondajları açılmıştır. Akçakoca, Ayazlı ve Akkaya sığ deniz gaz sahalarında yapılan sondajlarla düşük de olsa ilk gaz üretimine başlanmıştır. Bu gazların kökeni tartışmalıdır ve karbonifer şeyl ve kömürlerinden kaynaklanmış olmalıdırlar (Şen, 2020: 2125-2143; Yalçın vd., 2002: 1305-1328). Bu üretimin ardından 2013 yılına kadar dünyanın en önemli petrol şirketleriyle iş birliği yapılarak Karadeniz'de çok sayıda derin deniz ve ultra derin deniz sondaj faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Birincisi, Hopa-1 kuyusu BP'yle, Sinop-1 kuyusu ExxonMobil'le, Yassihöyük kuyusu ise Chevron'la yapılmıştır. Ayrıca Türkiye Petrolleri Anonim Şirketi (TP), Sürmene, Ağva,

Cidde, Kastamonu ve Çatalca petrol kuyularını kendi imkanlarıyla açmasına rağmen yeni keşifler yapılmamıştır. Uzun bir aradan sonra nihayet Ağustos 2020’de açılan ultra derin deniz Tuna-1 kuyusunda gaz keşfi yapılmıştır (Şekil 32).

Şekil 32: Karadeniz Havzaları ve Deniz Alanında Delinen Kuyular ile Keşfedilen Gaz Sahaları



Kaynak: (Ş. Şen, “Karadeniz’deki Doğal Gaz Potansiyellerinin Değerlendirilmesi”, TÜBA–Doğal Gaz Çalıştay ve Paneli, 8-9 Ekim 2020.)

2.3.2.2. Türkiye’deki Doğalgaz Boru Hatları

Türkiye’nin sahip olduğu önemli doğalgaz boru hatları bulunmaktadır. Bu bölümde enerji sektöründe Türkiye’nin söz sahibi olmasını sağlayan doğalgaz boru hatları ele alınacaktır. Türkiye enerji politikalarının belirlenmesinde bu boru hatları önemli bir yer tutmaktadır.

Bunlar:

• Rusya Federasyonu-Türkiye Doğalgaz Boru Hattı (Batı Hattı)

Bulgaristan sınırındaki Malkoçlar’dan ülkemize giren Rusya Federasyonu-Türkiye doğal gaz boru hattı, Hamitabat, Ambarlı, İstanbul, İzmit, Bursa ve Eskişehir üzerinden Ankara’ya kadar toplam 845 kilometre uzunluğundadır. Hattın Trakya bölgesindeki bir kısmı 1987 yılında, bir kısmı ise 1988 yılında işletmeye alınmıştır. Boru hattı üzerinde Kırklareli,

Ambali ve Eskişehir'deki kompresör istasyonlarının yanı sıra Malkoçlar'daki ana ölçüm istasyonu bulunmaktadır.

• **Mavi Akım Doğalgaz Boru Hattı**

Mavi Akım projesinin Türkiye kısmı 2003 yılında işletmeye açılmıştır. Samsun'dan başlayıp Amasya, Çorum, Kırıkkale üzerinden Ankara'ya ulaşıyor ve Ahiboz yakınlarında Markoklar-Ankara iletim hattıyla birleşmektedir. Ayrıca Çorum Sungurlu'dan Düzce'ye de şubesi bulunmaktadır. Boru hattı üzerinde Çorum kompresör istasyonu ve Durusu ana ölçüm istasyonu bulunmaktadır.

• **Azerbaycan -Türkiye Doğalgaz Boru Hattı (Şahdeniz Hattı)**

Azerbaycan-Türkiye (Şahdeniz I) doğal gaz boru hattı 2007 yılında işletmeye alınmış olup, Azerbaycan'daki Şahdeniz I gaz sahasından üretilen doğal gazın Gürcistan üzerinden Türkiye'ye taşınması amacıyla tasarlanmıştır. Boru hattı üzerinde Hanak kompresör istasyonu ve Türkgözü'nde ana ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Azerbaycan doğal gaz boru hattı Horasan yakınlarında Doğu Anadolu doğal gaz boru hattı ile birleşerek, kombine hat üzerinden doğal gaz ülkemizin batı bölgesine taşınmaktadır.

• **Bakü-Tiflis-Erzurum (BTE) Doğalgaz Boru Hattı**

Bakü-Tiflis-Erzurum doğalgaz boru hattı, Azerbaycan'ın Güney Hazar Denizi'ndeki Şahdeniz doğalgaz sahasında üretilen doğalgazın Türkiye'ye arzını amaçlıyor ve Türkiye ile Azerbaycan arasında 12 Mart 2021 de imzalanan hükümetler arası anlaşma çerçevesinde hayata geçirilmektedir.

Boru hattı yaklaşık 980 kilometre uzunluğunda olup Azerbaycan ve Gürcistan'daki Bakü-Tiflis-Ceyhan ham petrol boru hattı (BTC) ile aynı koridoru kullanmaktadır. 42'' çapında olacak şekilde tasarlanan BTE boru hattının 16 Ekim 2004'te inşaatına başlanmış ve 4 Temmuz 2007'de boru hattıyla doğal gaz taşınmaya başlamıştır. 2015 yılında Şahdeniz sahasının ikinci üretim aşamasına paralel olarak Azerbaycan ve Gürcistan'ın BTE segmentinin (Güney Kafkasya Doğal Gaz Boru Hattı) üretim kapasitesinin artırılmasına yönelik proje çapında çalışmalar başlatılmış olup, ilk gazın Azerbaycan ve Gürcistan'a girişi sağlanmıştır. TANAP sistemi Haziran 2018'de hizmete girmiştir. Hâlihazırda BTE üzerinden BOTAŞ iletim sistemine ve TANAP sistemine verilen doğalgaz, Türkiye'deki tüketicilere ve TANAP üzerinden Avrupa'daki tüketicilere ulaştırılmaktadır.

• Türkiye-Yunanistan Doğalgaz Boru Hattı

AB INOGATE (Avrupa'da Eyaletlerarası Petrol ve Gaz Taşımacılığı) programı kapsamında geliştirilen Güney Avrupa Gaz Ringi'nin ilk aşaması, boru hattının Türk ve Yunan gaz ağlarını birbirine bağlamasına ve gaz tedarik etmesine olanak tanımıştır. Bu boru hattı Türkiye'den ve/veya Türkiye üzerinden Yunanistan'a arz edilmesine olanak sağlayan boru hattıdır. Türkiye Cumhuriyeti ile Yunanistan Cumhuriyeti arasında Türk-Yunan doğal gaz bağlantısının gerçekleştirilmesine ve Türkiye Cumhuriyeti'nden Yunanistan Cumhuriyeti'ne doğal gaz tedarikine ilişkin Hükümetler arası Anlaşma 23 Şubat 2003'de 15 yıl süreli Doğalgaz alım-satım Anlaşması ile BOTAS ile DEPA arasında 23 Aralık 2003 tarihinde imzalanmıştır. 18 Kasım 2007'de iki ülkenin başbakanları açılış törenine birlikte katılarak boru hattından gaz verilmeye başlanmıştır.

• Doğu Anadolu Doğalgaz Ana İletim Hattı: İran-Türkiye Enerji Koridoru

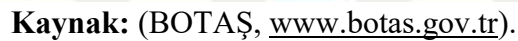
İran ve Türkiye, 8 Ağustos 1996'da Tahran'da imzalanan "Doğal Gaz Alım Satım Anlaşması" ile her yıl 10 milyar metreküp İran doğalgazının boru hatlarıyla Türkiye'ye arzını öngörmüştür. Bu altyapı altında inşa edilen tesisin toplam uzunluğu yaklaşık 1.491 kilometredir. Doğu Anadolu Ana Doğal Gaz İletim Hattı, çapı 48 inç ile 16 inç arasında olup, Doğubayazıt'tan başlayarak Erzurum, Sivas ve Kayseri üzerinden Ankara'ya kadar uzanmakta, diğer branşman ile de Kayseri ve Konya üzerinden Seydişehir'e ulaşmaktadır.

Haziran 2001 sonu itibarıyla boru hattı sisteminin tamamı doğal gaz alabilecek duruma gelmiş, İran'daki Bazargan ölçüm istasyonunun tamamlanmasıyla birlikte 10 Aralık 2001 tarihinde İran'dan doğal gaz alımına başlanmıştır.

• Trans-Anadolu Doğalgaz Boru Hattı Projesi (TANAP)

Trans Anadolu Gaz Boru Hattı Projesi (TANAP), Güney Kafkasya Boru Hattı (SCP) ve Trans Adriyatik Boru Hattı ile birlikte, iki kardeş ülke Türkiye ve Azerbaycan arasında enerji sektöründeki başarılı iş birliğinin en önemli sembollerinden biri olarak gösterilmektedir. Türkiye, Orta Doğu ve Avrupa'nın en uzun (1811 km) ve en geniş çaplı (56 inç) doğal gaz boru hattı olan TANAP, Azerbaycan'ın Şahdeniz sahasından üretilen doğal gazın önce Türkiye'ye, ardından Avrupa'ya taşınmasını amaçlamaktadır. TANAP, Türkiye-Gürcistan sınırında Ardahan ilinin Posof ilçesine bağlı Türkgözü köyünden yola çıkarak Ardahan, Kars, Erzurum, Erzincan, Bayburt, Gümüşhane, Giresun, Sivas, Yozgat, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Eskişehir, Bilecik'e, Kütahya, Bursa, Balıkesir, Çanakkale, Tekirdağ ve Edirne

Şekil 33: Türkiye'de Doğalgaz Boru Hatları Haritası



- **Batı Karadeniz Doğal Gaz Boru Hattı**

77

Projenin ilk aşaması Doğal Gaz Ölçüm İstasyonu ve Doğal Gaz Bağlantı Hattı (Faz-1) olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilmiştir.

1.Kısım: Filyos Doğal Gaz Ölçüm İstasyonu;

Projenin ilk kısmı, BOTAŞ iletiminin bağlantı noktası olan Filyos'ta yer alan, Sakarya gaz sahasından çıkarılacak günlük 50 milyon standart metreküp, yıllık 18 milyar standart metreküp kapasiteli, doğal gazın kalite ve miktarının ölçümüne yönelik ölçüm istasyonudur. Bu istasyon Zonguldak ilinin Çaycuma ilçesindeki hat olup BOTAŞ tarafından inşa edilmiştir. 15 Kasım 2022 tarihi itibarıyla test kabul işlemleri tamamlanmış olup gaz alma şartları sağlanmıştır. İlgili istasyonlarda gazın BOTAŞ iletim şebekesine girmeden önce miktar ve kalitesi ölçülecek ve filtrelenecektir.

2.Kısım: Doğal Gaz Bağlantı Hattı;

Projenin ikinci bölümünde; Batı Karadeniz gaz ölçüm istasyonu çıkışından başlayarak 48 inç çapında yaklaşık 36 kilometrelik yüksek basınçlı çelik gaz boru hatları ve vana sistemlerinden oluşan "Batı Karadeniz Gaz Boru Hattı Faz I" yer almaktadır. BOTAŞ tarafından inşa edilen BOTAŞ gaz iletim hattı, bu hat bağlantısı yerli ve milli doğalgazın BOTAŞ ulusal iletim şebekesine iletilmesini sağlayacaktır.

Batı Karadeniz Gaz Boru Hattı'nın ilk fazı, 2022 yılı sonunda test ve devreye alma işlemlerinin tamamlanmasının ardından geçici olarak kabul edilmiş ve boru hattına doğalgazın alımı yapılmış ve BOTAŞ tarafından doğalgaz sevkiyatına hazır hale getirilmiştir.

2.3.3. Türkiye’de Petrol Enerjisi Potansiyeli

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’nin de birincil enerji kaynakları olan petrol ve doğal gaz, stratejik öneme sahip olup ekonominin en önemli girdileri ve itici güçleridir. 2020 yılı itibarıyla Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %27'si doğal gaz, %28,7'si petrol, %27,7'si kömür, %7,2'si jeotermal, %4,6'sı hidroelektrik ve %4,9'u diğer enerjilerden oluşmaktadır (TPAO 2021: 43). Petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar ve bölgesel siyasi istikrarsızlık nedeniyle ülkemizin enerji arz güvenliği bugün en önemli öncelik haline gelmiştir. Ülkemizin petrol ve doğal gaz ihtiyacının büyük bir kısmı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Bu bağlamda yerli ve yabancı petrol ve gaz arama ve üretiminin önemi daha da öne çıkmıştır. 2021 verilerine göre ülkemizin petrol tüketimi 29,35 milyon ton, doğalgaz tüketimi ise 59,85 milyar metreküptür. Ham petrol tüketiminin %93'ü ithalata dayanmaktadır (Tablo 10).

Tablo 10: Türkiye'nin Yıllar İtibariyle Ham Petrol Dış Alımı ve Petrol Ürünleri Tüketimi

Yıllar	Ham Petrol Dış Alımı (Milyon Ton)	Petrol Ürünleri Tüketimi (Milyon Ton)
2000	21,67	29,90
2001	23,24	28,60
2002	24,52	26,10
2003	23,68	29,20
2004	23,47	30,60
2005	23,39	29,30
2006	24,06	29,90
2007	23,45	27,70
2008	21,74	27,00
2009	14,19	22,30
2010	16,84	23,80
2011	18,09	25,00
2012	19,48	20,14
2013	18,55	21,13
2014	17,48	21,89
2015	25,06	24,82
2016	24,96	26,72
2017	25,77	28,46
2018	20,97	27,81
2019	31,07	26,74
2020	29,37	26,37
2021	31,42	29,35

Kaynak: (EPDK Sektör Raporları (2005-2021))

Dolayısıyla bu verilere göre Türkiye'nin 2021 yılındaki ham petrol talebinin ve doğalgaz tüketiminin sadece yüzde 7'si ve yüzde 1'i yerli üretimle karşılanabilmiştir. Türkiye'nin temel olarak ihtiyaç duyduğu enerji kaynakları olan petrol ve doğal gazın başta yurt içi kaynaklardan olmak üzere yurt dışından da temini için arama faaliyetleri devam etmektedir.

TPAO'nun ülkede petrol ve doğalgazın keşfedildiği kara ve deniz havzalarında araştırmaları devam ederken, özel ve yabancı sermayeli şirketlerle de arama ve üretim projeleri geliştirilmektedir (Tablo 11).

Tablo 11: 2021 Yıl Sonu İtibariyle TPAO Ortak Arama ve Üretim Bölgeleri

Alan	Ortaklık	Arama ve Üretim Bölgeleri
Kara Alanları	TPAO - NVT PERENCO	Güneydoğu Anadolu Bölgesi (Kastel, Karaali, G. Kırtepe, Hançerli, Miyadin)
Kara Alanları	TPAO - PARK PLACE ENERGY	Cendere, O. Sungurlu
Kara Alanları	TPAO - PETROGAS	Trakya Bölgesi (Adatepe, D. Adatepe, Dikilitaş, Pelit)
Deniz Alanları	TPAO - PARK PLACE ENERGY	Karadeniz (Akçakoca)
Deniz Alanları	TPAO - SHELL	Batı Karadeniz
Deniz Alanları	TPAO - KKTC	Kıbrıs

Kaynak: (TPAO 2021 Faaliyet Raporu:50-54)

Türkiye'de ham petrol üretim alanları küçük ve dağınıktır. Ancak 2020 yılında TPAO aracılığıyla petrol üreten aktif kuyu sayısı 130'dur (TPAO, 2020: 99-100). Üretim aşamasında ortaya çıkan ve ayrıştırılan tuzlu su hem insanlara hem de çevreye zararlıdır. Su, tuzların yanı sıra yağdan elde edilen kimyasalları ve yağları da içermektedir. Faaliyet aşamasında petrol arama ve üretimi sırasında ortaya çıkan sorunların en önemlisi budur. Bu sorunları ortadan kaldırmak için petrolün yanı sıra diğer atıklar da petrolün olduğu yere geri gönderilerek ayrıştırılmaktadır. Bu sıvı atığın enjeksiyonu sırasında yer altı su kaynaklarıyla birleştirilmemesi ve çevreye olumsuz etkisi bulunmaması gerekmektedir (Demircioğlu, 2003: 98-100; TPAO, 2018: 87).

2.3.3.1. Türkiye’de Petrol Boru Hatları

Türkiye’nin sahip olduğu önemli petrol boru hatları bulunmaktadır. Bu kaynaklar arz güvenliği kapsamında Türkiye enerji politikasında önemli bir paya sahiptir. Bu petrol kaynakları;

• Türkiye-Irak Ham Petrol Boru Hattı

1976 yılında devreye alınan hattan yükleme yapan ilk tanker 1977 yılında tamamlanmıştır. Çeşitli projelerle kapasitesi %100’ün üzerinde artırılarak 1987 yılında 70,9 milyon ton ham petrol kapasitesine ulaşılmıştır (BOTAŞ, 2023).

• Ceyhan-Kırıkkale Ham Petrol Boru Hattı

Bu hattın işletmeye alınması 1986 yılında başlamış olup, maksimum kapasitesi 7,2 milyon ton/yıldır (BOTAŞ, 2023).

• **Batman-Dörtyol Ham Petrol Boru Hattı**

Türkiye'nin ilk ham petrol boru hattı olarak 1967 yılında yapımına başlanan Batman-Dörtyol petrol boru hattının mülkiyeti 1984 yılında BOTAŞ'a devredilmiş olup, bu boru hattının yıllık kapasitesi 4,5 milyon tondur (BOTAŞ, 2023).

• **Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı**

Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) Ham Petrol Boru Hattı; başta Azerbaycan rezervleri olmak üzere Hazar Havzası'ndaki hidrokarbon kaynaklarının, Gürcistan topraklarını takiben Ceyhan terminaline sevkiyatını sağlamak amacıyla tesis edilmiştir. Söz konusu enerji koridoru; bölgesel kaynakların küresel piyasalara arzında güvenli, maliyet etkin ve ekolojik standartlara uyumlu bir güzergâh oluştururken, Ceyhan üzerinden deniz yoluyla dünya pazarlarına entegrasyonu mümkün kılmaktadır.

Bu hatta yükleme yapan ilk tanker 2006 yılında inşa edilmiş olup, taşıma kapasitesi 50 milyon ton/yıl olan bu hattın işletmesi kuruluşumuza bağlı BOTAŞ Uluslararası Anonim Şirketi (BIL) tarafından yürütülmektedir (BOTAŞ, 2023).

• **Dörtyol-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı**

2022 yılında işletmeye alınması planlanan Dörtyol-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı, Hatay'ın Dörtyol ilçesinden başlayıp Adana'nın Ceyhan kentine kadar uzanan 37 kilometre uzunluğunda bir boru hattıdır. Dörtyol-Ceyhan'ın HPBH'si ile daha önce Batman'ın HPBH'si ile aktarımı ve ardından deniz yoluyla taşınması gereken petrolün doğrudan iletimi sağlanmış ve deniz taşımacılığına gerek kalmadan sevkiyatı mümkün olmuştur (BOTAŞ, 2023).

Şekil 34: Türkiye Ham Petrol Boru Hatları Haritası



Kaynak: (ETKB, 2023).

2.3.4. Türkiye’de Nükleer Enerji Potansiyeli

Küresel ölçekte hidrokarbon rezervlerinin (petrol, doğal gaz ve kömür) hızla tükenmesi, ulus devletleri enerji portföylerini çeşitlendirmeye yönelik stratejik adımlar atmaya sevk etmektedir. Türkiye özelinde elektrik enerjisi talebi incelendiğinde; 2016 yılında 278,3 milyar kWh (TEİAŞ, 2017) olan tüketim miktarı, 2017’de %5,6’lık bir ivmeyle 294,9 milyar kWh (TEİAŞ, 2018) seviyesine ulaşmıştır. Bu artış trendi 2018 yılında da devam ederek, bir önceki yıla göre %1,1’lik bir yükselişle 300,1 milyar kWh olarak kayıtlara geçmiştir (TEİAŞ, 2019). Enerji arz güvenliğinde dışa bağımlılığın getirdiği riskler, Türkiye’yi hem alternatif enerji üretim modelleri geliştirmeye hem de sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik arayışları yoğunlaştırmaya mecbur bırakmaktadır.

Bu stratejinin temel bileşenleri, hidrokarbon enerji tedarik kaynaklarının ve rotalarının çeşitlendirilmesi ve yerli yenilenebilir enerji yüzdesinin artırılmasıdır. Verimliliğin artırılması, nükleer enerjinin stratejiye dahil edilmesi gibi hususlar bulunmaktadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2020). 2018 yılında tüketilen enerji miktarları incelendiğinde, ülkenin elektrik üretiminin yüzde 37,3’ü kömürden, yüzde 29,8’i doğalgazdan, yüzde 19,8’i hidrolik enerjiden, yüzde 6,6’sı rüzgârdan ve yüzde 2,6’sı elektrik enerjisinden elde ediliyor. Dünyadaki enerjinin tamamının güneşten, %2,5’inin jeotermal enerjiden, %1,4’ünün ise diğer kaynaklardan elde edildiği görülmektedir (ETKB, 2020).

Küresel enerji projeksiyonlarında stratejik bir konuma sahip olan nükleer enerji, 1950’li yıllardan itibaren ticari ve endüstriyel ölçekte kullanılmaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından paylaşılan 2019 yılı verileri incelendiğinde; dünya genelinde 443

nükleer reaktörün operasyonel durumda olduğu, 52 ünitenin ise kurulum sürecinin devam ettiği görülmektedir (IAEA/PRIS, 2019). Ülkeler bazında reaktör sayılarına bakıldığında; 2018 yılı itibarıyla ABD (98), Fransa (58) ve Çin (46) başı çekerken; onları Japonya, Güney Kore ve Hindistan gibi önemli ekonomiler takip etmektedir (IAEA, 2019). Günümüzde nükleer santraller, küresel elektrik arzının yaklaşık %10'unu tek başına karşılamaktadır. Ulusal enerji sepetlerindeki payı dikkate alındığında; nükleer kaynaklar Fransa'nın elektrik ihtiyacının %72'sini, Ukrayna'nın %53'ünü ve İsveç'in %40'ını domine etmektedir. Bölgesel ölçekte ise AB, toplam elektrik üretiminin yaklaşık %28'ini nükleer enerji kanalıyla tesis etmektedir (ETKB, 2020).

Türkiye'nin nükleer teknolojiye adaptasyon süreci, 1960'lı yılların kalkınma planlarıyla paralel olarak başlamış; 1965 yılında ise nükleer santral tesisine yönelik teknik altyapı çalışmaları hız kazanmıştır. Yapılan jeolojik ve sismik etütler neticesinde 1974'te Mersin-Akkuyu sahası, nükleer güç santrali inşası için en optimize lokasyon olarak belirlenmiştir. Uluslararası arenada nükleer enerjinin barışçıl amaçlarla kullanımı noktasındaki kararlılığını 1995 tarihli küresel anlaşmaya taraf olan ilk ülkeler arasında yer alarak gösteren Türkiye, aynı zamanda bu alandaki bilimsel yetkinliği artırmayı hedeflemiştir. Bu hedefin kurumsal bir yansıması olarak, yerli insan kaynağının bilimsel ve teknik eğitimini standardize etmek ve nükleer politikaları yönetmek üzere Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) teşkilatlandırılmıştır. (Akkuyu Nükleer Güç Santrali A.Ş., 2026)

Akkuyu nükleer santral projesine yönelik yatırım iştahını artırmak amacıyla 1994 yılında mali teşvikler genişletilmiş; bu kapsamda hazine garantileri ve vergi muafiyetleri gibi mekanizmalarla Yap-İşlet-Devret (YİD) modeli finansal açıdan daha cazip bir yapıya kavuşturulmuştur. Bu stratejik hazırlık evresinin devamında, 1995 yılında Güney Koreli enerji kuruluşu KAERI ile iş birliği yapılarak Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin teknik şartnamesi ve ihale esasları somutlaştırılmıştır. 1997 yılında Fransız, Alman, Amerikalı ve Kanadalı şirketler tarafından oluşan bir konsorsiyum, 700-1500 MW kapasiteli bir reaktör teklif edilmiştir. Türkiye aynı yıl Yap-İşlet-Sahip ol (YİS) modelini benimseyerek model üzerinde uzlaşmaya çalışılmış, YİD modeli yerine YİS modeli üzerinde yoğunlaşarak fikir birliğine varmaya çalışılmıştır. Ancak bu görüşmeler, reaktörün inşası için hazine garantisi talebinin hükümetin reddedilmesi ve 2000 yılında yaşanan mali sıkıntılar nedeniyle yine de başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Türkiye'nin nükleer enerji stratejilerinde bütüncül bir perspektifin tesis edilememesi, 2000 yılına gelene dek yürütülen dört farklı santral girişimin sonuçsuz kalmasına yol açmıştır

(Kaya ve Gral, 2016). Bu tarihsel süreçteki durağanlık, günümüzde inşası devam eden ve Türkiye'nin ilk nükleer enerji yatırımı olma özelliği taşıyan Akkuyu Nükleer Güç Santrali (NGS) projesi ile aşılmıştır. Projenin hukuki ve diplomatik temelleri, 12 Mayıs 2010 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti ile Rusya Federasyonu arasında imzalanan Hkmetlerarası Anlaşma ile resmileştirilmiştir. Söz konusu iş birliği protokolü; Mersin'in güney sahil şeridinde, her biri VVER-1200 (Basınçlı Su Reaktörü) teknolojisine sahip dört üniteden oluşan ve toplamda 4800 MW kurulu güce ulaşacak olan tesisin hem inşaat hem de operasyonel süreçlerini kapsamaktadır.

Küresel nükleer endüstrinin nc aktörlerinden olan Rosatom Devlet Kuruluşu, projede %99,2 oranındaki hâkim sermaye payıyla ana yatırımcı konumundadır. Toplam yatırım bedelinin yaklaşık 20 milyar Amerikan Doları olarak öngörüldüğü Akkuyu NGS, dünya nükleer literatüründe 'Yap-İşlet-Sahip Ol' (YİS) finansman modeliyle hayata geçirilen ilk nükleer enerji santrali olma özelliği taşımaktadır. İmzalanan protokol uyarınca yüklenici şirket; tesisin projelendirilmesinden inşaatına, operasyonel yönetiminden bakım-onarım faaliyetlerine ve nihai olarak devreden çıkarılma (decommissioning) süreçlerine kadar tüm yaşam döngüsü sorumluluğunu üstlenmiştir (Akkuyu Nükleer Güç Santrali A.Ş., 2026).

Rosatom Rusya'nın en büyük elektrik üreticisidir ve ülkenin enerji ihtiyaının %19'undan fazlasını karşılamaktadır. Söz konusu kuruluş, sınır ötesi nükleer santral inşası ve teknoloji transferi alanında küresel pazarın lideri konumunda bulunmaktadır. Şirketin operasyonel portföyü; aralarında Ermenistan, Bangladeş, Belarus, Macaristan, Mısır, Hindistan, İran, Çin ve Finlandiya'nın da yer aldığı 12 farklı ülkede, toplamda 36 g ünitesini kapsayan geniş ölçekli projelerden oluşmaktadır. Bu veriler, ilgili aktörün nükleer enerji piyasasındaki stratejik hakimiyetini ve uluslararası proje yönetim kapasitesini açıkça ortaya koymaktadır. (Rosatom, 2020).

Mevcut veriler ışığında, Türkiye'nin Rusya Federasyonu ile olan enerji etkileşiminin doğal gaz tedarikinin ötesine geçerek nükleer enerji alanını da kapsayan bir derinlik kazandığı görülmektedir. İki lke arasındaki stratejik ortaklık, Türk Akımı projesinin operasyonel hale gelmesiyle pekişirken; Akkuyu NGS projesi, bu ikili ilişkinin en kritik halkasını oluşturmıştır. Türkiye, nükleer enerjiyi enerji sepetinde stratejik bir alternatif olarak konumlandırarak arz güvenliğini sağlamayı ve ithal bağımlılığını minimize etmeyi hedeflemektedir. Ne var ki, 2010 tarihli Hkmetlerarası Anlaşma metninde yer alan 'Proje Şirketi, elektrik üretim kapasitesi de dahil olmak üzere santralin mülkiyet haklarına sahiptir' hükmü, mülkiyet ve kontrol mekanizmaları açısından dikkat çekici bir hukuki zemin oluşturmaktadır (Resmî Gazete,

2010). Bu, Türkiye'de üretilen elektriğin herhangi bir ülke veya kuruluşa satılmasından sorumlu tek otoritenin Rusya olduğunu göstermektedir.

2.3.5. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Günümüzde dünyanın odak noktası ekonomik kalkınma ve çevrenin korunmasıdır ve bu iki hedef çoğu zaman birbiriyle çelişmektedir. Bu nedenle enerji tüketiminin bu açıdan önemi ortaya çıkmış, bunun sonucunda enerji politikalarının gözden geçirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Doğa, insanın geleceğe bırakacağı en büyük mirastır. Çevre sorunları karmaşıktır ve birlikte ele alınması gerekir. Artık sorunlar bir kültürel ya da bölgesel gruba ait olmaktan çıkmış, tüm insanlığı etkileyen bir sorun haline gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma için gerekli olan temiz enerji ve diğer çevre koruma önlemlerinin sağlanmasında alternatif enerji büyük önem taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden politikanın yanı sıra maliyet bileşenlerinde de ciddi düşüşler yaşanmış, bu durum yenilenebilir enerji kullanımının artmasına ve enerji arzının önemli bir parçası haline gelmesine yol açmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir enerjide dünyaya katkısını artırma ve fark yaratma potansiyeli, iklime, toprağa ve yer altı kaynaklarına bağımlı olan güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal enerji ve biyoenerji alanlarındaki yeni yatırımlara bağlıdır (Uslu, 2016: 384).

Türkiye bu kaynakların kullanımını arttırdıkça hem enerji tüketiminde oluşan çevresel zararları minimize etmiş olacak hem de enerji güvenliğini oldukça yüksek seviyelere çıkarmış olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgâr, güneş, hidrolik ve biyokütle gibi alternatif kaynakları kullanabilmek adına yasal düzenlemeler yapmıştır.

2.3.6. Türkiye’de Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Türkiye'de 2019 yılında yalnızca hidroelektrik santrallerde üretilen enerji miktarı 68.452 GWh'dir. Kurulu hidroelektrik santral sayısı her geçen yıl artmaktadır. 2020 yılı itibarıyla ülkemizde 653 adet HES bulunmaktadır. Ancak hidroelektrik enerji üretim hacmi iklime bağlı olarak her yıl değişmektedir.

Ülkemiz yükseltisi ve yapısal şekli dikkate alındığında hem düşü hem de debi açısından şanslı sayılmaktadır. Mikro santralleri de değerlendirmemize dahil ettiğimizde ülkemizin ekonomik açıdan sürdürülebilir hidroelektrik potansiyeli daha da artmaktadır.

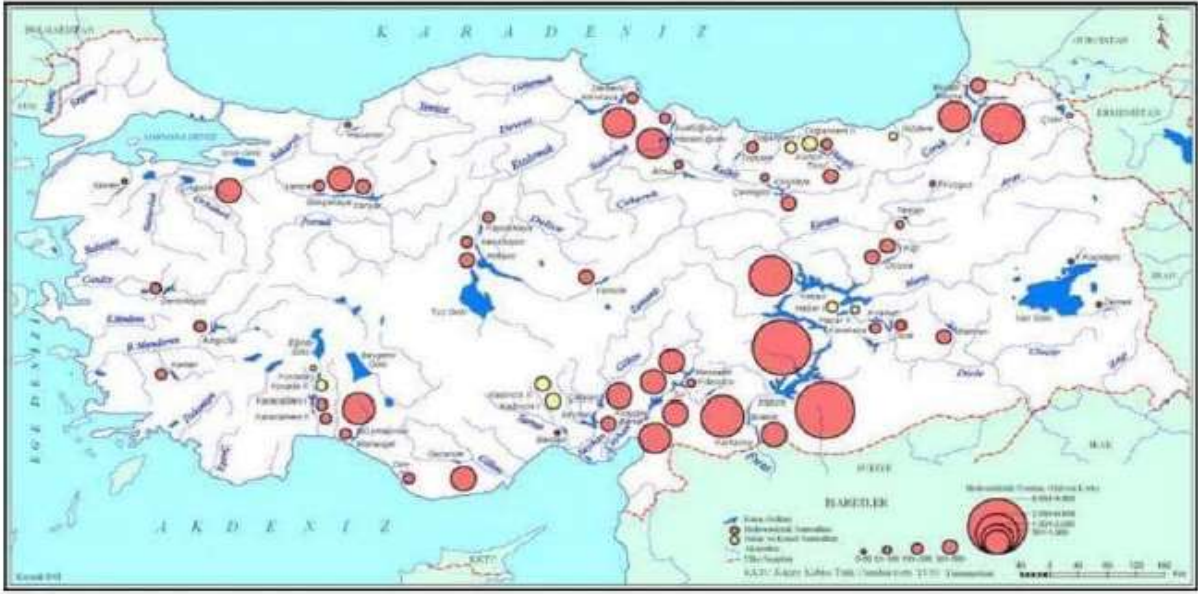
Ülkemizde küçük nehirler üzerine kurulabilecek çok sayıda mikro-Hidroelektrik enerji bulunmaktadır. Bu kaynakların kullanılması halinde birçok topluluğun, şirketin, yaylanın, mezranın enerji ihtiyacının merkezi sistemlere bağlı kalmadan, yani yerelden karşılanması mümkün olacaktır. Son zamanlarda çıkarılan kanunlar bu tür projelerin kolaylaştırılması ve dağıtımının sağlanmasına yöneliktir. Türkiye'de yağış rejimi oldukça düzensiz olup, zaman ve mekân açısından dengesiz durumdadır. Hava durumuna bağlı olarak her yıl önemli ölçüde değişmektedir. Bu durumda hidroelektrik üretiminde her yıl değişiklik yaşanmasının önüne geçmek mümkün olmamaktadır.

Uzun yıllara dayanan meteorolojik veriler, yıllık ortalama 643 mm yağışın 501 milyar metreküp suya eşdeğer olduğunu göstermektedir. Yağışlardan elde edilen 158 milyar metreküp su, yüzey suyu olarak göl ve derelere akmaktadır. Ekonomik ve teknik sınırlamalar dikkate alındığında, kullanılabilir su hacmi yıllık 112 milyar metreküptür.

Türkiye'nin hidroelektrik potansiyelinden maksimum verim elde edilmesi ve akış rejimlerinin optimize edilmesi amacıyla, mevcut projeksiyonlar doğrultusunda toplam 702 barajın inşası öngörülmektedir (Mechanic, 2025). Havza bazlı enerji potansiyeli incelendiğinde; Fırat Nehri %17, Dicle Nehri %11,5, Doğu Karadeniz %8, Doğu Akdeniz %6 ve Antalya Havzası %5,9'luk payları ile öne çıkan su kaynaklarıdır. Bununla birlikte, Türkiye'deki akarsuların debi karakteristikleri doğrudan iklimsel değişkenlere bağlı olup, yıllık periyotlarda yüksek dalgalanmalar sergilemektedir; nitekim kurak dönemlerde akım miktarlarının ortalama değerlerin yarısına kadar gerilediği gözlemlenmektedir (Öztürk, 2008: 152).

Enerjiye olan ihtiyacın günümüzde giderek artması enerji arz güvenliğini tehdit eden en önemli unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan Türkiye'nin coğrafyasının ve ikliminin hidroelektrik santralleri bakımından potansiyel olması enerji kaynağında çeşitlilik sağlamak ve arz güvenliğini kontrol altına almak adına yapılan yatırımları artırmaktadır. Türkiye'nin dışa olan bağımlılığını azaltmak için önemli bir yatırım aracı olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik enerji santralleri de önem arz etmektedir (ETKB, 2017a: 40).

Şekil 35: Türkiye Hidroelektrik Santralleri Haritası



Kaynak: (ETKB, 2019).

HES' lerin yoğunlukla kurulduğu bölgelerde akarsu ve barajların bulunduğu bölgelerde tercih edildiği görülmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinde hidroelektrik santrallerinin potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

2.3.7. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Portföyünde Güneş Potansiyeli

Coğrafi konumu itibarıyla 36°- 42° Kuzey enlemleri ile 26°- 45° Doğu boylamları arasında, güneş kuşağına yakın bir bölgede yer alan Türkiye, yüksek bir insolasyon potansiyeline sahiptir. 1985 ile 2019 yıllarını kapsayan uzun dönemli meteorolojik analizler, ülke genelinde günlük ortalama güneşlenme süresinin 6,8 saat düzeyinde olduğunu teyit etmektedir. Bununla birlikte, 2011-2019 yılları arasındaki ölçümler, Türkiye'nin ortalama yıllık güneş ışıınımı değerinin 1558,7 kWh/m² seviyesinde gerçekleştiğini ortaya koyarak, güneş enerjisinden elektrik üretimi noktasındaki verimlilik potansiyelini rakamsal olarak doğrulamaktadır. (Geçmez ve Gencer 2020: 39).

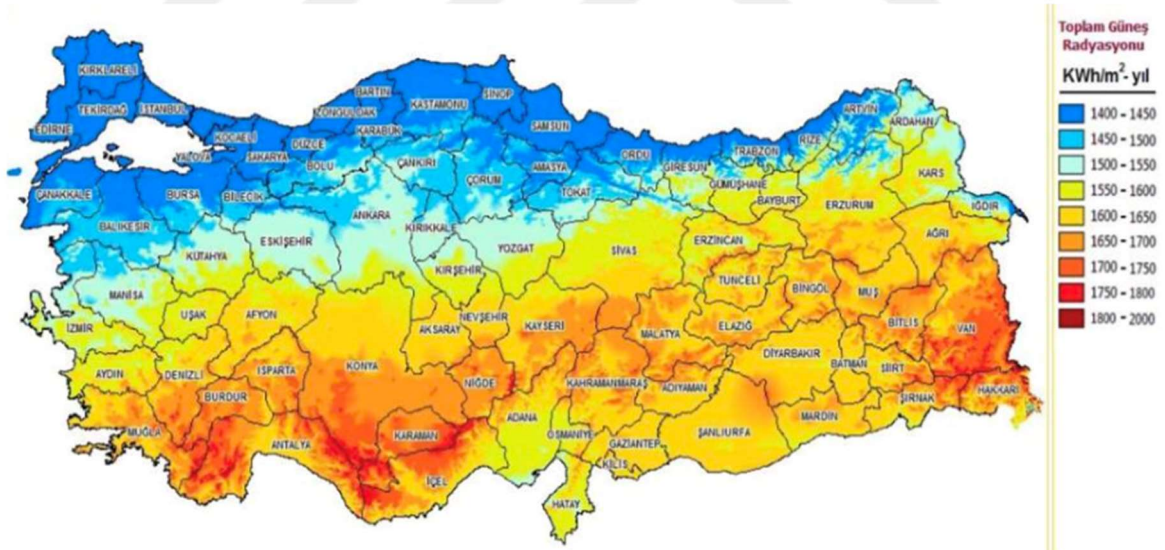
Tablo 12'den de görüleceği üzere Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyelinin en fazla olduğu ay Temmuz, en az olduğu ay ise Ocak ve Aralık ayları olduğu görülmektedir.

Tablo 12: Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/Ay)
	(Kcal/Cm ² -Ay)	(Kwh/M ² -Ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Kaynak: (Dinçer vd., 2018).

Şekil 36'ya göre güneş ışığının en fazla olduğu bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi, en az ise Karadeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır. Ancak Karadeniz Bölgesi, güneş enerjisinde lider olan Almanya'nın en iyi olan bölgesine göre değer olarak daha üst değerlere sahiptir (Dinçer vd., 2018).

Şekil 36: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası**Kaynak:** www.gepa.enerji.gov.tr (Erişim tarihi:09.04.2023)

Türkiye'nin elektrik kurulu gücü 2019 yılsonu itibarıyla artış göstererek 91,3 GW seviyelerine ulaşmıştır. Ulaşılan bu değerin 2,1 GW'ı güneş ve rüzgâr enerjisine aittir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içindeki payı 2005 yılında %33 iken, 2019 yılında bu rakam %41,1'e çıkmış ve 2005-2019 yılları arasında %13,4'lük bir artış yaşanmıştır (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TSKB), 2025).

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının neredeyse tamamına ilgi gösterilmekte ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Güneş enerjisine yönelik ilk yatırım 20. yüzyılın sonlarına doğru başlatılmış olup, bu tür birçok çalışma halen devam etmektedir (Başar ve Durmaz, 2018). Türkiye'nin jeopolitiğe dayalı yenilenebilir enerji potansiyeli olmasına rağmen maliyet ve mevzuat eksikliği nedeniyle mevcut hacim hala yeterli gelmemektedir.

2.3.8. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren rüzgâr türbinlerinin hem çevresel etki hem de enerji bağımlılığı açısından faydaları bulunmaktadır. Rüzgâr santrallerinin olumsuz yönleri ise gürültü kirliliği yaratmaları, kurulum sırasında belli bir mesafeler bırakılması gerektiğinden büyük miktarda arazi kaplamaları ve sağladıkları elektriğin arz açısından güvenilir olmamasıdır.

Türkiye’nin teknik rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak saptanmış olup; bu kaynaktan 2011 yılında 4 milyon 724 bin MWh düzeyinde elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Mevcut potansiyelin tam kapasiteyle mobilize edilmesi durumunda, yıllık toplam enerji üretiminin 420.480.000 MWh seviyelerine ulaşabileceği öngörülmektedir. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB, 2014) verilerine göre, 2014 yılı itibarıyla kurulu güç kapasitesi 2.958,45 MW seviyesine ulaşmış; bu kapasitenin teorik yıllık üretim karşılığı ise 26.152.542 MWh olarak hesaplanmıştır. Mevcut santrallerin kapasite kullanım faktörleri (KKF) yaklaşık %29 düzeyinde seyretmektedir. 2013 yılı verileri ışığında, toplam elektrik tüketiminin %10’luk kısmının rüzgâr enerjisiyle karşılandığı görülmektedir. Şayet ülkenin tüm rüzgâr potansiyeli %30’luk bir kapasite faktörüyle devreye alınırsa, üretilecek olan 126.144.000 MWh elektrik enerjisi, 2013 yılındaki ulusal tüketimin yaklaşık %51’ini ikame edebilecek niteliktedir. Güncel veriler, 517,55 MW kapasiteli yeni rüzgâr enerji santrali (RES) projelerinin kurulum süreçlerinin devam ettiğini göstermektedir. (TÜREB, 2012: 18).

Elde edilen sonuçlar cesaret verici olsa da uygulanması pratik olarak pek mümkün değildir. Buna gösterilecek sebeplerin ilki rüzgâr enerjisine yapılan yatırımın bu kadar büyük

olmayacağıdır. Daha fazla rüzgâr enerjisi santrali inşa edildikçe, rüzgâr potansiyeli daha düşük olan arazilerin kullanılması gerekmiş ve zaman ilerledikçe, rüzgâr türbinlerinin kapasitesi de düşmüştür.

Rüzgâr enerjisi sistemlerinin operasyonel kısıtlarından biri, türbinlerin belirli rüzgâr hızı aralıkları dışında enerji üretimi gerçekleştirememesidir. Aerodinamik sınırlara bağlı olarak, rüzgâr hızının sistemin 'devreye girme hızı' (cut-in speed) altında kalması durumunda rotorlar hareketsiz kalmakta; 'devreden çıkma hızı' (cut-out speed) aşıldığında ise türbin bileşenlerinin yapısal bütünlüğünü korumak adına kanatlar rüzgâra paralel konuma (fenerleme/feathering) getirilerek sistem durdurulmaktadır. Rüzgârın stokastik ve kontrol edilemez doğasından kaynaklanan bu kesintili üretim karakteristiği, şebeke arz güvenilirliği açısından bir dezavantaj teşkil etmektedir. Bununla birlikte, gelişen malzeme bilimi ve mühendislik çözümleri sayesinde, operasyonel hız aralığı daha geniş ve dayanımı yüksek yeni nesil rüzgâr türbinleri sektöre kazandırılmaktadır.

2.3.9. Türkiye’de Jeotermal Enerjisi Potansiyeli

Jeotermal Enerji yerli, yenilenebilir, temiz, uygun fiyatlı ve çevre dostu bir enerji türüdür. Jeolojik ve coğrafi konumu nedeniyle ülkemiz tektonik aktif bir bölge üzerinde yer almaktadır; bu bölge volkanik ve magmatik özelliklerle karakterize edilmektedir ve bu da onu dünya çapında jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengin kılmaktadır. Ülkemizde jeotermal olarak farklı sıcaklıklarda birçok doğal kaynak bulunmaktadır, bu kaynaklar ülke geneline yayılmış ve 1000 adet civarında doğal çıkış gösteren kaynakları içermektedir.

Ülkemizin jeotermal potansiyelinin oldukça yüksek olduğu değerlendirilmiş ve bu potansiyel sahaları oluşturan bölgelerin yüzde 78'i Batı Anadolu'da, yüzde 9'u İç Anadolu'da, yüzde 7'si Marmara Bölgesi'nde, yüzde 5'i Doğu Anadolu'da ve yüzde 1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynakların %90'ı doğrudan kullanım (ısıtma, termal turizm, çeşitli pratik uygulamalar vb.) için ideal olan düşük ila orta sıcaklık aralığında yer almakta olup %10'u dolaylı kullanıma (elektrik enerjisi üretimi) uygundur.

Jeotermal kaynaklardan yaygın olarak yararlanılmaktadır. Günümüzde jeotermal enerji ülkemizde öncelikle elektrik üretimi, ısı (iç ve dış mekân), sağlık turizmi, endüstriyel maden çıkarma, balıkçılık ve kurutmacılık gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Jeotermal Enerjide ısı üretmek amacıyla belgelenen ilk elektrik kullanımı, MTA tarafından oluşturulan ve 0,5 Mwe kapasiteye sahip Kızıldere Elektrik Santrali ile başlamıştır.

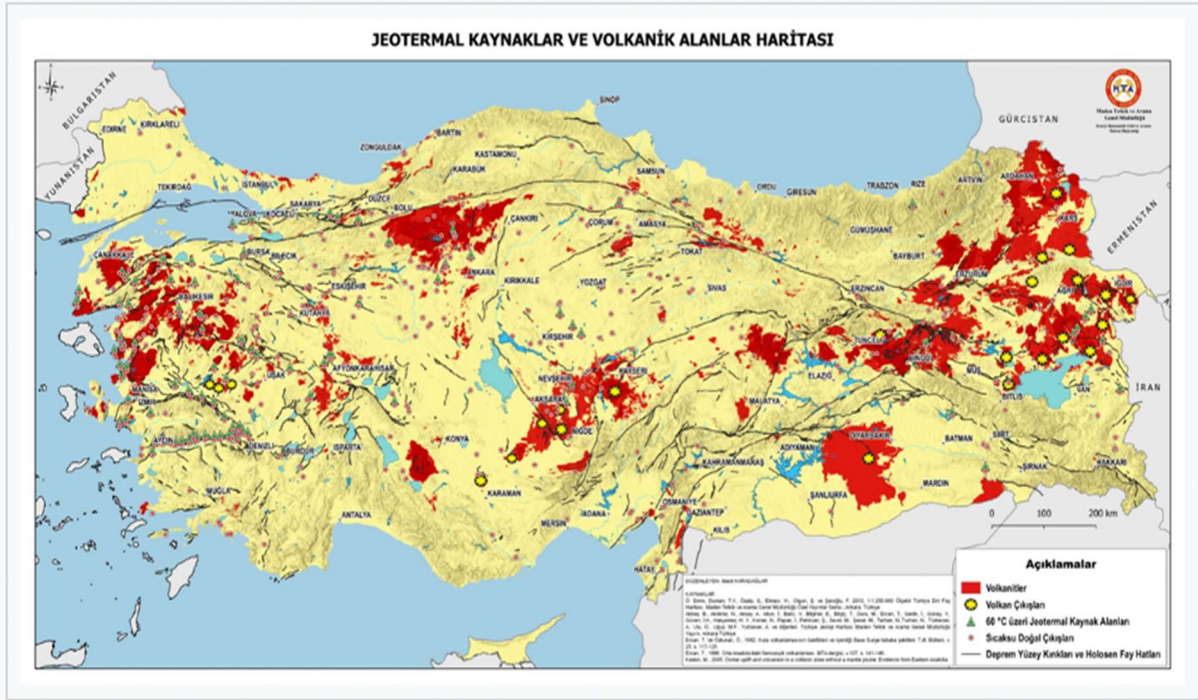
Jeotermal enerjinin küresel kapasitesinin 2022 yılı sonuna kadar ki gücü 16,1 GWe olduğu görülmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke: ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Elektriksiz uygulamalar 107.000 MWt'ı aşmış olup, dünyada bu kategoride ilk 5 ülke ABD, Çin, İsveç, Türkiye ve Almanya'dır. Jeotermal kaynakların aranması ve keşfi 1962 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmış ve günümüze kadar sürdürülmüş olup, 287,5 santigrat derecenin üzerinde yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklara rastlandığı tespit edilmiştir.

1990'lı yıllardan 2004 senesine kadar uygulanan politikalar nedeniyle jeotermal enerji aramaları neredeyse durdurulmuş, bunu 2005'ten itibaren arama faaliyetlerinde artış izlemiş ve enerji kaynağına yönelik sondaj sayısı MTA'nın genel hedefi olan 2.000 m'den 28.000 m'ye çıkarılmıştır.

2005 yılından bu yana hükümetimizin de desteğiyle mevcut kaynakların geliştirilmesine ve potansiyel kaynaklara sahip yeni alanların aranmasına ağırlık verilmiş, 3100 MWt olan maksimum ısı kapasitesi 2004 yılı sonu itibariyle 1900 MWt eklenerek 5000 MWt'a çıkarılmıştır. MTA tarafından keşfedilen jeotermal saha sayısı, sondaj, arama yoluyla elektrik üretebilecek 16 yeni sahanın eklenmesiyle 243'e çıkarılmıştır. Bugüne kadar toplam 658 adet 447.000 metre sondaj araması yapılmış ve doğal enerji kaynakları da dahil olmak üzere doğal olarak oluşan kuyulardan yaklaşık 5000 MWe ısı enerjisi elde edilmiştir. 2007 yılında Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun uygulaması gerçekleşmiş olup, bu kanunun jeotermal kaynakların aranması, geliştirilmesi ve yatırıma özel sektörün katılımını öngörmesi ve bunun sonucunda ülkemizin toplam jeotermal ısı kapasitesi miktarının (görünür ısı içeriği) 40.000 MWt olduğu görülmüştür. 5686 sayılı kanunla mevcut mevzuat eksikliği doldurulmuş, yeni teşvikler getirilmiş, arama çalışmaları artırılmış ve süreç sonucunda yeni sahalar keşfedilmiştir. Bu sahalar ihale yoluyla MTA Genel Müdürlüğü tarafından yatırımcılara devredilmiştir. 5686 sayılı Kanunun yürürlüğe girdiği 2008 yılından itibaren arama çalışmalarına özel sektör de katılmış ve gelişmelerin de artmasının ardından son dönemde jeotermal yatırımlarında da ciddi bir artış yaşanmaktadır.

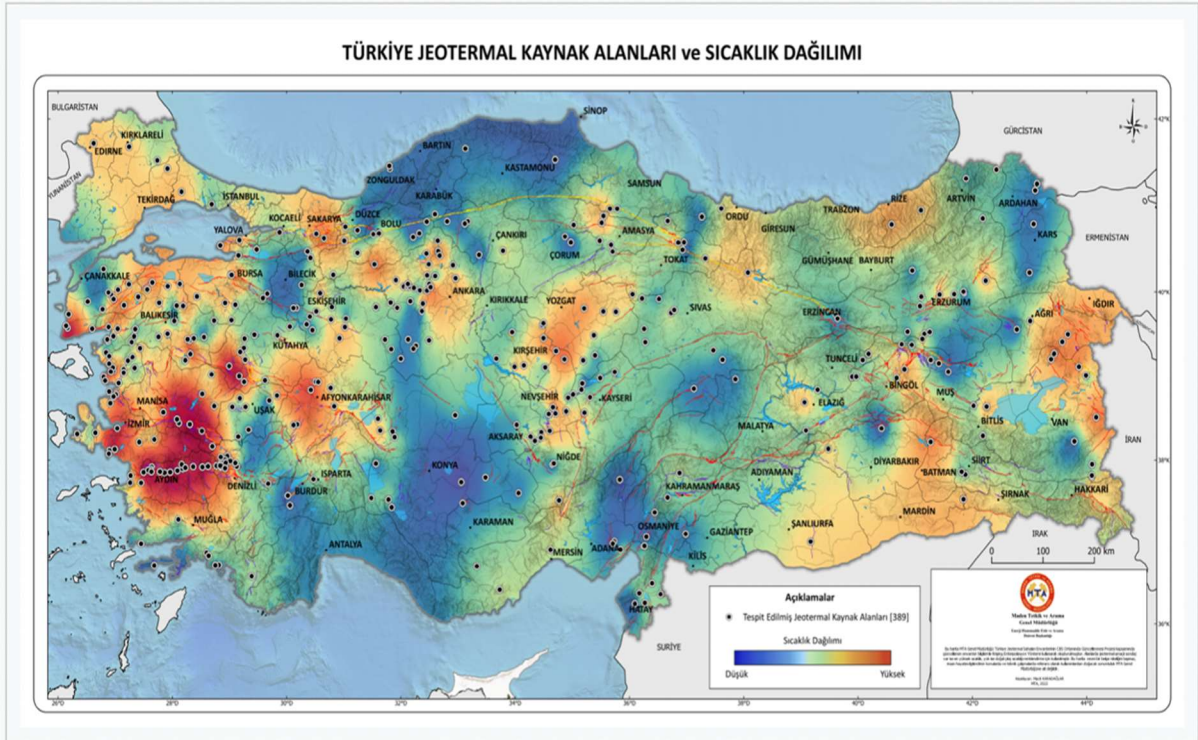
2008 yılından bu yana toplam 102 saha ihale yoluyla yatırımcıya devredilmiştir. Bunlardan 16 tanesi elektrik üretebilecek kapasitededir. MTA'nın ihale yoluyla yatırımcılara aktardığı jeotermal kaynaklara yatırılan parayla, jeotermal kaynaklar ekonomiye ve istihdama en fazla etki eden sektör haline gelmiştir (MTA, 2025).

Şekil 37: Jeotermal Kaynaklar ve Volkanik Alanlar Haritası



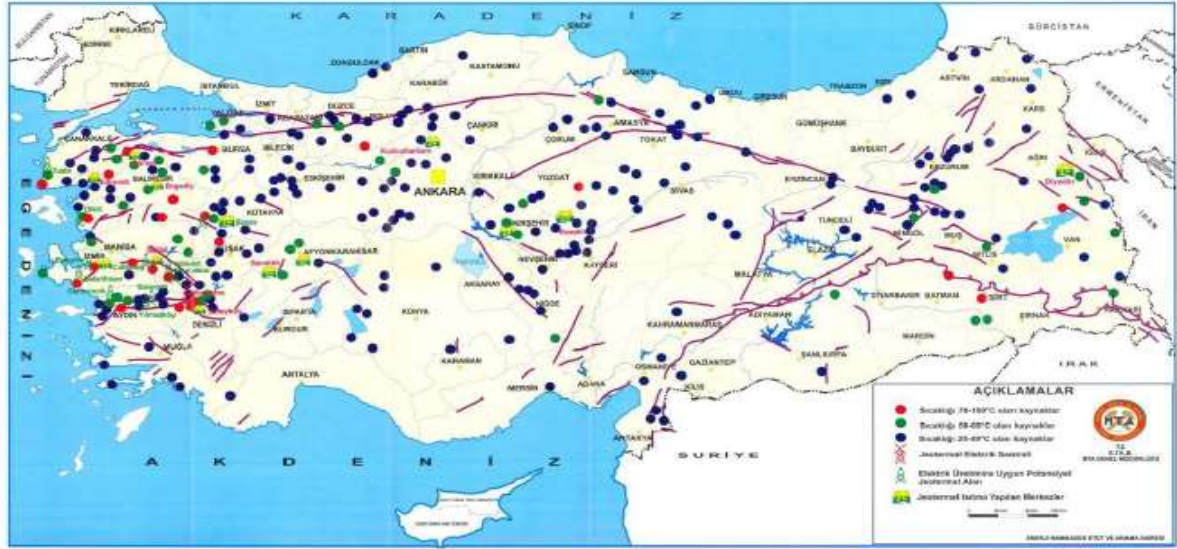
Kaynak: (www.mta.gov.tr).

Şekil 38: Türkiye Jeotermal Kaynak Alanları ve Sıcaklık Dağılımı



Kaynak: (www.mta.gov.tr)

Şekil 39: Türkiye'nin Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası

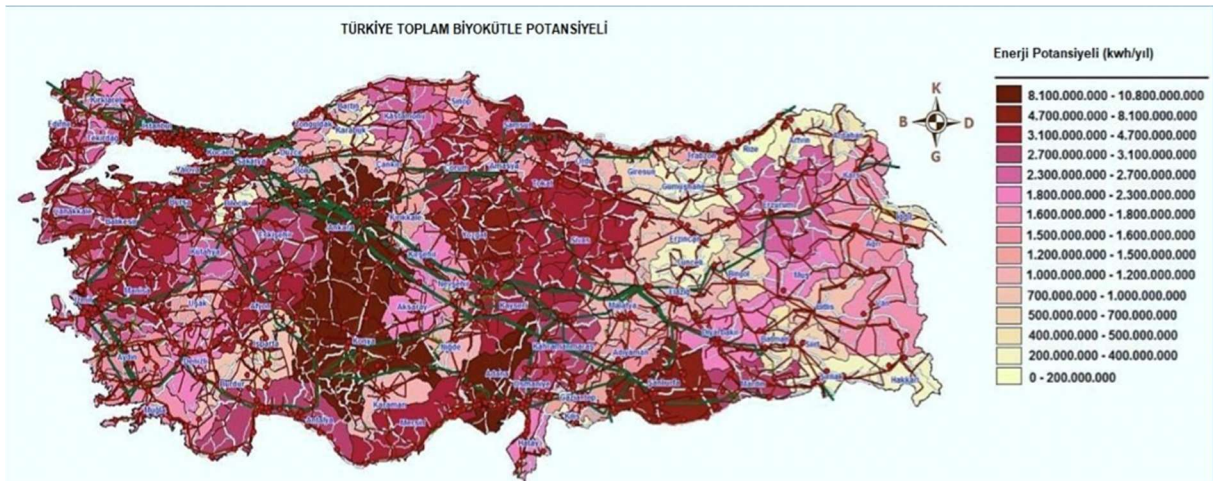


Kaynak: (www.mta.gov.tr)

2.3.10. Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, biyokütle üretimi için yeterli güneş ışığına, erişilebilir tarım arazisine, suya ve iklim koşullarına sahip olup, biyokütle enerjisi için büyük miktarda kaynak sağlayabilecek bir yapıya sahiptir. Genel olarak Türkiye'nin biyokütle kaynakları tarım, ormancılık, hayvanlar, şehirlerden kaynaklanan organik atıklar vb.'den oluşmaktadır. Bu maddelerden oluştuğu göz önüne alındığında biyokütle enerjisinin dağılım potansiyeli Şekil 18'deki gibi görünmektedir.

Şekil 40: Türkiye’de İllere Göre Biyokütle Potansiyel Dağılımı



Kaynak: (Toklu, 2017: 235-244)

Biyokütlenin enerji potansiyeli ile ilgili olarak ETKB Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) adında bir aracı bulunmaktadır. BEPA, Türkiye'deki farklı biyokütle kaynaklarından elektrik miktarını ve biyoyakıt üretim potansiyelini ve bu kaynakların en yoğun olduğu bölgeleri görselleştiren bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) uygulaması olarak değerlendirilmektedir. BEPA ile atığın mevcut hacmi ve tükettiği toplam enerji miktarı belirlenebilmektedir. BEPA ile biyokütle enerjisi potansiyeli hem ulusal hem de yerel olarak analiz yapılabilmektedir.

Bunun dışında Türkiye'de biyokütle ve biyokütle enerjisi potansiyeli üzerine çok sayıda çalışma yürütülmektedir. Türkiye'nin biyokütle potansiyeline kattığı değer ve anlamlara rağmen, çalışmaların değerleri ve potansiyeli önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Örneğin, "Biyokütleyle dayalı enerji kaynaklarının Türkiye için potansiyelinin değerlendirilmesi" başlıklı bir araştırmada, Türkiye için yapılan çeşitli çalışmalarda biyokütle potansiyelinin ve bununla ilişkili enerji değerlerinin belirlendiği ancak spesifik verilerin kullanıldığı belirtilmiştir.

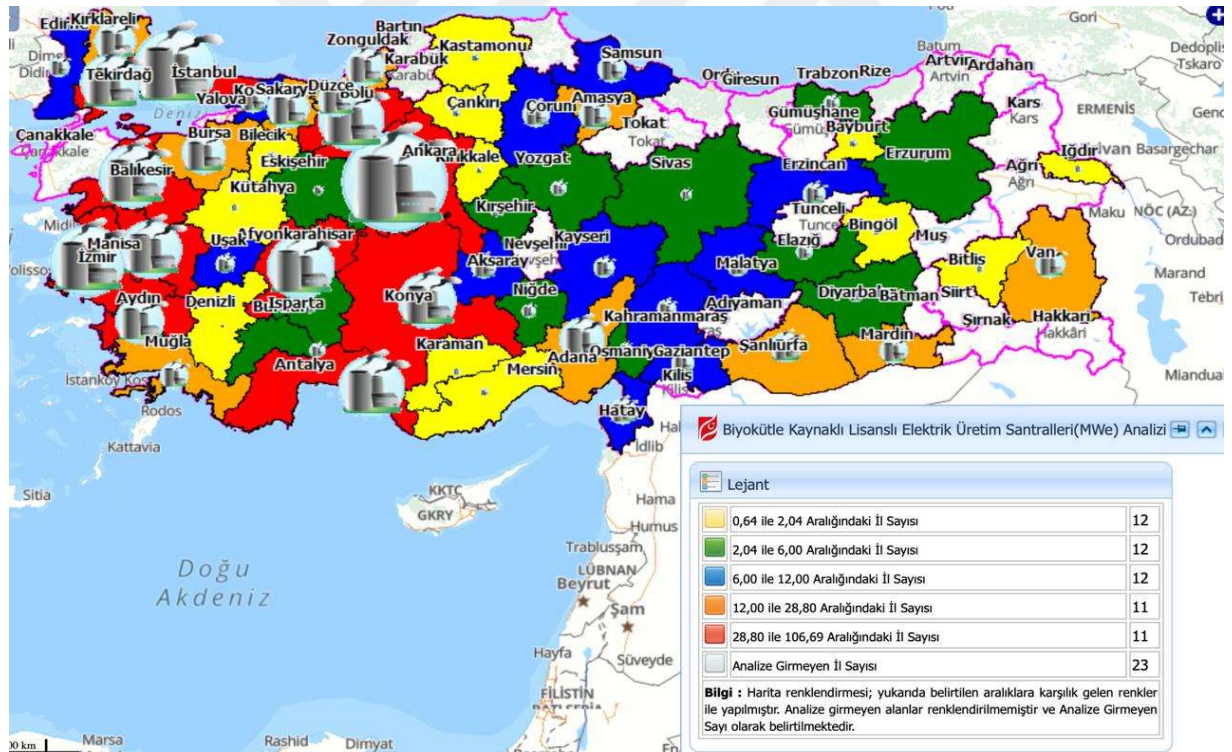
"Türk-Alman Biyogaz Projesi" 2010 yılında Almanya Federal Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı ile Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ortaklığında başlatılmıştır. Projenin amacı, kümes hayvanları, organik atıklar ve gıda endüstrisi atıkları yoluyla Türkiye'deki biyogaz potansiyelini ve bu enerjinin Türkiye'nin enerji tüketimine ayrılacak yüzdesini belirlemektir. Proje kapsamında Türkiye'deki biyogaz potansiyelinin farklı kaynak türlerine göre belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmış olup, büyükbaş hayvan teorik potansiyeli 2,77 milyon TEP/yıl, teknik potansiyeli 1,13 milyon TEP/yıl, kanatlı hayvan potansiyeli 874.175 TEP/yıl ve biyogaz potansiyeli ise yıllık 864.462 TEP/yıldır. Teknik biyogaz enerjisinin toplam potansiyeli 2 milyon TEP/yıldır. Aynı araştırmada enerjili tesislerden elde edilen biyogazın teorik potansiyeli her yıl 7 milyon TEP olarak tahmin edilirken, teknik potansiyel ise her yıl 1,8 milyon TEP olarak verilmektedir.

Evsel katı atıklardan elde edilen biyogazın teorik potansiyeli 525.460 TEP/yıl, teknik potansiyeli ise 262.730 TEP/yıldır. Büyükbaş hayvan ve kümes hayvanı gübresinden, tarımsal çöplerden, enerji bitkilerinden, tarımsal sanayiden ve belediye katı atıklarından elde edilen teorik potansiyelinin tamamı 19 milyon TEP/yıl, teknik potansiyelinin tamamı ise 5,26 milyon TEP/yıldır. Karayılmazlar, Saraçoğlu, Cabuk ve Kurt, Türkiye'deki ekonomik biyokütle enerjisi potansiyelinin 25 milyon TEP/yıl olduğunu tartışmaktadırlar. Biyolojik gübrelerde biyogaz potansiyelinin 2,8-3,9 milyar metreküp ve 1,4-2 milyon tep olduğu belirtilmektedir. Araştırmada olası değerler sıralanırken kullanılan bilgiler spesifik değildir.

Aslında Türkiye'de su ürünleri yetiştiriciliği ve gıda üretimi de dahil olmak üzere fotosentezden elde edilen enerjiye bağlı olarak, biyokütle enerjisi için teorik maksimum potansiyel yıllık 135-150 milyon TEP olup, kayıplar düşüldükten sonra net potansiyel 90 milyon TEP'tir.

Çeşitli kaynaklarda belgelendiği gibi, ülkenin tüm tarım alanlarının her yıl biyokütle üretimi için değerlendirilmesi mümkün olmadığından, mevcut teknoloji ve arazi kullanımına dayalı teorik potansiyel yıllık 14-32 milyon TEP arasındadır. Görüldüğü gibi, Türkiye'nin biyokütle potansiyelinin ve bu potansiyelin enerji değerinin hesaplanması, dikkate alınan biyokütle kaynağının türüne ve kullanılan verilere bağlıdır. Bu rapor, kaynaklara, özellikle de çöplere, ayrıca literatürde ifade edilen potansiyel enerji kaynaklarına ve biyokütle kaynaklarının daha düşük kalorifik değerlerine odaklanmaktadır.

Şekil 41: Türkiye'nin 2026 Yılı Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santrali Dağılım Haritası



Kaynak: Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) <https://bepa.enerji.gov.tr/>

Şekil 41'deki haritada, Türkiye genelinde biyokütle kaynaklı elektrik üretim santrallerinin coğrafi dağılımına ilişkin genel bir görünüm sunmaktadır. Harita incelendiği zaman görülmektedir ki, biyokütleye dayalı santrallerin özellikle Marmara, Ege ve Karadeniz

bölgelerinde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde hem nüfus yoğunluğunun yüksek olması hem de tarım, hayvancılık ve sanayi faaliyetlerinin gelişmiş olması, biyokütle için gerekli olan organik atık potansiyelini artırmaktadır. Dolayısıyla bu alanlar, biyokütle enerjisinin elektrik üretiminde daha etkin biçimde değerlendirilebildiği bölgeler olarak öne çıkmaktadır (Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA), 2025).

Buna karşılık, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde biyokütle kaynaklı elektrik üretim tesislerinin daha sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu bölgelerde organik atık miktarının görece daha düşük olması, yerleşimlerin dağınık yapısı ve enerji yatırımlarının daha çok farklı kaynaklara yönelmesiyle alakalı olarak yorumlamak mümkündür. Genel olarak değerlendirdiğimizde, biyokütle enerjisinin Türkiye’de rastgele değil, yerel potansiyel ve kaynak varlığına bağlı olarak geliştiği anlaşılmaktadır. Bu yönüyle biyokütle, bölgesel kalkınmayı destekleyebilen ve yerel kaynakların enerji üretim sürecine dâhil edilmesine olanak tanıyan önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı niteliği taşımaktadır (YEGM, 2023).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNİN TEMEL PARAMETRELERİ VE STRATEJİK BİLEŞENLERİ

Enerji arz güvenliği, enerji ve enerji kaynaklarına kesintisiz, güvenilir ve uygun maliyetli erişim sorununu ele almaktadır. Küreselleşen dünyanın sınırlarını belirleme gücüne sahip olması ve ülkelerin güvenlik konusunda politika oluşturması nedeniyle enerji arz güvenliği, birçok faktörle birlikte değerlendirilmesi gereken bir olgu haline gelmektedir. Bu bölümde, enerji arz güvenliği kavramı ve enerji arz güvenliği ile ilgili politikaları belirlemek için kullanılabilirlik, erişilebilirlik, karşılama bilirlirlik ve kabul edilebilirlik boyutları açısından enerji arz güvenliği ve kapsamı incelenmiştir.

3.1. Enerji Arz Güvenliği Kavramının Tanımı ve Kapsam Boyutu

Enerji güvenliği kavramı akademik ve politik tartışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ancak tanımının belirsiz olması nedeniyle şu anda bir fikir birliği yoktur. Enerji güvenliğinin tanımı her zaman, her yerde herkes için evrensel değildir. Enerji fiyatları ve enerji talebi, kaynak kıtlığı veya yakın gelecekte tükenme ihtimaline ilişkin endişeler, küresel ısınmanın siyasi ve sosyal sonuçları gibi nedenlerle enerji güvenliği, uluslararası ilişkilerin odak noktası haline gelmiştir (Vlado, 2010: 5258-5263). Günümüzde enerjinin bulunabilirliğini ve sürekliliğini ifade eden enerji güvenliğinin bir alt başlığı olan arz güvenliği, üst düzey ulusal güvenliğin yanı sıra çeşitli ülkelerin ekonomik kalkınmasını da etkileyen en temel olgudur.

Evrensel bir tanımı olmasa da enerji güvenliğine bakarken bazı sorular sormak, konuyla ilgili bazı argümanlar geliştirmemize ve farklı enerji sistemlerine sahip ülkelerin güvenlik durumlarını karşılaştırmamıza yardımcı olmaktadır. Bu yaklaşım, kaynak sağlayıcılar (üreticiler), talep merkezleri (tüketiciler), jeopolitik ve pazar yapıları gibi enerji güvenliğinin geleneksel unsurlarının yanında bu konuda (neyin korunduğuna), enerji güvenliğine yönelik tehditlerin (neye karşı önlem alma) ve enerji güvenliği (kim ne yapıyor) gibi iyileştirmeye yönelik tedbirleri de dikkate alır (Lynne, 2010: 887-895). Uluslararası Enerji Ajansı'nın ifadesine göre: Enerji güvenliği, insanların yaşamları, ekonomik, sosyal ve savunma faaliyetleri için gerekli enerji kaynaklarının uygun bir fiyata kesintisiz olarak kullanılabilirliği ve miktar bakımından güvence altına almasıdır. Enerji güvenliği ise enerji sisteminin kısa vadede arz ve talep dengesindeki ani değişikliklere anında tepki verme yeteneğine

odaklanmışken; ekonomik kalkınmayı ve çevresel koşulları karşılayan enerjiyi sağlamak için zamanında yatırım yapılmasını ise uzun vadede inceler (IEA, 2023). Ekonomik istikrarı korumak ve sürdürülebilir büyümeyi teşvik etmek için enerji güvenliğinin sağlanması hayati önem taşımaktadır. Dolayısıyla enerji arzındaki kesintiler tam tersine ciddi ekonomik ve sosyal kayıplara neden olabileceği gibi, olası kesintiler de enerji altyapısını kitleye bilmekte ve küresel olarak yaşamın normal akışını aksatabilmektedir. Enerji güvenliğinin olmaması, üretimi tehdit edebilir ve maliyetleri artırabilir, bu da yatırımcıların caymasına sebep olabilmektedir. Bir başka tanımda enerji güvenliği “temiz, kaliteli ve yeterli enerjiye uygun fiyatlarla kesintisiz erişim” olarak ifade edilmektedir. Bu tanımda dikkat edilmesi gereken enerjinin, temiz olması ve çevre ile bağlantısının olması gerektiğidir.

Enerji güvenliğinin diğer tanımları farklı kuruluşlar tarafından sunulmaktadır. Asya Pasifik Enerji Araştırmaları Merkezi, (APERC) "21. Yüzyılda Enerji Güvenliği Arayışı" raporunda enerji güvenliği, bir toplumun enerji kaynaklarının tutarlı ve yeterli arzını fiyatları belirleyerek sağlama kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. APERC, enerji güvenliği dinamiğinin doğasını ilgili şu üç hususu inceleyerek belgelemiştir: Bunlar enerji yakıt çeşitlendirmesi, aynı zamanda elektrik için yakıt girdi-çıktı çeşitlendirmesi ve toplam birincil enerji arzının yeterliliğini sağlamaya yöneliktir ancak bu ölçümler yalnızca enerji güvenliği göstergelerini destekler, enerji güvenliğinin derecesini değerlendirmek için kullanılmamaktadır. Her ülkenin kendi koşullarına göre kendine özgü bir enerji güvenliği tanımı vardır. Bu bağlamda her ekonomide, enerji güvenliğinin bireyselleştirildiğini ileri sürmektedir (APERC, 2023).

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın Dünya Enerji Değerlendirmesi raporunda "enerji güvenliği" terimi, enerjinin çeşitli şekillerde, yeterli miktarda ve makul bir fiyat veya karşılanabilir fiyatlarla bulunabilirliği olarak tanımlanmaktadır (UN, 1987). Dünya Bankası, enerji güvenliğinin üç unsura dayandığını belirtmektedir: Enerji verimliliği, enerji arzında çeşitlilik ve fiyat değişiminin en aza indirilmesidir (WB, 2005).

Görüldüğü gibi, enerji güvenliğinin tanımları tipik olarak enerji çeşitliliği, enerji arzının istikrarı (sürdürülebilirliği) ve çevrenin korunması gibi faktörlerden türetilmektedir. Bu durum, enerji güvenliği kapsamında istenilen amaç ve önceliklere ulaşabilmek için konuya bağlı olarak enerjinin çevreye olan etkilerinin dikkate alınması, enerjide ithalat bağımlılığının azaltılmasının yanı sıra piyasanın gelişiminin desteklenmesi amaçlanmakta ve ülkelerin kendi enerjilerini üretmelerini teşvik edilmektedir.

Enerji güvenliği kelimesinin kullanımı küresel enerji sistemi ve değişimiyle bağlantılıdır. Enerji sistemleri doğası gereği dinamiktir yani çevre tarafından sürekli olarak etkilenir ve çevreyi de etkiler. Yeni enerji teknolojilerinin artan yaygınlığı, enerji maliyetleri, üretim, tüketim ve üretim yöntemlerinin çevresel etkileri gibi koşullara yanıt olarak zaman içinde gelişirler. Bir enerji sistemi değiştiğinde tüm katılımcılar ve üreticiler de değişecektir. Bu değişiklikleri ele almayı amaçlayan politikalar veya eylemler, enerji güvenliğinin başarısı üzerinde etkili olacaktır. Her ülke, tüketicilerin özel ihtiyaçlarına göre enerji konusundaki taleplerini karşılamak üzere tasarlanmış farklı bir enerji sistemine sahip olacaktır. Bu ülkelerin enerji güvenliğini sağlamak için farklı yollarla karşılayacağı anlamına gelmektedir.

Örneğin, sanayileşme sonrası veya ileri teknolojiye sahip gelişmiş bir ülkenin enerji güvenliği algısı, elektriğe erişimi olmayan gelişmekte olan bir ülkenin perspektifinden büyük ölçüde farklı olacaktır. Bu farklılıklar sebebiyle, enerji güvenliğinin ülkeler arasında doğrudan karşılaştırılması mümkün değildir. Çünkü farklı ülkeler farklı enerji güvenliği tanımlarına sahiptir. Ayrıca ülkelerin enerji sistemlerinin farklı olması, farklı enerji güvenliği sorunlarına ve farklı çözüm yöntemlerine yol açmaktadır. Hindistan ve Çin gibi sanayileşmiş ülkeler için enerji güvenliği kavramı, değişen enerji ihtiyaçlarına kolay geçiş sağlamak amacıyla ikili veya yanlı ilişkilere ve politikalara katılma şeklinde yorumlanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde arz güvenliği sorunları, enerji ihraç eden ülkelere olan talep açısından değerlendirilebilir, enerji ihraç eden ülkelerin kendi iç ekonomilerine ve devlet maliyelerine katkıları önemlidir. Bu bağlamda devletin enerji güvenliğinin özünde devletin çevresel, ekonomik ve politik altyapısına bağlı olduğunu ifade etmek mümkündür.

Alternatif enerji kaynaklarına geçişle birlikte son on yılda enerji güvenliğinin geleneksel tanımında da bir değişim yaşanmıştır. Mevcut gelenekle çelişen çeşitli güvenlik sorunları karşısında enerji güvenliği, enerji kavramına bağlı olarak küresel ölçekte farklı tanımlar benimsemiştir (G.Victor ve Yueh, 2010: 79-82). Gittikçe karmaşıklaşan ve çeşitlenen enerji pazarlarında, enerji güvenliğinin eski ilkeleri daha az önem taşımaktadır. İklim değişikliği ve diğer çevresel, ekonomik ve uluslararası kaygılar da dahil olmak üzere diğer hususlar daha da önemli hale gelmektedir.

3.2. Enerji Arz Güvenliği Kavramının Tarihsel Gelişimi

Enerji güvenliği neredeyse bir yüzyıldır siyasi ve ekonomik öneme sahip bir konu olmaktadır. Dünyada son dönemde yaşanan olaylarla birlikte bu konu yeniden gündeme gelmiştir. 20. yüzyılın başlarında ve 21. yüzyılda ordulara yakıt ve ulaşımın yanı sıra

kesintisiz güç tedarikine ilişkin siyasi kaygıların yerini iklim değişikliği, bunun fosil yakıtlarla ilişkisi ve toplum tartışmaları almıştır. Kısa vadeli endişeleri gidermek amacıyla bazı ülkeler, enerji tedarik zincirlerinin istikrarını sağlayacak ve fiyat değişikliklerini önleyecek yeşil politikalar başlatmıştır.

20. yüzyılın ilk yarısından itibaren II. İkinci Dünya Savaşı'na yol açan enerji güvenliği fikri, yakıtın orduya olan tedarigiyle ilgiliydi. İngiliz Donanması 20. yüzyılın başlarında yerli kömürden yabancı petrole geçtiğinde, muhalefet petrol sahalarını işgal etmesi veya ulaşım hatları veya rafineri saldırılarına girişmeye çalışmıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında Endonezya, Kafkaslar, Orta Doğu ve Romanya'daki petrol sahaları için verilen mücadeleler, ordunun petrol tedarikinin önemini büyük ölçüde ortaya koymuştur (Cherp vd., 2011: 202-212).

Savaş sonrası olan dönemde petrolün ülkeler için önemi azalmamıştır. Petrol artık her zamankinden daha önemli hale gelmiş ve bunun sonucunda medeniyetlerin devam eden evrimi ona bağlı olarak imalat, sağlık, üretim, ısınma, ulaşım, elektrik gibi alanlarda kullanılan yakıtlar sanayileşmenin en önemli araçları haline gelmiştir. Birçok ülke kendi başına yeterli miktarda petrol üretemediğinden enerjiyi ithal etmek zorunda kalmaktadır. Artan insan sayısı ve üretimin sonucunda ortaya çıkan enerji talebi, arz-talep dengesizliği sorununa yol açmıştır.

Fosil yakıtlara bağımlılık, enerji kırılganlığının önemli bir kaynağı olmuştur. Dahası, sistemin kırılganlığı 1973'te OPEC'in Arap üyelerinin çoğunun ve OPEC üyesi olmayan bazı Arap ülkelerinin ABD'nin İsrail'e verdiği desteği protesto etmek amacıyla diğer birçok ülkeye petrol arzını kesmesiyle ortaya çıkmıştır. OPEC üyeleri bağımsız olarak dünya petrol fiyatlarını artırarak dünya fiyatlama mekanizması üzerindeki nüfuzlarını kullanmıştır. Yani petrol fiyatlarının artmasıyla Ortadoğu ülkeleri önemli bir emtianın kontrolünü ele geçirmiştir. Petrol ihraç eden ülkeler büyük zenginlik biriktirdikçe, geleneksel sermaye akışları tersine dönmüştür. 1973'teki petrol ambargosu ile birlikte "petrol silahları" metaforu hemen icat edilmiş ve enerji güvenliği savaş ve barış diplomasisinin bir parçası haline gelmiştir.

1979'un başlarında dünyada ikinci petrol krizi patlak vermiştir. Yeni rejim altında, dini lider Ayetullah Humeyni hızla İran'ın yeni lideri olmuştur. Kitlesel gösteriler, üretime yönelik katı kısıtlamalar ve ihracatın askıya alınması, dünya enerji sektörünü bir kez daha ciddi şekilde sekteye uğratmıştır. Her ne kadar bazı OPEC üyeleri üretimdeki düşüşü üretimi

artırarak telafi etmeye çalışsa da toplam üretim kaybı yaklaşık %4'e ulaşmıştır. Ancak uluslararası borsaların işleyişine bakılırsa fiyat artışlarının beklentilerin çok üzerinde çıkması kamuoyunda paniğe yol açmış ve fiyat kontrolleri ekonomiye de yansımıştır. 1980'lerin başında petrol fiyatları ABD doları üzerinden yapıldığı için ve doların diğer para birimleri karşısında değer kazanması nedeniyle petrol fiyatları da artmaya devam etmiştir. Ancak 1983-84'te sanayileşmiş ülkelerde ekonomik faaliyetlerin yavaşlaması ve yüksek yakıt fiyatlarının enerji tasarrufunu teşvik etmesi nedeniyle piyasada petrol fazlası yaşanmaya başlamıştır. Azalan talep ve artan üretim, dünya pazarındaki bolluğun artmasına neden olmuş, bu da 1986'da %46'lık bir azalmaya yol açmıştır (Chitadze ve Nika, 2012: 8).

Enerji güvenliği alanında bundan sonraki önemli gelişme, 1990'da birçok ülkede enerji arzının serbestleştirilmesi olmuştur. Serbestleşmenin savunucuları, piyasaların enerjiyi daha etkili bir şekilde dağıtma ve enerji altyapısı için gerekli finansmanı sağlama kapasitesine sahip olacağını savunmuştur. Piyasadaki aktörlerin çeşitliliği arz güvenliğini sağlayacak ve olası aksaklıklara karşı hazırlıklı olunmasını sağlayacaktır. Enerjide kendine yeterliliğin sağlanmasının zorluğu ve alternatif kaynak arayışları bu dönemden itibaren başlamıştır.

Enerji güvenliği fikri, 2000'li yıllarda enerjiyle ilgili çeşitli olayların yaşandığı jeopolitik çatışmaların ortasında gelişime uğramıştır. Enerji arz ve talebindeki temel dengenin kaydığının anlaşılması, başta Çin ve Hindistan olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde ekonomik kalkınmanın göreceli olarak artmasının ardından talepte beklenmedik bir artışa yol açmıştır. Bu gelişmeler neticesinde; dünyanın artan enerji talebini karşılayacak gerekli enerji kaynaklarına sahip olup olmadığı gözlemlenmiştir. Ekonominin sağlıklı işleyişi, yüksek yaşam standardının sağlanması, istikrar ve güvenliğin sağlanması açısından enerji kaynaklarının önemi yadsınamaz olmuş, bunun sonucunda enerji güvenliğinin sağlanması gerekli görülmüştür. Tüketicilere yönelik bu endişeler, dünyanın çeşitli yerlerinde gerginliklerin yaşandığı bir dönemde dile getirilmiştir. Ayrıca teknolojik gelişmeler ve önemli siyasi gelişmelerin enerji alanında yarattığı değişimler, bizi enerji güvenliğini düşünmeye yöneltmiştir.

Ukrayna ile Rusya arasında 2005-2009 yılları arasında yaşanan doğal gaz krizi, AB'de ciddi endişelere yol açmıştır. Rusya'ya olan bağımlılığı nedeniyle enerji arzındaki dengesizlik, AB 'yi enerji konusunda köşeye sıkıştırmaktadır. Rusya, enerji kaynaklarındaki güçlü konumundan faydalanmış ve bunu AB'ye karşı çıkmak ve yaptırım yoluyla istediğini talep etmek için kullanmıştır (Kesici, 2022: 46).

Ortadoğu ve Kuzey Afrika'da bölgesel stratejik dengeleri değiştiren Arap Baharı ayaklanması, enerji ve jeopolitik açıdan tüm dünyayı dolaylı olarak etkilemiştir. Orta Doğu ve Kuzey Afrika'daki istikrarsızlık, petrol arzı sorunlarına ilişkin endişelerin artmasına neden olmuş ve enerji kaynaklarının güvenliği konusunda bir tartışmaya yol açmıştır. Özellikle bölgenin enerji sağlama kapasitesi ve arz sorunlarıyla baş etmedeki etkinliği piyasalaştırma mekanizmalarında ilgi odağı haline gelmiştir (Darbouche, 2011: 4).

2022 yılında Rusya'nın Ukrayna'yı işgal etmesinin ardından dünya, çok daha büyük bir küresel enerji krizi yaşanmıştır. 2020 yılındaki COVID-19 salgınıyla birlikte piyasalarda oluşan baskılar ortaya çıkmaktaydı. Ancak Rusya'nın eylemleri, başta enerji olmak üzere tüm küresel tedarik zincirlerini etkileyen, salgınla bağlantılı hızlı ekonomik toparlanmayı yavaşlatan zorlu bir ekonomik duruma yol açan bir enerji krizine dönüştürmüştür (IEA, 2022).

Günümüzün enerjiye olan küresel yaklaşımı önceki yaklaşımlardan önemli ölçüde farklı ve daha karmaşık bir yapıya sahiptir çünkü enerji güvenliği konusunda yeni bir anlayış gerekmektedir. 1970'lerdeki şoklar petrolden kaynaklanıyordu ve sorunun amacı, özellikle ithal petrol konusunda petrole olan bağımlılığın azaltılmasıydı. Tam tersine, günümüzdeki enerji krizlerinin ise birden fazla alanla ilgisi vardır: siber saldırılar, uzun vadeli iklim değişiklikleri, karbondan arındırma, doğal afetler vb. Küresel enerji krizine uzun vadeli çözüm, yakıt kaynaklarını değiştirmek değil, bunun yerine enerji dönüşümüne odaklanılmalıdır. Enerji dünyası artık önemli ölçüde gelişmektedir. Dünyanın her yerinde hükümetler enerji hizmeti sunumunda temiz, uygun maliyetli ve güvenli bir geçiş sağlamaya çalışmaktadır.

3.3. Enerji Arz Güvenliği Kavramını İlgilendiren Boyutlar

Enerji güvenliği fikri 1973 yılında yaşanan petrol kriziyle beraber asıl olarak 1975 yılında başlamıştır. O zamana kadar enerji güvenliği, Churchill'in Alman donanmasından daha güçlü bir İngiliz donanması yaratmayı ve daha başarılı olabilmek için donanmanın temeli olarak kömür yerine petrolü kullanmayı içeren tanımına göre "çeşitlilik, yalnızca çeşitlilik" olarak tanımlanıyordu (Çelikipala, 2014: 79-99). 1973 petrol krizinden sonra bu indirgemeci yaklaşımın yeterli olmadığı, krizin kendisinin çok boyutlu bir enerji güvenliği tanımı ve daha gelişmiş bir enerji güvenliği modeli gerektirdiği anlaşıldı.

Küresel enerji taşımacılığı, tedarik zinciri kaygıları, terörizm ve gelişmekte olan ülkelerin küresel pazara entegrasyonu sonucunda enerji güvenliği kavramının boyutları

artmıştır. Enerji güvenliği günümüzde üzerinde durulan ve önemi giderek artan güncel bir konu olmaktadır. 70'li, 80'li yıllarda petrolün silah olarak tanımlanmasıyla tanımlanan enerji güvenliği kavramına maliyet verimliliği unsuru da dahil edilmiştir. Ek olarak, çevresel ve sosyal kaygılar enerji güvenliğiyle giderek daha fazla iç içe geçmektedir (UNCTAD, 2023). Günümüzde enerji güvenliği; üretim, iletim ve tüketim gibi tüm faaliyetleri kapsayan, tutarlı ve yeterli miktarda enerjinin makul bir maliyetle temin edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Yeterli ve güvenilir arzı sahip olmaktan kastedilen, küresel ekonominin taleplerini karşılayan kesintisiz bir arzıdır (Ciuta, 2010: 123). Bu hacim elbette ülkelerin nüfusundan, kaynaklarından ve politikalarından etkilenmektedir.

Diğer taraftan, enerji güvenliğinin siyasi, askeri, teknik ve ekonomik olmak üzere çok sayıda farklı bileşene sahip olduğu gerçeğini dikkate almak da önemlidir. Enerji piyasasında, Afrika kıyılarında ve Hazar Denizi'nde yaygın olan, enerji altyapısına yönelik terörist saldırılar, siyasi iç çatışmalar, silahlı çatışmalar ve korsanlık gibi güvenlikle ilgili açıklar kaydedilmiştir. ABD ve Avrupa'daki elektrik kesintileri, Rusya ve Çin'deki kronik elektrik kesintileri ve enerji üreten ülkedeki istikrarsızlık kamuoyunda endişe yaratmıştır. Katrina ve Rita Kasırgaları sonucunda petrol, doğal gaz ve elektrik enerjisi akışının kesintiye uğraması nedeniyle dünya ilk kez Eylül 2005'te entegre enerji arzı şokunu yaşadı.

Ocak 2009'da Ukrayna-Rusya arasındaki gaz anlaşmazlığı nedeniyle Avrupa'ya gaz arzı geçici olarak durduruldu ve bu durum tarihteki en büyük doğalgaz krizine yol açtı. 2020 yılının Mart ayında dünyaya yayılan COVID-19 salgınıyla birlikte turizm ve imalat gibi bağlantılı sektörlerde enerji talebi azalmıştır. Krizin enerji sektörü üzerindeki etkileri IEA tarafından fark edilmiş ve IEA'nın COVID-19 krizine ilişkin değerlendirmesi, "Bunun enerji sektörüne diğer olaylardan daha fazla zarar verdiğini ve sektörde kalıcı bir iz bıraktığını ortaya koymuştur" şeklinde olmuştur (IEA, 2023).

Pandemiden kaynaklanan şoklar, enerjinin vatandaşlar ve işletmeler için öneminin ne kadar önemli bir değer olduğunu göstermiştir. Bu durum, petrol ve doğalgaz piyasaları için benzeri görülmemiş bir durum olan negatif enerji fiyatlarına yol açmıştır. Enerji tedarikinin sürdürülmesi ve temel enerji altyapısının sürekli işletimi sırasında güvenlik ve sağlığın sağlanması, enerji sistemi için yeni bir standart haline gelmiştir. COVID-19 salgını sonrasında sanayi sektörünün çarkları dönmeye başlarken rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları pazarda varlığını büyütürken, elektrikli araçlar da satışlarda yeni rekorlar kırmıştır. Dolayısıyla yeni enerji ekonomisinin daha elektrikli, verimli, bağlantılı ve çevre dostu olacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerjinin yükselişi, politika eylemleri ve

teknolojik yeniliklerin verimli döngüsünün bir sonucudur ve popülerliği artık daha düşük bir maliyetle korunmaktadır. Çoğu piyasada, güneş enerjisi veya rüzgâr, elektrik üretiminin en uygun üretim şekline gelmiştir. Yaşanan krizler sonucunda, temiz enerji teknolojisinin yeni ve önemli bir yatırım ve istihdam alanı, uluslararası iş birliği ve rekabetin dinamik bir alanı haline geldiğini göstermektedir.

2022 yılında Ukrayna ile Rusya arasında yaşanan savaş, enerji sektöründe domino etkisi yaratarak enerji krizini derinleştirmiş, bu durum küresel yıkıma yol açmıştır (BBC Türkçe, 2022). Ucuz ve güvenilir enerjiye erişim, modern ekonomilerin işleyişi açısından artık gıda kadar önemli olmuştur. Ancak enerji kaynaklarının ülkeler arasındaki eşitsiz dağılımı küresel enerji piyasasında önemli sorunlara yol açmış ve bu durum ülkelerin büyük çoğunluğuna zarar vermiştir. Bazen devletler enerjiyi uluslararası çabalarını genişletmenin bir aracı olarak görmüş ve enerji kaynaklarının elde edilmesi ve sahiplenilmesi konusundaki çatışma zaman içinde sürekli olarak devam etmiştir. Enerji güvenliğinin ulusal düzeyde politika ve davranışları etkileme kapasitesi enerji güvenliğini önemli kılmaktadır. Örneğin Tahran'da petrolden sonra ikinci büyük gelir kaynağı olması beklenen nükleer enerjinin anılması ve kullanılması "Batı karşıtı kimlik" ile gerilime yol açmıştır (Jane, 2017: 264.).

Geçtiğimiz otuz yılda enerji güvenliği kavramı çok sayıda yeni bileşenle zenginleştirilmiştir. Yukarıda ele aldığımız olaylardan örneklerle, enerji arz güvenliğini etkileyen birçok ekonomik, coğrafik ve politik faktörün olduğu açıkça görülmekte olup, enerji arzının tedarikinin kendi öz kaynaklarıyla ve farklı kanallardan temini ile birlikte enerji güvencesini sağlayarak sağlanması mümkün olacaktır. Ayrıca enerji güvenliği kavramı tek bir ülkeyle sınırlı kalmayıp, uluslararası düzeyde daha geniş bir ilişki ve etkileşim ağıyla bağlantılıdır. Anlaşılmaktadır ki enerji güvenliği tüm insanlığı ilgilendiren evrensel bir konudur.

Enerji güvenliğinin farklı modelleri, kaleydoskopa benzer şekilde her gözlemlendiğinde farklı modelleri göstermesi enerjiyi hem tüketen hem de üretenler açısından enerji güvenliğine yönelik çok sayıda yeni zorluk ve tehdidin olasılığını artırmaktadır. Bu engeller karşısında bazı ülkeler milliyetçi bir felsefe benimsemiş ve özellikle enerji kaynaklarını korumak amacıyla ekonomik ve askeri güç yollarına başvurmuşlardır. Birçok ülke ise kolektif, kurumsal ve hukuka dayalı eylemlerin gerekliliğini dile getirmiştir. Aynı zamanda enerji güvenliğinin sağlanması sürdürülebilir kalkınmanın olmasını kuvvetlendirecektir. Dengeli bir enerji arz ve talebinin sürdürülmesi, Birleşmiş Milletler tarafından önerilen sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması açısından hayati öneme sahiptir.

Enerji güvenliğini farklı parametre ve göstergelere dayalı olarak değerlendirmek ve belirlemek için literatürde birçok modern yöntem ve model bulunmaktadır. Enerji güvenliği, riskin kaynağı, hızı, etki kapsamı gibi birtakım filtrelelere göre karakterize edilebilir. 4A enerji güvenliği çerçevesi, enerji kaynaklarının son tüketiciye nasıl ulaştığının dört yönünü açıklamaktadır: 1- Kullanılabilirlik (bilimsel açıdan), 2- Mühendislik veya teknolojik açıdan (erişilebilirlik, 3- Ekonomik yön (karşılanabilirlik) ve 4- Sosyal açıdan (kabul edilebilirlik).

3.3.1. Bilimsel Yönden Kullanılabilirlik

Enerji konusunu ele alan bilimsel çalışmalarda enerjinin kullanılabilirliği en önemli boyut olarak belirtilmekte ve en büyük etkiler genellikle bu boyutta görülmektedir. Kullanılabilirlik, enerji kaynaklarının fiziksel kullanılabilirliğini ve toplumun bu kaynakları kullanma olanaklarını temsil etmektedir. Kullanılabilirlik söz konusu olduğunda, arz güvenliği, kendi kendine yeterlilik, çeşitlilik, yenilenebilir enerji ve teknolojik gelişme gibi dikkate alınması gereken bir dizi etkili faktör vardır (Pavlović ve Ivezić, 2017: 323-333.).

Dünya ekonomisinde kullanılabilecek enerji kaynakları sınırlıdır. Kendi kendine yeterliliği sürdürmek, evsel ısıtma ve ulaşım için istikrar sağlamanın yanı sıra kimya ve ağır imalat gibi enerjinin yoğun olduğu endüstriler için de fayda sağlamaktadır. Aksi takdirde, fosil yakıtların kullanımına aşırı bağımlılık, enerji piyasalarını kontrol kaybı riskine karşı savunmasız bırakmakta ve fiyatlarda dalgalanmalara yol açmaktadır. Enerji kaynaklarının miktar olarak yetersiz olması durumunda ülkeler, ihtiyaçlarını enerji ticareti yoluyla ithalat ve yakıt kaynaklarının çeşitlendirilmesi yoluyla karşılayabilmektedirler. Çeşitlendirme tanım olarak, enerji tedarikinde enerji kaynağı türlerinin arttırılması ve birkaç ana enerji kaynağına aşırı bağımlılığın yol açtığı risklerin azaltılmasıdır. Ülkeler, petrol ve doğal gaz konusunda diğer ülkelere bağımlılıkları nedeniyle, akıllı teknolojilerle donatılmış yenilenebilir enerjiyi büyük ölçekte kullanarak enerji güvenliğini sağlamasına imkân oluşturmuştur.

3.3.2. Mühendislik ve Teknolojik Açıdan Erişilebilirlik

Enerjiye erişim ekonomik kalkınma açısından kritik öneme sahiptir. Sürdürülebilir ve modern enerji hizmetlerine erişim sağlık, eğitim ve geçim açısından temel öneme sahiptir. Dünya nüfusunun %20'sinin elektriğe erişiminin olmaması ve yaklaşık 3 milyar insanın temiz, güvenli yemek pişirme enerjisine erişiminin olmaması, enerjiye erişimdeki büyük eşitsizlikleri göstermektedir (IIED, 2023).

Enerji kaynaklarının tedarik zinciri sınırları boyunca iletilmesi aynı zamanda enerji güvenliğinin erişilebilirlik bileşenine de bağlıdır. Bu tedarik zincirini bozan faktörler terörizm, siber saldırılar, çatışmalar, kötü enerji altyapısı vb. gibi doğal olaylar da olabilmektedir. Enerji ithalatı ve ihracatı yapan ülkeler ile transit ülkelerdeki siyasi, askeri ve ekonomik istikrarsızlıklar, enerji dağıtım ve iletim faaliyetlerini aksatmakta ve kritik altyapılar için tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca çevresel faktörlerden biri olan küresel ısınmaya da etki etmekte, Sibirya bölgesindeki hatların bütünlüğünü zayıflatmakta ve kaynaklara erişimde uzun vadeli bir tehdit oluşturmaktadır (Hatipoğlu, 2019: 3).

3.3.3. Ekonomik Açıdan Karşılabilirlik

Enerji arz güvenliğinin çok boyutlu yapısı içerisinde yer alan kritik faktörlerden bir diğeri de iktisadi boyuttur. Enerji talebindeki konjonktürel dalgalanmalara bağlı olarak, küresel ve yerel enerji piyasalarında arz-talep dengesizlikleri meydana gelmekte; bu durum ise enerji fiyatlarında yüksek volatiliteye ve öngörülemez maliyet değişimlerine yol açmaktadır. Bu boyutun bileşenleri arasında, elektrik ve benzin satın alma maliyeti, fiyatın istikrarı (örneğin oynaklığın olmaması) ve fiyatların öngörülebilirliğidir; rekabet, sübvansiyon (kişi başına), kârlılık ve enerji yoğunluğu (kişi başına kullanılan elektrik miktarı) sayılmaktadır (Paravantis, 2019: 38-52.).

Dünya çapında enerji tüketiminin çeşitliliği temel olarak farklı doğal kaynak donanımı ve satın alma gücünden kaynaklanmaktadır. Örneğin, önemli kömür rezervlerine sahip ülkeler bu kaynağı sanayileşmeyi teşvik etmek için yoğun bir şekilde kullanacaktır (UN, 2023).

Yüksek enerji maliyetleri arz talebi sıkıntısının göstergesidir. Enerji ihraç eden ülkelerde fiyat artışı gelirlerini artırırken, enerji ithal eden ülkelerde de enerji yoksulluğuna yol açmaktadır. Enerji krizi, özellikle de erişim eksikliği ve yüksek maliyet, arz-talep uyumsuzlukları, enerji eşitsizliği ve yenilenemeyen enerji kaynaklarına bağımlılık, enerji hedeflerine ulaşma hedefini engelleyen zorluklardır.

3.3.4. Sosyal Açıdan Kabul Edilebilirlik

Kabul edilme boyutu sosyal ve çevresel faktörlerle ilgilidir ve enerji üretimi ve kullanımının ekonomi ve çevre üzerindeki etkisiyle ilgilidir. Temel kavram enerji, ekonomi ve çevre arasındaki bağlantıdır. Bu boyutta sürdürülebilirlik, dekarbonizasyon, toplumsal memnuniyet, yatırım ve istihdam, ulusal ve uluslararası enerji yönetimi gibi bileşenler öncelikli olarak vurgulanmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik, bir ürünün gelecek nesiller için doğal kaynakları tüketmeden zaman içinde varlığını sürdürme kapasitesidir. Emisyon azaltma politikası, tüketilen enerjinin yenilenebilir olmasını ve yenilenebilir enerjiye yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarının buna adanmasını sağlayarak salınan karbondioksit miktarının azaltılmasını içermektedir. Enerji verimliliğinin artırılması, enerji güvenliğinin ve ekonomik büyümenin sağlanmasının en pratik yoludur.

Evlere ve iş yerlerine enerji sağlamak için enerjiye bağımlılık, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjiye doğru temel bir değişime dayanmaktadır. Alternatif enerjiye geçişle birlikte yeni istihdam yaratılıyor, emisyonlar azaltılıyor ve dünya çapında binlerce insanın çevre dostu enerjiye erişimi sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerjinin istihdam yaratma üzerindeki etkisi, daha uzun, daha çeşitli tedarik zincirleri ve artan kârlılığın getirdiği daha büyük zorluktan kaynaklanmaktadır.

3.4. Enerji Sistemlerinde Arz Güvenliğini Etkileyen Çok Boyutlu Değişkenler

Tarihsel süreç boyunca medeniyetlerin gelişimini şekillendiren temel bir unsur olan enerji, günümüzde ulus devletlerin jeopolitik konumlarını ve ekonomik refah düzeylerini doğrudan belirleyen stratejik bir parametre haline gelmiştir. Enerji güvenliği, bir devletin ulusal güvenliğinin yanında endüstriyel, gıda, sosyal, teknolojik ve ekonomik durumları ile ilgili olup, aynı zamanda çevre sorunları ve sürdürülebilir kalkınma ile de ilgilidir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, enerji güvenliği kavramını bir çırpıda değerlendirmek, karmaşık yapısı nedeniyle mümkün olmamaktadır. Bir faktörde yapılacak herhangi bir değişiklik, spesifik koşullara bağlı olarak enerji güvenliği üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Genel olarak enerji güvenliği bazı bileşenlerin bir kombinasyonudur. Enerji güvenliği merceğinin bileşenleri öncelikle ekonomik, politik ve coğrafidir ve üç ana kategoride incelenmektedir. Detaylı incelemelerde enerji arz ve talebindeki açıkların ve bu açıklara yol açan faktörlerin spesifik dağılımının dikkate alınması gerekmektedir.

Günümüzde enerji arz güvenliğinin önemi, teknolojik gelişmelerin yanı sıra enerjinin hem savunmada hem de üretimde artan yaygınlığına bağlanmaktadır. Bu sebeple tüm ülkelerin, enerjiyi çevresel açıdan sürdürülebilir, güvenilir, temiz ve çeşitli kaynaklardan makul fiyatlarla temin edebilme becerisine sahip olması gerekmektedir (Erkan, 2013: 127-150.). Şekil 42’de enerji arz güvenliğini etkileyen faktörler sıralanmıştır. Genel olarak üç sınıfta incelenmekle birlikte gelişmekte olan dünyada, enerji arz güvenliğinin geleneksel güvenlik unsurlarının yanında çevresel ve sosyal bileşenlerini de içeren bir şemsiye terim

olarak kabul edilmiştir. Dünyadaki son gelişmeler, enerji güvenliğinin sınırlarını genişletmiş ve yapılan tanımların yukarıda açıklanan 4A çerçevesini aşması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca her ülkeyi ayrı ayrı ve kendi dinamizmi bağlamında incelemek, durumun benzersizliğini ortaya koymaktadır.

Şekil 42: Enerji Güvenliğini Etkileyen Faktörler



Kaynak: (Erdal L., ve Karakaya E., 2012: 116)

Enerji güvenliği politikalarının belirlenmesi için gerekli noktanın tek bir aktörde bulunamayacağı gerçeği göz önüne alındığında, sürece katılması gereken çeşitli aktörlerin ve aralarındaki karmaşık ilişkinin dikkate alınması, arz eksikliğinin maliyetlerinin değerlendirilmesine yardımcı olacaktır. Arzın öneminin anlaşılmasına yardımcı olacak ve aynı zamanda enerji güvenliği ve yatırımının öneminin daha kapsamlı ve daha verimli bir şekilde sıralanmasına yardımcı olacaktır. Aşağıda sıralanan faktörlerle arz güvenliği maliyetlerinin hesaplanmasına yönelik bir yöntem önerilmesi, başka bir ifadeyle kamu refahının yokluğundan kaynaklanan toplum refahına verilen zararı azaltacak herhangi bir eylemin maliyetinin ölçülmesi de mümkün olacaktır.

3.4.1. Ekonomik Hususlar

Enerji arz güvenliğinin iktisadi boyutu, makroekonomik dinamikler ile enerji piyasaları arasındaki karşılıklı etkileşimi temel almaktadır. Bu kapsamda; enerji fiyatlarındaki volatilité, talebin fiyat esnekliği, enerji yoğunluğu ve toplam tüketim hacmi gibi göstergelerin yanı sıra; ithalat bağımlılık oranları, kurumsal enerji yönetimi stratejileri, ulusal regülasyonlar ve uluslararası stratejik ortaklıklar arz güvenliğinin ekonomik sürdürülebilirliğini belirleyen temel parametreler olarak öne çıkmaktadır (Erdal ve Karakaya, 2012: 116.). Ekonomi iyi olduğunda

talep artar ve talep fazlası ortaya çıkar. Bu durum yatırımları arttırmakta aynı zamanda enerji maliyetlerini de düşürmektedir. Maliyetlerde düşüşe neden olan fiyat düşüşü ekonominin tamamını doğrudan etkilemekte ve çoğu ürünün fiyatının düşmesine neden olmaktadır. Tersine, fiyat artışları, genellikle daha yüksek fiyatlı ürünler üzerinde en büyük etkiye sahiptir.

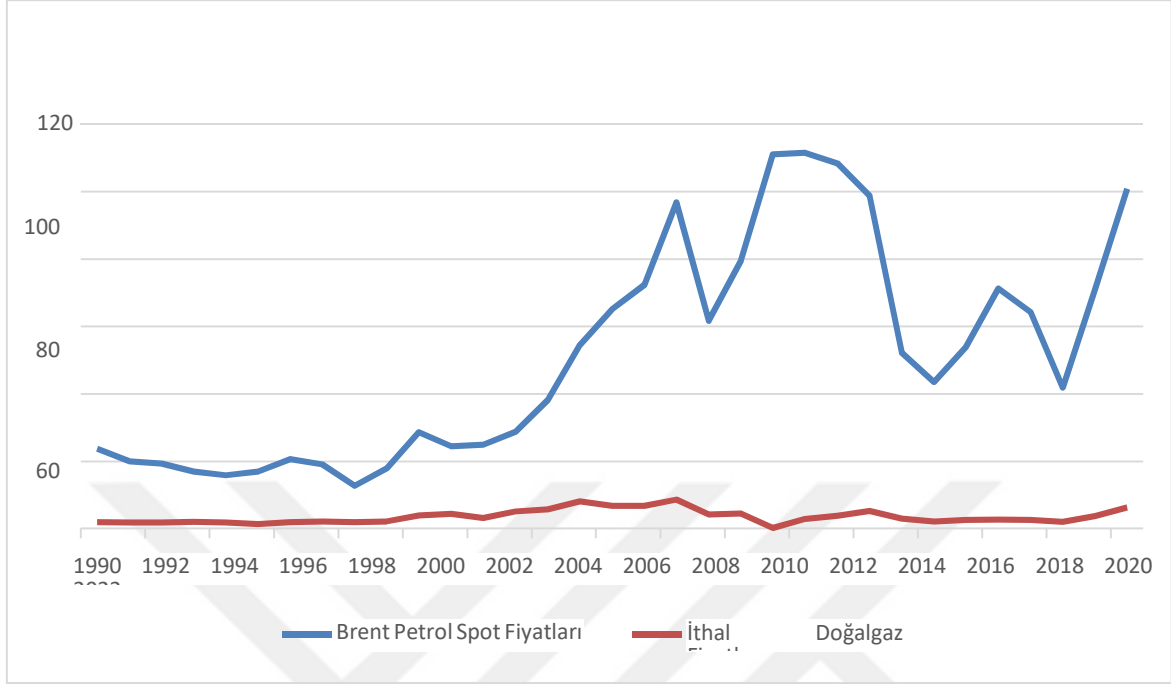
3.4.1.1. Fiyat

Enerji kaynaklarının güvenliği fiyat bileşeniyle ilişkilidir. Güvenlik arzı riski, enerji arzı ve talebinin eksikliği veya uyumsuzluğu ya da enerji sisteminin tamamen veya kısmen arızalanmasıyla ilişkilidir. Tedarikteki fiziksel hasar, maliyette ani bir artışa yol açmaktadır. Enerji aslında her yerde mevcuttur ve tükettiğimiz her hizmetin veya ürünün maliyetine dahil edilmektedir. Hal böyle olunca enerji fiyatlarındaki tüm değişimler mal ve hizmet fiyatlarına da yansımaktadır. Enerjinin fiyatı artarsa üretim maliyeti de artacaktır. Enerji arz güvenliği konusunda geniş literatüre karşılık olarak; Arz veya talepteki dengesizlikler ya da keskin ve ani fiyat artışları, enerji güvenliğinin sağlanamamasının etkileri nedeniyle ekonomik zararın maliyetinde de önemli rol oynamaktadır.

Enerji piyasalarının genellikle fiyatla ifade edilen yüksek derecede risk taşıdığı kabul edilmektedir. Piyasaların işleyişi fiyatların değişmesine (zaman içinde fiyattaki değişimin yüzdesi) bağlıdır. Tarihsel sürece bakıldığında ham petrolün geniş bir fiyat aralığı olmuştur ve bu fiyat aralığı çeşitli siyasi ve finansal olaylarla değişmiştir. Ayrıca doğal gaz ve diğer türevli gazlar fiyat değişimlerinden en fazla etkilenen sektörler arasında yer almaktadır. Ancak kömürün maliyeti petrol ve gazın fiyatı kadar değişken olmamıştır. Kömür hala bir hammadde olarak önemini korumakta ve gaz fiyatının artması durumunda her zaman gazın yerini alacak bir alternatif olarak görülmektedir (Radovanovic vd., 2017: 415-419.).

Aşağıdaki Şekil 43'de enerji fiyatlarının rastgele yapısı gösterilmektedir. Grafik, gelecekteki enerji fiyatlarının önceki fiyatlara bağlı olmadığını, aksi takdirde fiyatların tutarlı bir yol izleyeceğini göstermektedir. Çünkü fiyatları etkileyen çok sayıda faktör vardır bunlar; politik, ekonomik ve teknolojik unsurlardır. Enerji fiyatı, jeopolitik çatışmalar, fosil yakıtlara olan bağımlılığın devam etmesi, arz ve talep arasındaki ciddi uyumsuzluk ve kırılgan enerji sisteminin kendisi de dahil olmak üzere birçok nedenden dolayı artmaktadır. Enerji arz ve talep uyumsuzluğu, enerji güvenliğinin kırılganlık algısı, ülkelerin enerji sektöründe nüfuzlarını artıracak yöntem ve araçlar aramalarına neden olmaktadır.

Şekil 43: 1990 ve 2020 Yılları Arası Brent Ham Petrol Spot Fiyatları ve Doğal Gaz İthalat Fiyatlarının Grafiği



Kaynak: (EIA) (Erişim Tarihi: 09.01.2026)

Tipik olarak enerjinin fiyatı, enerji piyasasındaki arz ve talep miktarına ve hükümetlerin piyasayı düzenlemek ve belirli bir sonuç üretmek için uygulayabileceği vergi ve sübvansiyonlar gibi politika ve düzenlemelere göre belirlenir (Ayoo, 2020: 15-40). Enerjinin fiyatı önemlidir çünkü güvenlik eksikliği ve erişilebilirliğin maliyeti hakkında bilgi verir ve enerji güvenliğine ilişkin karar almanın merkezinde yer alır.

Son dönemlerde özellikle petrol sektörünün fiyat değişimlerine duyarlı olduğu görülmektedir. 1970 petrol krizi gibi krizler, enerji sistemindeki temel kırılganlığı, bağımlılığı ve kusuru ortaya koymuştur. Zorluk dönemlerinde enerjiye olan talep artmış ve talep arttıkça enerji fiyatları da artış göstermiştir. Fiyat değişiklikleri, arz ve talep arasındaki denge eksikliğinin yanı sıra spekülasyon faaliyetleri ve piyasa gücünün kötüye kullanılmasından da kaynaklanabilmektedir. Ayrıca, yüksek enerji maliyetleri gelişmekte olan birçok ülkede gıda güvensizliği oranını artırmış ve nüfusun çoğunluğunu oluşturan ve gelirlerinin çoğunu enerji ve gıdaya harcayan yoksul haneler üzerinde önemli bir yük oluşturmuştur. Gelişmekte olan bazı ülkelerde doğal gazın sıvılaştırılmış formu olmasına rağmen maliyetinin yüksek olması nedeniyle orta ve üst gelir gruplarında yaygın kullanımını engellemiştir. Birçoğu enerji maliyetinin yüksek olması nedeniyle modern enerjiye erişememektedir. Son dönemlerde, 2019 yılındaki COVID-19 sonrası ekonomik toparlanma ve seyahat yasaklarının enerji fiyatlarında

düşüşe sebep olduğunu, bunu 2022 yılı sonrasında küresel enerji fiyatlarında ciddi bir artışın takip ettiği görülmektedir. Enerji piyasası daha liberalleştikçe ve sübvansiyonların kaldırıldığı düşünülürse eğer gelecekte ki fiyatlarda daha fazla artış beklenmektedir. Enerji satın alma kabiliyetini azalttığı ölçüde, hane içindeki vatandaşın enerji güvenliği üzerinde de olumsuz bir etkisi vardır. Fiyattaki artış, karbonsuzlaşmanın bir sonucu olarak sektörde zaten beklenen yapısal değişikliği hızlandıracaktır.

Enerji krizine yanıt olarak hükümetler kısa vadede enerji maliyetlerini düşürmeye yönelik adımlar atmaktadır. Doğal gaz arzının devlet tarafından gaz ve elektrik fiyat tavanları yoluyla sınırlandırılmasını önleyecek enerji tasarrufu teşviklerinin sürdürülmesine yönelik politikalar oluşturulmaktadır. Enerji altyapısını iyileştirerek enerji talebinde daha fazla esneklik sağlanmaktadır. Yakın vadede, fiyatları düşürmek için enerji arzını mümkün olduğu kadar artırırken; orta vadede ucuz, düşük karbonlu enerjinin varlığı maliyetleri azaltacak ve rekabet güçlerini artıracaktır. Bu, enerji arzını güvence altına almak için yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesini artırarak enerji güvenliği üzerinde olumlu bir etki yaratacaktır.

3.4.1.2. İkame Edilebilirlik ve Talep Esnekliği

Günümüzde enerji sadece mal ve hizmet üretimi için önem arz etmemekte, aynı zamanda bireylerin refahını da etkileyen doğrudan bir kaynaktır. Enerji talebinin fiyat esnekliğinin kanıtı çevresel, ekonomik ve dağıtım konularının açıklığa kavuşturulmasına yardımcı olmaktadır. Enerjinin fiyat esnekliği ile pazarın dinamiklerini anlamak ve enerji maliyetini bilmek hayati önem taşımaktadır.

Mikro ekonomik prensipler çerçevesinde; bir emtianın fiyatındaki yükselişe karşın talep miktarının tepkisiz kalması veya sınırlı düzeyde değişmesi durumu 'talebini fiyat esnekliği düşük' (inelastik talep) olarak tanımlanmaktadır. Enerji piyasalarında, özellikle ham petrole yönelik talebin inelastik bir karakter sergilemesi (yani fiyat artışlarının tüketim hacmi üzerinde baskı oluşturmaması) OPEC gibi üretici aktörlerin piyasa üzerindeki kartel gücünü pekiştirmekte ve bu ülkelerin ortak fiyatlandırma stratejilerinde daha kolay uzlaşmalarına zemin hazırlamaktadır (Bielecki, 2002: 235-250). Talebin çok şekillendirilebilir olması durumunda, dışarıdan gelen bir teşvik nedeniyle talebin azalması durumunda piyasa ciddi bir tepki verecek ve fiyatta çok fazla artış olmayacaktır. Talebin aşırı esnek olmadığı durumlarda talepteki küçük bir azalma, malın maliyetinde önemli bir artışa yol açacaktır. Bu durum ise enerji talebinin tutarlılığı anlamına gelecektir.

Üreticilerin rasyonel olduğunu varsayarsak, kârı maksimuma çıkarırken mümkün olan en yüksek fiyatı korumak için zaman içinde petrol arzını azaltmak onların çıkarına olacaktır. Tüketiciler enflasyondan etkilendiklerinde, gelirlerinin büyük bir kısmını petrole harcadıkları için çıkarları öncelikli olarak şekillenmekte ve bunun sonucunda enflasyon özellikle onlara zarar vermektedir. Yaşanan bu senaryo sonucunda alternatif enerji kaynakları devreye girmektedir. Bu bağlamda, sağlıklı enerji kaynaklarının tüketimi küresel ekonomik kalkınmayla birlikte artmaya devam ettiğinden, enerji ikamesi yukarıda belirtilen bazı sorunların çözümünde büyük önem taşımaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının zamanla çevreye verdiği zararların onarım masraflarının artması, fosil olmayan enerji kaynaklarının fosil enerji kaynaklarıyla değiştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

3.4.1.3. Tüketim Düzeyi ve İthalat Bağımlılığı

Enerji kaynaklarının dengesiz dağılımı hem arz hem de tüketim düzeylerinde de geçerli olup, dünya genelinde enerji kaynaklarının kullanımında bölgelere ve ülkelere göre ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum, artan enerji talebini karşılayacak bu kaynakların pratik, uygun maliyetli bir şekilde elde edilmesi açısından ülkeler için büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Dünya genelinde enerji kaynaklarının yetersizliği, ülkelerin enerji temininde rekabet etmekte zorlanmasına neden olmaktadır (Esen ve Bayrak, 2017: 75). Ülkeler, yerli üretimdeki artışın tüketimdeki azalmadan daha az olduğu durumlarda enerji ithal etmektedir.

Dünyanın enerji tüketimindeki artışa bağlı olarak enerji talebi de daha dönüşümsel hale gelecektir. Her zaman enerjiye ihtiyaç duyan ve gelişmekte olan ülkeler, şu anda ekonomik faaliyetlerin neredeyse üçte ikisini temsil etmektedir. Genel olarak, ithal edilen petrol ve doğal gaz bağımlılık artmış ve artık birçok ekonominin ortak özelliği haline gelmiştir. Ülkenin enerji bağımlılık oranı, ithal edilen toplam enerjinin ülkenin toplam tüketimine oranıdır. Yüzde olarak ifade edildiğinde, bir ülkenin enerji tedariki konusunda diğer ülkelere ne ölçüde bağımlı olduğunu gösterir. Bağımlılık oranı azalırsa ülkenin enerji özerkliğine doğru ilerlediği söylenmektedir (Planète Énergies, 2023).

2022 yılında beklenen gaz fiyatının beklenenden fazla artması üzerine Rusya, birçok Avrupa ülkesine gaz arzını tek taraflı olarak durdurma kararı aldı. Rusya, Ukrayna'ya yönelik gaz arzını artıran ancak fiyatlarını da rekor düzeye çıkaran askeri saldırısı sırasında, AB'ye gaz sağlamaya devam etme konusundaki isteksizliğini ortaya koymuştur. Gaz fiyatlarındaki hızlı artış, iklim koşullarıyla birlikte son dönemde nükleer ve hidroelektrik enerji üretiminin yapılamaması sonucunda elektrik ve konut maliyetlerinde önemli artışlara yol açmıştır

(Euronews, 2022). Ancak AB ülkeleri tek tedarikçi boyunduruğundan kaçınmak için ABD ve Katardan LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) almıştır.

İthal edilen enerjinin büyük miktarda olması enerji konusunda güvenlik sorunlarına yol açmaktadır. Bu sorunun çözümü, arz çeşitlendirmesi, yenilenebilir enerji dağıtımı, enerji talebinin azaltılması ve depolanması konularına odaklanılarak gerçekleştirilecek ve bunların tümü küresel enerji güvenliğinin geleceğine katkıda bulunacaktır.

3.4.1.4. Enerji Yönetimi

Enerji sisteminde enerjinin güvenilir, kaliteli ve bütçe dostu olarak sunulabilmesi, uluslararası ekonomik aktörlerin alacağı kararlarla doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda ekonomik güce sahip aktörlerin yanlış ekonomik kararları ülkenin enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Enerji yönetimi, üretim, tüketim, iletim ve depolama gibi süreçlerin denetimidir. Enerji fiyatlarındaki artış, enerji üreten ve tüketen ülkeler arasında parasal ve ticari dengesizliklere neden olurken, enerji kaynaklarının fiyatının düşmesi de üreten ülkelerin kapasitesini artıracak yatırımların azalmasına yol açacaktır. Ek olarak, ekonomik belirsizlikler düzenleyici belirsizlikleri de kapsayabilir. Enerji üreten ülkelerdeki hükümetlerin düzenleyici politikaları gelecekteki yatırım hacmini olumsuz etkileyebilmektedir. Ancak enerji arzındaki kesintilerden kaynaklanan finansal riskler, enerji sektöründe rekabeti, serbest ticareti ve yatırımları teşvik eden politikaların uygulanmasıyla azaltılabilmektedir. Ek olarak, sera gazlarının çevreye salınımının azaltılmasına yönelik yeni bir enerji yönetim sistemi tahsis edilmiştir.

3.4.1.5. Uluslararası Organizasyonlar

Enerji geleneksel olarak küresel çatışmaların ve ulusal stratejilerin önemli bir nedeni olmuştur. Arabistan'daki 1973 petrol ambargosunun anısı, uzun zamandan beri küresel enerji ve uluslararası politika tartışmalarına önemli bir gölge düşürüyor; çevre koruma ile kaynak dağıtımının nasıl dengeleneceği sorusunu da ele almaktadır. Enerji güvenliği stratejisinde denetleyici liderliğin kullanılması yoluyla enerji kaybını önleyen sistemlerin iyileştirilmesi, enerji üreten ülkeleri çeşitlendirerek enerji üretiminin iyileştirilmesi, enerji vergilendirmesi yoluyla talebin azaltılması, yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesi amacıyla enerjiye adanmış çeşitli kuruluşlar oluşturulmuştur (Keohane, 1978: 929-951).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve Petrol İhraç Eden Ülkeler (OPEC) gibi küresel enerji piyasasının merkezinde yer alan kuruluşlar, altmış yılı aşkın bir süredir stratejik iş birliği

protokolleri ve ticari regülasyonlar aracılığıyla küresel enerji politikalarının şekillenmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) bünyesinde ihdas edilen IEA ile OPEC üye devletleri arasındaki dinamik etkileşim, küresel ham petrol fiyatlarındaki volatilitiyi doğrudan etkilemesi bakımından kritik bir öneme sahiptir. Bu kurumsal ilişkiler ağı, enerji arz güvenliğinin jeopolitik boyutunun uluslararası sistemdeki kurumsallaşmış yansımasını temsil etmektedir. Ek olarak, enerji yönetimi uluslararası anlaşmalar ve sözleşmelerle kolaylaştırılmaktadır: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), Enerji Şartı Anlaşması (ECT), Gaz İhraç Eden Ülkeler Forumu (GECF), IAEA ve Uluslararası Enerji Programı (IEP). Enerji konusunda uzun vadeli resmi anlaşmalar oluşturularak enerji görüşmeleri kolaylaştırılmış, fiyat mekanizmasının düzgün işleyişi garanti altına alınmış, kaynak arzında istikrar sağlanmış ve dış güvenlik artırılarak korunmuştur.

Uluslararası nitelik taşıyan, kontrol ve denetim mekanizması bulunan konularda standardizasyon sağlanmaktadır. Örneğin Dünya Ticaret Örgütü'nün (DTÖ) ticaret kuralları enerji ile ilgili çok sayıda politika aracı içermektedir; bunlar arasında sektörün vergilendirilmesi, sektörün desteklenmesi, ülkelerin verimliliğinin artırılması için sektörün belirli bir standarda sahip olmasının zorunlu kılınması yer almaktadır. Bugün aralarında OPEC üyesi ülkeler, Orta Asya ülkeleri ve Rusya'nın da bulunduğu enerji ihraç eden birçok ülke DTÖ'ye katılmış ve DTÖ tarafından tanımlanan enerjiyle ilgili ticaret kurallarından yararlanmıştır. Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ), özellikle jeopolitik istikrarsızlıkların yoğunlaştığı hidrokarbon sahaları odağında, küresel enerji piyasalarında güven ortamını tesis etmeye çalışmaktadır. Bu bağlamda örgüt; enerji ihracatçısı ve ithalatçısı aktörler arasında sürdürülebilir bir yönetim mekanizmasına dönüştürülemeyen, serbest ticaret ilkeleriyle bağdaşmayan veya etkinliğini yitirmiş ikili anlaşmaları tasfiye ederek, uluslararası enerji ticaretini çok taraflı ve şeffaf bir hukuki zemine oturtmayı amaçlamaktadır.

3.4.1.6. İş Birliği, Anlaşma ve Birleşmeler

Ulusal enerji ihtiyacının yerli rezervler yerine dış ticaret kanallarıyla ikame edilmesi, enerji arz güvenliğinin sağlanmasındaki yapısal karmaşıklıkla derinleşmektedir. Hidrokarbon rezervlerinin belirli coğrafi bölgelerde kümelenmesi ve özellikle ham petrol üretiminin kısıtlı sayıda aktör tarafından domine edilmesi, piyasa fiyatlarında spekülasyon dalgalarına zemin hazırlamaktadır. Enerji piyasalarındaki bu kronik istikrarsızlıklar neticesinde; enerji ithalatına yüksek oranda bağımlı olan ülkeler için “arz güvenliği” kavramı, uluslararası siyasi

konjonktürün ve ekonomik diplomasi stratejilerinin merkezine yerleşmiştir (Pascual ve Elkind, 2010: 152-153). Enerji arzının güvenli bir hale gelmesi için tüketicilerin ve üreticilerin güçlü bir iş birliği içinde olması gerekmektedir.

Küresel eşitsizliğin artması, ekonomik bölgeselliğin artması ve ülkeler arası ilişkilerin çeşitli nedenlerle bozulması, enerji arz güvenliği açısından tehdit oluşturmaktadır. Bölgesel dışa açılma ve ülkeler arasındaki enerji ticareti anlaşmalarına rağmen enerji piyasasındaki ani değişimler nedeniyle enerji fiyatları artmaktadır. Beklenmedik şekilde yükselen enerji fiyatlarının zararlarını en aza indirmek ve ülkeler arası iş birliği, anlaşma veya satın almalar yoluyla ülkelerdeki enerji arz güvenliğinin artırılması amaçlanmaktadır (Jansen ve Van, 2004: 1-35). Günümüzde uluslararası ekonomik ve politik aktörler ile enerji kaynaklarının üretimi, tüketimi veya yönetimi konusunda çalışmalar yapan ülkeler birbirleriyle iş birliği içerisinde yer almaktadır. Anlaşmaların enerji arz güvenliğine olumlu etki yapacağı ve enerji arz güvenliğine ilişkin endişeleri azaltacağı düşünülmektedir.

Avrupa bölgesinde artan enerji tüketiminin karşılanamaması nedeniyle ortaya çıkabilecek enerji arzı sorunlarını en aza indirmek için enerjinin siyasi ve ekonomik ilişkiler kurarak sağlanmasına, coğrafi açıdan önemli ülkelerle ilişkileri geliştirerek Avrupa bölgesine enerjinin taşınmasına ve Avrupa bölgesindeki yerli kaynakların ve enerji arzının güvenliği üzerindeki olumsuz etkilere örnek olarak verilmektedir. AB, enerji arz güvenliğinin sağlanması kapsamında ana tedarikçi ülkeleri ve transit ülkeleriyle enerji iş birliklerini yürütmek için yoğun çaba göstermekte, aynı zamanda önemli enerji ortaklıkları kurmaya çalışmaktadır. Ayrıca bu bağlamda, entegre boru hattı ağları ile doğal gaz ve elektrik piyasalarının kurulması, yabancı yatırımın yasal anlaşmalar yoluyla korunması, serbest ticaret bölgeleri oluşturulması, ortak hedeflere yönelik enerji çalışma grupları oluşturularak enerji iş birliğinin geliştirilmesine yönelik girişimlerde bulunulmuştur (Aras ve Yorkan, 2005: 10).

Ayrıca AB, enerji iş birliği yoluyla da önemli bir siyasi oyuncu haline gelebilmekte ve böylece ABD ve Rusya'nın bölgedeki nüfuzu kırılmaya çalışılarak ithalatçı ülkelerin enerji kaynaklarına ulaşımı, tedarikçi ülkelerin ise enerji kaynaklarını pazarlayabilmeleri güvenli bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu sayede projeci ve transit ülkeler, mallarının garantili pazarlanmasından yararlanmakta ve kısaca, tüm ortaklar arasındaki kazan-kazan ilişkisi yoluyla bölgenin enerji güvenliği doğrudan iyileştirilmektedir. Bu enerji ilişkisi sayesinde ülkeler önemli gelirler elde edebilir, kalkınmalarını güvence altına alabilir ve uluslararası sahnede itibarlarını koruyabilmektedirler. Ayrıca ülkeler arasındaki ilişkiler gelişmekte ve somut

projelere dayanmaktadır. Bu ilişkilerin ve projelerin aynı zamanda savaşları, çatışmaları, tarihi gerilimleri azaltan bir yönü de bulunmaktadır.

3.4.2. Siyasi Faktörler

Pek çok analist, gelişmiş ülkelerin ciddi bir enerji krizi endişesi taşıdığına inanıyor. Ek olarak, enerji güvenliği krizinin merkezinde siyasi, ekonomik ve çevresel konuların birçoğu değerlendirilmektedir. Enerji güvenliği birçok nedenden dolayı büyük önem taşımaktadır; bunlardan en önemlisi, enerji kaynaklarının uzun vadeli istikrarını olumsuz yönde etkileyebilecek gelişmiş ve modern endüstrilerin varlığıdır. Günümüzde enerji güvenliği birçok faktör nedeniyle karmaşık hale gelmektedir. Bir ülkenin siyasi istikrarı, enerji kaynaklarına erişimin sağlanması yoluyla ekonomik gelişiminin devam ettirilmesine bağlıdır. Bu durum enerji kaynaklarına erişimin devletin istikrarı için gerekli olduğu anlamına gelmektedir (OSCE, 2023). Bu nedenle enerji kaynaklarında dışa bağımlılık ulusal güvenliği azaltacaktır. Kamuoyu ve uzmanlar, enerjide dışa bağımlılığın ulusal güvenliğe tehdit oluşturduğuna inanmaktadır. Akademik araştırmalarda, enerji sektöründe ulusal güvenlik kaygılarının önemi konusunda en yaygın olarak realist gelenek savunulmaktadır.

Enerji güvenliğinin uluslararası ve dış politikanın bir bileşeni olarak incelenmesi merkezi devletle sınırlı kalmayıp bölgesel ve uluslararası alanı da kapsamaktadır; karmaşık bir dizi soruna ve politikaya verilen birden fazla yanıtı dayanmaktadır. Günümüzde uluslararası sistemin gelişimi ve aktörler arasındaki bağımlılığın artması, güvenliğin tanımını ve enerjinin kavram içindeki yerini de etkilemektedir.

Enerji tasarrufu ile dış politika hedefleri arasında önemli bir ilişki vardır. Enerji güvenliğinin içinde yer alan üretim, tüketim ve ulaştırma topluluklarının bir parçası olarak ele alındığında, enerji güvenliği ile dış politika arasındaki ilişki açıkça görülmektedir. Devletlerin enerjide bağlantısı olduğu için dış politikaları ve enerji stratejileri de birbiriyle bağlantılıdır. Benzer şekilde enerji altyapısı üzerinden fiziksel bağlantılar kurulurken, tüketiciler ve tedarikçiler arasında yapılan sözleşmelere dayalı anlaşmalar yoluyla uzun vadeli siyasi bağlantılar kurulmaktadır. Enerji piyasaları doğası gereği uluslararası niteliktedir ve uygun fiyatlı ve kesintisiz enerji kaynaklarıyla karakterize edilir. Uluslararası enerji politikasındaki en önemli endişe, bu pazarlarda kaynakları yeniden dağıtabilecek merkezi bir organın bulunmamasıdır; uluslararası siyasi yapı, teknoloji ve sermaye açısından önemli bir farklılıkla karakterize edilmektedir.

Farklı karakterizedeki bu ülkeler, belirli bölge ve kişilerle ortaklıklar kurarak, politika geliştirme aracı olarak enerji yoluyla dış politika hedeflerine ulaşmaya çalışmaktadır. Örneğin NATO müttefikleri kolektif farkındalıklarını ve sürdürülebilirliklerini artırmak amacıyla düzenli olarak enerji güvenliğini tartışmaktadırlar. NATO'nun amacı, enerji gelişimiyle ilgili kritik enerji altyapısını güvenlik perspektifiyle koruma kapasitesini geliştirmek, aynı zamanda orduya güvenilir ve verimli enerji sağlayarak stratejik farkındalığını arttırmayı amaçlamaktadır (NATO, 2023).

Enerjinin dış politika açısından önemine rağmen, enerji güvenliği açısından dış politika da kritik öneme sahiptir. Yergin'in de belirttiği gibi enerji güvenliği öncelikle ülkelerin ikili ya da ülke içi etkileşimlerine bağlıdır. Bu açıdan bakıldığında enerji ithalatı ve ihracatı yapan ülkeler arasında uzun vadeli ilişkiler büyük önem taşımaktadır. Zira iç politikada siyasi istikrar hem altyapı hem de politikada yüksek bütçeli projeler, uluslararası projeler ve yatırımcıların değerlendirmeleri açısından hayati önem taşımaktadır (Yergin, 2006: 82).

3.4.2.1. Siyasi Kargaşalar

Enerjinin bir ülkede fiziki olarak bulunması, o ülkeye sosyal, politik veya ekonomik istikrarın sağlanması ve sosyo-ekonomik avantajlar sağlanması açısından olumlu avantajlar sağlamaktadır. Bunun tersi durumda da olumsuz etkileri olabilir: Siyasi sisteme çatışma etkisi yaratabilmektedir. Bu durumun en bariz iki örneği vardır. 1973 enerji krizinde OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği) petrolü baskı aracı olarak kullanmıştır. Petrol ambargosu nedeniyle petrol fiyatları %350 oranında artarken, artan maliyetler de çeşitli ülkelerin büyüme oranlarını düşürerek dünya ekonomisinde dalgalanmalara neden olmuştur. Bu nedenle enerji kaynaklarının güvenliğinin sağlanması en önemli öncelik haline gelmiştir. 2003 yılında ABD müdahalesiyle Irak'ta yaşanan rejim değişikliği, Orta Doğu coğrafyasında uzun süreli bir istikrarsızlık dönemini tetiklemiş; bu süreci takip eden “Arap Baharı” ise bölge genelinde derin sosyo-politik sarsıntılara ve iç çatışmalara yol açmıştır. Irak'ın egemenlik haklarının ihlali ve Arap Baharı ile ivme kazanan toplumsal dönüşümler; enerji rezervleri bakımından stratejik öneme sahip ülkelerde, siyasi risk faktörlerinin enerji arz güvenliğini ve piyasa dinamiklerini nasıl kırılgan hale getirdiğinin en somut tarihsel örnekleri arasında yer almaktadır. (Karakaya, a.g.m., 42).

Siyasi risklerin enerji arz güvenliği üzerindeki yansımalarını analiz etmek amacıyla literatürde çeşitli kantitatif göstergeler kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından geliştirilen ve 0 ile 1 arasında değer alan İnsani Gelişme

Endeksi (HDI), ülkelerin sosyoekonomik refah düzeylerinin yanı sıra kurumsal ve siyasi istikrar durumlarını da yansıtmaktadır. Endeks değerinin bir birime yaklaşması yüksek istikrar ve gelişmişliği; sıfıra yaklaşması ise derinleşen sosyoekonomik krizleri ve siyasi kırılganlıkları simgelemektedir. Siyasi risklerin öngörülemez doğası nedeniyle Moody's, Fitch ve S&P gibi uluslararası kredi derecelendirme kuruluşları, ülkelerin risk projeksiyonlarını daha rasyonel temellere oturtmak için HDI verilerini referans almaktadır. Enerji tedariginde tek bir kaynağa bağımlı olan ve arz portföyünü çeşitlendiremeyen ithalatçı ülkeler, ihracatçı ülkelerdeki politik dalgalanmalara karşı en yüksek hassasiyete sahip aktörlerdir (Jansen ve Van, 2004, 22). Dolayısıyla, kaynak ülkelerdeki istikrarsızlıklar, tedarik zincirlerinin yüksek bağımlılık düzeyi nedeniyle ithalatçı ekonomiler için doğrudan bir güvenlik tehdidi oluşturmaktadır.

Siyasi risk; hükümetin düşünceli politika, savaş, iç karışıklık ve terörizm nedeniyle enerji kaynaklarının tahsisinin askıya alınmasına yönelik kararları içermektedir. En büyük tedarikçi ülkelerin enerji endüstrileri tekelci bir yaklaşım benimseyebilir, büyük ölçekli hükümet müdahalesine dayanabilir ve mutlaka rekabetçi bir piyasa çerçevesinde faaliyet göstermeyebilir. Bu durum, enerjinin giderek daha fazla siyasi silah olarak kullanılacağı yönündeki endişeleri artırmaktadır. Ayrıca iç karışıklıklar, yerel çatışmalar, terörizm ve diğer sebeplerden dolayı enerji ihraç eden bölgelerdeki siyasi durum istikrarsızlaşmakta ve enerji arz güvenliği tehdit altına girmektedir. Enerji tesislerine ve altyapısına verilen geçici zararlar çoğu zaman enerji arz güvenliğinin ortadan kalkmasına yol açmaktadır (Aydın, 2022: 87-103). Ayrıca siyasi çatışmalar ülkeleri yakıt kaynakları için rekabet etmeye zorlayacak, karşılıklı ilişkilere zarar verecek ve şiddetli uluslararası rekabeti tetikleyecektir.

3.4.2.2. Terör Etkisi

Enerji rezervleri kısıtlı olan ve bu ihtiyacı yüksek oranda ithalat yoluyla karşılayan ülkeler için enerji arzının sürekliliği, ulusal güvenliğin asli unsurlarından biridir. Bu çerçevede, hem mevcut talebin kesintisiz karşılanması hem de artan enerji ihtiyacının yönetilmesi noktasında, ulusal ve sınır ötesi boru hatları ile elektrik iletim şebekelerinin fiziksel ve siber güvenliği kritik bir önem arz etmektedir. Enerji lojistiğinde kullanılan bu iletim ağlarının korunması, enerji arz güvenliğinin “altyapısal sürdürülebilirlik” boyutunu stratejik bir öncelik olarak literatüre taşımaktadır (İşeri ve Dilek, 2012: 229). Bu nedenle bu tür enerji altyapısı uzun süredir terörist gruplar için cazip bir hedef olmuştur. Son yıllarda teröristler, karşı çıktıkları rejimleri istikrarsızlaştırmak ve yabancı güçleri ekonomik olarak baltalamak amacıyla, fiziksel saldırıya açık görülen petrol ve gaz tesislerini hedef almışlardır (Toft, 2010: 4411). Terör örgütlerinin

amacı sadece nükleer santralleri yok etmek değil, aynı zamanda nükleer enerji veya çeşitli radyoaktif, kimyasal ve biyolojik silahları kullanarak insanların beden ve ruh sağlığına zarar vermektir. Terör örgütlerinin nükleer faaliyetlerinden kaynaklanabilecek riskler temel olarak kasıtlı olarak nükleer olaylara neden olmak, nükleer tesislere saldırmak, radyoaktif atık depolamak, bölünebilir malzemeleri çalmak gibi risklerdir (Bielajac ve Matijasevic, 2020: 413-431).

Dünyanın istikrarsız bölgelerindeki enerji talebi, ithalatçı ülkeler için güvenlik açıkları yaratmaktadır. ABD eski Başkanı Obama, yaptığı bir konuşmada bu durumu şöyle dile getirmişti: "Her gün yabancı petrole harcadığımız 800 milyon doların büyük bir kısmı bazı ülkelere (dünyanın en istikrarsız rejimleri olan Suudi Arabistan, Nijerya, Venezuela ve en azından dolayı olarak İran) gidiyor." İster nükleer niyetleri olan otoriter rejimler, ister teröristler, paramızı almaktalar çünkü onların gücüne ihtiyacımız vardır (Bradshaw, 2009: 1920-1937). Yani ABD liderlerinin aklında terörle mücadele üst sıralarda yer alırken, asıl amaç Orta Doğu petrolünün Batı tüketicilerine devam etmesini sağlamaktır. Enerji kaynaklarını çeşitlendirmeden bu ülkelere güvenmek dış politika çıkarlarını baltalamaktadır.

Terör saldırıları enerji talebi güvenliği sorunlarını transit ülkelerin yanı sıra tüketen ve üreten ülkelere de taşımaktadır. Enerji nakil hatları, enerjiyi tüketicilere ulaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Ancak enerji nakil hatları geçtikleri ülkelerdeki terör saldırıları nedeniyle çeşitli riskler taşımaktadır. Yüksek riskler ve yüksek inşaat maliyetleri nedeniyle hat kontrolü ve güvenliği özellikle önemlidir. Boru hattı güzergahları belirlenirken ve hat güvenliği sağlanırken her ülkenin sosyoekonomik ve çevresel koşulları dikkate alınmalıdır. Enerji paydaşlarının istikrarsızlık risklerinden kaçınmak ve çeşitli saldırılara hazırlıklı olmak gibi stratejiler geliştirmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin enerji jeopolitiği açısından kritik öneme sahip olan petrol ve doğal gaz sevkiyat hatları, 1970 ile 2017 yılları arasında 48 farklı terör saldırısına maruz kalarak ulusal arz güvenliğini doğrudan hedef almıştır. Söz konusu asimetric tehditler, ağırlıklı olarak kamu enerji altyapı kuruluşu olan BOTAŞ bünyesindeki tesisler ile stratejik Kerkük-Yumurtalık (Irak-Türkiye) ham petrol hattı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu güvenlik riskleri bağlamında, Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) hattının operasyonel sürekliliği açısından en kritik ve dış müdahalelere karşı hassasiyetin en yüksek olduğu bölgelerden biri, hattın terminal çıkış noktası olan Ceyhan segmenti olarak öne çıkmaktadır.

3.4.2.3. Ambargo

Küresel petrol piyasası, üretim ve tüketim merkezleri arasındaki coğrafi ve ekonomik uyumsuzluk üzerine kurgulanmıştır; üretim faaliyetleri ağırlıklı olarak Orta ve Güney Amerika ile Orta Doğu'daki gelişmekte olan ekonomilerde kümelenirken, talep odağı öz kaynakları yetersiz olan gelişmiş Avrupa ülkelerine kaymaktadır. Bu ekosistemde, 14 üye devletten oluşan Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC), dünya rezervlerinin %71,8'ini (yaklaşık 174,8 milyar ton) kontrol ederek piyasa üzerinde belirleyici bir hegemonya kurmaktadır. Söz konusu kartel gücü, OPEC'in arz kısıntısı stratejileriyle birleştiğinde ham petrol fiyatlarında yukarı yönlü bir baskı oluşturmakta; bu durum ise enerji ithalat bağımlılığı yüksek olan ülkelerin arz güvenliği parametrelerini doğrudan riske atmaktadır.

Benzer şekilde Avrupa'nın açık ara en büyük enerji tedarikçisi olan Rusya'nın 2022 yılında Ukrayna'yı işgal etmesi enerji arz güvenliğini de doğrudan olumsuz etkilemiştir. Eurostat'a göre Rusya, 2021 yılında AB'nin toplam kömür ithalatının %45'ini ve toplam doğal gaz ithalatının %36'sını oluşturmuştur. 7 Nisan 2022'de üye devletler, Rusya'ya askeri güçlerini Ukrayna'dan “derhal ve koşulsuz olarak” geri çekmesi, Rusya'dan petrol, kömür, nükleer yakıt ve doğal gaz ithalatını derhal ve kapsamlı bir şekilde yasaklaması ve Kuzey Akım 1 ve 2 boru hatlarından tamamen vazgeçmesi için ambargo çağrısında bulunmuştur. Rusya'nın Avrupa'nın enerji tedarikçisi olarak önemli rolü olması, kısa ve orta vadede Rusya'dan enerji ithalatını ikame etme fırsatlarının sınırlı olması nedeniyle AB, çeşitli ülkelerin enerji güvenliği ve gıda güvenliği konusunda endişe duymaktadır. Artan enerji ve gübre fiyatları, uluslararası gıda fiyatlarının artmasına yol açtı ve aynı zamanda küresel gıda güvenliğini tehdit etti. Ancak bu müdahale aynı zamanda enerji arz güvenliğine de olumlu etki yaparak ülkelerin enerji çeşitlendirme kararlılığını etkileyerek enerji çeşitlendirmesini küresel ölçekte yaygınlaştırmaktadır. Avrupa, 2022 yılı boyunca doğalgaz depolama tesislerinin doldurulması ve ilave doğalgaz kaynaklarının bulunması için çalışmaktadır. AB, 2022/2023 kışında başlangıçta beklenenden daha iyi bir performans sergilemiştir. Geçtiğimiz yıllara göre daha düşük seyreden doğal gaz talebi, Avrupa Birliği'nin enerji tasarrufu çalışmaları sayesinde önemli ölçüde artmıştır. 2023 yılında AB, odak noktasını krize müdahale yaklaşımından uzaklaştırarak, krizi nasıl yöneteceğine ilişkin uzun vadeli bir vizyona kaydırmak zorunda kalmıştır. Bu uzun vadeli süreç, hammadde ve yenilenebilir kaynakların tedarikini de içermektedir (EPRS, 2023).

New York Times 2022 Haziran ayında, AB'nin Rus petrolünün çoğunu kapsayan ithalat yasağının, "Çin ve Hindistan'ın pazarlık gücü göz önüne alındığında, Rusya ekonomisini zayıflatan ve Suudi Arabistan gibi üreticileri zenginleştiren küresel enerji ticaretinin yeniden düzenlenmesi" olduğunu bildirmiştir. The Times'ın yazısından hareketle: "Avrupa'nın yeni petrol kaynakları arayışı, Rusya'nın ise yeni petrol alıcıları arayışı-sonucuna varılmaktadır" (Smith, 2022: 287).

3.4.3. Coğrafi Faktörler

Dağıtım, mesafe ve talep ve arz merkezlerinin konumu gibi coğrafi faktörler, enerjinin yeterli, uygun fiyatlı ve güvenilir tedariki üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. 21. yüzyılın ilk on yılının sonunda küresel enerji ortamında nüfus artışı, kentleşme ve ekonomik gelişme düzeyine bağlı olarak arz ve talep eğilimleri değişmiş ve çeşitli enerji literatürüne yeni anlayışlar hâkim olmuştur. Dünyanın en büyük dört petrol tüketicisi olan Çin, Japonya, Hindistan ve ABD, dünya petrol talebinin yalnızca %42'sini oluşturmakta ve dünya rezervlerinin yalnızca %4'ünü kontrol edebilmektedir. Bu dört büyük gücün güç rekabetine yol açan enerji güvenliği kaygıları, özellikle gezegenin en hızlı büyüyen ve enerji tüketicisi olan Asya-Pasifik bölgesinde, açık bir tartışmaya dönüşecek kadar ciddileşme potansiyeli taşıması ve bu bölgenin küresel istikrar ve kalkınma açısından stratejik öneme sahip olması, bu yerin savunmasız bir bölge haline gelmesini sağlayabilir (Paravantis, 2019: 6). Artan enerji talebi ve bunun sonucunda enerji piyasaları üzerinde oluşan baskı, dünyanın büyük güçleri arasındaki jeopolitik gerilimleri ve uluslararası rekabeti kızıştıran faktörler arasındadır.

Dünyadaki hiçbir ülke gerçek anlamda enerji bağımsızlığını sağlayamamaktadır. Olaylar geliştikçe çatışmalar ortaya çıksa da iş birliği ihtiyacı her zaman hissedilmektedir. Suudi Arabistan ham petrol ihraç ediyor ama rafine benzin ithal etmektedir; Rusya doğalgaz ihraç ediyor ama uranyum ithal etmektedir; ABD kömür ihraç ediyor ama petrol ve doğalgaz ithal etmektedir. Ülkeler arasındaki bu karşılıklı bağımlılık, enerjinin soyut olarak bağımsız olarak var olmadığı, coğrafi bağlamda anlam taşıdığı anlamına gelmektedir. Yüksek enerji fiyatları, coğrafi olarak yoğunlaşmış kaynaklara olan talebin artması, kaynak kıtlığı ve öngörülebilir gelecekte tükenme tehlikesi, temel gelişme alanları haline gelmiştir.

3.4.3.1. Uzaklık

Enerjinin karşılıklı bağımlılığı ve enerji ticaretinin devasa ölçeği göz önüne alındığında, tedarik zinciri boyunca güvenliğin sağlanması için üreticiler ve tüketiciler arasında sürekli ve

kesintisiz iş birliği gerekmektedir. Küresel enerji ticaretinin gelişmesiyle birlikte doğal gaz ve petrol taşıma yolları üzerindeki birçok geçiş noktasında uzun mesafeli sınır ötesi boru hatları bulunmaktadır (Yergin, 2006: 71). Petrol ve doğal gaz rezervlerinin coğrafi olarak dünya üzerinde nispeten az sayıda yerlerde yoğunlaştığı dikkate alındığında, petrolün sınırlı koridorlar tarafından iletilmesi vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmektedir.

Yerel, bölgesel ve uluslararası ticaretle ilgili masraflar ve seyahat mesafesi enerji güvenliği üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Uzun mesafeli ulaşım altyapısının finansmanı da önemli bir bütçe gerektirmektedir. Ülkenin ihracat sisteminin bozulması (kısa vadeli lojistik veya uzun vadeli siyasi) enerji dengesini etkileyecek, bu durum ülkenin sınır ötesi ticaretinin aksamasına yol açacak ve dolayısıyla ülkenin arz istikrarı için tehdit oluşturacaktır. Taşınan malzemenin tehlikeli olması ve kat edilen mesafenin artması kaza olasılığını artırmaktadır. Akaryakıtın farklı özellikleri, farklı taşıma risk seviyelerine yol açmaktadır; petrol ve benzin tankerleri, oduna göre daha yüksek taşıma riskine sahiptir.

Rusya, büyük doğal gaz arzının çoğunu, bir kısmı Ukrayna'dan geçen boru hatları aracılığıyla Avrupa ülkelerine göndermektedir. Anlaşmazlıklar sebebi ile, Macaristan ve Slovenya gibi ülkelerin Ukrayna'ya gaz tedarikini durdurması nedeniyle tedarik hattına yakın ülkeleri etkileyen gaz kıtlığına neden olmuştur. Bu durum, tüketiciler ile üreticiler arasındaki mesafenin enerji tedarik zinciri açısından doğurduğu sonuçların gösterdiği etkili bir örnektir.

3.4.3.2. Konum ve Güzergâh

Enerji kaynakları küresel istikrar ve güvenliğin sürdürülmesi için hayati öneme sahiptir. Küresel enerjiye yönelik artan taleple karşı karşıya kalan devletler, tüketim ve üretimi dengelemek ve hem verimli hem de yenilenebilir bir topluluk yaratmak amacıyla mevcut enerji kaynaklarını düzenlemeye veya dış kaynaklardan sağlamaya çalışmıştır. Ayrıca enerji güvenliğiyle ilgili artan tehlike ve riskler, üretici ülkelerdeki istikrarsızlık atmosferi, tedarik yollarının, özellikle de deniz yollarının terörizm, korsanlık ve iklim değişikliğine karşı savunmasızlığı, enerji güvenliğine yönelik kısa vadeli ve uzun vadeli stratejilerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Enerji arama, geliştirme, taşıma, rafinaj ve pazar bulma gibi faaliyetler belirli bir güzergâh ve yer çeşitlendirmesi gerektirmektedir (Blyht ve Lefevre, 2004: 18).

3.4.3.3. Jeopolitik Özellik

Jeopolitik, ülkelerin nasıl konumlandığının incelenmesidir; uluslararası ilişkileri, gücü ve kırılganlığı nasıl etkilediğinin analizidir. Bir bölgenin enerji jeopolitiği düşünülürken bölgenin büyüklüğü, konumu, doğal kaynakları, kaynakların kimin elinde olduğu, maliyetleri, alternatif ulaşım yöntemleri, yerel ve küresel piyasaların nasıl dengelendiği, piyasa mekanizmaları, kararları ve düzenlemeleri gibi faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkeler enerji ihtiyacını karşılamalı, pazarlara ulaşmalı ve ulusal çıkarlarını korumalıdır. Siyaset ve enerjinin birleşimi küresel enerji piyasası üzerinde önemli sonuçlar doğurabilir, bu sonuçlar bölgesel istikrarın bozulmasına yol açabilir.

Jeopolitik ve jeostratejik faktörler, kaynak arzının güvenliğini garanti altına alan enerji stratejilerine ilişkin temel ilkelerin planlanmasını ve uygulanmasını içermektedir. Bu stratejiler, enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye, ulusal kaynakları korumaya ve istikrarlı bir enerji arzını sürdürmeye yönelik girişimler olarak tasarlanmıştır. Ayrıca afetlere hızlı müdahalede yer alan araç ve kuruluşları da tanımlamaktadır.

Enerji kaynaklarının önemli bir jeopolitik faktör haline gelmesi tarih boyunca pek çok olaya yansımıştır. Nazi Almanyası İkinci Dünya Savaşı sırasında Orta Doğu'ya yayılmanın önemli hedeflerinden biri, Stalingrad'da dursa da Azerbaycan'ın petrol üretiminin kontrolünü ele geçirmektir. Amaç hem petrolü korumak hem de Sovyetlerin onu mekanize kuvvetlerinde kullanmasını önlemektir. Enerji kaynaklarının politik doğası, İkinci Dünya Savaşı'nda yakıt eksikliği nedeniyle Alman askerlerinin arabalarının ve tanklarının hareket edememesiyle ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde, Yom Kippur çatışmasında Amerika'nın İsrail'e verdiği desteğe OPEC ülkelerinin petrol ambargosu ile tepkisi, neredeyse Batı'nın ekonomik çöküşüyle sonuçlanabilecektir (Milina, 2007: 25).

Günümüzde çatışmalar artık kara konusunda değil, enerjiye erişim konusunda yaşanmaktadır. Çünkü enerji sadece ekonominin önemli bir itici gücü değil, aynı zamanda uluslararası politikanın da bir parçası haline gelmiştir. Literatürdeki bir görüşe göre; enerji politikalarının öngörülebilir ve güvenilir bir zemine oturtulması, hem pazar payını korumak isteyen ihracatçı aktörlerin hem de enerji güvenliğini tesis etmeye çalışan yeni ithalatçı ülkelerin ortak stratejik çıkarları açısından bir zorunluluk teşkil etmektedir. Dolayısıyla genel olarak enerji kaynaklarını ve rotalarını kontrol eden ülkelerin bu rekabette üstün konumda oldukları ve kendi çıkarlarını korudukları, diğer ülkelerin ise enerji ithal etme ihtiyaçları nedeniyle enerji piyasasında zayıf konumda oldukları düşünülmektedir.

Enerji arz ve talebinin coğrafi kapsamı ve enerji üretim ve talebinin lokasyonunda ki değişikliklerin küresel niteliği, ülkelerin ekonomik kalkınmasına paralel olarak artmaktadır. Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan pazarlarda otomobile olan talebin artmasıyla birlikte üretim merkezleri artık Orta Doğu, Afrika ve Rusya'ya kaymıştır. Bu değişikliklerin gelişmiş dünyanın enerji ekonomileri üzerinde önemli siyasi sonuçları vardır. 1900'lü yıllardan bu yana ve özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Amerika, öncelikli olarak Orta Doğu'dan elde edilen petrole bağımlı hale gelmiş ve bu durum, onlarca yıldır hem ABD'yi hem de Arap dünyasını dış ve güvenlik politikası açısından önemli bir şekilde etkilemiştir. Bazı durumlarda, Sovyetler Birliği'nde ve Suudi Arabistan'da durum jeopolitik nedenlerden dolayı ilk sırada petrol ve gaz yer almaktaydı. Avrupa Birliği'nin Rusya'dan ithal ettiği doğalgaz fiyatlarının indirimli fiyatlara aday olması piyasada dengesizliğe yol açmaktadır. Aynı zamanda artan rekabetin uluslararası iş birliği ve çatışmaları bölgesel enerji güvenliğine etkilerini doğrudan yansıtmaktadır.

Mitat ÇELİKPALA, Türkiye özelinde operasyonel engellerden ziyade jeopolitik ve stratejik parametrelerin öncelikli olduğunu vurgulayarak; doğal gaz arzı meselesinin doğrudan bu siyasal düzlemle ilişkili olduğunu ifade etmektedir. Türkiye'nin hidrokarbon kaynaklarına yakınlığı ve coğrafi konumu lojistik bir avantaj sunsa da, ülkenin bölgesel çatışma dinamiklerinden ve asimetrik güvenlik risklerinden izole olmadığı gerçeği göz ardı edilmemelidir. Jeopolitik risklerin potansiyel askeri tehditleri de tetiklediği gerçeğinden hareketle; Türkiye'nin stratejik “enerji merkezi” (hub) vizyonunun kesintiye uğramaması adına, enerji politikaları ile milli güvenlik stratejilerinin birbirini bütünleyen disiplinler olarak senkronize edilmesi elzem görülmektedir (Erşen ve Çelikpala, 2019: 590).

3.4.4. Çevresel ve Sosyal Faktörler

Günümüzün enerji güvenliği, güvenilir enerji kaynaklarının uygun fiyatlarla sağlanmasının kabul edildiği geçmişe göre daha karmaşıktır. Çünkü günümüz enerji güvenliği sorunlarının ve risklerinin doğası ve kısıtlamaları 1970'lerdekilere farklı ve çok yönlüdür. Küresel enerji güvenliği, egemenlik, şeffaflık, eşit adalet, insan hakları, uluslararası çatışma ve iş birliği, çevre kirliliği gibi konuları gündeme getirmiştir. Artan sayıda kriz olayı ve çeşitli nitelikteki tehditlerle vurgulanan enerji güvenliğinin kavramsal karakteri, köklü değişikliklere işaret etmektedir. Enerji ve sosyoekonomik etkileri sürdürülebilir kalkınma çabalarında önemli bir faktördür. Köklü değişikliklerle ülkeler sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için enerji sistemleri oluşturmakta ve güvenlik anlayışlarını geliştirmektedir.

21. yüzyıla girerken dünyanın temel yaşam destek sistemleri çevresel faktörlerden olumsuz etkilenmiş ve çözüm arayışları Richard FALK'ın çevre ve güvenlik arasındaki ilişkiyi konu alan “Tehlikedeki Bir Gezegen” başlıklı kapsamlı çalışmasıyla başlamıştır. Roma Kulübü, "Büyümenin Sınırları" başlıklı raporunda, sınırlı kaynak arzı altında ekonomik ve nüfus artışının matematiksel modellemesini yapmış, sürdürülebilirlik konularına değinmiş ve sosyal tahminlerde bulunmuştur. Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı, iklim değişikliğinden mustarip bir dünya için çevre koruma ve güvenlik kavramlarına yönelik bir çerçeve geliştirmiştir. Ullman ve Myers gibi bilim insanları, ulusal güvenliğin sınırlarını çizerken doğal afetler, yiyecek ve su kıtlığı, hava kirliliği, iklim değişikliği gibi konuları gündeme getirmişlerdir (Vural, 2018: 20). Siyasetçiler ve toplumsal sivil örgütlerinin de bu konuya değinmesiyle güvenlik, çevre kavramıyla özdeşleşmiştir. Kaynak kıtlığı, hızlı nüfus artışı ve kentleşme dünyanın birçok yerinde çatışma bölgeleri yaratmış ve enerji talebini artırmıştır. İthal enerjiye bağımlılık, iklim değişikliği endişeleri, göç, sınır ve toprak anlaşmazlıkları ortaya çıktıkça ekonomik kırılganlık yaşanmasına sebep olmuştur. Gerekli enerji ihtiyacının karşılanmasında ise yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş önemli bir konu haline gelmiştir.

Suriye iç savaşı örneğinde çevresel ve sosyal faktörlerin enerji güvenliği üzerindeki etkisi doğrudan gözlenmekte olup, iklim değişikliği, çatışma ve göç kaynaklı gıda güvensizliği bir arada görülmektedir. Kuraklık gibi doğal afetler, insanların yanlış siyasi kararları ve zayıf enerji altyapısı nedeniyle tarımsal üretimin azalması nedeniyle ülkede yaşam sürdürülemez hale gelmiştir (Kovancı, 2019: 345). Kaynakların sınırlı olduğu ve dengesiz dağıldığı bölgelerde iklim değişikliği ve doğa olayları tarım arazilerinin kullanımını engellemekte ve gıda güvensizliğini tetikleyerek uzun vadeli nüfus göçüne ve sosyal yapıların bozulmasına yol açmaktadır. Elektrik ve yakıt kıtlıkları sosyoekonomik bozulmanın bir belirtisidir, Suriye'deki insani müdahalelerin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini zayıflatmakta ve dağıtım maliyetlerini artırarak enerji güvenliği dinamiklerinde merkezi bir rol oynamaktadır (ReliefWeb, 2023).

3.4.4.1. Doğal Afet Olayları

Enerji güvenliği, öngörülemeyen doğa olaylarının yanı sıra insan hayatı ve faaliyetleriyle de yakından ilgilidir (Oju vd., 2023: 1). Doğal afetlerin çok çeşitli etkileri vardır; bir ülkenin ekonomik gelişimini ve enerji tüketimini ciddi şekilde engeller ve enerji altyapısı üzerinde yıkıcı olumsuz etkilere neden olmaktadır. Doğal afetler, başta iklim değişikliğinden etkilenen ülkeler olmak üzere çeşitli ülkelerde giderek daha sık meydana gelmektedir. Doğal afetlerin meydana gelmesi ve güç sistemlerinin işleyişine etkisi, dünya çapında ülkelerin deprem

konusunda dikkatini çekmiştir. Şili, Çin, Haiti, Endonezya, İtalya, Japonya, Meksika, Filipinler ve aralarında ülkemizin de bulunduğu diğer ülkelerde meydana gelen depremler, enerji tedarik altyapısında ciddi hasarlara, can ve mal kayıplarına ve ekonomik darboğazlara neden olmaktadır. Ayrıca şiddetli hava koşulları, kasırgalar, depremler, volkanik patlamalar, kuraklık ve fırtınalar gibi öngörülemeyen olaylar, enerji güvenliğine yönelik maliyetli tehditler oluşturmakta ve istikrarsızlığı hızlandırmaktadır.

Doğal afetlerin ekonomik ve çevresel sistemler üzerindeki etkisi nedeniyle enerji tesislerinin doğal ve teknolojik afetlerden yeterince korunması gerekmektedir. İklim değişikliği, gıda güvenliği, su güvenliği ve bulaşıcı hastalıklar, olağanüstü tepkiler gerektiren geleneksel olmayan tehditlerin örnekleridir. Düzenlemeler, makul politikalar, teknik rehberlik sistemleri, eğitim, piyasa teşvikleri ve çevre yönetim sistemleri gibi önleme ve azaltma önlemlerinin ve sistemlerinin uygulanması vurgulanmıştır.

3.4.4.2. Çevre ve İklim Değişiklikleri

Küresel ısınma ve iklim hassasiyeti nedeniyle enerji ve çevre hususları özel bir odak noktası haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak görülse de dünyada enerji üretiminin birincil kaynağı fosil yakıtlar olmaktadır. Ancak uygun fiyatlı ve güvenilir enerji mücadelesinde fosil yakıtlara güvenmeyi tercih etmek iklim eylemlerini tehlikeye atabilmektedir (Mohsin vd., 2019: 26). Dolayısıyla bu duruma yanıt olarak iklim ve çevre kaygıları ile yeşil ekonomi arzusu, dünya çapında enerji sektörünün siyasallaşmasını teşvik eden baskıları ve politikaları doğurmuştur. Ülkeler, acil enerji ihtiyaçlarını uzun vadeli yeşil hedeflerle birleştirmek için birleşik çevresel ve ekonomik etkiler sağlayacak alternatif enerji kaynaklarını hedeflemektedir.

Gelişmekte olan ekonomilerde temiz enerjiye geçiş, büyümeyi hızlandıracak ve maliyetleri düşürecek bir fırsat olarak görülmektedir. Fosil kaynaklara daha az bağımlı, enerji verimliliği en yüksek alanlar girişimciler için yatırım alanı haline gelmiştir. Bazıları bu teknolojiye yatırım yapmanın değer ve istihdam yaratacağını savunmaktadır. Yerel, ulusal ve küresel düzeydeki tüm çabalar, iklim değişikliği hedeflerini teşvik etmenin temiz enerji politikalarına ulaşmanın önemli bir yönü olduğu sonucuna varmıştır. İklim tartışması esasen dünyanın birincil enerji kullanımının %87'sini oluşturan fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlarla ilgilidir (Energy Institute, (EI) 2023). Kontrolsüz emisyonları ve tehlikeli atıkları kontrol altına almalı, yenilenemeyen kaynaklarla rekabet eden yenilenebilir enerji kaynaklarını artırmalı ve enerji tasarrufu teşvik edilmelidir. Bu nedenle temiz enerjinin geliştirilmesi enerji

güvenliğinin en iyi garantisi olacaktır. Enerji kaynaklarının, dağıtımının ve tüketiminin geliştirilmiş enerji verimliliği, enerji bağımlılığının azaltılması ve iklim değişikliğinin azaltılması ancak bu adımlarla gerçekleştirilebilir.

Enerji, ekonomik büyümenin ve refahın önemli bir itici gücü olduğundan çoğu ülke tarafından öncelikli bir politika alanı olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda uluslararası enerji kaynaklarına erişim de stratejik dış politikanın bir konusudur. ABD'nin istikrarsız bölgelerden fosil yakıt ithal etme ihtiyacı duyulurken, AB'nin Rus gazına aşırı bağımlılığı- Rus gaz tedarikçilerinin jeopolitik kazanç için kullanabileceği bir konum- enerji bağımlılığının azaltılması çağrılarına yol açmıştır (Çıtak ve Pala, 2016: 1). Dolayısıyla yenilenebilir enerji kullanılarak bu hedeflere ulaşılabilirken aynı zamanda iklim değişikliğinin azaltılmasına da yardımcı olunabilmektedir (Toke, 2013: 1).

Enerji güvenliği daha önce genel kabul görmüş, makul ve kesintisiz enerji arzı olarak tanımlanmaktaydı. Ancak iklim değişikliği ve bunun bariz sonuçları, güvenlik kavramını askeri güvenlik perspektifinden, insani güvenlik perspektifine doğru genişletmiştir. Sürdürülebilirlik ve çevresel bozulmanın insan güvenliği üzerindeki etkisine ilişkin endişeler bu değişimde rol oynamıştır. Fiyat çerçevesinin varlığıyla açıklanan enerji güvenliği kavramının yerini artık sürdürülebilirlik bağlamı almıştır.

Enerji güvenliği dört çevresel boyutu içermektedir: hava kirliliği, su temini, yüzey arazi kullanımı değişikliği ve iklim değişikliğidir (Jacobson, 2009: 148-173). Hava kirliliği ulusal sağlık harcamalarına ve genel ekonomiye ciddi zararlar vermektedir. Kanseri, astım ve solunum yolu hastalıkları gibi hastalıklara neden olan hava kirliliği, ekonomik üretimi azaltarak ulusal güvenliği etkilemektedir. Küresel ısınma yoğunlaştıkça kar kütleleri ve deniz buzulları erimekte, okyanus deniz seviyeleri ve buzullar ise yükselmektedir ve buna bağlı olarak su kaynaklarının ölçeği değişmektedir. Artan tüketim, iklim değişikliği ve kirlilik su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmakta ve iklim değişikliğine bağlı olarak yükselen deniz seviyeleri tatlı su akiferlerini kirlenip ve içme suyu kaynaklarını azaltmaktadır.

Yağışların azalması veya su sıcaklıklarının artması enerji altyapısını etkilemektedir. Kuraklık kötüleştikçe barajlardaki düşük su seviyesi elektrik santrallerinin kapasitesini azaltmakta ve arzı etkilemektedir. Hayvancılık ve yoğun tarım gibi faaliyetlerde kullanılan kimyasallar, ağır metaller ve pestisitler toprağı olumsuz yönde etkiler ve tarımı, ekosistemleri ve hayvanların yaşam alanlarını tehlikeye atar. Ayrıca hem yakıt hem de biyoyakıt için odun hasadı için arazinin kullanılma biçimindeki değişiklikler ormansızlaşmaya yol açmaktadır.

Benzer şekilde besin zinciri bozuldukça organizmaların çevreleri ve birbirleri ile olan etkileşimleri de değişmekte; Biyoçeşitliliğin kaybı sonucu çevresel denge ise bozulmaktadır (Demir, 2009: 37-54).

Son zamanlarda küresel ekonomide bazı çatlaklar ortaya çıkmaya başladıkça, enerji güvenliğinin iklim değişikliği bağlamındaki etkileri daha belirgin hale gelmiştir. Elbette iklim değişikliğinin mali durumumuz üzerindeki doğrudan etkisi onun sayısız dolaylı etkilerinden sadece bir tanesidir. Bu afetlerin uzun vadeli olması ve yerel ya da uluslararası düzeyde meydana gelmesi durumunda gelecekte farklı gelişmelere yol açabilecektir. Tehditlerin çeşitliliği ve bunların etkileşimlerinin karmaşıklığı, enerji güvenliği sorununun boyutunun değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Ancak, iklim değişikliğinin başta yakıt tedariği olmak üzere enerji üretimini ve mevcut ve gelecekteki enerji altyapısının fiziksel dayanıklılığını doğrudan etkilediğine ve fosil yakıt emisyonlarının teknolojik devrimlerin yaşandığı enerji sektörünün güçlü dinamizmi tarafından yönlendirildiğine dair açık işaretler vardır ve sıcak hava dalgaları ve kuraklıklar mevcut enerji üretimini engellemektedir. Küresel ısınma, enerji tüketimini azaltacak ve enerji geçişini sağlayacak politikalara ihtiyaç vardır.

3.4.4.3. Sosyal Etmenler

Enerji güvenliğinin sosyal bileşeni birçok açıdan önemli olmasına rağmen, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma üzerinde önemli bir etkisi vardır. Hemen hemen her ekonomik çaba, girdinin bir bileşeni olarak enerjiyi içerir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının güvence altına alınması, ülkelerin çoğu için kritik bir stratejik önceliktir. Enerjiye bol miktarda, uygun fiyatlı, güvenli ve temiz erişim, insanlar için faydalıdır. Ancak enerjinin çıkarılma, taşınma ve kullanım şekli bir toplumun sağlığına, çevresine ve ekonomisine zararlı etkiler yaratabilir.

Enerjiye erişilebilirlik boyutuna bakıldığında, enerjinin bulunabilirliği iş piyasasını ve yoksulluğu doğrudan etkilemektedir. Spesifik olarak, enerji maliyetinin nispeten yüksek olması, hane halkının bütçesine yük getirmekte ve yatırımları ve girişimciliği caydırmaktadır. Güvenlik ve yakıt eksikliği olarak tanımlanan enerji yoksulluğu, gelişmekte olan ülkelerde yaygın olup, para ve enerji arasındaki finansal ilişkide önemli bir role sahiptir. Yetersiz finansal kaynaklardan veya altyapıdan elde edilen elektrik gibi modern enerji hizmetlerinin yokluğu veya sınırlı erişimi, düşük ekonomik büyüme, düşük insani gelişme ve yüksek çevresel etki dahil olmak üzere refahı olumsuz yönde etkilemektedir. Enerji eksikliği incelenirken fiziksel, kişisel ve kurumsal sınırlamalar, tıbbi sorunlar ve sosyal, ekonomik ve politik faktörler de dikkate alınmaktadır (Cirella ve Pawlowska, 2021: 14).

Enerji yoksulluğu konusu neoliberal küresel politikalarla öncelikli bir konu olarak kabul edilmiş ve “2030 yılına kadar herkesin uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişiminin nasıl sağlanacağı” (MMO, 2023) sorusu Birleşmiş Milletler Sürdürülebilirlik Raporu çerçevesinde incelenmiştir. Bu rapor doğrultusunda maliyetleri düşüren modern hizmetlerin erişilebilirliği hayati önem taşımaktadır. İthalata dayalı enerji erişiminin talepteki değişikliklere duyarlı bir fiyatı olduğundan, yerel enerji endüstrisinin ve hizmetlerinin geliştirilmesi, istihdamı etkilerken verimliliği ve rekabet gücünü artırmak için enerjinin tahsisi de çok önemli olacaktır.

Yüksek enerji maliyetleri tüketici haneler için zararlı olduğundan, hanelerin devlet yardımı ve destekleri yoluyla sübvansede edilmesi ve desteklenmesi yöntemi, bu hanelerin sosyal toplum tarafından dışlanmadan enerjiye erişilebilirlik ve fırsatlardan eşit şekilde faydalanmalarına olanak tanıyarak güvenlik duygusunu geliştirmektedir. Enerji talebi arttıkça ve yenilenebilir enerjinin genel toplam içindeki payı artırılmaya çalışıldıkça, üye ülkeler geleneksel enerji kaynaklarını yeşil teknolojilerle değiştirmeye çalışmaktadır. Ulusal enerji sektöründe de çevre dostu kaynaklara yönelik çalışmalar başlatılmıştır (Luty vd, 2023: 16).

3.4.4.4. Teknolojik Etmenler

Teknolojideki ilerlemeler güvenli, düşük maliyetli, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının keşfini kolaylaştıracaktır. İklim değişikliği hızlı ve şiddetli olursa dünyanın kendisini bir çözüm telaşı içinde bulması olasıdır. Burada ele aldığımız teknolojinin etmenleri önemlidir çünkü fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltan ve tek bir sağlayıcıya olan ihtiyacı ortadan kaldırarak enerji güvenliğini artıran dekarbonizasyon sürecini kolaylaştırmaktadır. Sürdürülebilir enerji tedarik zincirlerinin oluşturulması, enerji güvenliğine olan erişime bağlıdır. Temiz enerjiye geçiş için hayati önem taşıyan ve tasarruf sağlama potansiyeli taşıyan düşük emisyonlu hidrojen ve diğer yeşil teknolojiler hayata geçirilmektedir. Günümüzde ülkeler temiz enerji teknolojisinin üretimini ve değişimini teşvik etme ve katılma kapasitesine sahiptir. Bu durum temiz olan birçok teknolojiye fayda sağlamakta ve bu teknolojilerin maliyetinin küresel olarak azalmasına yol açmaktadır.

Geleneksel enerji kaynaklarının yerini modern, dijital teknolojiler almaktadır. Enerji sisteminin bu artan dijitalleşmesi, sistemin zekasını artırmakta ve tüketicilerin daha gelişmiş enerji hizmetlerinden yararlanmasına olanak tanımaktadır. Ancak dijitalleşmenin siber saldırılar nedeniyle güvenlik sorunlarına yol açma potansiyeli vardır, bu durum arzın aksaması

dahil enerji kullanıcılarını olumsuz etkilemekte ve hatta ulusal güvenliğe tehdit oluşturabilmektedir. Teknolojileri petrol ve gaz operasyonlarına entegre etmenin faydalarına rağmen aynı zamanda bilgisayar korsanlarının yararlanabileceği yeni erişim noktalarına fırsatlar da yaratmaktadır. Veri hırsızlığına karşı güvenlik açığı, finansal ve diğer ticari işlemlerde önemli bir sorun haline gelmiştir.

Bununla birlikte, endüstriyel suçlar, gizli bilgiler elde etmek amacıyla bir şirket veya hükümet ağını casusluk yaparak veya ele geçirerek endüstriyel yıkım olaylarını açığa çıkarmak için kullanılmaktadır (Sputnik Türkiye, 2021).

Siber saldırılar fikri mülkiyet, iş zekâsı ve ekonomi üzerinde önemli etkiye sahip olup, bir şirketin itibarını olumsuz yönde etkileyebilir ve iş akışını sekteye uğratabilmektedir. Sonuç olarak, önde gelen petrol ve gaz şirketleri büyük miktarlarda para taahhüt ederek siber güvenlik konumlarını güçlendirmeye çalışmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojileri sayesinde gelişmiş ülkelerdeki en yeni enerji sistemleri akıllı hale getirilmiş, bu da ağ bağlantılı sistemlerin sayısında artışa neden olmuştur (Venkatachary ve Prasad, 2017: 25).

3.5. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Stratejileri ve Arz Güvenliğine Etkisi

Ülke bağımsızlığının en önemli göstergesi arz güvenliğinin garantisidir. Türkiye'nin enerjisinin yüzde 75'ini yabancı kaynaklardan aldığı anlaşılmıştır, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması gerektiğini göstermektedir. Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için Türkiye, milli enerji bağlamında kendi enerji kaynaklarını yaratma çabasındadır. Son on yılda yenilenebilir enerji alanındaki gelişmeler hem Türkiye'de hem de dünyada dikkat çekmektedir. Yenilenebilir enerji, enerji güvenliği ve sürdürülebilirlik arayışında muazzam bir role sahiptir. Yenilenebilir enerjinin dağıtımı ve yaygınlaştırılması, enerji üretim stratejisine ek olarak halka erişilebilir, uygun fiyatlı ve yenilenebilir enerji sağlama konusunda hükümetin önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu kaynaklar enerji tasarrufu sağlar, çevre dostudur ve iklime dayanıklıdır. Enerjide dışa bağımlılığın beraberinde getirdiği enerji temini sorunları karşısında en güvenilir liman, Türkiye'nin kendi kaynaklarıyla ürettiği yenilenebilir enerji olacaktır. Cari açığın büyük oranda enerji ithalatından kaynaklanması nedeniyle bu durum ülke ekonomisinin ilerlemesine yol açacaktır. Bunların yerine enerji ihracatının ülke ekonomisine doğrudan etkisi olacaktır.

Hızla büyüyen ekonomide aşırı ve yanlış enerji kullanımı gerekli olup, enerji kaynaklarına ve ilgili yatırımlara yönelik planlama ve tanıtım çalışmalarını gerektirmektedir.

Yer altı ve üstü zengin kaynaklara sahip, iklimi uygun bir iklim kuşağında yer alan Türkiye, yenilenebilir enerji sektöründe uzmanlaşarak, 2017’de 16. sıradan 2023 yılında 12. sıraya yükselmiştir. Türkiye'nin hedefi, özellikle gelişen enerji teknolojisiyle birlikte alternatif enerji kaynaklarından elektrik üretirken enerji rezervlerini de artırmaktır.

Türkiye'deki enerji yatırımlarının geçmişine bakıldığında son dönemde yenilenebilir enerjiye öncelik verildiği görülmektedir. Düşük enerji yatırımları, enerji sektöründe yenilenebilir enerjinin yüzdesini azaltmıştır. Ekonomiyi doğrudan etkileyen bu durum göstermektedir ki; enerji yatırımlarının ekonomi ve toplumsal kalkınma üzerinde önemli bir etkisinin olduğu kabul edilmiştir. Enerji sektöründeki yatırımların yüzdesi, 1950’li yıllarda yüzde 10,4’ten başlayarak zaman içinde kademeli olarak artmış, 1960-1975 döneminde önemli ölçüde azalarak yüzde 5’in altına düşmüştür. 1980’den sonra enerjinin yatırıma ayrılan payı yeniden %10’un üzerine çıkmıştır (Devlet Planlama Teşkilatı, 2005: 10), 1980 sonrası liberalleşme rüzgârının ardından enerji yatırımlarının yüzdesi daha da artmış, bunu 1990’larda kısa bir durgunluk izlemiş ve 21. yüzyılda önemli ölçüde artmıştır.

Yenilenebilir enerji sektörüne yatırımı teşvik etmek amacıyla yabancı yatırımcılara teşvikler de dahil olmak üzere yeni kanunlar çıkaran ve yerli üretilen enerjinin ihale edilmesi için yeni bir mekanizma kuran Türkiye, yenilenebilir enerji sektöründeki yabancı yatırımlar açısından da dünyada üst sıralarda yer almaktadır. Özellikle 2014-2017’den itibaren rüzgâr ve güneş enerjisine yapılan yatırımlara yönelme trendi oluşmuştur. Topluluğun kurulu güç kapasitesi, 2018 sonu itibarıyla hidroelektrik (28.291 MW), rüzgâr enerjisi (7.005 MW) ve güneş enerjisini (2,8 MW) içererek toplam kurulu gücü 88.526 Megawatt’ı aşmıştır. Biyokütle ve jeotermal enerjinin popüleritesinin artmasıyla birlikte bu kaynakların önemli bir etkiye sahip olması beklenmektedir. 2020 salgınının etkilerine ve Rusya-Ukrayna çatışmasının olumsuz yönlerine rağmen hala bu alanda yukarı yönlü olumlu bir ivme sürdürülmektedir.

Türkiye’nin yenilenebilir enerji projeksiyonlarını şekillendiren temel doküman olan Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (UYEEP), 2023 hedefleri doğrultusunda stratejik bir yol haritası sunmaktadır. Bu makro strateji; ulusal enerji arzının niceliksel olarak artırılması ve bölgeler arası enerji iletim koordinasyonunun optimizasyonu prensipleri üzerine inşa edilmiştir. Söz konusu plan kapsamında, 2023 yılına kadar toplam elektrik üretim portföyü içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %30 seviyesine çıkarılması ve kümülatif yenilenebilir enerji kurulu gücünün yaklaşık 60 GW kapasiteye ulaştırılması temel sektörel hedef olarak belirlenmiştir. Bunun 34 MW’ının hidroelektrikten, 20 MW’ının rüzgârdan, 1000

MW'ının jeotermal enerjiden, 5 MW'ının güneş enerjisinden, son 1000 MW'ının ise biyokütle enerjisinden gelmesi beklenmektedir. Bu hedefe halihazırda ulaşılmış olup, elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı yüzde 43,7 iken, TEİAŞ enerji raporundaki veriler Nisan 2023 itibarıyla elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin toplam kapasitesinin yüzde 55,7 oranında gerçekleşmiştir. 57,2 GW'lık yenilenebilir enerji kurulu gücüyle 2023 yılı sonuna kadar bu miktarda enerjiye sahip olma hedefinin rahatlıkla gerçekleştirilebileceği aşıkardır (TEİAŞ, 2023). Enerjide 2023 hedeflerinin zorlanmadan aşılması, kaynakların mümkün olan en fazla şekilde kullanılması ve yenilenebilir enerjinin teknik standartlar açısından en verimli şekilde kullanılması, yenilenebilir enerji üretimi için yeni alanların serbest bırakılması, küçük ölçekli yatırımlar ile ve büyük projeler ile günümüz seviyelerine uygun sistematik mevzuat düzenlemeleri ve teşvikler ile 2023 hedeflerinin de ötesine geçilmesi mümkün olabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları bol olmasına rağmen ülke geneline yayılmış olduğundan, bunların çıkarılması, depolanması ve taşınması için yeni nesil bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Alternatif enerjinin tüm ağ üzerinde uluslararası enerji sorunlarını etkileyecek önemli bir etkisi olmaktadır. Fosil yakıtlar ile alternatif enerjinin çevresel etkileri karşılaştırıldığında, en büyük üretimi fosil yakıtlardan elde edilen küresel ısınmayla mücadelede alternatif enerji kaynaklarının tercih edilmesinin daha olumlu etki yaratacağı görülmektedir. Bu kaynakların, çevreye tahribat açısından en az olumsuz etkiye sahip, verimli üretim kaynakları olduğu değerlendirilmektedir. Kullanılan enerji kaynağı ve bazı enerji stratejileri jeolojik, coğrafi ve iklim koşulları ile enerji üretimi arasındaki ilişkinin şekillenmesinde önemli etkiye sahip olabilmektedir (Keleş ve Bilgen, 2012: 5201).

Türkiye’de hükümet, birçok yenilenebilir enerji teknolojisinin azalan maliyetleri, petrol fiyatlarındaki değişimler ve çevresel etkileri dikkate alarak yenilenebilir enerjide sürekli artışı teşvik etmek ve enerji verimliliği yoluyla diğer alanları iyileştirmek amacıyla enerji piyasasına ilişkin kanun ve düzenlemeler çıkarılarak enerji piyasasının düzenlenmesi sağlanmıştır.

3.5.1. 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma Dair Kanun (YEK Kanunu)

Küresel ölçekte enerjinin birincil ihtiyacı için gerekli olan fosil yakıtların dağılımındaki dengesizlikler ithalattan kaynaklanmaktadır. Enerji çeşitliliği artırılarak, enerjide dış etkinin azaltılması ve toplumun ve ekonominin sürdürülebilir kalkınması için hayati önem taşıyan enerji arz istikrarının sağlanması amacıyla farklı taktikler uygulanmaktadır. Bu doğrultuda

Türkiye, enerji arzında yerli kaynakların payını artırmayı hedefleyen teşvik mekanizmalarını devreye sokmakta ve yenilenebilir enerji potansiyelinin maksimize edilmesi amacıyla ETKB kanalıyla kapsamlı regülasyonlar yürütmektedir. Elektrik üretimine ilişkin temel kanun, şeffaf, istikrarlı bir piyasanın oluşturulması ve bağımsız olarak düzenlenmesi amacıyla 2001 yılında çıkarılan 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'ndan kaynaklanmaktadır.

Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dış ticaret süreçleri, sektörel faaliyetlerde bulunan gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini kapsayan hukuki bir çerçeveye oturtulmuştur. Bu doğrultuda, 2005 yılında yürürlüğe giren 'Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun', Türkiye'de temiz enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunu kolaylaştıran bir dönüm noktası teşkil etmiştir. Söz konusu mevzuatın temel hedefleri; yenilenebilir potansiyelin rasyonel ve verimli kullanımıyla iktisadi katma değer yaratmak, yerli imalat sektörünü bu alandaki teknolojik yatırımlar yoluyla teşvik etmek ve karbon salınımını minimize ederek çevresel sürdürülebilirliği desteklemektir. Bu yasal düzenleme, enerji arzında dışa bağımlılığı azaltırken çevre dostu bir üretim ekosisteminin inşasına zemin hazırlamıştır (Mevzua Bilgi Sistemi, 2023). Mevzuat çıkarmanın temel amaçları, yenilenebilir kaynakların aktif ve verimli kullanımı yoluyla ekonomik verimliliğin artırılması, özellikle elektrik üretiminde kullanımlarının artırılması yoluyla imalat sektörünün teşvik edilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması yoluyla çevrenin korunmasıdır.

Bu kararla, lisans alan firmaların yurt içinde ve yurt dışında yasal olan faaliyetlerde bulunabilmesi, bu faaliyetlerin belirli miktarda yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimi gerektirmesi, bu amaçla Yenilenebilir Enerji Kaynağı olması beklenmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından sertifika verilecek ve yenilenebilir enerjiden elektrik üretim ve tüketim miktarları arz ve talep projeksiyonları ile belirlenmektedir. Özellikle elektrik üreten gerçek ve tüzel kişilere sabit fiyat garantisi verilerek ve yenilenebilir yatırım teşvik edilerek bir nevi güvence sağlanmaktadır (Karaosmanoğlu, 2006: 54).

Kanunun yenilenebilir enerji konusunda uluslararası anlaşmalara ve AB kriterlerine uygun olmasına rağmen sundukları fiyatın piyasa fiyatının altında olması nedeniyle teşviklerin etkili olduğu söylenmemektedir. Bu bağlamda 2005-2010 yılları arasında enerji açısından önemli bir ilerleme kaydedilmemiştir. Bunun sonucunda mevzuattaki eksikliklerin giderilip yenilenebilir enerji kurulu gücünün artırılması sağlanabilmektedir. 6094 Sayılı Kanun'da Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Yönetmelik oluşturulmuştur.

3.5.2. 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun

5346 Sayılı Kanun'daki eksikliklerin giderilmesi amacıyla 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da değişiklik yapan 6094 Sayılı Kanun kapsamında Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kurulmuştur. 2011 yılında yayımlanan Enerji Üretim Kanunu, yenilenebilir enerjiden elektrik üretimine ilişkin usul ve esasların yanı sıra üretim yapan lisans sahiplerinin yararlanabileceği fiyatları da belirlemişlerdir. Diğer kanunlardan farklı olarak bu kanun, bir fiyat destek garantisi sağlamaz, bunun yerine her enerji kaynağı için bir dolar fiyatı belirler ve tarife fiyat çizelgesini ve destek süresini güncellemektedir.

Kanun yerli enerji üretimini destekleyerek üretimi güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji üretim tesislerinde kullanılan parça ve komponentlerin 31 Aralık 2020 tarihinden önce yurt içinde kullanılmış ve yurt içinde üretilmiş olması durumunda I sayılı cetvele ek olarak II sayılı cetvelde ek olarak belirtilen fiyatlar da eklenerek daha yüksek bir teşvik fiyatı elde edilebilecektir. Fiyatlar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Bu nedenle I sayılı cetvelde 10 yıl boyunca faydalanılmaktadır. Cetvel II'deki yerli katkı desteği ise uygulama tarihinden itibaren verilir. YEKDEM, toplam enerji yatırımlarının %55'ini oluşturarak kurulu gücünü 2020 yılı itibarıyla 45 GWH'a çıkarmıştır (Enerji Portalı, 2023).

Tablo 13: Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Desteklenmesi: Kanun Kapsamındaki Güncel Fiyat Tarifeleri ve Teşvik Cetvelleri

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesisleri	I Sayılı Cetvel (Dolar -cent)	II Sayılı Cetvel (Dolar-cent)-Yerli Katkı Ek	Toplam Destek (Dolar-cent)
Hidroelektrik	7,3	2,3	9,6
Rüzgâr	7,3	3,7	11
Güneş -Fotovoltaik	13,3	6,7	20
Güneş-CSP	13,3	9,2	22,5
Jeotermal	10,5	2,7	13,2
Biyokütle	13,3	5,6	18,9

Kaynak: (<https://eski.jmo.org.tr/mevzuat,25.05.2023>) (Erişim Tarihi: 25.05.2023)

3.5.3. Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) Yönetmeliği

2016 yılında yürürlüğe giren YEKA düzenlemeleri ile yenilenebilir enerji kaynak alanlarının yerli üretimin geliştirilmesine tahsis edilmesi, yerli üretimde kullanılan yüksek teknoloji bileşenlerin üretilmesi ve yenilenebilir enerjiye dayalı tesislere teknoloji transferinin sağlanması yoluyla yatırımların hızla hayata geçirilmesinin desteklenmesi amaçlanmaktadır. Gayrimenkul edinimi ve büyük ölçekli yenilenebilir enerji sahalarının kurulması yoluyla üretilen elektriğin daha ucuza satın alınacağı, çok fazla istihdam ve teknolojik güç sağlayacağı tahmin edilmektedir.

YEKA'ların geliştirilmesi Enerji İşleri veya Üretim Gelirleri Genel Müdürlüğü'nün çalışmalarıyla gerçekleştirilmektedir (ETKB, 2023). Aday, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından bir yıl içinde ilan edilir ve gerekiyorsa çevre, jeoloji, kamulaştırma ve imar haritaları çıkarılır. YEKA'nın amaçlarına yönelik kapasite tahsisi yönteminde Bakanlık, kaynak kapasite tahsisi yarışması ve azami alım fiyatı yayınlamaktadır. Yarışma, en yüksek fiyatla açık artırma yoluyla düzenlenir ve en avantajlı fiyatı veren yatırımcı ile sözleşme imzalanır.

YEKA'lar yerli üretim karşılığında (YÜKT) ve yerli malı kullanma karşılığında (YMKT) olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. YÜKT modelinde başlangıç noktası yerli üreticilerden temin etmek veya şartnamede belirtilen oranlarda fabrikalarda üretilmektedir. YMKT modelinde yerli bileşenlerin, şartnamede belirtilen yerlilik katkı oranlarında kullanıldığı belirtilmektedir.

YEKA-GES 1 modelinin yerli üretimle karşılaştırma aracı olarak kullanımı 2017 yılında gerçekleştirilmiştir. Yıllık 500 mwh kapasiteli Karapınar güneş enerjisi santrali, KWh başına 6,99 ABD doları fiyatı ile kurulmuştur. Şartnamede yerlilik oranı ilk yıl için %60, ikinci yıl için %70 olarak belirtilmiştir (Yeşil Ekonomi, 2023). Toplamda 4 GES ve biri iptal edilen 3 RES olmak üzere 7 adet YEKA bulunmaktadır. YEKA GES 5 projesi 10-20-30 GWh olarak planlanan kapasiteye sahip olup, 66 adet güneş enerjisinden elde edilmektedir.

Gelecekte RES ve GES'i birleştiren enerji dönüşümü projelerinin artması beklenmektedir. Güncel YEKA modeli, fiyatı, satın alma garanti süresi ve minimum yerlilik oranı Tablo 14'da gösterildiği gibidir.

Tablo 14: Türkiye'nin Sahip Olduğu YEKA'lar ve Yerlilik Oranları

YEKA	Model	Alım Garanti Süresi	Projenin Bulunduğu İl	Fiyat	Yerlilik Oranı %
GES-1	YÜKT	15 yıl	Konya	6,99 cent/Kwh	60-70
RES-1		15 yıl	4 İl	3,48 cent /Kwh	65
RES-2	YMKT	15 yıl	Aydın, Muğla, Balıkesir, Çanakkale	3,67-4,56 cent/Kwh	55
GES -3	YMKT	15 yıl	36 İl	18,2-32 kuruş /Kwh	70
RES-3	YMKT	35 Gwh	36 İl	40,8-77,8 kuruş /Kwh	51-70
GES-4	YMKT	25 Gwh	Şanlıurfa, Adana	39,7-51,61 kuruş/ Kwh	75

Kaynak: (<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli>,12.05.2023)

3.6. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Projeleri ve Arz Güvenliğine Etkisi

Enerji arzının güvenli olmasını sağlamak için Türkiye, ulusal yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarının geliştirilmesine odaklanarak teknolojik sürdürülebilirliği sürdürmektedir. Türkiye'deki toplam yenilenebilir kapasite miktarı Dünya'nın yaklaşık %1,7'si olduğundan, bu kapasiteden yararlanmak için bazı girişimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji alanında diğer sektörlerle göre daha yüksek büyüme hızına ve gelişmeye sahip olan yeşil projeler bu bağlamda öncü güç olacaktır (Yılmaz ve T.C Kalkınma Bakanlığı, 2014: 98).

Sonuç olarak TÜBİTAK tarafından kamu kurumlarının yenilenebilir enerji konusunda proje oluşturmalarına yönelik Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı (1007 Programı) uygulanmaktadır. Bu ilerlemenin daha kapsamlı bir yenilenebilir enerji girişimi yoluyla hızlandırılması, kullanılan veya ithal edilen elektrik miktarını azaltabilir ve yerine yerli kaynaklar getirebilir. Program kapsamında teknolojik açıdan gelişmiş milli güneş, rüzgâr, enerji ve hidrolojik santrallerin oluşturulmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

3.6.1. Milli Güneş Enerjisi Sistemi Geliştirilmesi (MİLGES)

2014 yılında Türkiye'de ilk yerli güneş pilinin oluşturulmasının hedeflendiği bu çalışmada, PV tabanlı enerji santrali ekipmanları kurulumu yapılmış ve Scada yöntemi kullanılarak güneş enerjisinin kontrol yöntemi tasarlanmıştır. Proje kapsamında 6 milyon güneş paneli ve 6 milyon merkez evirici üretilmiştir. Pilot proje olarak Şanlıurfa'da başlamış olup yerlilik oranı %80'dir (TÜBİTAK MAM, 2023).

3.6.2. Milli Rüzgâr Enerjisi Sistemi Geliştirilmesi (MİLRES)

Milres projesinin hedefi, Türk tasarımı, benzersiz ve dünya standartlarında rekabetçi bir rüzgâr enerji sistemi kurmaktır. Enerji sorunlarına ulusal çözüm geliştirilmesini öngörmektedir. Milli teknoloji ve rüzgâr enerjisinin milli mesele olarak kabul edildiği dikkate alındığında, %100 yerli üretim, 4.000 kilowatt'a kadar elektrik üreten 10 projede, ilk milli gösteri türbinleri ve yardımcı sistemleri kurmuştur. En hızlı büyümenin 2020 ile 2025 yılları arasında olması beklenmektedir (MİLRES, 2023).

3.6.3. Milli Hidroelektrik Santrali Geliştirilmesi (MİLHES)

Hedef olarak, milli kaynakları kullanarak hidroelektrik santrallerini yerli olarak tasarlamak ve üretmektir. Amaç olarak, dikey Francis türbinleri, senkron jeneratörler, hız regülatörleri ve alarm sistemleri gibi birden fazla bileşenin devreye alınmasıdır. Proje genelinde kabul testleri tamamlandıktan sonra türbin tasarımı tamamlanarak bileşenlerin üretimi yapılmaktadır. İlk üretim uygulaması Antalya Kepez'te gerçekleştirilmiş ve güç kapasitesi 11 MW'a çıkarılmıştır. Sarıyer projesinin önümüzdeki birkaç yıl içerisinde kullanım ömrü dolmuş santral bileşenlerinin değiştirilerek yenilenmesini hedeflenmektedir (TÜBİTAK, 2023).

3.6.4. Biyokütleden Sıvı Yakıt Üretimi (TRİJEN)

Proje kapsamında biyokütle ve kömür karışımından pilot ölçekli sıvı akaryakıt ve değerli metal üretimi gerçekleştirilmektedir. Projenin önümüzdeki yıllarda, özellikle de CO₂ gazını azaltmayı amaçlayan bir dünyada daha da anlamlı hale gelmesi beklenmektedir. Gazlaştırma ve sıvı yakıt üretim teknolojisi sayesinde kömür, su ve hava kullanılarak sentez gazı elde edilmekte, gaz saflaştırma ve ayırma teknolojisi sayesinde ise özel bir katalizör ayırma prosesi kurularak değerli kimyasallar elde edilmekte ve bunların petrokimya sanayi, ulaştırma gibi çeşitli endüstrilerde kullanılması sağlanmaktadır (TÜBİTAK, 2025).

3.7. Türkiye’de Enerji Arz Güvenliğinin Belirleyicisi Olarak Yenilenebilir Enerji

Enerji güvenliğinin antik çağlardan günümüze kadar kesin bir tanımı olmamakla birlikte, çeşitli boyut ve bileşenler üzerinden bazı değişkenler geliştirilerek temel unsurları tespit edilmektedir. Türkiye'nin ulusal enerji güvenliği politikasını ve performansını değerlendirmek için mevcut kriter ve göstergelerle ilişkilendirmek, net bir tablonun oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Enerji politikası üzerine yapılan birçok çalışma, karşılaştırılabilir ve ölçülebilir göstergelere sahip olmanın, geleceğe yönelik hedeflerin belirlenmesine ve performansın değerlendirilmesine önemli katkı sağlayacağını göstermektedir. Çünkü ölçüm sayesinde çok sayıda karmaşık veri basitleştirilecek ve en makul enerji çözümü bulunacaktır (Sovacool ve Mukherjee, 2019: 5346). Bu göstergelerde gelecekteki fiyat şokları, kıtlıklar ve enerji krizleri hakkında ipuçları aramak birçok enerji politikacısının işini kolaylaştırmaktadır.

Çok sayıda uluslararası çalışmaya, büyük ölçekli araştırmalara, uluslararası ve ulusal projelere ve ilgili stratejilerin oluşturulmasına rağmen, enerji güvenliği değerlendirmesinin ve terminolojisinin anlaşılması yaygın bir uygulama değildir. Literatürde pek çok çalışma enerji güvenliğinin çeşitli boyutlarına odaklanmış ve enerji güvenliğini etkileyen faktörleri ya da mevcut uluslar örneğini tespit etmiştir. Enerji bir kaleydoskop gibi düşünüldüğünde rengi her bakışta değişmektedir. Bu kaleydoskop sayesinde, her araştırmacının enerji güvenliğine bakış açısı farklı olacak, her tanımın kendi ilişkili unsuru en önemli bileşen olarak değerlendirilecektir. Basit, güvenilir verilerin sınırlı olması nedeniyle enerji güvenliği ve bileşenlerinin doğrudan, doğru ve niceliksel ölçümü zor olmaktadır. Verilerdeki objektifliği dikkate aldığımızda, verilerin ekonomik analizine tezimizde yer verilmemiştir. Uluslararası ve bölgesel anlaşmalar, savaşlar, siyasi istikrarsızlıklar, siyasi yapılar, ambargolar ve terörizm, enerji taşıma yolları ve lokasyonları gibi siyasi faktörler ile jeopolitik faktörler zaman serisi yöntemine uygun görülmemektedir. Ancak enerjinin, birden çok perspektif dikkate alınarak, kullanılan tanımlarla aynı şekilde ölçülmesi gerektiğine inanılmaktadır.

Enerji güvenliği dinamikdir ve enerji güvenliği kavramına benzer şekilde çeşitli değişimler göstermektedir. Enerji güvenliğini değerlendirmenin etkili bir yöntemi, bağlamdaki belirli konuları yansıtan geniş bir karşılaştırmaya izin verecek kadar genel olmasa da algılara ve politika kaygılarına yanıt veren bazı belirli özellikleri içermektedir (Elgar, 2013: 151). Enerji arzına ilişkin çalışmalar genellikle enerji arzının kesintiye uğraması potansiyeli kavramına odaklanmaktadır. Ülkedeki kırılganlığın nedenleri, boyutları ve göstergeleri değerlendirilmeye çalışılmaktadır (Erdal, 2015: 154). Özellikle oluşturulan enerji güvenliği metrikleri ile belirli

standartlaştırılmış çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin MOSES, yakın vadede enerji güvenliğini değerlendirmek amacıyla benzer enerji seviyelerine sahip 28 ülkenin enerji güvenliği seviyelerini kategorize etmekte ve gruplandırmaktadır.

Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü (IIASA) liderliğindeki Küresel Enerji Ajansı (GEA), 130 ülkede dünyanın önemli bir bölümünde yaşanan ortak enerji güvenliği sorunlarının tespit edilmesi ve ortadan kaldırılması amacıyla önemli bir uluslararası girişime çaba göstermektedir. Uzun vadeli bir enerji varlıkları sistemi, enerji dönüşümüne ilişkin küresel senaryolarla birlikte değerlendirilmektedir; bu çalışmalar, gelecek senaryolarına dayalı olarak enerji güvenliğine ilişkin yeni araştırmaların ilerleyişini ortaya koymaktadır.

Araştırmacıların çoğunluğu, enerji güvenliğini fiyatlara eşitleyen ve fiyat bileşeninin enerji güvenliği için bir fırsat veya tehdit olduğunu ileri süren bir alt başlık bağlamında enerji güvenliğinin ekonomik etkilerini incelemektedir. Enerjinin ekonomik etkilerine odaklanan çalışmalarda genellikle yenilenemeyen enerji kaynakları ele alınmıştır. Bunun en büyük nedeni 1970 petrol krizi olmaktadır. Örneğin Sadorsky, 1999 yılında enerji ekonomisi üzerine yaptığı çalışmada otoregresif modelleri çalışmasına dahil etmiş, bu bağlamda petrol fiyatlarındaki değişimlerin ekonomik aktivite üzerinde etkili olduğunu ancak ekonomik aktivitenin petrol fiyatı üzerinde etkisinin olmadığını ifade etmiştir. Rebeca Jiménez-Rodríguez ve Marcelo Sanchez, çok değişkenli VAR analizlerini kullanarak petrol fiyatları ile OECD'deki genel büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir (Rodriguez ve Sanchez, 2005: 201-228). Benzer şekilde Tang, Wu ve Zhang, 2009 yılında yaptıkları çalışmada Çin'de petrol fiyatlarındaki artışın üretim ve yatırım üzerinde olumsuz etki yarattığını ancak enflasyon ve faiz oranları üzerinde olumlu etki yarattığını savunmuşlardır (Tang vd., 2009: 102). Hakan Berument, Başak Ceylan ve Nükhet Doğan 2010 yılında yaptıkları araştırmada petrol fiyatlarındaki artışın seçilmiş MENA ülkelerinde (Orta Doğu ve Kuzey Afrika) etkilerini ortaya koymuşlardır (Berment vd., 2010: 149-176).

Enerji güvenliği tartışılırken enerjinin tüketimi, tüketimin çevresel etkisi ve elde edilen ekonomik faydalar üzerinden de değerlendirmeler yapılmaktadır. Tatiana Gadda, 2009 tarihli Çevresel destek, enerji güvenliği ve ekonomik büyüme başlıklı makalesinde, Japonya'da 1979'dan bu yana kaynak tüketimini ve bunun ülkenin ekonomik çıktısı ve çevre üzerindeki etkilerini araştırmaktadır (Gasparatos ve Gadda, 2019: 4038-4048). Araştırma neticesinde, bunun uzun vadeli mali sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilemesi beklenmektedir. S. Balitskiy, Y. Bilan, W. Strielkowski, araştırmalarında Avrupa enerji güvenliği ve ekonomik büyüme konusunu tartışmaktadırlar. AB enerji piyasalarına ithalat yoluyla doğal gaz tedarik

kanalları Rusya Federasyonu'na bağımlı olup Avrupa'nın enerji güvenliğine tehdit oluşturmaktadır (Balitskiy vd., 2014: 123-130).

Hirschhausen ve Neumann'ın 2003 yılında doğal gaz arz güvenliğini ölçmeyi amaçlayan optimal arz portföyü modelinde, ülkelerin politik riski enerji arz güvenliği açısından en önemli değer olarak kabul edilmiş ve bu amaçla endeks olarak kullanılmıştır. Bu modelde ithalatın azalmasıyla ortaya çıkan bölgesel istikrarsızlık, güvenliğini sağlamak için ithalata bağımlı olan ülkeleri olumsuz etkilemektedir. Gökhan Kartal ve Serdar Öztürk'ün Ortadoğu'da enerji güvenliği ile büyüme arasındaki ilişkiyi 2020 yılında inceledikleri çalışmada, bölgedeki 15 ülkenin 1996-2004 yılları arasındaki verilerinden yararlanılmıştır. Enerji güvenliği ile büyüme arasındaki ilişkinin nedeni olarak siyasi istikrarsızlık incelenmiştir. Bu ilişki doğrultusunda, enerji güvenliği riskindeki %1'lik bir artış, bir ülkenin GSYH'sini %0,41 azaltırken, siyasi istikrardaki %1'lik bir artış, bir ülkenin GSYİH'sini %0,25 artırmaktadır. Netice olarak enerji güvenliği ile kişi başına düşen GSYİH ve siyasi istikrar arasında pozitif bir ilişki belgelenmiştir (Kartal ve Öztürk, 2020: 65).

Enerji güvenliğine ilişkin bir başka araştırma da Stavvytsk ve arkadaşlarının ampirik çalışmasıdır. Çalışmada enerji için yeni bir güvenlik endeksi kullanılmış ve 29 Avrupa ülkesi için GSYİH'deki artış enerji güvenliği üzerinde olumlu etki yaratmış, Tüketici Fiyat Endeksi ile de olumsuz yönde ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca, Birleşmiş Milletler Kalkınma Örgütü (UNDP) tarafından oluşturulan sosyal boyutların kısmi bir ölçümü olan İnsani Gelişme Endeksi (HDI), ülkelerin ekonomik, politik ve sosyal yönlerinin bir göstergesidir. İnsani gelişme düzeyi düşük olan ülkeler, orta veya yüksek gelişme düzeyine sahip ülkelere göre daha düşük enerji tüketimine sahiptir. Geliri artırmak, güçlü bir eğitim ve sağlık sistemi oluşturmak için enerjiye ihtiyaç olmaktadır (Karakaya, a.g.m., 127).

Ulusal enerji güvenliğine ilişkin araştırmaların bir sonucu olarak, Fang ve ark. erişilebilirlik, karşılana bilirlik, kabul edilebilirlik ve geliştirilebilirlik dahil olmak üzere 2018'de Çin'in Sürdürülebilir Enerji Güvenliğinin beş özelliğini önermiştir. Araştırmacı birçok bilim insanı, 2005-15 yılları arasındaki verilerle modelleri ve gelişen eğilimleri incelemek için bu fikri kullanmıştır. Bu beş konumdan elde edilen sonuçlar, kullanılabilirlik ve genişletilebilirliğin en önemli özellikler olduğunu göstermektedir. Çin merkezli enerji güvenliği endeksi sistemi U tipi bir yapıya sahip ve bu sistemin kullanılabilirliği araştırma yapıldıkça azalmakta ve bir eşikten sonra artış göstermektedir.

Enerji güvenliği ile büyüme arasındaki ilişki Le ve Nguyen (2019) tarafından 2002-2013 yılları arasında 74 ülkede incelenmiştir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun daha kapsamlı bir versiyonundan türetilen model, erişilebilirlik, karşılanabilirlik, geliştirilebilirlik ve kullanılabilirlik dahil olmak üzere enerji güvenliğinin 5 yönünü kapsayan 10 enerji güvenliği ölçüsü kullanılmaktadır. Çalışmanın sonuçları, enerji güvenliğindeki artışın artan ekonomik büyümeyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca kavramın tersi olan enerji güvensizliği, enerji yoğunluğu ve karbon yoğunluğunu ölçen değişkenlerle ölçülmekte olup, bu kavramın ekonomik büyümeyi olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu ölçüm değerlendirmesinde, bu üç bileşenin ekonomik kalkınmanın birbiriyle bağlantılı bileşenleri olduğu, enerji güvenliğini artırmak ve iklim değişikliğini azaltmak için küresel düzeyde entegre politikalar yoluyla uygulanması önerilmektedir (Le ve Nguven, 2019: 436-451).

Aynı zamanda bu dört temel unsur, enerji arz güvenliğinin açıklanmasını kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla enerji güvenliğinin 4 boyut üzerinden incelenmesinin literatürde sıklıkla kullanılan bir model olduğu tespit edilmiş olup, bu yöntem yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji güvenliği arasında bir köprü kurulmasında yardım etmektedir.

Tablo 15: Enerji Güvenliği Bileşenleri ve Göstergeleri

Boyut	Gösterge	Birim
Kullanılabilirlik	-Kendi kendine yeterlilik -Çeşitlendirme -İthalata Bağımlılık	-Enerji talebinin yerli üretimle karşılanan payı -Fosil olmayan enerji arzının toplam birincil arz içindeki payı -Fosil enerji ithalatının toplam birincil enerji arzındaki payı
Erişebilirlik	-Enerji Yoğunluğu	-Kişi başı hasılaya göre enerji tüketimi
Karşılanabilirlik	-Sübvansiyon maliyeti	-Kişi başına enerji sübvansiyonu oranı
Kabuledilebilirlik	-Emisyon Yoğunluğu	-Enerji tüketimi başınaCo2 emisyonu

Kaynak: (MDPI Energies, Cilt 5, Sayı12, 2012, s.5094 (Shannon-Wiener Diversity Index)

4. SONUÇ

Ülkelerin ekonomik ve politik gelişmişlik derecesinin bir göstergesi olarak kabul edilen enerjinin erişilebilir, kullanışlı ve sürdürülebilir bir şekilde sağlanması ve sektördeki rekabeti korurken sürdürülebilir bir politika çerçevesinde sadakatle yürütülmesi, şirketlerin öncelikli kaygısı haline gelmiştir. Enerji arz güvenliği kavramı hem makro hem de mikro düzeyde tartışmalı olup, antik çağlardan modern çağlara kadar değişen bileşenleriyle ekonomik büyümenin ve toplumsal gelişmenin zeminini oluşturması açısından hayati bir gereklilik olarak değerlendirilmiştir. Enerji arz güvenliğinin tanımı konusunda kesin bir fikir birliği olmamasına rağmen, tanımın olmayışı veya ona yönelik tehditlerin varlığı sonucu etkileri görülebilmektedir.

Enerji arz güvenliğinin en önemli unsuru olan enerji tüketim sepetinin çeşitlendirilmesi ve enerji ağının genişletilmesi, tüm ülkeler için hayati bir önem taşımaktadır. Enerjinin sadece bir meta değil aynı zamanda politik bir araç olması nedeniyle artan ithalat bağımlılığı ve yüksek enerji karşısında ülkeler kendi iç kaynaklarına yönelmekte ve temiz, güvenli, çevreyle uyumlu enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Şu anda dünya çapında birçok ülkenin de enerji ve iklim krizine tepki olarak fosil yakıtlardan yeşil enerjiye geçiş yaptığı anlaşılmaktadır.

Bir derecelik küresel sıcaklık değişiminin doğal sistemler, insan toplulukları ve ekonomiler üzerindeki derin ve yaygın etkileri, enerjinin geçiş biçiminde önemli bir değişikliği gerektirir; bu gerçek durumu yansıtan dönüştürücü önlemleri gerektirir. Mevcut enerji krizi kısa vadeli ekonomik büyüme için risk oluştururken aynı zamanda fosillerden daha hızlı bir şekilde uzaklaşma fırsatı da sunmaktadır. Türkiye'nin enerjiye bağımlı bir ülke olduğu ve önemli miktarda yenilenebilir enerji potansiyeline sahip olduğu dikkate alındığında, enerji arz istikrarını sağlamak amacıyla ülkenin yenilenebilir enerjiye yönelmesi beklenmektedir.

Türkiye'de artan nüfus, sanayi ve üretimle birlikte enerji talebi de artmıştır. Fosil yakıtlara bağımlılığın yüksek olması, enerji kırılganlığının gözle görülür düzeyde olmasına yol açmış ve artan enerji talebinin karşılanması amacıyla farklı yaklaşımlar denenmeye başlanmıştır. Bu araştırmaların çıkış noktası ise yine Türkiye'nin kendi kapasitesinde görülmüştür. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda son 20 yılda enerji arz güvenliği açısından önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Yabancı petrole bağımlılığı azaltmak için tükettikleri petrol miktarını azaltmaya, temiz enerji potansiyellerini “Güçlü Türkiye” kavramıyla, yerli kaynaklara yönelerek daha sürdürülebilir bir enerji biçimine geçişe yöneltmişlerdir.

Çalışmam da enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez olarak sınıflandırılmıştır ve Türkiye'de enerji tüketiminin önemli bir kısmını yenilenebilir kaynakların oluşturduğu belirlenmiştir. İstatistiksel verilere bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimine yönelik kapasitesindeki yıllık artışın önemli olduğu görülmektedir. Türkiye'nin önümüzdeki 3 yıl için elektrik üretmeyi planladığı kurulu güç kapasitesinin %30'una, yani 2023 yılı Nisan ayında toplam üretilen güç kapasitesinin %52'sine ulaşılmıştır. Bu durum şu şekilde ifade edilmektedir: Alternatif yenilenebilir kaynaklardan yararlanılarak enerjinin genellikle enerji ithalatından elde edilen geleneksel kaynaklara kaydırılmasıyla bu özelliklerin her ikisi de azaltılmış olup, çalışmanın üçüncü bölümünde bileşenleri ve boyutları bağlamında incelenen enerji arz güvenliğine odaklanılmaktadır.

Enerji arz güvenliği kapsamında Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları araştırılırken kaynakların ulaşılabilirliği, maliyeti ve bulunabilirliği nedeniyle önde gelen ilk enerji çeşidi güneş enerjisidir. Güneş enerjisi potansiyeli önemlidir, her ortama kurulumu kolaydır ve LCOE'nin seviyelendirilmiş ekonomik maliyetler endeksi nedeniyle düşük maliyetli olması, minimum çevre kirliliği ile sosyal kabul ve istihdam fırsatlarına yol açması güneş enerjisine yönlendirmektedir. Rüzgâr enerjisi maliyet ve sürdürülebilirlik açısından güneş enerjisini takip etmektedir. Biyokütle enerjisi farklı kaynaklardan gelmesi nedeniyle öncelikle kaynakların çeşitlendirilmesinde rol alırken, jeotermal enerji kaynak olarak benzer sıcaklığa sahip birden fazla alanda kullanılması nedeniyle öncelikli olarak kullanım alanlarının çeşitlendirilmesinde rol almaktadır. Bunların aksine, hidroelektrik enerjinin yüksek maliyetleri, jeolojik zarara neden olma ihtimalinin yüksek olması ve iklimle bağlı olarak kullanılabilirlik garantisinin bulunmaması nedeniyle dezavantajlı olduğu düşünülmektedir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji girişim ve politikaları kapsamında, enerji arz güvenliğinin vazgeçilmez görülen yenilenebilir enerji kaynaklarıyla sağlanması, minimum maliyetle en fazla faydayı sağlayacaktır.

Sonuç olarak yenilenebilir enerjideki gelişmeler ve teknolojik yenilikler nedeniyle yeşil enerji sistemine geçiş yapmaya çalışan Türkiye, çevre uyumunun önemini göz önünde bulundurarak enerji ve doğal kaynak kullanımına da dikkat etmektedir. Türkiye, Net Sıfır Karbon Emisyonu 2053 projesiyle, üretilen yenilenebilir enerji miktarının artırılması amacıyla enerji sektöründe dijital teknoloji ve blok zincir kullanımını teşvik etmekte ve kolaylaştırmaktadır. Bu durum, ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı dikkate alındığında, enerji arz istikrarının sağlanması ve yabancı enerjinin ikamesi amacıyla ülkenin iç yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması hem politik hem de ekonomik açıdan faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Ablabekova, A. (2008). *Kömürlerin Petrografik Özellikleri Ve Teknolojik Önemi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Akkuyu Nükleer Güç Santrali A.Ş. (2026). *Proje tarihçesi*. <https://akkuyu.com/tr/about/history> (Erişim tarihi: 14 Şubat 2026).
- Aktaş, M. (2011). *Türkiye’de kömür madenciliği ve enerjideki rolü*. Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Alkin, K. ve Atman, S. (2006). *Küresel petrol stratejilerinin jeopolitik açıdan dünya ve Türkiye üzerindeki etkileri* (Yayın No: 48). İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul.
- American Petroleum Institute (API). (2023). *Where does natural gas come from?* <https://www.api.org/news-policy-and-issues/natural-gas-solutions/natural-gas-come> (Erişim tarihi: 14.02.2026)
- Anadolu Ajansı (AA) (2024, 2 Şubat). *Çin, 2023’te elektrik kurulu gücüne 360 gigavat kapasite ekledi*. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/cin-2023te-elektrik-kurulu-gucune-360-gigavat-kapasite-ekledi/3125975> (Erişim tarihi: 17.02.2026).
- Anlatılanın Ötesi. (2021, 8 Şubat). *Çin dünyanın en büyük hidroelektrik barajını kurmaya hazırlanıyor*. <https://anlatilaninotesi.com.tr/20210208/cin-dunyanin-en-buyuk-hidroelektrik-barajini-kurmaya-hazirlaniyor-1043761528.html> (Erişim tarihi: 14.02.2026).
- Apaydın, M., Üstün, A. K., Kurban, M. & Filik, Ü. B. (2009). *Rüzgâr enerjisinde kullanılan jeneratörlerin karşılaştırmalı analizi*. YEKSEM 2009: 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı (19–21 Haziran 2009, Diyarbakır), TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Diyarbakır, ss. 103-107.
- Aras, B. ve Yörkan, A. (2005). *Avrupa Birliği ve enerji güvenliği: Siyaset, çevre ve ekonomi* (Stratejik Rapor No: 13). TASAM Yayınları, İstanbul.
- Asia Pacific Energy Research Centre (APERC). (2023). *A quest for energy security in the 21st century*. <https://aperc.or.jp> (Erişim tarihi: 14.02.2026)
- Atalay, M. (2003) “Türkiye’de petrol aramacılığının önemi”, *Avrasya Dosyası*, 9 (1), ss. 10-184.
- Avcı, M. C. (2019). *Çok kriterli karar verme yöntemleriyle enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalarda performans analizi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul (Türkiye).
- Avcı, Ö. (2009). *Türkiye-Avrupa Birliği enerji üretim ve tüketiminin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana (Türkiye).

- Aydın, C. (2022) “Enerji arz güvenliği ve Türkiye: Doğal gaz tedarik ve bağımlılıkları açısından inceleme”, *Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 3 (2), ss. 87–103.
- Aydın, L. (2014). *Enerji ekonomisi ve politikaları: Kuram ve kavramlar, piyasalar, modeller, politikalar* (2. baskı). Seçkin Yayınları, Ankara.
- Ayoo, C. (2020). *Towards energy security for the twenty-first century*. In T. Taner (Ed.), *Energy Policy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90872>
- Balitskiy, S., Bilan, Y. ve Strielkowski, W. (2014) “Energy security and economic growth in the European Union”, *Journal of Security and Sustainability*, 4 (2), ss. 123-130.
- Basalla, G. (2013). *Teknolojinin evrimi* (çev. C. Soydemir) (14. baskı). Doğu Batı Yayınları, Ankara. (Orijinal çalışma 1988).
- Başar, E. E. ve Durmaz, A. T. (2018). *İnovasyon: Ekonomik ve sosyal eğilimler*. İmaj Yayınevi, Ankara.
- Başol, K. (1993). *Türkiye ekonomisi* (Genişletilmiş 4. baskı). Anadolu Matbaası, İzmir.
- Bayraç, H. N. ve Özarslan, B. (2018) “Biyokütle enerjisi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin ampirik bir analizi: Türkiye örneği”, *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (17), ss. 1-17.
- BBC News Türkçe. (2022, 20 Şubat). *Rusya-Ukrayna krizi: Petrol fiyatları yedi yılın zirvesinde*. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-60473769> (Erişim tarihi: 14.02.2026).
- BBC News Türkçe. (2022, 20 Şubat). *Ukrayna: Putin neden saldırıya geçti?* <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-60461911> (Erişim tarihi: 14.02.2026).
- Bekar, N. (2020) “Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji jeopolitiği”, *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3 (1), ss. 37-54.
- Berument, M. H., Ceylan, N. B. ve Doğan, N. (2010) “The impact of oil price shocks on the economic growth of selected MENA countries”, *The Energy Journal*, 31 (1), ss. 149–176. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol31-No1-7>
- Bielecki, J. (2002) “Energy security: Is the wolf at the door?”, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 42 (2), ss. 235–250.
- Bjelajac, Ž. ve Matijašević, J. (2020) “The potential threat to energy security expansion of modern forms of terrorism”, *Energy Security of Europe: The Position of Serbia*, Institute of International Politics and Economics, Belgrade (Serbia), ss. 413–431.
- Blyth, W. ve Lefevre, N. (2004). *Energy security and climate change policy interactions: An assessment framework* (IEA Information Paper). International Energy Agency, Paris (France).
- Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ). (2023). *Ham petrol*. <https://www.botas.gov.tr/Sayfa/ham-petrol/13> (Erişim tarihi: 10.02.2025)

- BP. (2019). *Statistical review of world energy 2019*. BP. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-worldenergy.html> (Erişim tarihi: 14.02.2026)
- BP. (2021). *Statistical review of world energy 2021* (70th edition). BP. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (Erişim tarihi: 16.02.2026)
- Bradshaw, M. J. (2009) “The geopolitics of global energy security”, *Geography Compass*, 3(5), ss. 1920–1937.
- Caner, B. K. (2020) “Türkiye doğal gaz piyasası genel görünümü ve EPDK'nın düzenleme çalışmaları”, *TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi) Doğal Gaz Çalıştay ve Paneli*, Ankara, 8–9 Ekim 2020.
- Canik, B., Çelik, M. ve Arıgün, Z. (2000). *Jeotermal enerji*. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara.
- Cherp, A. ve Jewell, J. (2011) “The three perspectives on energy security: Intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration”, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(4), ss. 202–212.
- Chitadze, N. (2012) “The role of the OPEC in the international energy market”, *Journal of Social Sciences*, 1 (1), s. 8.
- Cirella, G. T. ve Pawlowska, B. (2021). Energy as a key driving factor for socioeconomic development from mitigation to solution. *MDPI Energies*, 14.
- Ciuta, F. (2010) “Conceptual notes on energy security: Total or banal security?”, *Security Dialogue*, 41 (2), ss. 123–144.
- Çelikpala, M. (2014) “Enerji güvenliği: NATO’nun yeni tehdit algısı”, *Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 10 (40), ss. 79–99.
- Çıtak, E. ve Pala, P. B. K. (2016) “Yenilenebilir enerjinin enerji güvenliğine etkisi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25, ss. 81–98.
- Darbouche, H. (2011). *The ‘Arab Spring’ and oil markets* (Chatham House Briefing Paper). The Royal Institute of International Affairs (Chatham House), London (UK). <https://www.chathamhouse.org> (Erişim tarihi: 16.02.2026)
- Demir, A. (2009) “Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1 (2), ss. 37–54.
- Demircioğlu, C. (2003). *Türkiye için sürdürülebilir enerji çevre politikaları* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara (Türkiye).
- Dış Ekonomik İlişkiler Kurulu (DEİK). (2015, Ağustos). *Kanada ülke raporu*. DEİK. <https://www.deik.org.tr/uploads/kanada-ulke-raporu-agustos-2015-2.pdf> (Erişim tarihi: 16.02.2026)

- Dinçer, F., İpek, A. T., Yılmaz, Ş. ve Çingi, A. (2017) “Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8 (3), ss. 555–561.
- Dinçer, İ., Alma, M. H., Arcaklıoğlu, E., Bayazıtöğlu, Y., Hepbaşlı, A., Kakaç, S. ve Turan, R. (2018). *TÜBA güneş enerjisi teknolojileri raporu*. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), Ankara (Türkiye).
- Doğan, E. ve Narin, M. (2024) “Enerji sektöründe dijitalleşme ve blokzincir teknolojisindeki gelişmenin ekonomik etkileri”, *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 10 (1), ss. 125–148.
- Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ). (2018). *Elektrik üretimi ve ticareti sektör raporu*. EÜAŞ, Ankara (Türkiye).
- Elgar, E. (Ed.). (2013). *International handbook of energy security*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK).
- Energy BC. (2016). *Natural gas: Environmental impacts*. <http://energybc.ca/naturalgas.html> (Erişim tarihi: 17.02.2026).
- Energy Institute. (2023). *Statistical review of world energy 2023* (72nd edition). Energy Institute. <https://www.energyinst.org/statistical-review> (Erişim tarihi: 03.04.2025)
- Erdal, L. (2011) “Enerji arz güvenliğini etkileyen faktörler ve yenilenebilir enerji kaynakları alternatifi”, *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11 (21), ss. 62–82.
- Erdal, L. (2015) “Enerji arz güvenliğini belirleyen faktörler: Türkiye için ekonometrik bir analiz”, *Ege Akademik Bakış*, 15 (2), ss. 153–166.
- Erdal, L. ve Karakaya, E. (2012) “Enerji arz güvenliğini etkileyen ekonomik, siyasi, coğrafi faktörler”, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31 (1), ss. 107–136.
- Erdoğan, D. ve Seçgin, B. (2008). *Yenilenebilir enerjiler* (Alan eğitimi araştırma projesi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fizik Öğretmenliği Bölümü, İstanbul (Türkiye).
- Eren, M. ve Tutar, F. (2011) “Geleceğin enerjisi: Hidrojen ekonomisi ve Türkiye”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 4 (6), ss. 139–154.
- Erkan, M. (2013). *Rusya’nın enerji politikası ve hidroelektrik kapasitesi*. Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Ersoy, M. (2016). *Türkiye kömür sektörünün analizi: Süreç, sorunlar ve öneriler* [Kongre bildirisi]. 10. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, ss. 2–3. http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/mucellaersoy.pdf (Erişim tarihi: 17.06.2025).
- Erşen, E. ve Çelikpala, M. (2019) “Turkey and the changing energy geopolitics of Eurasia”, *Energy Policy*, 128, ss. 590–597.

- Esen, Ö. ve Bayrak, M. (2017) “Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye örneği”, *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 3 (1), ss. 75–92.
- Euronews. (2022, 25 Ağustos). *Avrupa ülkeleri enerji krizinden nasıl etkileniyor; hangi önlemleri aldılar?* <https://tr.euronews.com/2022/08/25/avrupa-ulkeleri-enerji-krizinden-nasil-etkileniyor-hangi-onlemleri-aldilar> (Erişim tarihi: 17.02.2026).
- Gasparatos, A. ve Gadda, T. (2009) “Environmental support, energy security and economic growth in Japan”, *Energy Policy*, 37 (10), ss. 4038–4048. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.044>
- Geçmez, A. ve Gençer, Ç. (2020) “Güneş enerji santrali üretim verilerinin meteorolojik verilere bağlı olarak yapay zekâ yöntemleri ile tahmini”, 2nd International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences (ISCS 2020), Tokyo (Japan), s. 39.
- Gültekin, A. H. ve Örgün, Y. (1993) “Doğalgaz ve çevre”, *Çevre Dergisi*, 9, ss. 37–41.
- Gümüş, Ö. ve Altan, Y. (1995). *Petrolün tarihçesi ve Türkiye’de açılan petrol kuyuları*. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara (Türkiye).
- Hatipoğlu, E. (2019). *Enerji güvenliği* (Güvenlik Yazıları Serisi, No. 44). Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı (SETA), Ankara (Türkiye).
- International Atomic Energy Agency. (2020). *Power reactor information system*. <https://pris.iaea.org/pris/>
- International Atomic Energy Agency. (2022). *Nuclear power and the energy transition*. Vienna: IAEA. <https://www.iaea.org/publications/14854/nuclear-power-and-the-energy-transition>
- International Energy Agency (IEA). (2011). *World energy outlook 2011*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2011> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- International Energy Agency (IEA). (2012). *World energy outlook 2012*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2012> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- International Energy Agency (IEA). (2020). *World energy outlook 2020*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- International Energy Agency (IEA). (2022). *World energy outlook 2022*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Energy security*. <https://www.iea.org/topics/energy-security> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- International Institute for Environment and Development (IIED). (2023). *Improving people's access to sustainable energy*. <https://www.iied.org/improving-peoples-access-sustainable-energy> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). *Renewable energy statistics 2022*. <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>

- İncecik, E. (2008). *Türkiye'nin enerji politikalarının tarihsel değişim süreci ve enerjide verimlilik* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ufuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara (Türkiye).
- İşeri, E., & Dilek, A. O. (2012). Yeni enerji jeopolitiğinde NATO'nun enerji güvenliğinde tamamlayıcı rolü ve Türkiye'nin potansiyel katkıları. *Akademik Bakış*, 5(1), 229
- Jacobson, M. Z. (2009). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy & Environmental Science*, 2(2), 148–173. <https://doi.org/10.1039/B809990C>
- Jane, M. (2017). İran nükleer politikasının gelişimi ve uygulanan ambargo ve yaptırımların dış politikasına etkilerinin analizi. *Bölgesel Araştırmalar Dergisi*, 1(2), s. 264
- Jansen, J. ve Van Arkel, W. G. (2004). *Designing indicators of long-term energy supply security* (ECN Policy Studies, Cilt 35, Sayı 17).
- Jiménez-Rodríguez, R., & Sanchez, M. (2005). Oil price shocks and real GDP growth: Empirical evidence for some OECD countries. *Applied Economics*, 37(2), 201–228. <https://doi.org/10.1080/0003684042000281561>
- Kapluhan, E. (2007). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Rüzgâr Enerjisinin Dünyadaki Ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Journal of International Social Research*, 7 (31).
- Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, ss. 97–125.
- Karagöl, E. T., & Kavaz, İ. (2017). *Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji* (SETA Analiz No. 197). SETA Yayınları, Ankara.
- Karakoç, D. Y., & Kovancı, E. (2019). Bir güvenlik tehdidi olarak iklim değişikliği. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 6(14), 345–360.
- Karaosmanoğlu, F. (2006). Yenilenebilir enerji, enerji dünyası, kojenerasyon. *Yenilenebilir Enerji ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 45, 54.
- Kartal, G., & Öztürk, S. (2020). Politik istikrarsızlık, enerji güvenliği ve ekonomik büyüme ilişkisi: Orta Doğu ülkeleri üzerine ampirik bir inceleme. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 65–80
- Kasapoğlu, İ. (1996). *Enerji tüketiminde ithalatın yeri ve etkileri*. TMMOB, Ankara.
- Kavak, K. (2005). *Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği ve Türk sanayiinde enerji verimliliğinin incelenmesi* [Uzmanlık tezi]. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Kaya, K., Şenel, M. C., & Koç, E. (2018). Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, 13(3), 219–234. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0157>
- Keleş, S., & Bilgen, S. (2012). İklim değişikliğinin azaltılması ve enerji sürdürülebilirliği için Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5201–5209.

- Keohane, R. O. (1978). The International Energy Agency: State influence and transgovernmental politics. *International Organization*, 32(4), 929–951.
- Kesici, G. E. (2022). Rusya-Ukrayna savaşının AB'nin enerji politikalarına yansıması. *EuroPolitika Research Hub*, 15, 46
- Kidnay, A. J., Parrish, W. R., & McCartney, D. G. (2019). *Fundamentals of natural gas processing* (3rd ed.). CRC Press, Boca Raton.
- Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32–44.
- Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36–47.
- Kök, B. (1979). Sovyetler Birliği'nin hidroelektrik santralleri ile hidrolik ve hidroteknik yapıları. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (256), 25–30.
- Kurt, İ. H. (2021). *Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin siyaseti ve yenilenebilir enerjinin rolü* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Le, T.-H., & Nguyen, C. P. (2019). Is energy security a driver for economic growth? Evidence from a global sample. *Energy Policy*, 129, 436–451. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.038>
- Luty, L., Knapik, W. ve diğerleri. (2023). Energy security in light of sustainable development goals. *Energies*, 16(3), 16.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2025). *Jeotermal enerji araştırmaları*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> (Erişim: 18.02.2026).
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370–396. <https://doi.org/10.1037/h0054346>
- Mechanic. (2025). *Hidroelektrik enerjisi*. <https://www.mechanic.com.tr/hidroelektrik-enerjisi/> (Erişim: 18.02.2026).
- Milina, V. (2007). Energy security and geopolitics connections. *Energy Security and Geopolitics*, 6(4), 25.
- Mohsin, M., Abbas, Q., Zhang, J. ve diğerleri. (2019). Integrated effect of energy consumption, economic development, and population growth on CO₂ based environmental degradation: A case of transport sector. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(32).
- NATO. (2023). *Energy security*. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49208.htm (Erişim: 10.01.2024).
- NaturalGas.org. (2013). *Background of naturalgas*. <http://naturalgas.org/overview/background/> (Erişim: 07.06.2025).

- Oju, O., vd. (2023). *Energy security in the context of human activities and natural uncertainties*. Journal of Energy Security Studies, 15 (1), 1–15.
- OSCE. (2023). *Energy security as a prerequisite for political stability*. <https://www.osce.org> (Erişim: 23.04.2024).
- Pamir, N. (2007). Enerji arz g venliği ve Türkiye. *Stratejik Analiz*, 7(83), 14–24.
- Paravantis, J. A. (2019). Dimensions, components and metrics of energy security: Review and synthesis. *Journal of Economics and Business*, 69(4), 38–52.
- Pavlovic, B. S., Ivezic, D. D. (2017). Availability as a dimension of energy security in the Republic of Serbia. *Thermal Science*, 21(1), 324–325.
- Pipe, J. (2013a). *Petrol – nereye kadar?* (C. Demirel,  ev.). Salmat Basım Yayıncılık, Ankara..
- Pipe, J. (2013b). *Doğal gaz – temiz bir fosil yakıt mı?* (C. Demirel,  ev.). Salmat Basım Yayıncılık, Ankara.
- Pipe, J. (2013c). *Dünya enerji sorunları k m r – ne kadar kirletiyor?* (C. Demirel,  ev.). Salmat Basım Yayıncılık, Ankara.
- Pipeline Knowledge. (2023).
- Qiu, L., Wang, X. ve Wei, J. (2023). Energy security and energy management: The role of extreme natural events. *Innovation and Green Development*, 2(2), 1.
- Radovanovic, M., Filipovic, S. ve Pavlovic, D. (2017). Energy prices and energy security in the European Union: Panel data analysis. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(5), 415–419.
- Reuters. (2025, 21 July). *China starts building world’s largest hydropower dam in Tibet*. <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/china-starts-building-worlds-largest-hydropower-dam-tibet-2025-07-21/> (Erişim: 18.02.2026)
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2022). *Energy. Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/energy> (Erişim: 18.01.2026)
- Rosatom. (2020). *şirket hakkında*. <https://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/atomnaya-otrasl-rossii/> (Erişim: 03.01.2025)
- Sara oğlu, S. (2017). Yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyokütle üretiminin dünyada ve Türkiye’de durumu. *Fiscaoeconomia*, 1(3), 126–155.
- Smith, D. C. (2022). A new global energy order? The world contemplates the meaning of the EU’s embargo on Russian oil imports. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 40(3), 287.
- Sovacool, B. K. ve Mukherjee, I. (2011). Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach. *Energy*, 36(8), 5346.
- Sputnik Türkiye. (2021, 22 Temmuz). Saudi Aramco verilerinin sızdırıldığını doğruladı. *Sputnik Türkiye*. <https://sputniknews.com.tr/20210722/saudi-aramco-verilerinin->

[sizdirildigini-dogruladi-50-milyon-dolarlik-kripto-para-isteni-1045028466.htm](https://doi.org/10.1306/02262017372)
(Erişim: 15.12.2024)

- şen, ř. (2020). Natural fracture, cleat, and strong adsorption impact on low oil and condensate retention in the Carboniferous shales and coals of the Western Black Sea Basin of Turkey. *AAPG Bulletin*, 104(10), 2125–2143. <https://doi.org/10.1306/02262017372>
- şenel, M. C. (2012). *Rüzgâr türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- T.C. Dışışleri Bakanlığı. (2020). *Türkiye'nin enerji profili ve stratejisi*. http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa (Erişim: 18.02.2026)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2017). *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)*. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim tarihi: 17.02.2026).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2026). *Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA)*. <https://bepa.enerji.gov.tr/> (Erişim: 01.02.2026)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2017a). *2015–2019 Stratejik Planı*. ETKB, Ankara (Türkiye). https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2015-2019_ETKB-Stratejik-Plani.pdf (Erişim tarihi: 23.04.2025)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2019). *Paydaş Etkileşim Planı (PEP)*. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/IPA_2019_SEP_PDF_TR_2023_03081115.pdf (Erişim tarihi: 17.06.2025).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2020). *Elektrik*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim tarihi: 17.01.2026).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2020). *Enerji istatistikleri / Enerji görünümü raporu*. ETKB, Ankara (Türkiye). <https://www.enerji.gov.tr> (Erişim tarihi: 17.02.2026)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2020). *Nükleer enerji*. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji> (Erişim tarihi: 20.01.2026).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2023). *Oil and gas pipelines and projects (maps)*. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-maps-en> (Erişim tarihi: 17.01.2024)
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2023). *YEKA modeli*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli> (Erişim tarihi: 17.02.2026).
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2023). *Yenilenebilir enerji*. <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-yenilenebilir-enerji> (Erişim tarihi: 15.02.2026).
- T.C. Resmî Gazete. (2010, 6 Ekim). *Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde Akkuyu sahasında bir nükleer güç*

- santralinin tesisine ve işletimine dair işbirliği anlaşması* (Sayı: 27721). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/10/20101006-6.htm>
- T.C. Ticaret Bakanlığı. (2024). *Hindistan 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesini artırmak için 386 milyar dolarlık kredi taahhüdü aldı*. <https://ticaret.gov.tr/blog/sector-haberleri/hindistan-2030-yilina-kadar-yenilenebilir-enerji-kapasitesini-artirmak-icin-386-milyar-dolarlik-kredi-taahhodu-aldi> (Erişim: 18.02.2026)
- Tang, W., Wu, L. ve Zhang, Z. (2009). *Oil price shocks and their short- and long-term effects on the Chinese economy* (East West Center Working Papers, Sayı 102).
- Tanrıbuyurdu, S. (2010). Enerji kaynaklarının geleceği. *TC Beykent Üniversitesi Stratejik Araştırma Merkezi 3. Uluslararası Strateji ve Güvenlik Çalıştayları Sempozyumu Bildirileri Enerji Güvenliği*, 310.
- Think Tank European Parliament. (2023). *EU energy security and the war in Ukraine: From sprint to marathon*. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2023\)739362](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2023)739362) (Erişim: 18.02.2026)
- TKİ. (2024). *Kömür sektör raporu 2008*. <http://www.tki.gov.tr/dosyalar/K%C3%B6m%C3%BCrSektorRaporu2008.pdf>
- Toft, P., Duero, A. ve Bieliauskas, A. (2010). Terrorist targeting and energy security. *Energy Policy*, 38(8), 4411.
- Toke, D. ve Vezirgiannidou, S-E. (2013). The relationship between climate change and energy security: Key issues and conclusions. *Environmental Politics*, 22(4), 1.
- TÜBİTAK Bilim Genç. (2025, 5 Nisan). Kömürü petrole dönüştüren proje: Trijen. *Bilim Genç*. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/komuru-petrole-donusturen-proje-trijen> (Erişim: 18.02.2026)
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi. (2023). *Milli güneş enerji santrali (MİLGES) projesi*. <https://enerji.mam.tubitak.gov.tr/tr/content/milli-gunes-enerji-santrali-milges-projesi> (Erişim: 11.05.2024)
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi. (2023). *MİLRÉS (Milli rüzgâr enerjisi sistemleri)*. <https://www.milres.com.tr/> (Erişim: 18.02.2026).
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2017). *TEİAŞ sektör raporu 2017*. Ankara.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2018). *TEİAŞ sektör raporu 2018*. Ankara.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2019). *TEİAŞ sektör raporu 2019*. Ankara.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2023, Nisan). *Nisan ayı elektrik görünümü*. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (Erişim: 12.05.2025)
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü. (2009). *Kömür sektör raporu 2008* [PDF]. <http://www.tki.gov.tr/dosyalar/KömürSektorRaporu2008.pdf> (Erişim: 23.08.2025)

- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü. (2018). *Kömür (Linyit) sektör raporu*. Ankara.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı. (2018). *2017 yılı ham petrol ve doğal gaz sektör raporu*. Ankara.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı. (2020). *2020 faaliyet raporu*. Ankara.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı. (2021). *2021 petrol ve doğal gaz sektör raporu* [PDF]. <https://www.tpao.gov.tr/file/2208/2021-sektor-raporu-95662fe47ebd9c5f.pdf> (Erişim Tarihi: 22.08.2025)
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. (2012). *Türkiye rüzgâr enerjisi sektör raporu*. <https://tureb.com.tr/yayinlar>
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. (2014). *Türkiye rüzgâr enerjisi istatistik raporu*. <https://tureb.com.tr/yayinlar> (Erişim: 18.02.2026)
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. (2020). *Enerji görünümü 2020* [PDF]. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf> (Erişim: 08.10.2025)
- Uğurlu, Ö. (2007). Türkiye'nin enerji güvenliğini yeniden tanımlamak. *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, 7, 24–27.
- UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. (2022, 14 July). *Syrian Arab Republic access to electricity and humanitarian needs* [PDF]. <https://reliefweb.int/report/syrian-arab-republic/syrian-arab-republic-access-electricity-and-humanitarian-needs-march-2022> (Erişim: 18.02.2026)
- United Nations Development Programme. (2000). *World energy assessment: Energy and the challenge of sustainability*. <https://digitallibrary.un.org/record/429622> (Erişim: 18.02.2026)
- United Nations. (2015, 8 Nisan). *Goal 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all*. *UN Chronicle*. <https://www.un.org/en/chronicle/article/goal-7-ensure-access-affordable-reliable-sustainable-and-modern-energy-all> (Erişim: 18.02.2026)
- Uslu, Y. D. (2016). Türkiye'de yeşil enerji. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(2), 384.
- Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü. (2017a). *Kömür sektör raporu (Linyit) 2016*. Ankara.
- Venkatachary, S. K. ve Prasad, J. (2017). Economic impacts of cyber security in energy sector: A review. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(5), 25.1.
- Victor, D. G. ve Yueh, L. (2010). The new energy order: Managing insecurities in the twenty-first century. *Foreign Affairs*, 89(1), 79–82.

- Viessmann, “Dünya ne kadar yenilenebilir enerji kullanıyor?”
<https://www.viessmann.com.tr/tr/bilgi/ipuclari-ve-tuyolar/dunya-ne-kadar-yenilenebilir-enerji-kullaniyor.html> (Erişim Tarihi: 14.02.2026)
- Vivoda, V. (2010). Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. *Energy Policy*, 38(9), 5258.
- Vural, Ç. (2018). Çevresel güvenliğin gelişimi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 6(1), 20.
- World Bank. (2005). *Energy security issues*.
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/464811468175435408/energy-security-issues> (Erişim: 18.02.2026)
- World Bank. (2020). *Hydropower development facility program profile*.
https://www.esmap.org/Hydropower_Development_Facility_Program%20Profile (Erişim: 10.12.2025)
- World Energy Council. (2021). *World energy resources: Hydro 2021*.
<https://www.worldenergy.org/> (Erişim: 18.02.2026)
- Yalçın, M. N., Inan, S., Gürdal, G., Mann, U. ve Schaefer, R. G. (2002). Carboniferous coals of the Zonguldak Basin (Northwest Turkey): Implications for coalbed methane potential. *AAPG Bulletin*, 86(7), 1305–1328. <https://doi.org/10.1306/61EEDC88-173E-11D7-8645000102C1865D>
- Yaman, M. ve Haşıl, F. (2018). Türkiye'deki hidroelektrik santrali (HES) uygulamalarına çevre açısından bakış. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 3(5), 145–156.
- Yaman, Y. (2007). *Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji kaynakları*. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Yergin, D. (2006). Ensuring energy security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69–82.
- Yeşil Ekonomi. (2023). *YEKA GES 1 tam kapasite ile devreye girdi*.
<https://yesilekonomi.com/yeka-ges-1-tam-kapasite-ile-devreye-girdi/> (Erişim: 18.02.2026)
- Yeşilyurt, T. (2011). *Türkiye'nin bölgesel enerji politikaları ve enerji geçiş hatlarının Türkiye üzerine etkileri* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 33–54. https://doi.org/10.1501/Csaum_00000000064
- Yılmaz, S. A. (2014). *Yeşil işler ve Türkiye'de yenilenebilir enerji alanındaki potansiyeli* [Uzmanlık tezi]. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- Yorulmaz, M. (1998). Türkiye'de kömür işletmeciliği tarihi. *Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 283–295.