



**TÜRKİYE'DE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
SÜREÇLERİNE GÖRE EN UYGUN YENİLENEBİLİR
ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN
BELİRLENMESİ**

Emrah SATIK

**Yüksek Lisans Tezi
Coğrafya Ana Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ
2023
Her Hakkı Saklıdır**

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BEŞERİ VE İKTİSADİ COĞRAFYA BİLİM DALI

Emrah SATIK

**TÜRKİYE’DE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜREÇLERİNE
GÖRE EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI
ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ YÖNETİCİSİ
Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ

ERZURUM-2023



TEZ BEYAN FORMU

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

BİLDİRİM

Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Uygulama Esaslarının ilgili maddelerine göre hazırlamış olduğum “TÜRKİYE’DE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜREÇLERİNE GÖRE EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ” adlı tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Gereğini bilgilerinize arz ederim *.

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin/Raporumun makale için **altı ay**, patent için **iki yıl** süreyle erişiminin ertelenmesini istiyorum.

06/01/2023

Aslı Islak İmzalıdır

Emrah SATİK

*** LİSANSÜSTÜ TEZLERİN ELEKTRONİK ORTAMDA TOPLANMASI, DÜZENLENMESİ VE ERİŞİME AÇILMASINA İLİŞKİN YÖNERGE**

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Çeşitli ve Son Hükümler

Lisansüstü tezlerin erişime açılmasının ertelenmesi **MADDE 6– (1)** Lisansüstü teze ilgili **patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda**, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu **iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.**

(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz **makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış** ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile **altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.**

Gizlilik dereceli tezler MADDE 7– (1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.



SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Social Sciences

TEZ KABUL TUTANAĞI

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ danışmanlığında, Emrah SATİK tarafından hazırlanan bu çalışma 06/01/2023 tarihinde aşağıda isimleri yazılı jüri tarafından **Coğrafya** Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mehmet DENİZ

İmza: Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Salih BİRİNCİ

İmza: Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ

İmza: Aslı Islak İmzalıdır

Prof. Dr. Sait UYLAŞ

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	IV
ABSTRACT	V
KISALTMALAR DİZİNİ	VI
TABLOLAR DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
HARİTALAR DİZİNİ	XIII
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	XIV
ÖNSÖZ.....	XV
GİRİŞ	1
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜREÇLERİNE GÖRE EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ ..	1
I. ARAŞTIRMANIN KONUSU	1
II. ARAŞTIRMANIN AMACI VE HEDEFİ.....	1
III. ARAŞTIRMANIN PLANI.....	2
IV. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI.....	3
V. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ	3
VI. VERİLERİN TOPLANMASI	3
VII. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ	5
A. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	6
B. İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSİS).....	10
C. Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VİKOR)	12

BİRİNCİ BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ENERJİ KAVRAMI

1.1. ENERJİ	19
1.2. ENERJİ KAYNAKLARI	19
1.3. BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI.....	28
1.3.1. Petrol	28
1.3.2. Kömür.....	35
1.3.3. Doğalgaz.....	48

1.3.4. Kaya Gazı	59
1.3.5. Nükleer Enerji	63
1.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR (YENİLENEBİLİR) ENERJİ	67
1.4.1. Hidroelektrik Enerji.....	68
1.4.2. Rüzgâr Enerjisi	77
1.4.3. Güneş Enerjisi	87
1.4.4. Jeotermal Enerji.....	94
1.4.5. Hidrojen Enerjisi	100
1.4.6. Dalga Enerjisi	103
1.4.7. Biyokütle Enerjisi.....	108

İKİNCİ BÖLÜM

ENERJİ KAYNAKLARININ EKONOMİK ÇEVRE İLE OLAN İLİŞKİSİ

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE EKONOMİK ÇEVRE ÜZERİNE ETKİSİ.....	118
2.2. İTHAL ENERJİ VE ENERJİ BAĞIMLILIĞI İLİŞKİSİ	118
2.3. TÜRKİYE'DE İTHAL ENERJİNİN ENERJİ BAĞIMLILIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	119
2.4. ENERJİ TÜKETİMİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ	120
2.5. TÜRKİYE'DE ENERJİ TÜKETİMİNİN EKONOMİK BÜYÜME ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	121
2.6. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE DOĞAL ÇEVRE ÜZERİNE ETKİSİ	122
2.6.1. Birincil Kaynaklar ve Çevre.....	122
2.6.2. Sera Gazı Etkisi	123
2.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRE	130

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN ALTERNATİF YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE GÖRE ANALİZİ

3.1. TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN ALTERNATİF YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE GÖRE ANALİZİ.....	133
3.2. TOPSIS YÖNTEMİYLE TÜRKİYE’DE EN UYGUN YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ.....	136
3.3. AHP-VIKOR TEKNİĞİYLE TÜRKİYE’DE EN UYGUN YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ.....	141
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	145
KAYNAKLAR	149
EKLER.....	169
EK 1. Araştırma Anket Formu Soruları	169
EK-2. Etik Kurulu Onayı	173
EK-3. Araştırma İzin Belgesi	174
ÖZGEÇMİŞ.....	175

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜRKİYE’ DE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜREÇLERİNE GÖRE EN
UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN
BELİRLENMESİ****Emrah SATIK****Tez Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ****2023, 175 sayfa****Jüri: Dr. Öğrt. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ****Doç. Dr. Salih BİRİNCİ****Doç. Dr. Mehmet DENİZ**

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan salgınlar ve savaşlar nedeni ile enerji kaynaklarının siyasi yaptırım aracı olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu durum gerek enerji piyasalarında artışa gerekse geçmişten beri yoğun şekilde tüketilen ve enerji üretiminde kullanılan birincil (fossil) kaynakların aşırı kullanımından dolayı giderek tükenmesine yol açmıştır. Bu nedenle bütün dünya ülkeleri fosil kaynaklar yerine sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Ülkemiz enerji üretiminde birincil kaynakların kullanılması ve bu kaynakların neredeyse tamamına yakının diğer ülkelerden karşılanıyor olması bu doğal kaynaklara ayrılan harcamaların yüksek olmasına yol açmıştır. Aynı zamanda bireylerin enerji kaynaklarına yönelik ödemelerinin giderek artması ülkemizde sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu bir hale getirmiştir. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynakları arasından ülkemiz için en uygun olanının seçilmesi temel problem olarak belirlenmiştir. Enerji kaynaklarının dünya piyasalarındaki durumu göz önüne alındığında ülkemiz için en ideal çözüm sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımların artırılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji uzun vadede birincil kaynaklardan elde edilen enerjiye oranla daha uygun olacağından ülke ekonomisine büyük oranda katkı sağlayabilecektir. Bununla birlikte son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olan çevresel kirlenmenin de önüne geçilmiş olacaktır. Ülkemiz için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifi belirlenirken birden fazla problem durumlarının çözümünde kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden; Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSİS) ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VİKOR) yöntemleri kullanılmıştır. ÇKKV yöntemlerine uygun olarak hazırlanan anket formu alanında uzman kişilere uygulanarak veriler toplanmıştır. Uzmanların görüşleri doğrultusunda elde edilen veriler AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemleri ile analiz edilmiştir. Farklı analiz tekniklerine göre yapılan istatistiksel değerlendirmeler neticesinde ülkemiz için en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının Güneş, Rüzgâr ve Hidrolik enerji olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece analiz sonuçları ve tüm devletlerin de içerisinde bulunduğu enerji sorunsalı göz önünde bulundurulduğunda bu kaynaklardan enerji üretimi hem ülkemiz ekonomisine büyük katkı sunacak hem de ileride oluşabilecek uluslararası enerji krizi içerisinde güçlü bir politik konum sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji, ÇKKVY, AHP, TOPSİS, VİKOR

ABSTRACT**MASTER THESIS****DETERMINATION OF THE MOST SUITABLE RENEWABLE ENERGY
SOURCE ALTERNATIVE IN TURKEY ACCORDING TO MULTI-CRITERIA
DECISION-MAKING PROCESSES****Emrah SATIK****Advisor: Assist. Prof. Dr. Çağlar Kıvanç KAYMAZ****2022, 175 pages****Jury: Assist. Prof. Dr. Çağlar Kıvanç KAYMAZ****Assoc. Prof. Dr. Salih BIRINCI****Assoc. Prof. Dr. Mehmet DENİZ**

In recent years, it has been observed that energy resources have been used as a political tool for sanctions due to pandemics and wars worldwide. That has led to both an increase in energy markets and the depletion of primary fossil fuels, which have been heavily consumed for energy production. Therefore, countries worldwide have started to turn to sustainable energy sources instead of fossil fuels. The use of primary sources in our country and the fact that almost all of these sources are met by other countries has resulted in high spending on natural resources. At the same time, rising individual energy costs have necessitated a shift to more sustainable energy sources in our country. As a result, the key issue has been highlighted as selecting the best alternative among renewable energy sources. When the current state of energy sources in global markets is considered, the best approach for our country is to expand investments in sustainable energy sources. Renewable energy sources will be more suitable in the long run than primary energy sources and contribute significantly to the country's economy. Simultaneously, environmental pollution that contributes to global warming and climate change will be avoided. When deciding which renewable energy source alternative is best for our country, multi-criteria decision-making (MCDM) methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), and Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR) are employed to solve multiple problem situations. Data was gathered by applying the survey form created using the MCDM methodology to experts in the sector. Using the AHP, TOPSIS, and VIKOR methods, the data obtained per the experts' opinions were examined. The statistical analyses conducted using various analysis methods led to the conclusion that solar, wind, and hydropower are the most suitable renewable energy sources for our country. As a result of the analysis results and the country's energy problems, energy production from these sources will contribute significantly to our country's economy and be advantageous in terms of a strong political position in future international energy crises.

Keywords: Energy, Renewable and Sustainable Energy, MCDM, AHP, TOPSIS, VIKOR

KISALTMALAR DİZİNİ

3E	: Enerji, Ekonomi, Ekoloji
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
BAKKA	: Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletle İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi
BOREN	: Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü
BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi
BP	: British Petroleum
BTU	: British Thermal Unit
COOL	: Ozon Tabakası Koordinasyon Komitesi
CSP	: Concentrated Solar Power
ÇKKY	: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri
EİE	: Elektrik İşletmesi Etüt İdaresi
EİGM	: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
EPK	: Enerji Piyasası Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
HES	: Hidroelektrik Santrali
İEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
İRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
MAPEG	: Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
ODTÜ	: Ortadoğu Teknik Üniversitesi
OECD	: Organization of Economic Cooperation and Development
OTİM	: Ozon Tabakasını İncelten Madenler

PV	: Solar Photovoltaic
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
TAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim A. Ş.
TEMSAN	: Türkiye Elektromekanik Sanayii Anonim Şirketi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TKİK	: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu
TMMOB	: Türkiye Maden Mühendisleri Odası
TOPSİS	: İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği
TPAO	: Türkiye Petrol Arama Ortaklığı
TUREB	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VİKOR	: Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Tekniği
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Değerlendirme Ölçeği	7
Tablo 2. Kriterlerin İkili Karşılaştırma Tablosu.....	8
Tablo 1.1. Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirlik Durumlarına Göre Sınıflandırılması	20
Tablo 1.2. Türkiye'nin Genel Enerji Görünümü (2017-2020).....	23
Tablo 1.3. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Lisanslı Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (%).....	26
Tablo 1.4. 2020 Yıl Sonu İtibariyle Lisanssız Elektrik Üretimi Başvurularının Durumu (MWe).....	26
Tablo 1.5. Lisanssız Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (MWe-%).....	27
Tablo 1.6. Kaynaklara Göre Enerji Kapasitesi (MW) (2021-2022).....	28
Tablo 1.7. Küresel Petrol Tüketimi (Milyon varil/gün)	30
Tablo 1.8. Dünya Kömür Kaynaklarının Bölgelere Göre Dağılışı.....	38
Tablo 1.9. Başlıca Kömür Üreten Ülkeler (Milyon ton)	39
Tablo 1.10. Kömür Tüketiminde Önemli Ülkeler ve Üretim Miktarlar (Milyon ton) ..	40
Tablo 1.11. 2022 Yılı Kömür Üretim ve Teslimat Miktarları (Ton).....	45
Tablo 1.12. Katı Yakıtların Teslimat Yerlerine Göre Dağılımı (Ocak 2022)	47
Tablo 1.13. Dünya Doğalgaz Tüketimi Dağılımı	52
Tablo 1.15. Dünya Doğalgaz Rezervleri (Trilyon metreküp)	53
Tablo 1.16. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Doğalgaz Piyasası Genel Görünümü (Milyon Sm ³).....	55
Tablo 1.17. Türkiye Doğalgaz Üretimine İllere Göre Dağılımı.....	56
Tablo 1.18. Uzun Dönemli Gaz İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (2020).....	59
Tablo 1.19. Ülkelere Göre Kaya Gazı Rezervleri	60
Tablo 1.20. Ülkelere Göre Nükleer Reaktör Sayıları (İlk 10 ülke)	64
Tablo 1.21. Ulusların Nükleer Santrallerden Elektrik İhtiyacını Karşılama Oranları...	66
Tablo 1.22. Ülkelere Göre Dünyada Nükleer Enerji Santrali Kurulu Gücü ve Reaktör Sayıları.....	67
Tablo 1.23. Ülkelere Göre Hidroelektrik Enerji Potansiyeli	72
Tablo 1.25. Türkiye Hidroelektrik Kurulu Gücü ve Kapasitesi (Mart 2022).....	75
Tablo 1.26. 2020 Yılı Rüzgâr Enerjisi Temel İstatistikleri	79

Tablo 1.27. Ülkelere Göre Rüzgâr Enerji Kapasiteleri (2020).....	80
Tablo 1.28. Ülkelere Göre (İlk 10 Ülke) 2020 Yılı Sonu Toplam RES Kapasitesi, Yeni Eklene Tesisler ve Toplam Kapasite Artışı (%).....	81
Tablo 1.29. Bölgelere Göre RES Kapasitesi 2019 (MW)	82
Tablo 1.30. RES Tesis Kabul Çalışmaları (2021)	85
Tablo 1.31. 2017-2022 Dünya GES Verileri (GW)	88
Tablo 1.32. Ülke ve Bölgelere Göre GES Net Kapasite İlaveleri (2020-2022).....	89
Tablo 1.33. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Ülkelere Göre GES Kapasitesi.....	90
Tablo 1.34. Türkiye Yıllara Göre Güneş Enerjisi (GES) Kapasitesi (MW)	93
Tablo 1.35. Türkiye’de En Fazla Kapasiteye Sahip Güneş Enerji Santralleri (ilk 10 santral).....	93
Tablo 1.36. 2021 Yılı Sonu İtibariyle Ülkelere Göre Jeotermal Enerji Kapasiteleri	98
Tablo 1.37. Douglas Skalasına Göre Denizlerdeki Dalga Oluşumları.....	104
Tablo 1.38. Ülkelere Göre Dalga Enerjisi Kapasitesi (MW)	105
Tablo 1.39. Ülkemiz Denizlerinin Dalga Enerjisi Potansiyeli	106
Tablo 1.40. Türkiye Biokütle Enerji Arzı	109
Tablo 1.41. Bölgelere Göre Biyoenerji Kapasitesi (2020).....	110
Tablo 1.42. Biyoenerji Kapasitesi (ilk 10 ülke) (2019).....	110
Tablo 1.43. EPDK 2020 Yılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) Listesi	114
Tablo 2.1. Türkiye’de Yerli Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisinin Toplam Üretim İçindeki Payı	120
Tablo 2.2. 1990-2020 Yılları Arası Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyon Miktarları..	125
Tablo 2.3. Gazlara Göre Sera Gazı Emisyonları (1990-2020).....	127
Tablo 3.1. Türkiye İçin En Uygun Alternatif Enerji Kaynağının Belirlenmesinde Kullanılan Kriterler	134
Tablo 3.2. AHP Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	135
Tablo 3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifi İçin Karar Matrisi.....	136
Tablo 3.4. Karar Matrisinin Normalize Edilmesi	137
Tablo 3.5. Normalize Edilmiş Standart Karar Matrisi	137
Tablo 3.6. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi	137

Tablo 3.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Olumlu ve Olumsuz İdeal Çözüm Setleri	138
Tablo 3.8. Pozitif İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri	139
Tablo 3.9. Negatif İdeal Çözüme Uzaklık Değerleri.....	139
Tablo 3.10. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatiflerinin İdeal Çözüme Yakınlıkları ve TOPSIS Yöntemine Göre Sıralanması.....	141
Tablo 3.11. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Karar Matrisi	141
Tablo 3.12. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Karar Matrisinin Normalize Edilmesi ..	142
Tablo 3.13. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Normalize Edilmiş Standart Karar Matrisi	142
Tablo 3.14. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının VİKOR Yöntemi İle Değerlendirilmesi	143
Tablo 3.15. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının VİKOR Yöntemine Göre Değerlendirme Sonuçları.....	144
Tablo 3.16. VİKOR ve TOPSIS Yöntemlerine Göre Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sıralanması	146

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2020 Yılı Lisanslı Elektrik Üretiminin Kuruluşlara Göre Dağılımı (%).....	24
Şekil 1.2. 2020 Yılı Lisanslı Elektrik Üretiminin Kaynaklara Dağılımı (%)	25
Şekil 1.3. 2009-2018 Yılları Bölge Bazında Dünya Petrol Üretim	30
Şekil 1.4. 1999-2020 Yılları Türkiye'nin Yerli Petrol Yerli Üretim (Milyon Ton)	32
Şekil 1.5. Türkiye Petrol Ürünleri Üretim, Tüketim, İthalat ve İhracatı (2022).....	33
Şekil 1.6. Türkiye Petrol Ürünlerinin İthalattaki Payı (%).....	34
Şekil 1.7. Türkiye'nin İthal Ettiği Petrolün Ülkelere Göre Dağılımı (2020).....	34
Şekil 1.8. 2022 Mart/Nisan Ayı Brent Petrol Fiyatları (Dolar)	35
Şekil 1.9. Ülke ve Bölge Bazlı Dünya İspatlanmış Kömür Rezervleri (%).....	36
Şekil 1.10. Dünya Kömür Rezervlerinin Kömür Kategorilerine Göre Dağılımı (x1000 ton)	37
Şekil 1.11. Dünya Linyit Üretiminin Ülkelere Dağılımı	37
Şekil 1.12. Dünya Kömür Kaynaklarının Kömür Türevlerine Göre Dağılımı (x1000 ton)	38
Şekil 1.13. Dünya Kömür Tüketimi (Milyon ton)	41
Şekil 1.14. Türkiye Taşkömürü Üretim Miktarları.....	45
Şekil 1.15 . Kullanım Yerlerine Göre Ülkemizde Yerli ve İthal Taş Kömür Tüketimi	46
Şekil 1.16. Yıllar İtibariyle Kömür İthalatı, İthalata Ödenen Döviz ve Ortalama İthalat Maliyetleri	48
Şekil 1.17. 2020 Dünya Doğalgaz Rezervlerinin Kıtasal Dağılışı.....	50
Şekil 1.18. Ülkelere Göre Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervleri (2020)	51
Şekil 1.19. 2017 Yılı Türkiye'nin İthal Ettiği Doğalgazın Kaynak Ülkelere Göre Dağılımı.....	57
Şekil 1.20. Nükleer Gücün Tarihsel Gelişimi.....	65
Şekil 1.21. Yıllara Göre Toplam Hidroelektrik Kurulu Gücü (GW).....	71
Şekil 1.22. 2020 Yılı Yeni Kurulu Kapasiteye Göre İlk 10 Ülke (MW).....	74
Şekil 1.23. Türkiye'de Faaliyette Olan İlk 10 Hidroelektrik Santrali ve Kapasitesi (MW).....	76
Şekil 1.24. Bölgelere Göre RES Kapasitesi (%).....	83
Şekil 1.25. RES Lisanslı Elektrik Üretiminin ve 2021 Yılı Ocak Ayı Değeriyle Karşılaştırılması (MWh %) (Ocak 2022)	87

Şekil 1.26. Türkiye Global Radyasyon Değerleri	92
Şekil 1.27. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)	92
Şekil 1.28. Lindal Diyagramı	96
Şekil 1.29. Bitkisel Enerji Eşdeğeri Analizi (TEP/yıl)	115
Şekil 1.30. Belediye Atıklarının Enerji Eşdeğeri Analizi (TEP/yıl)	116
Şekil 1.31. Hayvansal Atıkların Enerji Eşdeğeri Analizi (TEP/yıl)	116
Şekil 2.1. 1990-2020 Yılları Arası Toplam Kişi Başına Sera Gazı Emisyon Miktarı ..	125
Şekil 2.2. 1990-2020 Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonu Dağılımı	126
Şekil 2.3. Gazlara Göre Sera Gazı Emisyonları (%).....	127



HARİTALAR DİZİNİ

Harita 1.1. Dünya Petrol Rezervlerinin Dağılımı	29
Harita 1.2. Türkiye Yaşlı Kömür Havzaları	42
Harita 1.3. Türkiye Kömüre Dayalı Termik Santraller Haritası	43
Harita 1.4. Türkiye Linyit Sahaları Rezerv Haritası	44
Harita 1.5. Dünya Doğalgaz Rezerv Dağılımı	49
Harita 1.6. Türkiye Boru Hatları ile Doğalgaz İthalatı	58
Harita 1.7. Dünya Geneline Kaya Gazı Potansiyeli.....	61
Harita 1.8. Türkiye Kaya Gazı Haritası	62
Harita 1.9. Türkiye'nin Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımı (100 metrede).....	83
Harita 1.10. Türkiye'de Rüzgâr Enerji Santrallerinin Dağılımı (2019).....	86
Harita 1.11. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli	91
Harita 1.12. Dünya Üzerindeki Jeotermal Kaynaklar.....	97
Harita 1.13. Türkiye Jeotermal Enerji Haritası.....	99
Harita 1.14. Türkiye Denizlerinin Dalga Enerjisi Seviyeleri.....	107
Harita 1.15. Türkiye'de Biokütle Kaynaklı Lisanslı Elektrik Üretim Santralleri (MW).....	112
Harita 1.16. Türkiye'de Biokütle Kaynaklı Lisansız Elektrik Üretim Santralleri (MW)	113

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1.1. Atatürk Barajı.....	77
Fotoğraf 1.2. Sivas- Kangal RES	84
Fotoğraf 1.3. Erzincan-Tercan Güneş Tarlası.....	94
Fotoğraf 1.4. Denizli Jeotermal Enerji Tesisi	100
Fotoğraf 1.5. Afyon Eber Biyokütle Elektrik Santrali	117



ÖNSÖZ

Dünya üzerinde ticaret ve üretimin ilk başladığı dönemlerde üretim faaliyetlerinde kullanılan enerji (güç) ihtiyacı insana dayalıydı. Ancak zamanla bilim ve bilgi alanındaki gelişmeler ile insan gücüne olan ihtiyaç azalmaya başladı. Sanayi devriminin gerçekleşmesi ile üretimde kullanılan gücün büyük çoğunluğu makineler tarafından karşılandı. Bu durum beraberinde makineleri çalıştıracak bir enerjinin gereksinimini ortaya çıkardı. Böylelikle enerji üretimi için hammadde arayışları ortaya çıktı. Giderek artan nüfus ve beraberinde getirdiği kentleşme süreci ile enerjiye olan talep artınca artan enerji ihtiyacının karşılanması için fosil yakıtlar kullanılmaya başlandı. Ancak giderek gelişen ve büyüyen dünyada enerji ihtiyacının tek tip kaynağa bağlı olarak karşılanamayacağı gerçeği ortaya çıktı. Fosil kaynakların gerek tükenebilir olması gerekse çevreye verdiği geri dönülemez tahribat anlaşılınca kullanılabilecek alternatif kaynaklar aranmaya başlandı. Böylelikle çevreye daha az zarar verebilecek ve fosil kaynaklar gibi tükenme endişesi olmayan güneş, rüzgâr, dalga, biyoenerji gibi yeni kaynaklara ulaşıldı. Hem ihtiyaç olunan enerji miktarının büyük çoğunluğu sağlandı hem de çevreye verilen zarar daha aza indirilmiş oldu. Bu çalışmada da diğer ülkelerde enerji kaynağı olarak kullanılabilen yenilenebilir kaynakların ülkemizdeki var olan potansiyellerinin ortaya konulması ve kullanılabilir en uygun enerji kaynağının belirlenmesi planlanmaktadır. Türkiye için var olan yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyellerinin ortaya konması ve en uygun enerji kaynağının seçimine yönelik analizin yapılması planlanmış ve bu doğrultuda araştırmanın konusu, amacı, yöntemi ve kısıtlılıklarına ilişkin genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Her zaman yanımda olan Babam ve Annem’e, sürekli desteğini hissettiğim değerli eşim Havva, değerli evlatlarım İklim Berra ve Saltuk Buğra’ya, ayrıca çalışmamın veri toplama aşamasında desteklerini esirgemeyen değerli eniştem Tamer ÖZDEMİR ve değerli meslektaşım Esra KESLER’e, tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç Kaymaz’a, yüksek lisans eğitimi ders aşamasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet Zaman hocama, değerli jüri üyeleri Doç. Dr. Salih BİRİNCİ ve Doç. Dr. Mehmet Deniz hocalarıma bu tez çalışmasına sunmuş oldukları katkıdan dolayı teşekkür ederim.

GİRİŞ

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜREÇLERİNE GÖRE EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ

I. ARAŞTIRMANIN KONUSU

Gelişmiş ve gelişme süreci içerisindeki devletlerde olduğu gibi Türkiye’de de enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Kullanılan enerji kaynakları fosil kaynaklar olup ülkemiz bu kaynakların temini konusunda dışa bağımlı durumdadır. Giderek artan enerji ihtiyacının karşılanması daha fazla fosil kaynağın satın alınmasını gerektirmektedir. Bu durumda gelişmekte olan ülke ekonomimizin küçümsenmeyecek kısmı bu kaynakların temini için harcanmak zorunda kalacaktır. Bu mahkûmiyetin ortadan kalkması ve daha yaşanabilir bir çevrenin varlığı için gelişmiş ve gelişme sürecindeki ülkelere benzer olarak ülkemizin de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları oldukça zengindir. Bu çalışmada ülkemizin bu zenginliğinin kullanılabilir potansiyelinin ortaya konması planlanmaktadır. Araştırmanın konusunu Türkiye’nin var olan yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların potansiyelleri oluşturmaktadır.

II. ARAŞTIRMANIN AMACI VE HEDEFİ

Gelişmiş ülkelerin genelinde fosil kaynaklardan enerji üretimi girişimleri azalmakta bu kaynakların yerine çevreye daha az zarar veren ve enerji devamlılığını sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır. Türkiye’de son çeyrek yüzyıldaki ekonomik ve sosyal alandaki büyümeden dolayı enerji ihtiyacı giderek artmıştır. Mevcut enerji talebinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji üretimi için kullanılan fosil kaynakların büyük çoğunluğu ise ithal edilmektedir. Enerji talebinin karşılanmasında yerli kaynaklar büyük öneme sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye’nin var olan yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların kullanılabilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada cevabı aranacak sorular şunlardır:

- (1) Türkiye’de enerji üretimi sağlayacak yenilenebilir kaynaklar nelerdir?

(ii) Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli nedir?

(iii) Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet, risk ve kazançları nelerdir?

(iv) Yenilenebilir enerji kaynakları arasından hangisinin kullanımı Türkiye için daha uygun olacaktır?

Bu sorulara verilecek cevap ile Türkiye'de enerji üretiminde kullanılabilecek kaynaklar arasında yenilenebilir enerji kaynakların rolü hakkında fikir yürütmek, uygulanan enerji politikaları açısından önerilerde bulunmak, yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden enerji üretimi yapacak özel girişimcilere yol gösterici olmak hedeflenmektedir.

III. ARAŞTIRMANIN PLANI

Bu çalışmada Türkiye'de kullanılan mevcut enerji kaynaklarının yerine kullanılabilecek alternatif enerji kaynaklarının potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada öncelikle literatür taraması yapılarak Türkiye'de ve dünyada kullanılan mevcut birincil kaynaklar ve bu kaynakların rezerv durumları araştırılmıştır. Birincil kaynakların rezerv, üretim ve enerji kapasitelerinin araştırılmasından sonra ikinci adım olarak bu kaynakların yerine kullanılabilecek alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanım durumları ve kapasiteleri üzerinde durulmuştur. Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir kaynakların kullanılabilirlik durumları ve elde edilen üretim kapasitelerine ait literatür taraması yapıldıktan sonra bu kaynaklar ve çevre ile olan ilişkisi ele alınmıştır.

Kaynaklara ait literatür taramasının yapılmasının ardından yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyellerinin belirlenmesi amacı ile güvenilirliği hesaplanmış veri toplama aracı, alanında uzman kişilere uygulanarak yenilenebilir kaynakların kullanım durumları ve Türkiye'deki potansiyeli hakkında veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler daha sonra çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemleriyle analiz edilerek Türkiye için en uygun alternatif enerji kaynağı belirlenmiştir.

IV. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Türkiye’de enerji üretiminin büyük çoğunluğunun birincil kaynaklardan üretiliyor olması ülkede yenilenebilir enerji tesisleri hakkında elde edilecek verilerin kısıtlı olmasına neden olmaktadır. Kurulu tesisler arasında lisanslı tesislerin çok az olması ve tesislerin lisanssız faaliyet göstermesi elde edilecek verileri sınırlandırmaktadır. Ayrıca kurulu tesislerin mali kayıtlarının paylaşmaması/paylaşmak istememesi araştırmayı sınırlandırmaktadır.

V. ARAŞTIRMANIN YÖNTEMİ

Dünyada ve ülkemizde enerji üretimi hala daha birincil (fosil) kaynaklardan elde edilmektedir. Bu durum gelecekte hem fosil kaynakların tükenebileceği hem de büyük çevresel sorunlarla karşılaşılacağını ortaya koymaktadır. Fosil yakıtların yakılması ile oluşan karbonmonoksit (CO_2), Azot Protoksit (N_2O), Metan (CH_4) ve Ozon (O_3) gazının sera etkisi oluşturması ve beraberinde getirdiği küresel iklim değişikliği günümüzde baş edilmesi güç sorunlar oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji üretiminde alternatif kaynak arayışları ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada hedefi ülkemiz için en uygun alternatif enerji kaynağının belirlenmesidir. Bu araştırmanın evren ve örneklemini Türkiye ülke sınırları içerisinde bulunan yenilenebilir enerji kaynakları rezervleri ve kurulu olan yenilenebilir enerji santralleri oluşturmaktadır. Çalışma ile ülkemizde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında ülke için en uygun olan enerji kaynağının seçimi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada en uygun yenilenebilir enerji kaynağını belirlemek için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden AHP, TOPSİS, VİKOR yöntemleri kullanılacaktır. AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemlerine uygun olarak hazırlanmış veri toplama materyalleri (anketler) uzman kişilere uygulanmış elde edilen veriler AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemi ile değerlendirilerek en uygun alternatif enerji kaynağı belirlenmiştir.

VI. VERİLERİN TOPLANMASI

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerinin belirlenebilmesi için ÇKKV analizlerinden AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemleri kullanılmıştır. Bunun için uzman görüşleri alınarak ölçme aracı geliştirilmiştir. Hazırlanan ölçme aracının alanında

uzman kişilerin görüşleri alınarak kriterlere ait tutarlılık testi yapılmıştır. Analiz sonucunda CR değeri 0,05 olarak hesaplanmıştır. Ölçme aracı her bir enerji kaynağı alternatifi için on kriterden ve 1-9 arası yanıtların alınabileceği 9'lu likert ölçek kullanılarak hazırlanmıştır. Ölçme aracındaki kriterler enerji kaynaklarının potansiyeli, sosyo-ekonomik etkileri ve çevresel duyarlılık düzeylerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Veri toplama aracında yer alan araştırma soruları nominal grup tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Nominal grup tekniği beyin fırtınası tekniğiyle karıştırılabilir fakat nominal teknikte grup katılımcılarının sayısı sınırlandırılır. Bu sayı on ya da on beş kişi olabilir (Woods, 1994: 24). Nominal grup tekniğinde katılımcıların ileri sürdüğü her fikir yazılı hale getirilir, fikirler belirlenir ve temel problemin çözümüne ulaşmaya çalışılır (Delbecq vd., 1971: 466).

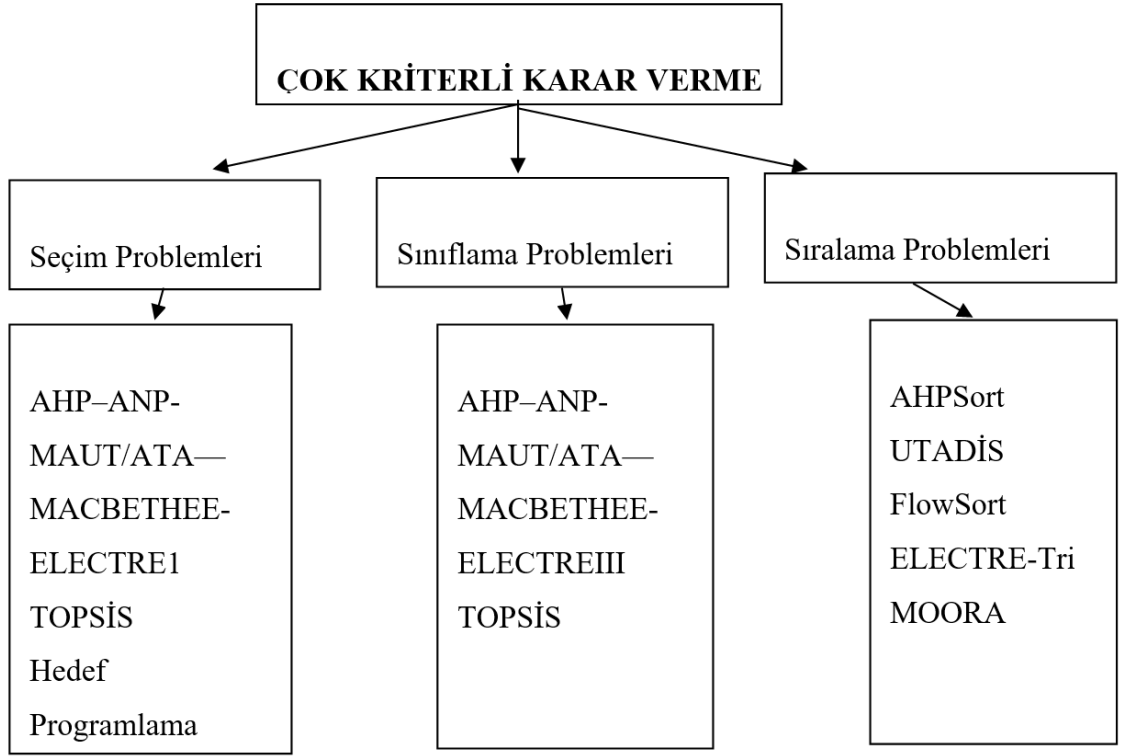
ÇKKV yöntemlerine göre hazırlanan ölçme aracı her biri enerji alanında faaliyet gösteren kurumlarda üst düzey görevlerde yer alan uzman kişilere uygulanmıştır. Araştırmanın örneklem grubunu on kişiden oluşan uzman kişiler oluşturmaktadır. Örneklem grubu uzmanları Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)'na bağlı çalışan enerji mühendisleri, BOTAŞ'a bağlı olarak görevlerini yürüten enerji mühendisleri, enerji kaynaklarına yönelik teçhizatların üretim firmalarında görev alan enerji mühendisleri ve üniversitelerdeki enerji kaynağı alanında uzman akademisyenlerden oluşmaktadır. Araştırmanın örneklem grubu olasılıklı olmayan örnekleme yöntemlerinden kasti (amaçlı) örnekleme tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Olasılık dışı örneklemlerde örneklem üyelerinin örneklem grubuna dâhil edilme olasılıkları eşit değildir ve bilinmemektedir. Bu nedenle evrenin sayısal değişkenleri ve elde edilen sonuçlar evrenin geneli için ifade edilemez. Bununla birlikte sosyal bilimler araştırmalarında araştırmacılar örneklem grubu tanımlanamadığında veya örneklem listesi ulaşılabilir olmadığı durumlarda bu örnekleme türünü tercih etmektedir (Nachimas ve Nachimas, 1996). Çalışmada kullanılacak evrenin sınırları belirli olmadığından dolayı olasılık dışı örneklem türlerinden amaçlı (kasıtlı) örnekleme türü tercih edilmiştir. Amaçlı örneklem; belirli, araştırma konusuna hâkim belirli özellikleri olan ve ulaşılması zor özellikteki kişilerden yapılan örneklemedir (Erkuş, 2005). Araştırmacı, evreni temsil edebilecek örneği kendi yargısına göre seçer. Bu durumda kimlerin örneklem grubuna seçileceğini bilmek zordur. Ancak sosyal bilimler araştırmacıları kasıtlı örneklem türünü

kullanırken örneklem grubuna ait örneği seçimlerinde oldukça başarılıdırlar (Nachimas ve Nachimas, 1996).

VII. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ

Günümüzde istatistiki araştırma yöntemleri nicel araştırmacılarla sınırlı kalmayıp sosyal bilimler araştırmacıları tarafından da tercih edilmeye başlamıştır. Sosyal bilimler alanında sıkça tercih edilen karar verme yöntemleri arasında en önemlileri Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY) dir. Bilimsel araştırmacılar bu analiz yöntemlerini günden güne geliştirmiş ve çeşitlenmesine olanak sağlamışlardır. Bu çalışmada kullanılan analiz yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSİS) ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm yöntemleri de bu alanda yakın geçmişte geliştirilen analiz yöntemlerindendir.

ÇKKVY' lerinin bilimsel araştırmalarda yer almasının ilk adımları Keeney ve Raiffa atmışlardır (Keeney and Raiffa 1976). Bu yöntem; problem içerisindeki tercihlerin sıralanması, probleme ait bilgilerin toplanması, analiz edilmesi ve en uygun tercihin belirlenmesini amaçlar (Cinelli, Coles ve Kirwan, 2014). Ayrıca birden fazla kriterin birbirileri ile kıyaslanması sonucunda en uygun alternatifin belirlenmesine de olanak sağlar (Özcan vd., 2020). Çok Kriterli karar verme yöntemlerinin problem türlerine göre gruplandırılışı Şekil.1'de gösterilmiştir.

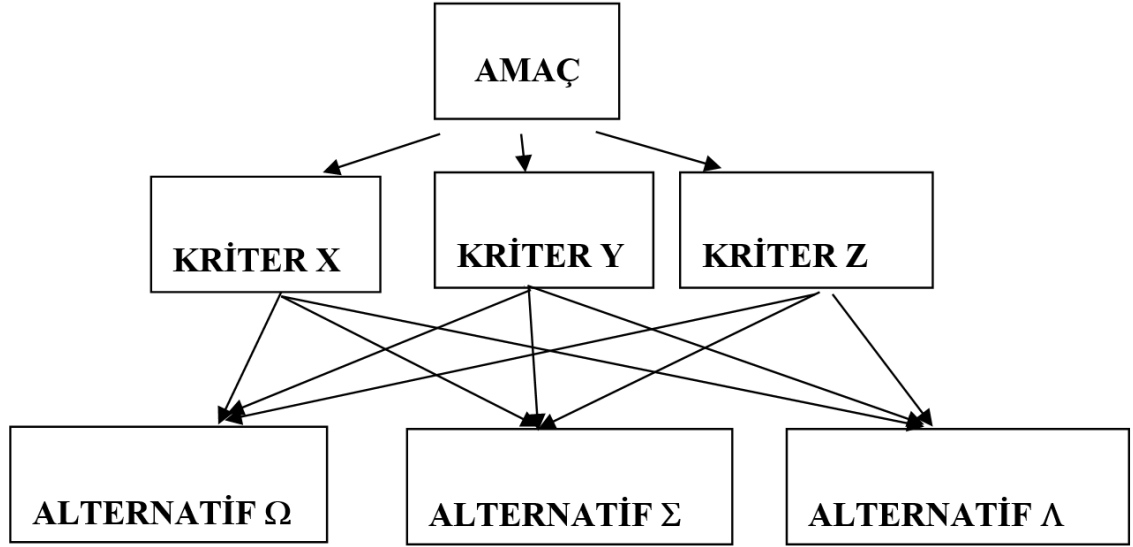


Şekil 1. Karar Analizi Tekniklerinin Sınıflandırılması
Kaynak: (Timur, 2011)

A. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Saaty tarafından geliştirilen temelde niceliksel ve niteliksel özellikleri barındıran AHP; belirsizlikler içerisindeki Çok Nitelikli Karar Verme problemlerinde karar vericinin deneyimlerini, bilgisini ve sezgilerini karar verme sürecine dâhil ederek karar vericiye sonuca ulaşmada yardımcı olmaktadır (Chena ve Wang, 2010). AHP araştırma problemlerinde hem nesnel hem de öznel fikirlerin karar verme süreci içerisinde yer almasını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte çoklu karar verme gerektiren durumlar için diğer yöntemlere nazaran daha tercih edilebilir ve uygundur (Tüzemen ve Özdağoğlu, 2007). Bu nedenlerden dolayı AHP, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri içerisinde en fazla tercih edilen yöntemdir (Lee ve Chan, 2008).

AHP, temelde kriterler arasındaki hiyerarşinin kurulması ve her bir kriterin birbiri ile kıyaslanarak üstünlüklerin belirlenmesinde mantıksal ve sayısal tutarlılıkların oluşturulmasına dayanmaktadır (Wind ve Saaty, 1980).



Şekil 2. Analitik Hiyerarşi Sürecinde Hiyerarşik Yapı

Kaynak: (Wang vd., 2008: 515).

Şekil 2’de görüldüğü gibi araştırmanın temel problemini oluşturan kriterler ve bunlara ait tüm alt kriterler birbirleri ile hiyerarşik yapı içerisinde ikili oluşturacak şekilde kıyaslanarak karar vericinin temel problemin çözümüne ulaşmasında alternatif sonuçlar üretmesine katkı sağlamaktadır.

Araştırmada temel problem ve kriterler belirlendikten sonra önceden belirlenen uzman kişilere uygulanmak üzere 1-9 puan aralığında puanlamanın yapılabileceği ve kriterlere bağlı alternatiflerin de yer aldığı anket formu oluşturulmaktadır (Kaymaz vd, 2020). AHP yönteminde kriterlere ait değerlendirme ölçeği Tablo.2’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Değerlendirme Ölçeği

Önem Derecesi	Puanlamalara Ait Açıklamalar
1	Öğeler aynı değerde veya aralarında ilişiksiz kalıyor
3	1.öğe 2. öğeye nazaran biraz daha önemli ya da daha tercih ediyor
5	1.öğe 2. öğeye nazaran fazla önemli ya da fazla tercih ediliyor
7	1.öğe 2.öğeye nazaran çok fazla önemli ya da çok fazla tercih ediliyor
9	1.öğe 2. öğeye nazaran aşırı derecede önemli ya da aşırı derecede tercih ediliyor
2,4,6,8	Ara değerler

Kaynak: (Saaty, 1990: 15).

AHP'nin bir diğer aşaması ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Hiyerarşik sistemin oluşturulmasından sonra kriterlerin ağırlıkları hesaplanır (Chandran vd., 2005). Kriterlere ait ağırlıklar ikili karşılaştırmalar ve birbirleriyle kıyaslamalar yapılarak elde edilir (Shama, Moon ve Bae, 2008: 258). İkili karşılaştırmalara ait karşılaştırma matrisi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Kriterlerin İkili Karşılaştırma Tablosu

	K 1	K 2	K ...	K n
K 1	W1/W1	W1/W2		W1/Wn
K 2	W2/W1	W2/W2	-----	W2/Wn
K ..				
K n	Wn/W1	Wn/W2		Wn/Wn

Kaynak : Saaty (1990).

AHP yönteminde üç temel adımda uygulanır (Saaty, 1980).

- 1-Ölçüt Ağırlık Doğrultusunun Hesaplanması
- 2-Alternatif Puanların Matrisinin İstatistiği
- 3-Alternatiflerin Sıralanması

Birden çok alternatif içeren problemin AHP yöntemiyle çözüme ulaşmasında uygulanması gereken adımlar aşağıda tanımlanmıştır. Her adımda analiz yapılırken uygulanacak formüller ve formüllerin uygulanış tanımları açıklanmıştır. AHP süreci altı aşama ile uygulanır. AHP' yönteminde ilk aşamasında, araştırmanın gayesi, kriterleri, kriterlere ait alt kriterleriyle alt kriterlere ait alternatiflerin birbirleri ile olan ilişkisini gösteren hiyerarşik yapı oluşturulur. Bu yapı, araştırma probleminin en uygun şekilde tanımlanmasını ve analizini kolaylaştırmaktadır.

İkinci adımda, kriterlerin ve kriterlere alt kriterlerin ikili karşılaştırması yapılır. Bu karşılaştırmada 1 ile 9 arasında bir puanlama ölçeği kullanılır. Üçüncü adımda, ikili karşılaştırmaya ait sayısal sonuçlar kullanılarak kriterlerin kıyaslama matrisi oluşturulur. Bu adımda n kriter adedini gösterir, $n \times n$ türünde karşılaştırma matrisi (A) elde edilmiş olur. a_{ij} , i satır sayısını ve j sütun sayısını gösterir, ($i.$) kriter ile ($j.$) kriterin kıyaslanma ölçüsü anlamına gelir.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Daha sonra kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve tutarlılıkların hesaplaması yapılmaktadır. Tutarlılık ve ağırlıklar hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Ramadhan vd., 1999).

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

Kriterlerin önem dereceleri hesaplandıktan sonra ikili karşılaştırmalara ait karar matrisinin tutarlılığı (CR) hesaplanması gerekir (Hafeez vd., 2007). Bu süreçte karar matrisi çok önemlidir ve karar matrisine ait değer 0,1'den az olmak zorundadır (Froman, 1990). Karşılaştırmalara ait CR değeri hesaplanırken aşağıdaki formül uygulanır (Saaty ve Özdemir, 2003: 1063-1075).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Bu formülde *CR* tutarlılık derecesini, *CI* tutarlılık endeksini, *RI* ise rassal endeksini göstermektedir. Tutarlılık endeksi ise aşağıdaki formülle hesaplanır (Zhou ve Shi, 2009).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Tutarlılık indeksi (CI) hesaplama formülde yer alan (λ_{max}) ; maksimum özdeğeri ifade etmektedir. Maksimum özdeğeri hesaplamak için ise aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Peng, 2009).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i}$$

Tüm bu hesaplamalardan sonra kriterler ve alternatiflere ait sayısal değerler elde edilir. İkili karşılaştırmalar sonrasında elde edilen ağırlık ölçüleri karar verici tarafından sıralanır, alternatiflerin ve kriterlerin önem derecelerine göre nihai kararlar verilir.

B. İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSİS)

ÇKKV yöntemlerinden bir diğeri İdeal Çözüme Dayalı Sıralama Tekniği (TOPSIS), birçok alternatif içerisinde en ideal seçime ulaşılmasında karar vericinin işini kolaylaştıran bir yöntemdir. Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilen TOPSIS yöntemi son yıllarda çok sayıda alternatifin olduğu durumlarda sıkça kullanılan ÇKKV yöntemlerindendir (Yoon ve Hwang, 1981; Yıldırım ve Önder, 2015). TOPSIS yöntemi kriterlere ait seçeneklerin pozitif ideal çözüme yakınlığıyla negatif ideal çözüme uzaklığını ortaya koyar (Yoon ve Hwang, 1981). Böylece riskten kaçınan karar vericiler için uygun çözümler ortaya koyar. Yöntem içerisindeki tek subjektif değişken faktör ağırlıklarıdır (Yeh, 2002). TOPSIS yöntemi uygulanırken altı temel basamak uygulanmaktadır (Öztürkoğlu ve Çalışkan, 2016 : 31-36).

1. Basamak: Karar matrisinin (A) oluşturulması; karar matrisinin satırlarında öncelikleri sıralanması amaçlanan karar noktaları ve sütunlarında karar verilirken kullanılacak ölçümleme faktörleri yer alır. A matrisi araştırmacı tarafından oluşturulan başlama matrisidir. A matrisinde (m) karar noktası adedini, (n) ölçümleme faktörü adedini veririr. Oluşturulacak benzer karar matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mp} \end{bmatrix}$$

2. Basamak: Standart karar matrisi (R) elde edilirken; standart karar matrisi A matrisinin unsurlarından yararlanılır. Standart karar matrisi oluşturulurken aşağıdaki formül kullanılır ve gösterilen R matrisi oluşturulur.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum a_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, p)$$

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \cdots & n_{1p} \\ n_{21} & n_{22} & \cdots & n_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \cdots & n_{mp} \end{bmatrix}$$

3. Basamak: Standart karar matrisinin (V) oluşturulması; normalleştirilmiş matris değerleri tespit edilen (w_i) ağırlık değeriyle çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris değeri oluşturulur. Bu aşamada dikkatli olunması gereken durum ağırlık değerleri toplamının 1 olması şartıdır. Normalize matris ölçütlerinin (n_{ij}) ağırlıklarla (w_j) çarpılarak oluşturulan ağırlıklandırılmış normalize matrisi (V) örneği aşağıda olduğu gibi gerçekleştirir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 n_{11} & w_2 n_{12} & \cdots & w_n n_{1p} \\ w_1 n_{21} & w_2 n_{22} & \cdots & w_n n_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 n_{m1} & w_2 n_{m2} & \cdots & w_n n_{mp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1p} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mp} \end{bmatrix}$$

$$\left(\sum_{i=1}^n w_i = 1 \right).$$

(Standart karar matrisi (V) formülü)

4. Basamak: Pozitif ideal (A^+) ile negatif ideal (A^-) analizlerin tespiti; TOPSIS yöntemi, tüm değerlendirme faktörünün tekdüze artan/azalan bir yatkinlığı olduğunu kabul etmektedir. İdeal çözüm grubunun üretilmesi için V matrisindeki ağırlıklandırılmış çözümleme faktörlerinin diğer bir ifade ile sütunlarda yer alan puanlamaların en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise en küçüğü) alınır. İdeal çözüm seti aşağıdaki formülle elde edilir.

$$A^+ = \{ \max_j v_{ij} \mid j = 1, \dots, p; i = 1, \dots, m \}$$

Formülüyle hesaplanacak set $A^+ = (V_1^+ + V_2^+ + \dots + V_n^+)$ ile gösterilebilir.

Olumsuz ideal çözüm seti; V matrisindeki ağırlıklandırılmış analiz faktörlerinin yani sütun puanlamalarının en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü maksimizasyon yönlü ise en büyüğü) alınarak oluşturulur. Olumsuz ideal çözüm setine aşağıdaki formülle ulaşılır.

$$A^- = (\min_i v_{ij} \mid j \in J) . (\max_i v_{ij} \mid j \in J)$$

Formülden ölçülecek set $A^- = (V_1^- + V_2^- + \dots + V_n^-)$ ifadesi ile gösterilebilir.

Belirtilen iki formülde de J yarar (maksimizasyon), J^+ kayıp (minimizasyon) ölçülerini göstermektedir.

5.Adım: Ölçülerin tespiti; TOPSIS yönteminde tüm karar noktalarına ait değerlendirme faktör değerinin ideal ve olumsuz çözüm setinden kırılmalarının bulunabilmesi için Euclidian / Uzaklık yaklaşımından faydalanılmaktadır. Oluşturulan karar noktalarına ilişkin kırılma değerleri ise ideal ayırım (S_i^+) ve olumsuz ayırım (S_i^-) ölçüsü olarak ifade edilir. İdeal ayırım (S_i^+) ölçüsünün ve olumsuz ayırımın (S_i^-) tespiti aşağıdaki formüllerle yapılmaktadır. Hesaplanacak (S_i^+) ve (S_i^-) adedi doğal olarak karar noktası adedi kadar olacaktır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (\text{Pozitif ideal ayırım})$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^2)^2} \quad (\text{Negatif ideal ayırım})$$

6. Adım: Çözüme göre yakınlığın hesaplanması; Tüm karar noktasının en uygun (ideal) çözüme göreli yakınlığının (C_i^+) tespitinde ideal ve olumsuz ideal ayırım değerlerinden faydalanılır. Burada kullanılan kıstas, olumsuz ideal ayırım değerinin toplam ayırım kıstası içinde ki payıdır. İdeal çözüme yakınlık puanlarının hesaplanması aşağıdaki hesaplama yöntemiyle yapılmaktadır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}$$

Formüldeki (C_i^+) değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında ölçüler alır. $C_i^+=1$ ilgili karar noktasının ideal sonuca, $C_i^+= 0$ ilgili karar noktasının olumsuz ideal sonuca kesin yakınlığını gösterir.

C. Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VİKOR)

Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaştırıcı Çözüm ifadesinin Sırp dilindeki kullanımının ilk harflerinden oluşturulan VIKOR tekniğini ilk olarak Opricovic ortaya koymuş daha sonra Opricovic ve Tzeng tarafından geliştirilerek birden çok alternatifi olan problemlerin çözümünde kullanılmıştır (Opricovic, ve Tzeng, 2004). Yöntemin

esasinda alternatifler ve kriterler arasında uzaklaşık çözümleri oluşturulması vardır (Chu vd, 2007). Karmaşık problemlere ait birden çok kriterinin tam sayı değerlerinin tanımlı bir aralıkta seçilip sistematik bir sıraya yerleştirilerek çözümleri için geliştirilmiştir (Tzeng, ve Huang, 2011). Problem içerisindeki kriterlere ait alternatiflerin sıralanmasını belirleyerek alternatifler içerisinden en uygunun seçilmesine yardımcı olan yöntem, ideal çözüme yakınlığı amaçlayan çok kriterli dizilim indeksinden faydalanır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008).

VIKOR yöntemi 5 adımda uygulanmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2004: 455):

1. Adım: $j=1,2,...,m$ için her kriterde en iyi (f_i^+) ve en kötü (f_i^-) ölçüler belirlenir. j fonksiyonu olumlu anlamda fayda sağlıyorsa $f_j^* = \max_k f_{kj}$ (a) olumsuz anlamda fayda sağlıyor ise $f_j^- = \max_k f_{kj}$ (b) oluşturulur.

2. Adım: Her bir kriter için $j= 1,2,...,J$ değerlerine ilişkin S_j ve R_j ölçütleri hesaplanır. Bu değerler çözüme en uygun pozitif ve negatif ideal uzaklıklarını gösterir. Aşağıda yer alan w_j her bir kriterin ağırlılığını temsil etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (S_j = \text{pozitif ideal çözüme uzaklık})$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (R_j = \text{negatif ideal çözüme uzaklık})$$

3. Adım: Aşağıdaki eşitlik kullanılarak Q_k , $j= 1,2,...,J$ değerleri hesaplanır.

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*)$$

Burada:

$$S^* = \min_j S_j \text{ ve } S^- = \max_j S_j \quad (\text{istenilen seviyeye ulaşmayı})$$

$$R^* = \min_j R_j \text{ ve } R^- = \max_j R_j \quad (\text{kötü seviyeyi ifade etmektedir}).$$

4. Adım: Alternatifler S, R, Q puanlamalarına göre en az olandan en fazla olana göre sıralanır. En küçük Q değerine sahip alternatif, belirlenen alternatifler kümesi içerisindeki en iyi alternatif olarak değerlendirilir.

5.Adım: Eğer aşağıdaki iki şart karşılanıyorsa Q (minimum) puanına göre en iyi sıralamaya sahip alternatif (a') önerilir.

1. Koşul: “Kabul Edilebilir Avantaj”

Koşulun karşılanması için $Q(a'') - Q(a') \geq DQ$ denkleminin oluşturulması gerekir. Formülde yer alan a'' ve Q değerleriyle yapılan dizilimde ikinci olan alternatiftir. J alternatif sayını ifade ederken $DQ = 1/(J-1)$ formülü ile hesaplanır.

2. Koşul: “Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar”

a' alternatifi Q dizilimindeki gibi R veya S değerleriyle gerçekleştirilen sıralamalardan birine göre ideal alternatif olmalıdır. Eğer koşullar sağlanıyorsa birden çok uzlaşık çözüm elde edilmiş olur.

- Sadece 1.Koşul sağlanıyorsa a' ve a'' alternatifleri uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.
- Sadece 2. Koşul sağlanıyorsa $a', a'', \dots, a^{(M)}$ alternatifleri uzlaşık çözüm kabul edilir.

Elde edilen uzlaşık çözüm sıralamalarına ek olarak belli bir üstünlük oranına sahip uzlaşık çözümde önerilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2004). Önerilen uzlaşık çözüm **min S** (maksimum grup faydası) ve **min R** (rakiplerin bireysel pişmanlıklarının minimizasyonu) barındırdığı için araştırmacı tarafından kabul edilebilir (Opricovic ve Tzeng, 2007:514).

VIII. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME SÜREÇLERİNE GÖRE EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ VE TÜRKİYEDE ENERJİ KAYNAKLARININ ÖNEMİNE YÖNELİK DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik hem coğrafya hem de diğer bilim dallarında birçok çalışma ortaya konulmuştur. Coğrafya Anabilim Dalı uzmanları tarafından yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıdaki verilmiştir.

Akbulut, G. (2008) “Küresel Değişimler Bağlamında Dünya Enerji Kaynakları, Sorunlar ve Türkiye” makalesinde dünya enerji sorunlarını ve ülkemizin dünya enerji kaynakları içerisindeki durumunu ortaya koymayı amaçlamıştır.

Akdemir, İ. O. ve Kuşçu, V. (2012) “Küresel Enerji Eksenleri ve Türkiye’nin Coğrafi Konumu” konusunda yaptıkları çalışmada enerji kaynaklarının stratejik önemi ve ülkemizin enerji taşımacılığindeki jeopolitik önemini ortaya koymaya çalışmışlardır.

Akova, İ. (2003) “Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı” makalesinde küresel enerji sorunları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi vurgulanmıştır.

Akpınar, E. ve Başbüyük, A (2011). “Jeo-ekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz” isimli çalışmalarında birincil enerji kaynaklarından olan doğalgazın jeo-ekonomik önemini ortaya koymaya çalışmışlardır.

Başkaya, Z. (2017) “Bilecik İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Metristepe Rüzgâr Enerjisi Santrali” makalesinde rüzgâr enerjisinin yerli kaynaklar içerisindeki önemini ve bu güçten yararlanma durumunu Bilecik İli Metristepe Rüzgâr Enerjisi Santrali örneğiyle incelemişlerdir.

Çelikoğlu, Ş. (2016) “Çatalağzı Yöresinde (Zonguldak) Termik Enerji Yatırımları” isimli araştırma makalesinde Çatalağzı Yöresindeki doğalgaz kaynaklı termik santrallerin ülkemizin gelişimindeki rolünden bahsederken aynı zamanda da enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gerektiğini sürdürülebilir kaynakların önemini ortaya koymuştur.

Demir, M. (2017) “Kars İlinin Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Kullanılabilirliği” isimli araştırma makalesinde Kars ilinde ekonomik faaliyetlerin çoğunun tarım ve hayvancılık üzerine olması, bitkisel ve şehrsel atıkların biyoenerji üretiminde kullanılabilirliği ve potansiyeli üzerine incelemelerde bulunmuştur.

Doğan, M. (2011) “Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri” adlı çalışmasında artan enerji talebi ile enerji tüketimi ve üretiminin artması sonrasında kullanılan enerji kaynaklarının tabiat ile canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuştur.

Doğanay, H. ve Altaş, N. T. (2013). *Doğal Kaynaklar (Genişletilmiş 5. Baskı)* ile **Doğanay, H. ve Coşkun, O. (2017) *Enerji Kaynakları (Güncellenmiş 3. Baskı)*** yayımlanmış oldukları kitaplarda fosil kaynaklar, sürdürülebilir kaynaklar ve bu kaynaklar ile çevre arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır.

Elmacı, S. (2018) “Türkiye’de Nükleer Enerji Santralleri Kurulmasının Coğrafi Açidan Değerlendirilmesi” isimli makalesinde gelişmekte olan ülkemizin enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın karşılanmasında nükleer güç santrallerinin önemi ile bu santrallerin doğal çevre, jeopolitik ve canlılar üzerine etkilerini incelemiştir.

Elmastaş, N. (2015) “Türkiye’nin Enerji Sektörü Açısından Şeyl (Kaya) Gazı Potansiyeli ve Önemi” makalesinde ülkemizin enerji ihtiyacına karşılık ülkemizde bulunan kaya gazı rezervleri ile bu kaynağın kullanılmasıyla Türkiye’nin enerji ihtiyacı üzerindeki önemini incelemiştir.

Geçen, R. (2019) “Hatay İlinde Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanlarının Belirlenmesi” konulu araştırma makalesinde ülkemiz ve Hatay ilinin güneş enerjisi potansiyelini incelemiştir. Ayrıca coğrafi bilgi sistemlerini ve çok kriterli analiz yöntemlerini kullanarak Hatay ilinde güneş enerjisi tarlaları kurulabilecek en uygun alanları belirlemeyi amaçlamıştır.

Harunoğulları, M. (2017a) “Orta Doğu Jeopolitiği ve Küresel Güçlerin Enerji Mücadelesi” başlığı altında yazdığı araştırma makalesinde küresel enerji ihtiyacı neticesinde ortaya çıkan enerji taleplerinin karşılanmasında Ortadoğu ülkelerindeki enerji kaynaklarının gelişmiş ve güçlü ülkeler tarafından ele geçirilme mücadeleleriyle Ortadoğu jeopolitiğini ortaya koymuştur.

Hayli, S. (2001) “Rüzgâr Enerjisinin Önemi, Dünya’da ve Türkiye’deki Durumu” başlıklı makalesinde dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli ile kullanım durumlarını ortaya koymuştur. Araştırma makalesinde yirmi birinci yüzyılda tüm yenilenebilir kaynaklar gibi rüzgâr gücünden faydalanma konusunda da artış olacağını vurgulamıştır.

Kadıoğlu, Y. (2013) “Simav’da Jeotermal Seracılık” adlı makalesinde ekonomik bakımından sera ve seracılık faaliyetlerini işlerken seraların ısıtılmasında jeotermal kaynakların kullanımının Simav ilçesi için önemini ortaya koymuştur.

Kapluhan, E. (2014) “Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünya’daki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu” başlıklı makalesinde küresel enerji talebine karşılık vermek için kullanılan birincil kaynakların çevreye verdiği zararların yanı sıra tükenebilirliği ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ekonomik ve çevresel katkılarını ortaya koymuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde biyokütleden elde edilen biyoenerjinin Türkiye ve dünya açısından önemini vurgulamıştır.

Karakuzulu, Z., Arıcı, F. ve Dumansızoğlu, M. (2017) “Doğu Anadolu Bölgesi’nin Biyogaz Enerji Potansiyeli” başlıklı araştırma makalesinde gelişmekte olan ülkemizin artan enerji talebine karşılık enerji üretiminin ithal kaynaklar yerine yerli/yenilenebilir kaynaklardan karşılanması gerektiğini vurgulamıştır. Yenilenebilir kaynaklar içerisindeki biyokütlenin Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki potansiyeli ile bu kaynağın elektrik ve doğalgaz üretimindeki karşılıkları tespit edilmiştir.

Kervankıran, İ. (2012) “Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı ve Sorunları” araştırma makalesinde dünyada ve Türkiye’de jeotermal enerji kullanımı incelenmiştir. Afyonkarahisar ilindeki jeotermal kaynaklar ve enerji üretiminde kullanımları araştırılmış ve bu kaynakların sürdürülebilir kaynaklar olarak faydalarının yanı sıra çevreye verdiği zararları da ortaya koymuştur.

Kum, G., Sönmez, M. E. ve Karabas, M. (2019) “Gaziantep İlinde Güneş Enerjisi Potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) ile Belirlenmesi” başlıklı makalelerinde ülkemizin güneş enerji potansiyelini ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Gaziantep şehrini ele almışlardır. Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada Gaziantep ili çeşitlik coğrafik kriterler kullanılarak değerlendirilmiş ve şehrin güneş enerjisi potansiyeli yüksek alanları belirlenmiştir.

Özşahin, Ö. ve Kaymaz, Ç. K. (2013) “Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir CBS Analizi: Hatay Örneği” başlıklı makalelerinde Hatay ilinin rüzgâr enerjisi potansiyeli ve rüzgâr enerji santrallerinin kurulurken ki yer seçimlerini il özelinde incelemişlerdir.

Temurçin, K. ve Aliagaoglu, A. (2003) “Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği” makalesinde dünya üzerinde nükleer enerji santrallerinin dağılışı, olumlu ve olumsuz yönleri, Türkiye’de nükleer santrallere olan

ihtiyaç durumu ve santrallerin kurulacağı yerlerin seçimi üzerine incelemeler yapmışlardır.

Yılmaz, M. (2012) “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi” makalesinde dünyada ve ülkemizde enerji, enerji üretimi için kullanılan fosil ve sürdürülebilir kaynakları inceledikten sonra Türkiye elektrik üretim kapasitelerini ve üretim kaynaklarını ele almıştır. Elektrik üretiminde fosil yakıtların büyük paya sahip olduğunu fakat bu kaynakların yerine yerli ve milli kaynakların kullanılması gerektiğini vurgulamıştır.



BİRİNCİ BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ENERJİ KAVRAMI

1.1. ENERJİ

“Enerji sözcüğü Antik Yunan lisanında iş kelimesinden türemiş olup; iş yapabilme veya güç ortaya kayabilme yeteneği olarak ifade edilir “ (Aydın, 2014). “Enerji teriminin sözcük anlamına bakıldığında dilimize Yunancadan geçmiş bir durum veya nesne üzerinde tesir oluşturma yeteneği, gündelik hayatta ise ısı ve iş olarak tanımlanır” (Spurgeon ve Flood, 2002: 8-9). Enerji kavramı abstre bir kavram olmakla birlikte maddelerin hareketleri, ölçülebilir enerjiye sahiptir. Enerji, toplumların sahip olduğu refah düzeylerini doğrudan etkileyen bir durumdur. Ulusların gelişmişlik seviyelerini belirleyen öncelikli unsurlardandır, ekonomik ve sosyal gelişmişliğin temelini oluşturur. Ülkelerin sanayi faaliyetlerinde de önemli yer teşkil eder. Ülkede üretimin sürdürülebilmesi bakımından zaruri bir kaynaktır. Eş zamanlı olarak teknolojinin hızla gelişmesi, toplumların yaşamlarında enerjiye bağımlılığını günden güne artırmıştır. Günlük yaşamın sürdürülmesinde her alanda enerji olmazsa olmazlarımızdandır. Devletlerin sorumluluklarından birisi de vatandaşlarına enerjiyi güvenilir, daha düşük maliyetle ve kesintisiz sunmasıdır. Bu sorumluluğun yerine getirilmediği bir ulusta yaşam kalitesinden ve kalkınmışlıktan söz edilemez. Bu uluslarda toplumun yaşamlarını devam ettirebilmeleri oldukça zordur.

1.2. ENERJİ KAYNAKLARI

İnsanların günlük yaşantılarında istekleri arttıkça enerjiye olan ihtiyaçta giderek artmaktadır. Ulusların enerji ihtiyaçlarının artması enerji üretiminde farklı kaynaklara ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Sözü edilen enerji kaynakları; katı yakıtlar, hidrojen, petrol, hidrolik, nükleer, güneş, doğalgaz, rüzgâr, jeotermal, biokütle gibi yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklardır. *“Küresel olarak kullanımı daha fazla olan Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ’nın istatistiki sonuçları incelendiğinde kaynaklar arasında en yaygın olanları kara elmas (kömür), yer gazı (doğalgaz) ve yer yağı (petrol) olarak tespit edilmiştir” (Anlar, 2017: 60). “Çokça tercih edilmelerine karşılık bu kaynaklar üç özelliği ile ele alınabilir; ihtiyat bakımından oldukça azdırlar, küresel olarak dağılımları*

incelendiğinde eşit dağılmamıştır, çevreye karşı acımasız ve zararlıdır. Enerji üretilebilen kaynakları ekonomik değerleri olanlar ve olmayanlar olarak iki temel grupta ele alınabilir. Ekonomik anlamda değerli sayılan kaynaklar endüstride temel enerji ihtiyacını karşılayan hem ülkenin kendisi hem de global pazarda önemli yeri olan kaynakları içine alır. Bu kaynaklar yer gazı, yer yağı, hidro enerji ve elektrik olarak gösterilir” (Bilginoğlu, 1991: 123).

Enerji kaynakları çeşitli sınırlandırmalarla sınıflandırılabilir ki bunlar; fosil kaynaklar (birincil) ve sürdürülebilir ya da yenilenebilir (ikincil) enerji kaynakları şeklindedir. “Fosil (birincil) kaynaklar; yer yağı (petrol), kara elmas (kömür), yer gazı (doğalgaz) gibi yeniden kullanımı mümkün olmayan kaynakları, sürdürülebilir (ikincil) kaynakları ise, şems (güneş), yel (rüzgâr), canlı atıkları (biokütle), yeraltı sıcak suları (jeotermal) enerji, su gücü (hidrolik) enerji olarak sürekli kendisini yenileyebilen kaynaklardır” (Ardıç, 2015: 3). Başka bir ifade ile enerji üretim kaynakları, kullanılabilirlik durumlarına göre sürdürülebilir (yenilenebilir) enerji ve sürdürülemez (fosil, yenilenemez) enerji kaynakları olarak tetkik edilmiştir (Pamir, 2015: 28). Kaynaklara ait sınıflandırma aşağıdaki tabloda ele alınmıştır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirlik Durumlarına Göre Sınıflandırılması

Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirlik Durumlarına Göre Sınıflandırılması	
Yenilenemeyen (Fosil) Enerji Kaynakları	Yenilenebilir(sürdürülebilir) Enerji Kaynakları
Uranyum	Hidroelektrik
Toryum	Rüzgâr
Doğalgaz	Güneş
Kömür	Dalga
Petrol	Biokütle
	Gel-git
	Jeotermal

Kaynak: (Öztürk, 2013).

Her ne kadar fosil kaynaklar yenilenemeyen kaynaklar olarak tanımlansa da bu kaynaklar bilinenin aksine yenilenebilirler. Organik temelli bu kaynaklar yeniden oluşabilirler ancak bu oluşum ve kendini yenileme süreci binlerce yıl sürebilmektedir. Yenilenme sürecinin bu denli uzun olmasından dolayı bu kaynaklar yenilenemeyen

kaynaklar olarak tasnif edilmiştir. Yenilenemeyen (fosil) kaynaklar tablo 1.1’de gösterildiği gibidir. Yenilenemeyen kaynaklardan olan petrol; *“farklı yapıda maddeleri içeren hidrokarbon karışımından oluşmaktadır. Petrol bileşenleri; oksijen, kükürt, nefttenler, parafinler, hoş kokulu hidrokarbonlar, demir, fosfor, vanadyum, kalsiyum, azot, magnezyum, kobalt ve çinkodur. Yer kabuğunun derinliklerinden sondaj yoluyla çıkarılan bu kaynak koyu sarı veya siyah renkte ayrıca kötü bir kokuya sahiptir”* (Öztürk, 2013: 6-7).

Küresel olarak enerji üretimindeki petrolün payı %40 oranındadır. Petrolün; sanayi, ulaşım, konut ve benzeri birçok kullanım alanı vardır. Sanayi alanındaki rolü oldukça büyüktür. Özellikle petrol türevleri sanayide üretilen birçok ürünün hammaddesini oluşturur. Ayrıca çıkarıldığı ülkelerin yanı sıra dağıtım yapılırken geçtiği ülkeler içinde stratejik bir unsur olarak görülmektedir. Günlük yaşamda sanayide ve politikadaki faydalarının yanı sıra doğal çevreye verdiği tahribat nedeniyle de oldukça zararlı bir kaynaktır (Demir, 2013: 4).

Yenilenemeyen kaynaklar içerisindeki kömür, oksijen, hidrojen ve karbondan oluşmaktadır. Kömür; sosyal yaşamda konutların ısınmasında kullanıldığı gibi elektrik üretimi ve çeşitli üretim faaliyetlerinde de kullanılabilir. Petrole benzer olarak faydalarının yanı sıra yakılırken açığa çıkan karbonmonoksit, metan ve ozon gibi gazlar havanın kirlenmesi ve sera gazı oluşumuna yol açtığından dolayı kömür kullanımından kaynaklı birçok çevresel sorun ortaya çıkmaktadır.

Doğalgaz, uzun yıllar önce yaşamış organizma atıklarının yer kabuğunun alt katmanlarında yüksek miktarda basınç ve sıcaklığa maruz kalıp başkalaşarak meydana gelir. Yeraltında serbest ya da bazı gözenekli kayaçların gözenekleri arasına nüfuz etmiş halde bulunurlar. Herhangi bir renge sahip olmadıkları gibi uçucu ve kokusuzdurlar” (Akpınar ve Başbüyük, 2011: 121). Yenilenemeyen kaynaklar içerisinde en zararsız olarak görülebilir. Konutların ısıtılmasından, ulaşım, elektrik üretiminden, sanayi faaliyetlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Çevreye verdikleri zararların görülmesine rağmen günümüzde halen daha enerji üretiminde en çok kullanılan kaynaklar yenilenemeyen kaynaklardır. Endüstriyel faaliyetlerin artması ile birlikte oluşan enerji talebini karşılayabilmek adına fosil yakıtların tüketimi giderek artmıştır. Bu kaynakların günden güne doğal çevre ve yaşama

zarar vermesi nedeniyle uluslar yenilenebilir kaynaklara yönelmişlerdir (Öztürk, 2013: 8).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) yenilenebilen enerji kaynaklarını; “kendisini tekrar eden doğal süreçlerden üretilen enerji şeklinde açıklamaktadır. Doğada yer alan ve kendilerini sürekli yenileyen bu kaynaklardan (jeotermal, güneş, rüzgâr, biokütle, hidrojen ve hidro) enerji üretilmekte ve yenilenebilir enerji kaynağı” olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca kesintisiz, temiz ve yerli nitelikte olmaları onları sürdürülebilir kılmaktadır. “Global enerji üretiminde ki payları 2013 yılından günümüze giderek artmış ve enerji üretiminin 1/5’ini karşılar duruma gelmiştir. Bu kaynaklar son yıllarda giderek yaygınlaşmış ve ulusların enerji politikaları bu kaynaklarda yoğunlaşmıştır” (Bayraç ve Çildir, 2017: 202). Bu kaynakların varlıkları ülkelerin konumlarına göre farklılık teşkil edebilir. Bu kaynaklar kullanılarak elektrik üretilmesi kaynakların ulaşılabilirliği düşünüldüğünde çok kolay olabileceği gibi kimi kaynaklar için oldukça güç olabilir (Yerebakan, 2010: 21-24).

“Ülkemiz enerji üretiminde kullanılan kaynaklar bakımından son 35 yıllık süreçte önemli değişiklikler yaşanmıştır. 2000’li yıllara kadar kömür ve hidrolik kaynaklar elektrik üretiminde ağırlıklı olarak kullanılmaktayken, daha sonraki yıllarda doğalgazın ağırlık kazandığı görülmektedir. Yine son birkaç yılda yenilenebilir enerji kaynakları konusunda da gelişmeler yaşanmış, özellikle rüzgâr enerjisi önem kazanmaya başlamıştır” (Çelikoğlu, 2016). Ülkemizde nüfusun ve sanayi üretiminin artmasından dolayı enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması kaynakları çeşitlendirmek ve verimli kullanmakla sağlanabilecektir (Elmacı, 2018). “Fosil enerji kaynakları Türkiye enerji potansiyeli içinde büyük yer tutmamaktadır. Ortadoğu ve Kafkasya’da zengin petrol ve doğalgaz yatakları olmasına rağmen jeolojik özellikleri gereği Türkiye’de bu enerji kaynaklarına pek rastlanmamaktadır. Aynı durum maden kömürü için de geçerlidir. Türkiye’nin fosil enerji kaynaklarından sadece linyit rezervleri yönüyle kendi ihtiyacını karşılayabilmesi söz konusudur” (Yılmaz, 2012: 38). Ülkemizde en fazla kullanılan fosil yakıtlardan olan linyit hem yüksek oranda kükürt barındırmakta hem de kalori bakımından çok düşüktür. Bu nedenle ülkemiz enerji üretimi açısından dışa bağımlı konumdadır. Enerji üretimi için kullanılan fosil kaynakların büyük çoğunluğu ithal edilmektedir. Bu bağımlılığın azaltılması ve yerli kaynakların kullanılması adına yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya yönelik bir politika izlemeye

başlanmıştır. Türkiye coğrafi konum olarak yenilenebilir kaynaklardan faydalanma açısından avantajlıdır. Yenilenebilir kaynaklarının kullanılması dışa bağımlılığı azaltılacağı gibi ekonomide ve ülkenin kalkınmasına da katkı sunacaktır.

Türkiye'nin genel enerji görünümü Tablo 1.2 incelendiğinde, “2020 yılındaki veriler ile 2019 yılı verileri karşılaştırıldığında değişim şu şekilde olmuştur: Lisanssız kurulu güç %4,8, puan talep %8,1, lisanssız üretim %1,2, faturalanan tüketim miktarı %1,7 ve fiili tüketim miktarı %0,8 olarak artış sağlamıştır. Lisanssız üretim ve tüketim miktarlarında artış gözlemlenirken lisanslı üretim miktarında ise yüzde bir oranında azalma gerçekleşmiştir” (EPDK, Enerji Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, 2020). Ülkemizin 2017-2020 yılları arası genel enerji görünümü, enerji miktarları ve yıllık değişim oranları tablo 1.2’de gösterilmiştir.

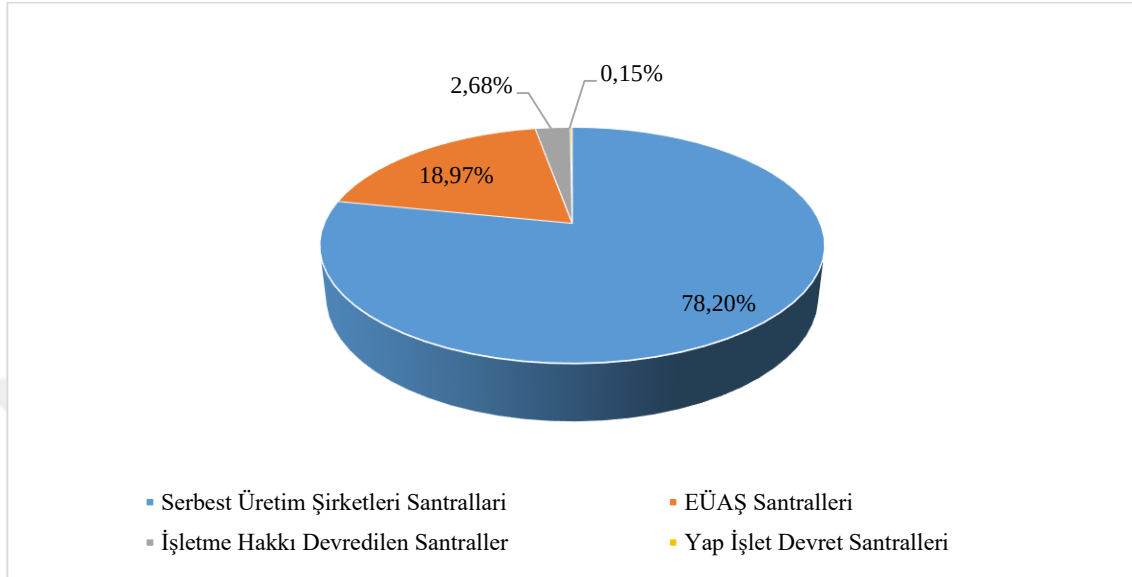
Tablo 1.2. Türkiye’nin Genel Enerji Görünümü (2017-2020)

	Birim	2017	2018	2019	Değişim (%) 2018- 2019	2020	Değişim (%) 2019- 2020
Lisanslı Kurulu Güç	MW	81.506,4	83.187,0	84.960,0	2,1	89.067,1	4,8
Lisanssız Kurulu Güç	MW	3.173,3	5.310,6	6.309,30	18,8	6.823,5	8,1
Puant Talep	MW	48.831,8	49.515,7	49.281,4	-0,5	49.851,9	1,2
Lisanslı Üretim	GWh	292.595,4	295.402,3	294.251,3	-0,4	294.084,7	-0,1
Lisanssız Üretim	GWh	3.031,3	8.212,8	9.829,40	19,7	11.245,5	14,4
Faturalanan Tüketim	GWh	225.830,2	233.610,0	229.597,9	-1,7	233.436,6	1,7
Fiili Tüketim	GWh	292.003,5	302.772,3	301.977,5	-0,3	304.394,9	0,8
İthalat	GWh	2.729,1	2.466,00	2.211,5	-10,3	1.888,3	-14,6
İhracat	GWh	3.300,1	3.073,60	2.788,7	-9,3	2.484,0	-10,9

Kaynak: EPDK (2020).

2020 yılına ait veriler incelendiğinde üretimde %78,20 ile en büyük pay serbest üretimindir. EÜAŞ’ın üretimdeki payı %18,97 olarak belirlenirken, yapılan sözleşmeler dâhilinde işletilen santrallerin ülkemizdeki toplam enerji üretimindeki payı ise %2,83

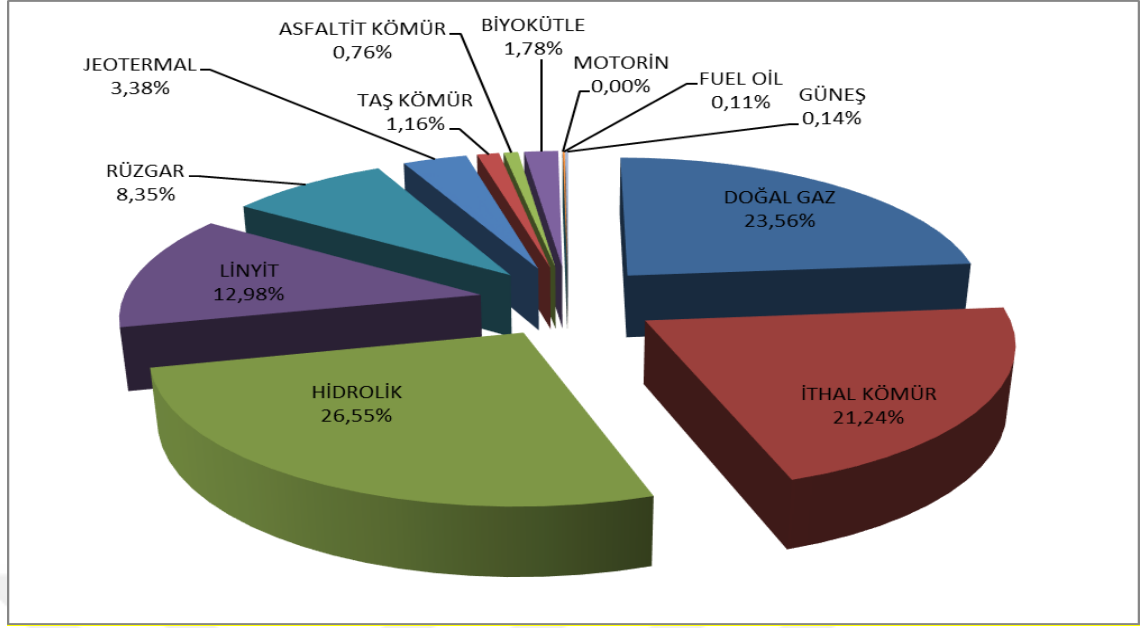
oranındadır. Ülkemizde 2020 yılı itibari ile lisanslı elektrik üretimi yapan kuruluşlar ve oranları şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. 2020 Yılı Lisanslı Elektrik Üretiminin Kuruluşlara Göre Dağılımı (%)

Kaynak: EPDK (2021)’den faydalanılarak tarafımca hazırlanmıştır.

“Doğalgaz kullanılan lisanslı termik santraller payı 2020 yılında bir önceki yıla oranla yüzde 4,31 artış göstermiş ve %23,56 olmuştur. İthal edilen kömür ile üretimin sağlandığı santrallerinin payı 0,72 artışla %21,24 olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan olan rüzgâr santrallerinin payı yüzde bir oran artış ile %8,35’e kadar yükselmiştir. Jeotermal kaynaklardan elde edilen enerji ise 0,35’lik artışla %3,38’e ulaşmıştır. Bu kaynaklarda 2020 yılında bir önceki yıla oranla büyüme gerçekleşirken hidroelektrik santrallerin yüzde 3,65 oranda azalma göstererek %26,55’e gerilemiştir. Yerli kömür kullanılarak üretim sağlanan santrallerin payı ise yüzde 3,03 gerileyerek %14,89’a kadar gerilemiştir” (EPDK, Enerji Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, 2020). Ülkemizde 2020 yılı itibari ile lisanslı elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar şekil 1.2 de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. 2020 Yılı Lisanslı Elektrik Üretiminin Kaynaklara Dağılımı (%)

Kaynak: EPDK (2021:2).

Lisanslı kurulu güç işletmelerinde 2019 sonu itibariyle yer gazı işletmelerinin payı %30,53 iken 2020 itibari ile %28,79'a gerilemiştir. İthal edilen kömürün kullanıldığı santrallerin payı %10,55'ten %10,09'a kadar düşmüştür. Linyit santrallerin %11,89 olarak tespit edilen payı 2020 yılında %11,36'ya düşmüş, akarsu-hidroelektrik santrallerinin üretimdeki payı ise %9,24'den %9,04'e gerilemiştir. Diğer yandan 2019 yılı sonunda lisanslı kurulu güç dâhilinde, barajlı-hidroelektrik santrallerin payı %24,30 iken %25,74'e, rüzgâr santrallerinin payı %8,85' ten %9,84'e, jeotermal santrallerinin payı %1,78'iken 2020 yılında %1,81'e kadar yükselmiştir.

Sürdürülebilir enerji kaynaklarının 2020 yılında kurulu güç dâhilindeki payı yaklaşık %3 oran artarak %48'e yükselmiştir. 2020 yılı itibari ile toplam termik kurulu gücü ise %2,6 oranında (2019 %54,6 iken 2020 %52) düşmüştür (Tablo1.3).

Tablo 1.3. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Lisanslı Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (%)

Kaynak	%'lik Oran	Kaynak	%'lik Oran
Doğalgaz	28,79	Taş Kömürü	0,91
Barajlı	25,74	Asfaltit Kömür	0,45
Linyit	11,36	Fuel Oil	0,34
İthal Kömür	10,09	Güneş	0,46
Akarsu	9,04	Nafa	0,01
Rüzgâr	9,84	LNG	0,002
Jeotermal	1,81	Motorin	0,001
Biyokütle	1,16		

Kaynak: EPDK (2021)'den faydalanılarak hazırlanmıştır.

Ülkemizde enerji üretimi yapan tüm kaynaklar lisanslı değildir. Üretim yapan şirketlerin bazıları 6446 EPK (Enerji Piyasası Kanunu)'ya göre lisans almak zorunda değildirler. Buna göre ülkemizde 2020 yılı sonu itibari ile lisanssız elektrik üretimi başvuruları gösterildiği gibidir. Elektrik üretimi üretim kapasitesi yüksek olan lisanslı santrallerden yapıldığı gibi ulusal şebekeye bağlı fakat üretim kapasiteleri düşük lisanssız santrallerden de yapılmaktadır. Yenilenebilir kaynakların kullanıldığı lisanssız santrallerine ait 2020 yılı başvuru durumları ve kapasiteleri tablo 1.4' de gösterilmiştir.

Tablo 1.4. 2020 Yıl Sonu İtibariyle Lisanssız Elektrik Üretimi Başvurularının Durumu (MWe)

Durum/Kaynak	Biokütle	Güneş	Hidrolik	Jeotermal	Kojenerasyon	Mikrojenerasyon	Rüzgâr
Bağlantı anlaşması aşamasında	17,88	1.295,65	5,1		91,84	0,04	111,61
Çağrı mektubu aşamasında	9,29	1.379,76	2,57		43,3	0,04	55,71
İptal edildi	150,3	3.797,39	69,48	0,13	113,02	0,48	264,68
İşletmeye girdi	83,71	6.257,61	8,65		402,67		70,83

Kaynak: EPDK (2021).

Lisanssız olarak gerçekleştirilen elektrik üretimi, 2019 sonunda 6.309,27 MW olarak gerçekleşmiş kapasite miktarı, 2020 sonunda %8,15 oranında artarak 6.823,47 MWe kapasiteye ulaşmıştır. Kaynaklar içerisinde en fazla üretim bir önceki yılda olduğu gibi 2020 yılında da %91,71 üretim miktarıyla güneş santrallerindedir. Güneş santrallerini %5,90 ile doğalgaz ve %1,23 ile de biokütle takip etmektedir (EPDK, Enerji Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, 2020). Ülkemizde elektrik enerjisi üretimi gerçekleştiren lisanssız enerji santrallerinin 2019 ile 2020 yılları arasındaki kurulu güç miktarları ve oranları tablo 1.5 'de gösterilmiştir.

Tablo 1.5. Lisanssız Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (MWe-%)

Kaynak Türü	2019		2020	
	Kurulu Güç (MWe)	Oran (%)	Kurulu Güç (MWe)	Oran (%)
Güneş	5.825,46	92,33	6.257,61	91,71
Doğalgaz	328,66	5,21	402,67	5,9
Biyokütle	75,67	1,2	83,71	1,23
Rüzgar	70,83	1,12	70,83	1,04
Hidrolik	8,65	0,14	8,65	0,13
Genel Toplam	6.309,27	100	6.823,47	100

Kaynak: EPDK (2021).

Türkiye’de 2022 yılı ilk çeyreğinde elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımları incelendiğinde üretimde yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynaklara yapılan yatırımlar ön plana çıkmıştır. Buna göre 2021 yılında %35 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2022 yılında %40’a ulaşmıştır. Türkiye’nin 2021 yılında toplam kurulu gücü 100,607 MW iken 2022 yılında üretimde büyüme gerçekleştirilerek bu rakam 102,423 MW’a yükselmiştir. (Cumhurbaşkanlığı, (2022) Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı Enerji Sektörü Raporu). Türkiye’nin yenilenebilir kaynaklara göre 2021 ve 2022 yılları enerji kapasiteleri ve oranları (%) tablo 1.6’da gösterildiği gibidir.

Tablo 1.6. Kaynaklara Göre Enerji Kapasitesi (MW) (2021-2022)

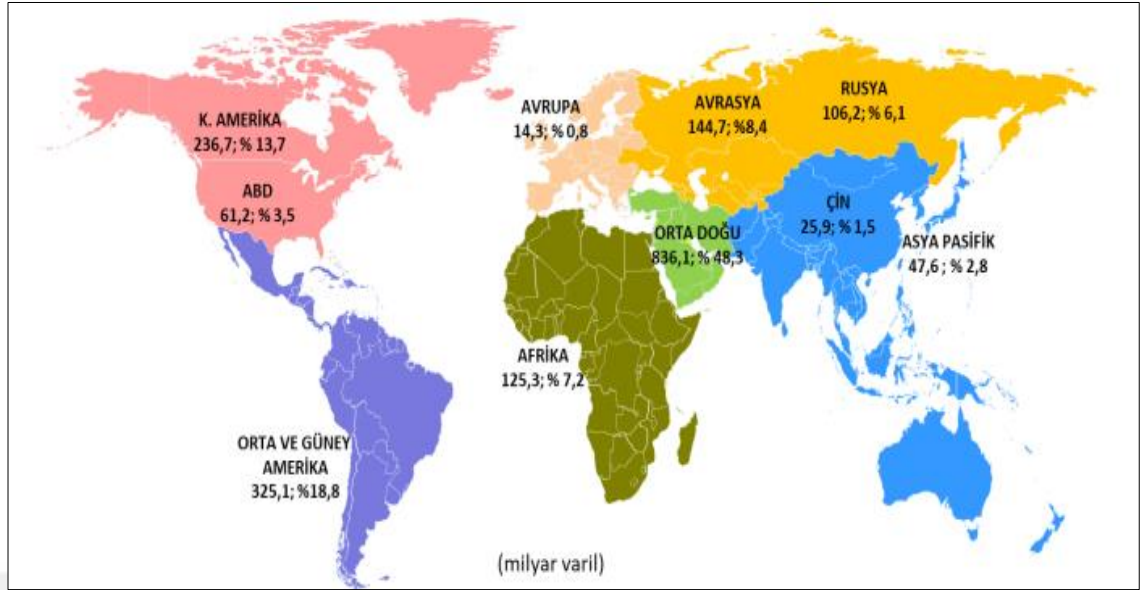
Enerji Kaynağı/Yıl	2021	2022	2021 (%)	2022 (%)
Hidroelektrik	31,688	32,228	31,56%	31,55%
Rüzgâr	10,167	10,900	10,12%	10,67%
Güneş	7,750	8,750	7,72%	8,56%
Jeotermal, Biyo, Atık Isı	3,435	3,536	3,42%	3,46%
Termik Santral	25,733	25,108	25,63%	24,58%
Yerli Kömür	11,336	11,336	11,29%	11,10%
İthal Kömür	10,307	10,307	10,26%	10,09%
Toplam	100,416	102,165	100,00%	100,00%

Kaynak: Cumhurbaşkanlığı Enerji Sektörü Raporu (2022)'dan faydalanılarak tarafımca hazırlanmıştır.

1.3. BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARI

1.3.1. Petrol

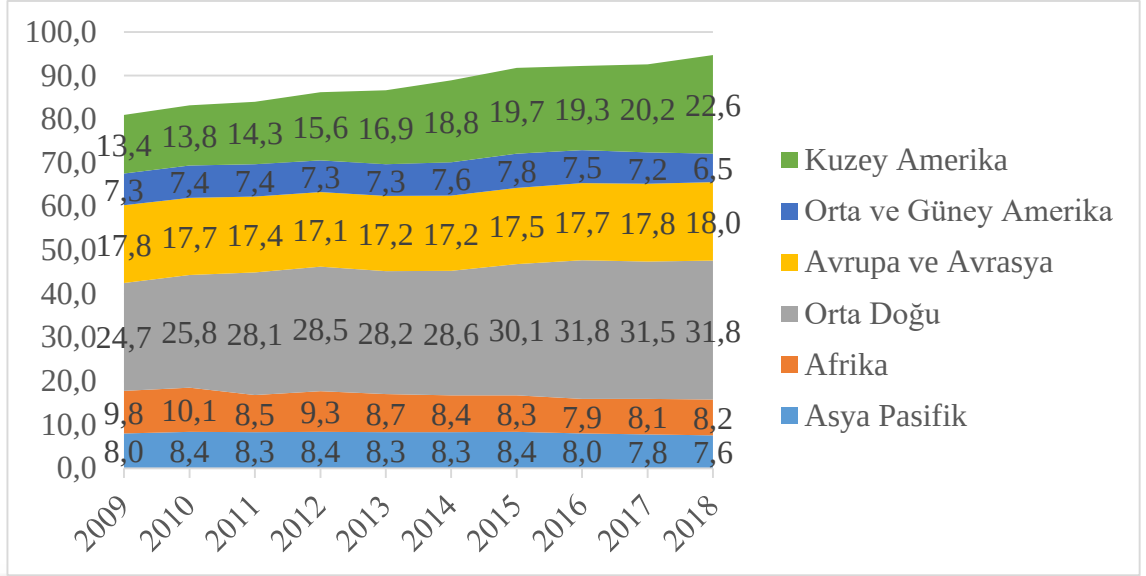
“Yer kabuğunun derinliklerinden çıkarılan yanıcı özellikteki yapışkan ve koyu renkli sıvıdır. Çok çeşitli hidrokarbon bileşenlerinden meydana gelmektedir. Farklı özelliklere sahip hidrokarbonlar çeşitli petrol türlerini oluştururlar. Endüstride genellikle ham hali ile kullanılmamaktadır. İlk olarak 1859’da bulunmuş ve kullanılmaya başlanmıştır. Dünya da ilk petrol sondaj kuyusu Batı Pennsylvania’da açılmıştır. Bu tarihten sonra petrol, endüstriyel aktivitelerin en mühim enerji sağlayıcısı olmuştur” (Sarıbaş, 2015: 21-32). Dünya petrol rezervlerinin bölgelere göre dağılımı ve oranları harita 1.1’de gösterilmiştir.



Harita 1.1. Dünya Petrol Rezervlerinin Dağılımı

Kaynak: BP (2020). (<https://www.tpao.gov.tr/file/2106/2020-petrol-ve-dogal-gaz-sektor-raporu-47460b743c70c609.pdf>).

Petrolün yıllara göre üretimi ülkeler bazında artış göstermiştir. 2018 yılı verilerine bakıldığında bir önceki yıla göre Kuzey Amerika 2,4 oranında bir artış göstererek yüzde 22,6'ya Orta Amerika yüzde 0,5 oranında gerileme göstererek yüzde 6,5 oranında üretim gerçekleştirmiştir. Avrupa ve Avrasya 2018 yılı itibari ile bir önceki yıla göre yüzde 0,2 oranında artışla yüzde 18,0 Orta Doğu yüzde 0,3 artışla yüzde 31,8 Afrika yüzde 0,1 artışla yüzde 8,2 oranında üretim gerçekleştirmiştir. Asya Pasifik'te ise yüzde 0,2 oranında azalarak yüzde 7,6 oranında üretim yapılmıştır. Dünyada petrol üretimi Şekil 1,3'deki gibidir



Şekil 1.3. 2009-2018 Yılları Bölge Bazında Dünya Petrol Üretim

Kaynak: BP (2018: 3-124).

Dünyada en fazla petrol rezervi bulunan Ortadoğu'nun sahip olduğu rezervlerin yarısını üretmekte iken Kuzey Amerika sahip olduğu rezervlerin neredeyse üç katı kadar üretim yapmaktadır. Dünyada yeni petrol yataklarının bulunmaması durumunda mevcut rezervlerin 40 ile 50 yıl kadar ömürlerinin kaldığı düşünülmektedir. Yeni rezervlerin bulunma ihtimali bu sürenin 70 yıla kadar çıkabileceği yönünde ihtimallerin olduğunu gösterir (Saygın, 2008: 10). Küresel petrol tüketiminin 2018 yılı sonu ve 2019 yılının 1.2.ve 3. Çeyreklerindeki miktarları tablo 1.7'de gösterilmiştir.

Tablo 1.7. Küresel Petrol Tüketimi (Milyon varil/gün)

	2018	2019 1.Çeyrek	2019 2.Çeyrek	2019 3.Çeyrek
OPEC Toplam	37,40	36,23	35,61	34,89
<i>OPEC Ham Petrol</i>	31,88	30,65	30,05	29,42
<i>OPEC NGL</i>	5,53	5,58	5,56	5,47
OPEC Dışı	62,94	63,87	64,44	65,05
Toplam Arz	100,34	100,09	100,05	99,94

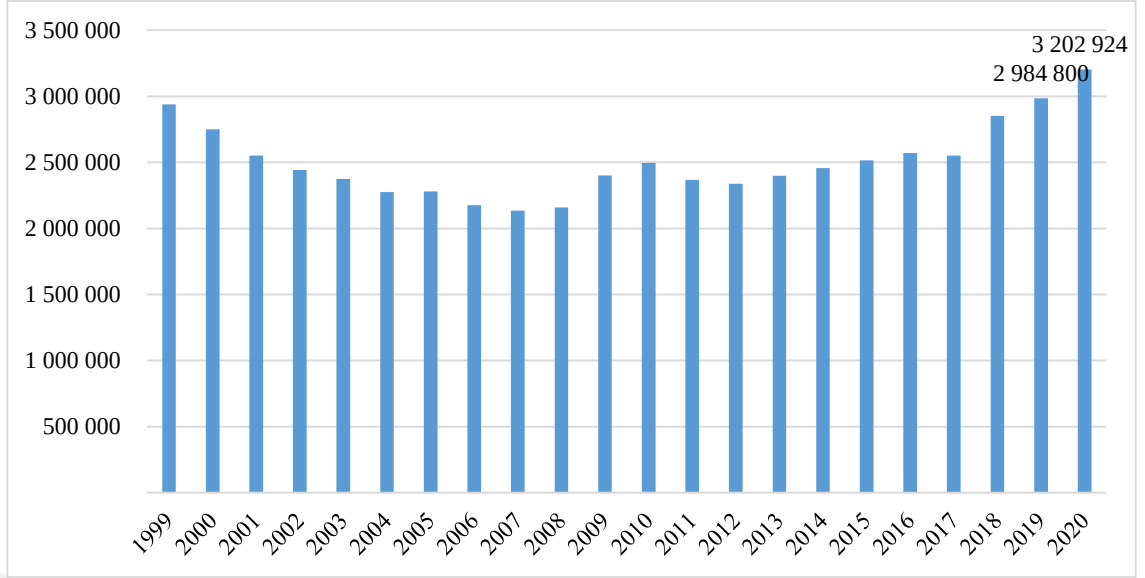
Kaynak: mapeg (2019: 1-7).

(<https://www.mapeg.gov.tr/Uploads/PetrolRaporlarFormlar/2019%20Y%C4%B1%C4%B1%202%20%C3%87eyrek%20K%C3%BCresel%20Petrol%20Piyasas%C4%B1%20Analizi.pdf>

den faydalanılmıştır).

Ülkemizde petrol rezervlerinin tespit edilmeye çalışılması ilk olarak Osmanlı Devleti'nin yıkılma döneminde başlamıştır. Bu dönemde petrol aramaları yalnızca Trakya, İskenderun ve Musul bölgelerinde yapılmıştır. Osmanlı Devleti'nin yıkılışından sonra kurulan Yeni Türk Devleti (Türkiye)'nde aramalar Anadolu'nun güneyine yoğunlaşmış ve bu bölgede 1940 tarihinde Batman ili sınırlarında Raman I kuyusundan petrol çıkarılmaya başlanmıştır (Doğanay, 1998). Bu kuyudan petrol üretimine 1946 yılı itibari ile başlanmış ve Türkiye'de ilk petrol üretimi 544 ton olarak gerçekleşmiştir. Her yıl bu rakam giderek artmış ve 1991 yılı itibari ile ülkemizin petrol üretimi 4,4 milyon tona ulaşmıştır. 1991 yılından sonra ülkemizdeki petrol üretimi giderek azalmaya başlamıştır (EPDK, 2013). Ülkemizde petrol kuyusunun bulunması ve üretime başlanmasından sonra 1954 tarihinde yürürlüğe konulan Petrol Yasasıyla ülkemiz 18 farklı petrol bölgesine ayrılarak yerli ve yabancı özel şirketlerin bu bölgelerde petrol aramasına ve üretim yapmasına olanak sağlanmıştır. Ülkemizde en önemlileri TPAO olmak üzere birçok petrol arama ve işletme şirketi çeşitli çalışmalar sürdürmektedir. Türkiye'de fosil kaynaklar arasında büyük öneme sahip olan petrol 42 milyon ton rezerve sahiptir. Ülkemiz son yıllarda petrol arama çalışmalarına hız vermiş ülkemize ait olan kıta sahanlığı içerisinde Karadeniz, Adalar Denizi ve Akdeniz'de kendi ürettiği sismik arama gemileri ile petrol arayışlarına başlamıştır (EPDK, 2021).

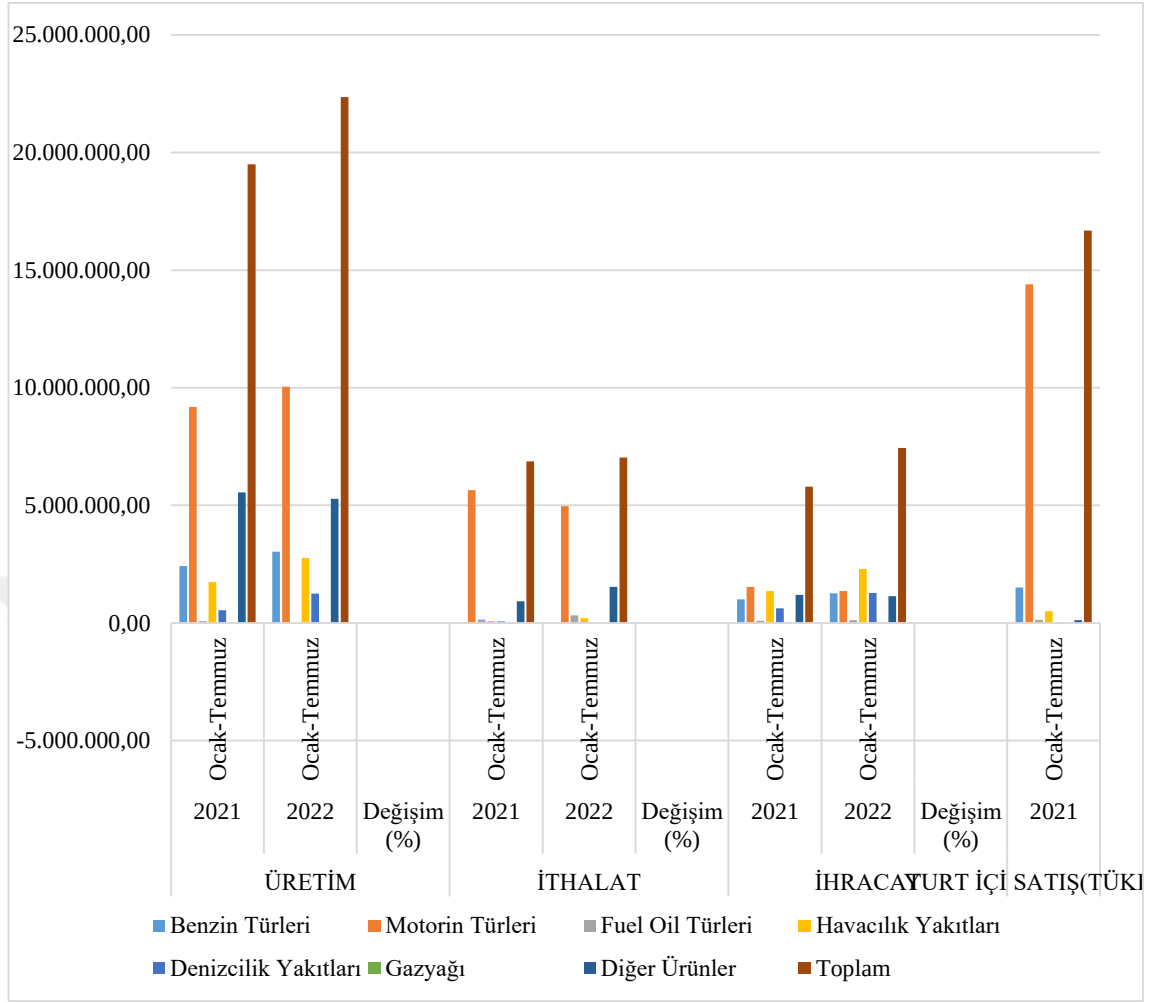
1999 yılında 2.939.896 milyon ton petrol üretimi gerçekleştirirken daha sonraki yıllarda üretimde azalmalar gerçekleşmiştir. 2018 yılında petrol üretimi 2.850.828 milyon ton 2019 yılında 2.984.800 milyon ton, 2020 yılında 3.202.924 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir. Günlük ortalama 60.845 varil/gün petrol üretilirken üretilen petrolün tüketimi karşılama oranı %7,1'dir (Petform, 2020). Her ne kadar petrol üretimi gerçekleştirilse de ülkemizde kuyulardan elde edilen petrol miktarı ne yazık ki enerji ihtiyacını karşılamamaktadır. Bu nedenle petrole duyulan ihtiyaç farklı ülkelerden bir kısmı ham petrol olarak ithal edilip rafinerilerimizde işlenirken bir kısmı petrol ürünleri olarak alınmaktadır. Ülkemizin yıllara göre yerli petrol üretim miktarları şekil 1.4' de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. 1999-2020 Yılları Türkiye'nin Yerli Petrol Yerli Üretim (Milyon Ton)

Kaynak: MAPEG (2020)'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

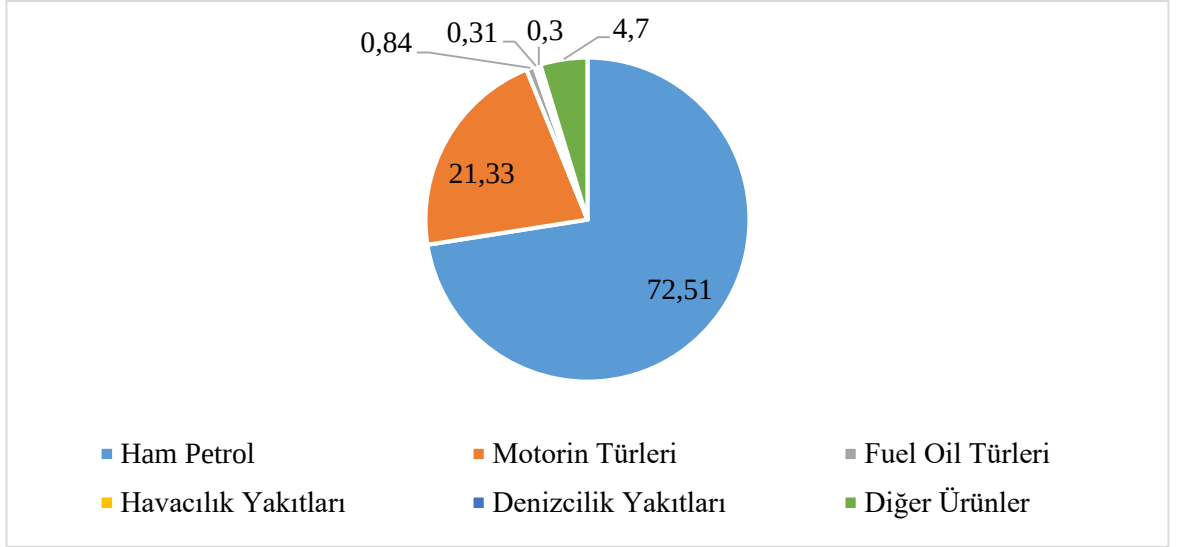
Petrolde kendisine yetecek kadar üretimi gerçekleştiremeyen ülkemiz dışa bağımlı konumdadır. Bu nedenle ham petrol ve petrol ürünlerini ithal etmek mecburiyetindedir. Buna göre 2020 yılı içerisinde toplam 40.502.790.620 ton petrol ithal etmiştir. İthal edilen petrol ürünlerin 29.368.757.252 ton ile (%72) ham petrol, 8.639.334.980 ton ile (%21,33) motorin türleri, 341098.450 ton ile (%0,84), fuel oil türleri, 127.978.020 ton ile (%0,31) havacılık yakıtları, 120.978.020 ton ile (%0,30) denizcilik yakıtları, 1.905.486.382 ton ile (%4,7) diğer ürünler karşılamaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Türkiye Petrol Ürünleri Üretim, Tüketim, İthalat ve İhracatı (2022)

Kaynak: EPDK (2022). Petrol Piyasası 2022 Yılı Sektör Raporu'ndan yararlanılarak hazırlanmıştır.

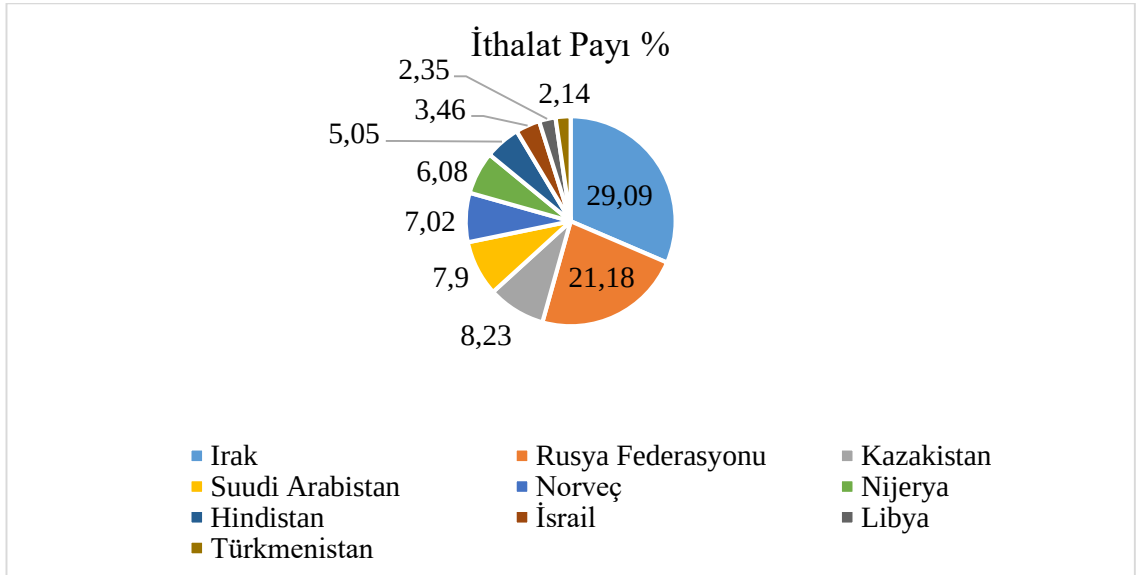
Ülkemizde petrol rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı enerji üretiminde ve sanayide kullanılmak üzere ham petrol ve işlenmiş petrol ürünlerine ihtiyaç duymaktadır. 2020 yılı itibari ile ülkemiz en fazla %72,51 oranında ham petrol ithal ederken, %21,33 oranında motorin türlerini ithal etmiştir. Ülkemizin 2020 yılı itibari ile ithal ettiği petrol ürünleri şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Türkiye Petrol Ürünlerinin İthalattaki Payı (%)

Kaynak: EPDK (2020). Petrol Piyasası 2020 Yılı Sektör Raporu, faydalanılarak hazırlanmıştır.

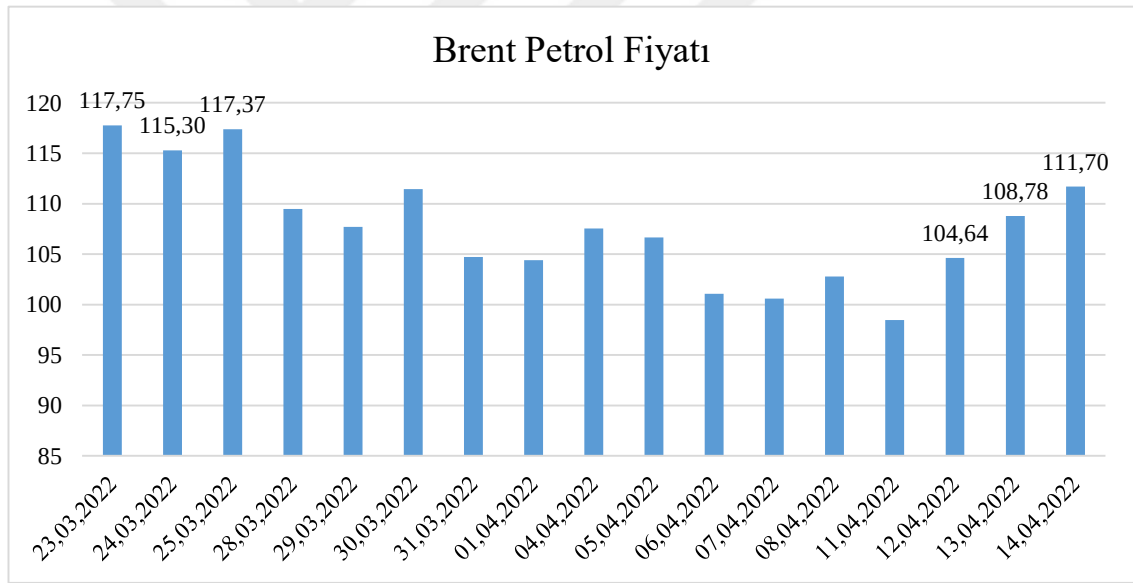
Ülkemiz ham petrol ve petrol ürünlerini 36 farklı ülkeden ithal etmektedir. Bu kapsamda 2020 yılı ithalat verileri incelendiğinde 11.783.566.273 ton ile Irak'tan ithal edilen petrol ürünleri %29,09'luk bir paya sahiptir. Türkiye petrol ithalatının Irak'tan sonra %21,18'ini Rusya ve %8,23'ünü Kazakistan'dan gerçekleştirmektedir. 2020 yılı itibari ile ithal edilen petrolün kaynak ülkeleri Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Türkiye'nin İthal Ettiği Petrolün Ülkelere Göre Dağılımı (2020)

Kaynak: EPDK (2021) Petrol Piyasası 2020 Yılı Sektör Raporu'ndan faydalanılarak hazırlanmıştır.

2022 yılı itibari ile Rusya ve Ukrayna arasında oluşan savaş nedeni ile Türkiye petrol ithalatı olumsuz etkilenmiştir. Dünya petrol ve petrol ürünleri üzerindeki Brent petrol fiyatlarındaki değişim nedeni ile ithalat için harcanan gelirlerin artmasına da sebep olmuştur. Savaşın başlaması ile özellikle Avrupa'nın petrol ve doğalgaz sağlayıcısı Rusya petrol ve doğalgaz ihracatını neredeyse durdurma noktasına gelmiştir. Bu durumda talep edilen miktar elde edilemediğinden dolayı fiyatlarda fahiş oranda yükselmeler gerçekleşmiştir. Mart 2022'de varil fiyatı 117,75 dolara karada çıkmış daha sonra yaşanan yumuşama dönemi ile birlikte 11 Mart 2022'de petrolün varil fiyatı 98,48 dolara kadar gerilemiştir. Ancak iki ülke arasındaki savaşın devam ediyor olması ve Rusya ile ABD ve Avrupa Ülkeleri arasındaki gerginliğin devam etmesi ile fiyatlardaki dalgalanmalar devam etmiştir. Şekil 1.8'de son günlerde dünya piyasasındaki brent petrol fiyatları verilmiştir.



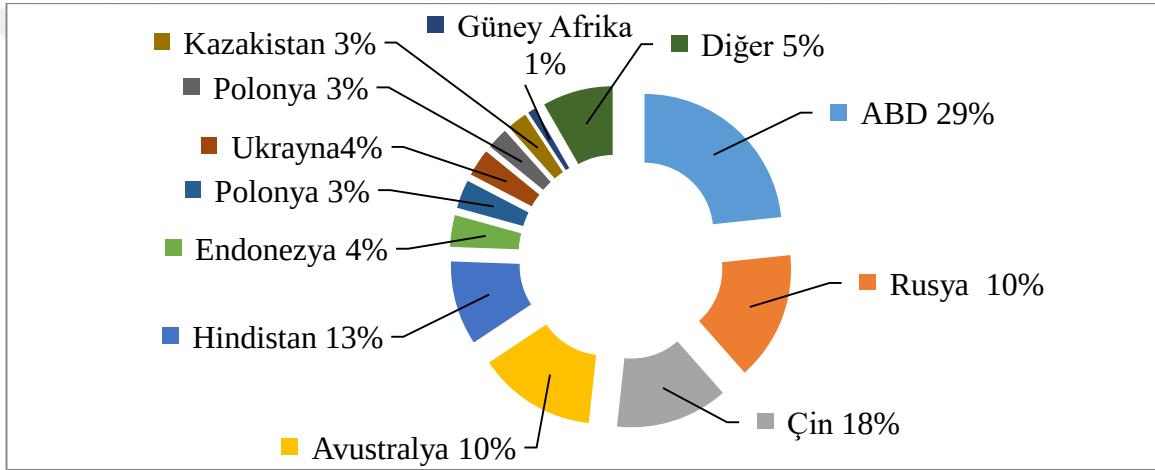
Şekil 1.8. 2022 Mart/Nisan Ayı Brent Petrol Fiyatları (Dolar)

Kaynak: <https://www.bloomberght.com>'dan faydalanılarak hazırlanmıştır.

1.3.2. Kömür

Enerji üretiminde ihtiyaç duyulan bir diğer kaynak kömürdür. Fosil yakıtlar içerisinde yer alan kömür milyonlarca yıl öncesindeki canlı kalıntılarından meydana gelmiştir. “Karbon, hidrojen ve oksijen gibi çeşitli öğelerden oluşan kömür, ateş ile teması halinde yanabilme özelliği olan organik bir madendir. Yakıldığında ortaya çıkan

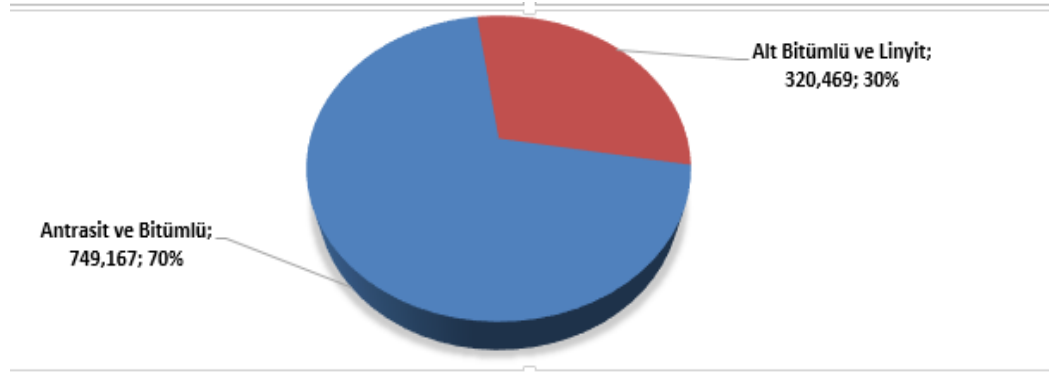
enerji miktarına bakıldığında yüksek ısılı taş kömürü ve daha düşük kaloriye sahip alt bitümlü olarak iki grupta incelenebilir. Termik santrallerde yakıt olarak kullanılan linyit nem miktarı ve yakıldığında çok fazla kül bırakmasının yanı sıra düşük ısı değerlerine sahiptir. Taş kömürü ise yakıldığında çok yüksek ısı enerjisi ortaya koyan yüksek kaloriye sahip kömür türüdür. Konutların ısıtılması, elektrik üretimi ve birçok sanayi kolunda yakıt olarak kullanılan kömür hem günlük yaşam hem de endüstri için önemli bir enerji kaynağıdır” (TTK, 2016: 1-2). Küresel kömür rezervleri incelendiğinde en fazla kömür rezervine %29 ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD), %18 ile Çin, %10 ile Avustralya ve Rusya’ya aittir. Küresel kömür rezervlerinin ülke ve bölgelere dağılışı şekil 1.9’da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Ülke ve Bölge Bazlı Dünya İspatlanmış Kömür Rezervleri (%)

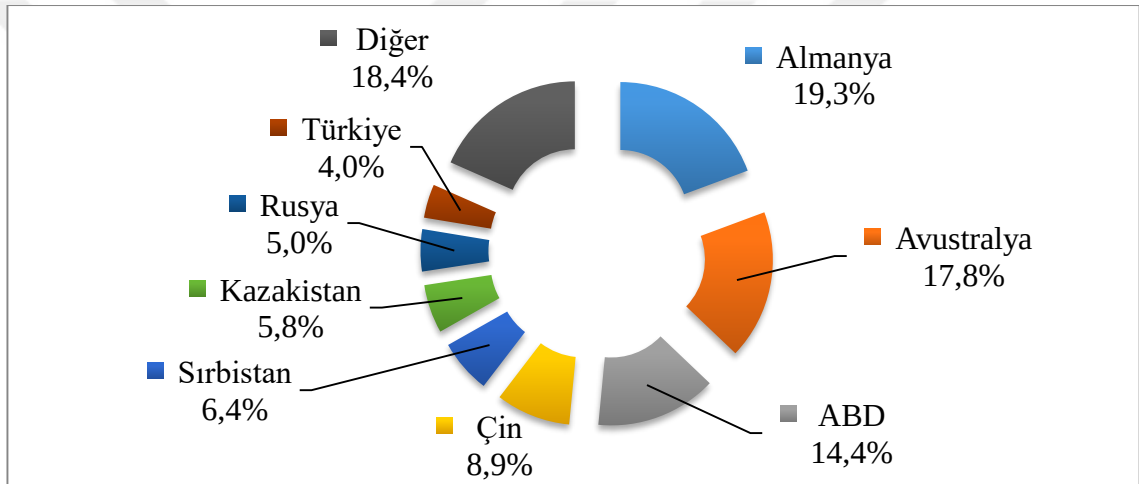
Kaynak: TKİ, (2015:22).

Dünyadaki kömürün dağılışı yer yağı (petrol) ve doğalgaza oranla daha fazla olduğu için kullanım oranı petrol ve doğalgaza oranla daha fazladır. Üretim maliyetlerinin diğer fosil yakıtlara oranla düşük olması dünya genelinde kömürün enerji kaynağı olarak kullanılmasının daha tercih edilebilir olmasına imkân sağlar. “Küresel olarak incelendiğinde 1.07 milyar ton rezerve sahip olan kömür, özellikle de Kuzey Amerika, Rusya, Çin ve Avustralya olmak üzere Avrupa ve Güney Afrika’da da çok önemli rezerve sahiptir” (BP, 2021). Dünya kömür potansiyelinin kömür türevlerine göre dağılımı ve miktarları şekil 1.10 ve dünya linyit üretiminin ülkelere dağılımı şekil 1.11’de gösterilmiştir (TKİ, 2020: 48).



Şekil 1.10. Dünya Kömür Rezervlerinin Kömür Kategorilerine Göre Dağılımı (x1000 ton)

Kaynak: TKİ (2020). (<https://www.tki.gov.tr/arama?keyword=k%C3%B6m%C3%BCr>) (Erişim Tarihi: 09 Mart 2021).



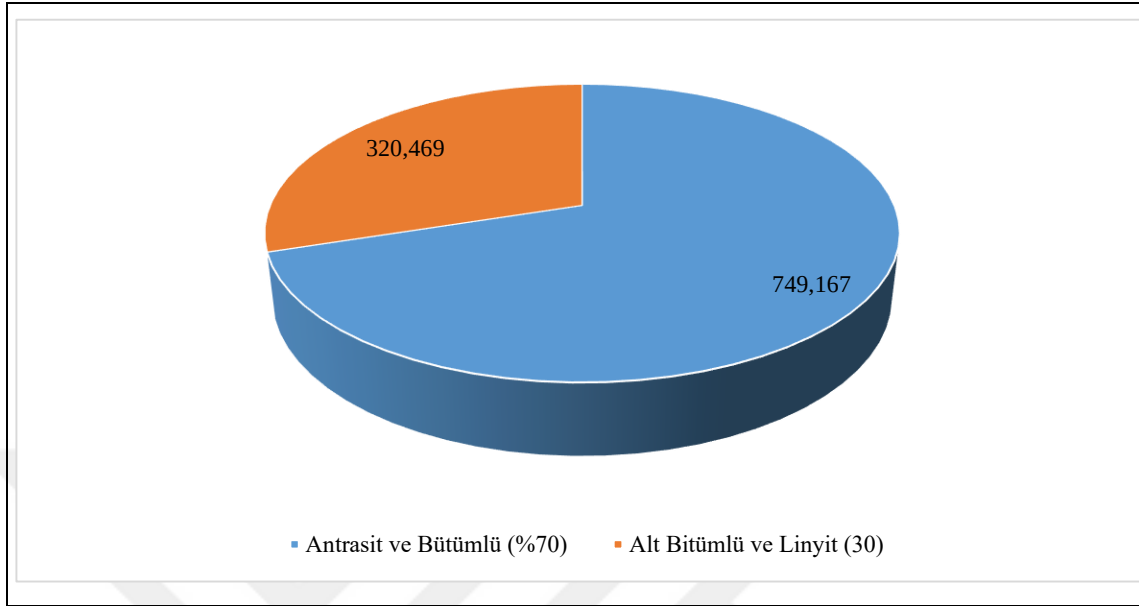
Şekil 1.11. Dünya Linyit Üretimine Ülkelere Dağılımı

Kaynak: TKİ (2020). (<https://www.tki.gov.tr/arama?keyword=liniyit>) (Erişim Tarihi: 09 Mart 2021).

Dünyanın 1,07 milyar tonluk kömür rezervlerinin ülkeler bazında üretimine bakıldığında %23 oranından en büyük pay Amerika Birleşik Devletleri (ABD)' ne aittir. ABD'den sonra %15 Rusya, %14 Avusturalya, %13 Çin ve %10 ile Hindistan dünya kömür üretiminde önde gelen ülkeler arasındadır.

Kömür, diğer fosil kaynaklara göre dünya piyasası içerisinde en istikrarlı olanıdır. Enerji bakımından ele alınırsa diğer birincil kaynaklara göre avantajlı ve ekonomik olarak uygundur. Gelişmekte olan ülkelerde enerji üretiminde çokça tercih edilen bir kaynaktır. “Kömürün küresel dağılımı incelendiğinde tespit edilmiş rezervlerden %32’si Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, %30’a yakını Asya-Pasifik ülkelerinde ve %29’u ise K. Amerika

ülkelerinde bulunmaktadır (BP, 2019). Küresel kömür rezervlerinin kömür türevlerine göre dağılımı şekil 1.12’de gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Dünya Kömür Kaynaklarının Kömür Türevlerine Göre Dağılımı (x1000 ton)

Kaynak: BP (2020)’den faydalanılarak hazırlanmıştır.

Dünya kömür kaynaklarının bölgesel dağılımı incelendiğinde en fazla kömür rezervi %42,7 ile Asya Pasifik’te bulunmaktadır. Asya Pasifik’ten sonra sırasıyla K. Amerika, BDT, Avrupa, Orta Doğu ve Güney ve Orta Amerika gelmektedir. Küresel kömür rezervlerinin kömür kaynaklarına göre dağılışı tablo 1.8’de gösterilmiştir.

Tablo 1.8. Dünya Kömür Kaynaklarının Bölgelere Göre Dağılışı

Ülke/Bölge	Antrasit ve Bitümlü (Mt)	Alt bitümlü ve Linyit (Mt)	Toplam	%
K. Amerika	225,040	32290	257,330	24,1
Güney ve Orta Amerika	8,616	5,073	13,689	1,3
Avrupa	56953	78,156	135,019	12,6
BDT	100208	90447	190655	17,8
Orta Doğu ve Afrika	15974	66	16040	1,5
Asya Pasifik	342376	114437	456813	42,7
Dünya Toplam	749,167	320,469	1,063,636	100

Kaynak: BP (2020)’den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Dünya kömür üretimi konusunda 2019 sonu verileri incelendiğinde dünya kömür üretiminin %42,7'sini Asya Pasifik ülkeleri karşılamaktadır. Bu bölgeyi sırası ile %25,4'le Kuzey, Orta ve Güney Amerika, %12,6 ile Avrupa, %17,8 ile Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) ve %1,5 ile Orta Doğu ve Afrika takip etmektedir. Kömür rezervlerin tükenebilirlik durumlarına bakıldığında ilk sırada 57 yıl işletme süresi ile Ortadoğu ve Afrika rezervleri yer alır. En uzun ise 367 yıllık işletme ömrüyle Kuzey Amerika rezervleridir. Bu durum dünya kömür üretiminde en fazla rezervi bulunan ABD'nin uzun yıllar bu alanda söz sahibi olacağını göstermektedir (Avdar, 2020). Dünya kömür üretiminde önde gelen ülkeler tablo 1.9' da gösterilmiştir.

Tablo 1.9. Başlıca Kömür Üreten Ülkeler (Milyon ton)

Ülke/Yıl	2020	2019	2018
Çin	3,902.0	3,846.3	3,697.7
Hindistan	756.5	753.9	760.4
Endonezya	562.5	616.1	557.8
ABD	484.7	640.8	686.0
Avusturalya	476.7	504.1	502.0
Rusya	399.8	440.9	441.6
Güney Afrika	248.3	258.4	250.0
Kazakistan	113.2	115.0	118.5
Almanya	107.4	131.3	168.8
Kazakistan	114,00	107,30	97,90
Diğer	6,991,7	7,063,7	7,754,4
TOPLAM	7,741.6	8,133.4	8,075.2

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy (Temmuz 2021)'den yararlanılarak hazırlanılmıştır.

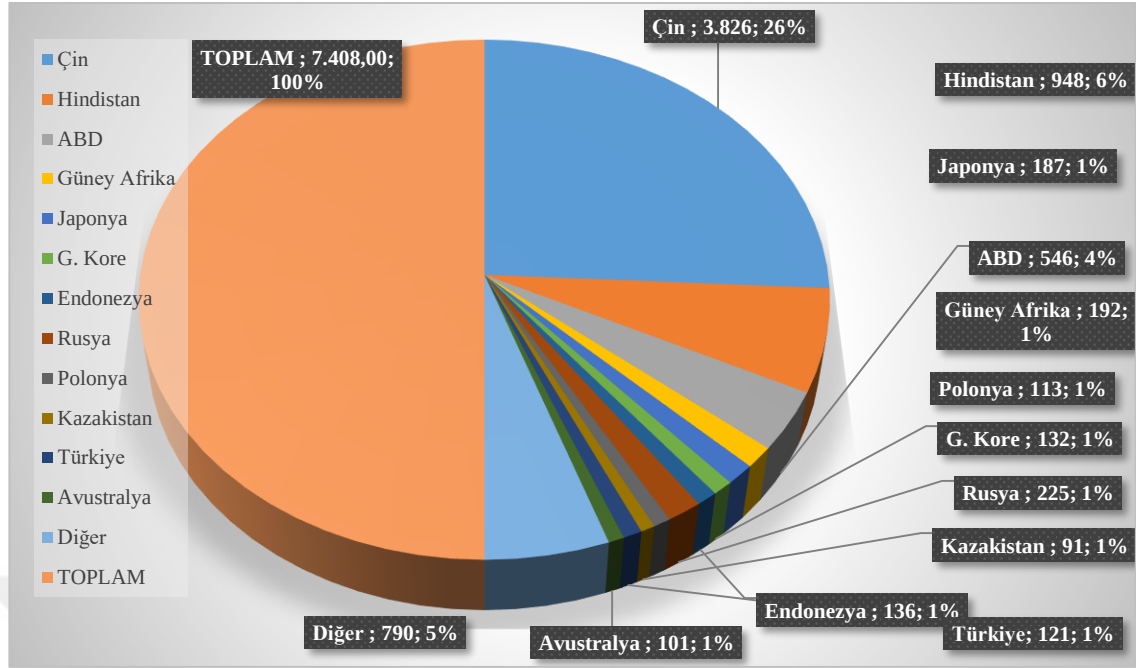
Dünya kömür üretimi yıllara göre dalgalanmalar göstermektedir. Kömür üretiminde gelişmekte olan ülkeler maliyeti diğer enerji kaynaklarına göre daha uygun olan kömürü tercih etmektedirler. Tablo 1.9' da görüldüğü gibi Çin ve Kazakistan dışında kalan diğer ülkelerde 2018 ile 2020 yılı arasındaki üretim miktarlarında düşüş yaşanmıştır. Kazakistan'da 2018 yılı üretimi 97,90 milyon ton iken 2020 yılında bu miktar 114 milyona ulaşmıştır. Çin de ise bu miktar 2018 yılında 3.697,7 milyon ton iken 2020 yılında 3.902 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Diğer ülkelerde ise üretim miktarı giderek düşüş göstermiştir.

2019 yılı itibari ile küresel kömür tüketimi 7,408 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Kömür tüketiminin ülkelere göre dağılımı incelendiğinde 2019 yılı sonu itibari ile en fazla tüketim Çin’de gerçekleşmiştir. Çin’in ardından sırasıyla en fazla tüketimin gerçekleştiği ülkeler; Hindistan, ABD, G. Afrika, Japonya, G. Kore, Endonezya, Rusya, Polonya, Kazakistan, Türkiye, Avustralya olarak sıralanmaktadır. Küresel kömür tüketiminin en fazla olduğu ülkeler ve tüketim miktarları tablo 1.10 ve şekil 1.13’te verilmiştir.

Tablo 1.10. Kömür Tüketiminde Önemli Ülkeler ve Üretim Miktarlar (Milyon ton)

Ülke/Yıl	2019
Çin	3.826
Hindistan	948
ABD	546
Güney Afrika	192
Japonya	187
G. Kore	132
Endonezya	136
Rusya	225
Polonya	113
Kazakistan	91
Türkiye	121
Avustralya	101
Diğer	790
TOPLAM	7,408,00

Kaynak: TKİ 2020’den faydalanılarak tarafımca hazırlanmıştır.



Şekil 1.13. Dünya Kömür Tüketimi (Milyon ton)

Kaynak: TKİ (2020)’den faydalanılarak hazırlanmıştır.

Kömür tüketimin dünya genelinde 2014 yılından beri göstermiş olduğu düşüş eğilimi 2020 yılı itibari ile de devam etmiştir. “*Küresel çapta 2016 yılı itibari ile kömür tüketimi %3,9 oranında düşüş göstermiştir*” (TKİ, 2018: 6-14). Kömür tüketimindeki düşüş eğiliminin nedenleri arasında aslında çokta ekonomik bir kaynak olmayışı ve çevreye vermiş olduğu zararın insanlar tarafından deneyimlenerek öğrenilmiş olması gelmektedir. “*Gelecek yıllarda bu düşüşün süreceği tahmin edilirken global kömür tüketiminde %1,16 oranında artış olabileceği öngörülmüş olup, buna bağlı olarak 2040 yıllarında kömür tüketiminin 220 katrilyon BTU olacağı yönünde tahminlerde bulunulmuştur. Bu değerlere bağlı olarak gelişmiş ülkelerde kömür tüketiminde artışın olmayacağı aksi yönde bir azalma görüleceği düşünülmürken gelişmekte ve az gelişmiş ülkelerde enerji ihtiyacını karşılama gereksinimlerinden dolayı tüketim oranlarının artacağı öngörülmektedir*” (TKİ, 2018: 6-19).

Türkiye Anadolu levhası üzerinde yer olan bir ülkedir. Dünya üzerindeki diğer levhalara nazaran genç ve hareketli yapıya sahip bu levha üzerinde çok eski masif arazilerde bulunmaktadır. Masif araziler üzerinde taş kömürü rezervlerine rastlamak mümkünken diğer alanlarda linyit, asfaltit gibi alt bitümlü kömür rezervleri bulunabilir

(DPT, 2001: 8). Ülkemizin sahip olduğu yaşlı kömür havzaları harita 1.2’de gösterilmiştir.



Harita 1.2. Türkiye Yaşlı Kömür Havzaları

Kaynak: MTA (2022). (<https://www.mta.gov.tr/v3/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/7.jpg>).

Ülkemizde 2021 yılının verilerine göre enerji ihtiyacının %30,09’lük bölümü kömürden karşılanmaktadır (TSKB, 2022). Öyle ki enerji ihtiyacımızın 1/5’ten fazlası kömürden karşılanmaktadır. Ülkemizde 2020 yılı itibarı ile 109,327milyon ton taş kömürü, 6.295.782 ton linyit ve 357 bin 917 ton taş kömürü koku üretimi gerçekleşmiştir. Ayrıca 3.771.968 ton taş kömürü-lyinit, 23,682 ton taş kömürü koku ithalatı yapılmıştır (TÜİK, 2022).

“Türkiye’de termik santrallerde elektrik üretimi için maden kömürü, linyit, fueloil, motorin, doğalgaz, sıvılaştırılmış gaz (LNG), nafta gibi fosil yakıtlar ve türevleri ile jeotermal kaynaklar ve atıklar kullanılmaktadır” (Avcı, 2005: 9). Ülkemizde termik santrallerin çoğunluğunda enerji kaynağı olarak doğalgaz ve linyit kullanılmaktadır. Ülkemizde kurulmuş olan tesislerin bir kısmı (kömür, linyit, jeotermal) enerji kaynağına yakın alanlarda kurulmuşken bir kısmı ise (doğalgaz ve fuel oil) tüketim alanları

yakınlarına kurulmuşlardır (Avcı, 2005: 9). Ülkemizde kömür ve linyitin kullanıldığı termik santraller harita 1.3’de gösterilmiştir.



Harita 1.3. Türkiye Kömüre Dayalı Termik Santraller Haritası

Kaynak: coğrafyaharita (2021). (www.coğrafyaharita.com'dan alınmıştır).

Gelişmekte olan diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de enerji ihtiyacı oldukça fazladır. Ülkemizde enerjinin birincil kaynaklardan üretiliyor olması ve bu kaynaklar bakımından yetersiz olması maalesef ki ülkemizi enerjide bağımlı hale getirmiştir. Mevcut kaynaklarının yetersiz olmasından dolayı enerji kaynaklarını ithal etmektedir. 2022 Ocak ayı itibari ile ülkemizde 101,632 ton taş kömürü, 6.661.693 ton linyit, 383, 129 ton taş kömürü koku üretilmişken 2.959.786 ton taş kömürü, 122,428 ton taş kömürü koku ithal edilmiştir (TÜİK, 2022).

Ülkemizde üretimi gerçekleştirilen linyitlerin kalitelerinde farklılık görülmektedir. Bu farklılık çıkarıldıkları havzaların dışında aynı havzada çıkarılan linyitlerde bile görülebilmektedir (Avcı, 2005: 11). Linyitlerin farklı kalori değerleri göstermesi nedeniyle kimisi konut ısıtılmasında kimisi ise termik santrallerde kullanılmaktadır (Doğanay ve Coşkun, 2017: 18). Ülkemizdeki linyit sahaları harita 1.4’de gösterilmiştir.



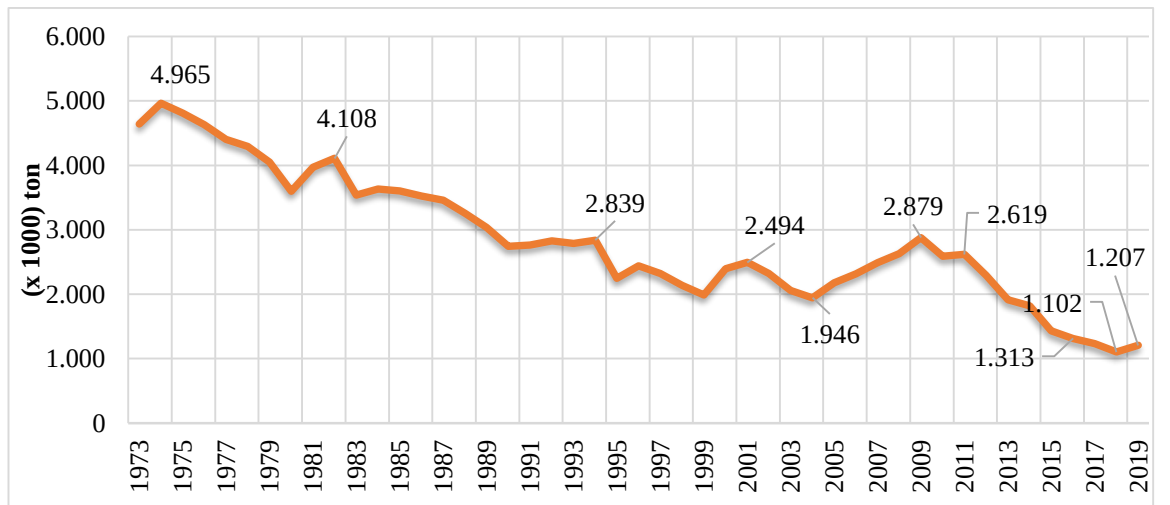
Harita 1.4. Türkiye Linyit Sahaları Rezerv Haritası

Kaynak: MTA (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/5.jpg> Erişim Tarihi: 08 Mayıs 2022).

Tablo 1.11. 2022 Yılı Kömür Üretim ve Teslimat Miktarları (Ton)

		Aralık 2021	Ocak		Bir önceki aya göre değişim (%)	Bir önceki yılın aynı ayına göre değişim (%)
			2021	2022		
Taşkömürü	Satılabilir Üretim	123333	96029	101632	-17,5	5,8
	İthalat	3171041	3434294	2959786	-6,7	-13,8
	İhracat	35574	19786	7485	-79,0	-62,2
	Teslimatlar	3625023	359461	3349196	-7,6	-6,9
	Stok değişimi	363263	81300	293508		
Linyit	Satılabilir Üretim	6296064	5490182	6661693	5,8	21,3
	İthalat	0	0	0		
	İhracat	15940	968	961	-94,0	-0,7
	Teslimatlar	6971486	5473999	6661376	-4,4	21,7
	Stok değişimi	675420	-16183	-317		
Taşkömürü Koku	Satılabilir Üretim	409244	388378	383129	-6,4	-1,4
	İthalat	88986	47785	122428	37,6	156,2
	İhracat	6771	158	11779	74,0	7354,8
	Teslimatlar	482179	505099	499564	3,6	-1,1
	Stok değişimi	-7682	69084	-5720		

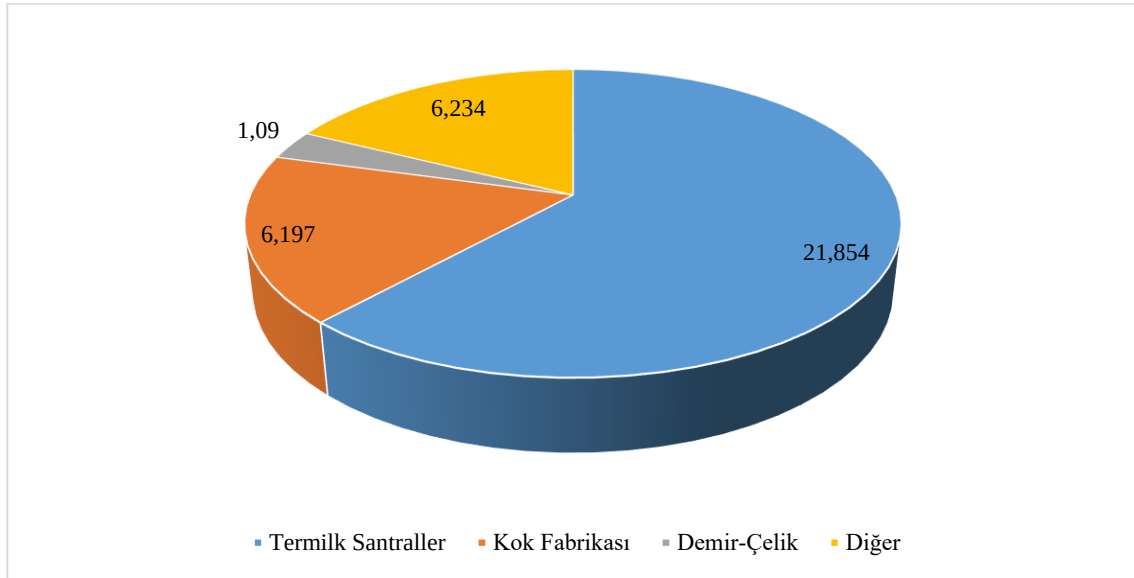
Kaynak: TÜİK (2022)'den faydalanılarak hazırlanmıştır.

**Şekil 1.14. Türkiye Taşkömürü Üretim Miktarları**

Kaynak: TKİK (2022).

Şekil 1.14 incelendiğinde Türkiye’de kömür üretimi 1973’ten günümüze kararsızlık gösterse de üretim miktarı giderek azalma eğilimindedir. Türkiye’de 2022 itibarı ile tüketilen kömürün 101.632 tonu yerli taşkömürü, 2.959.786 tonu ithal kömür, 6.661.693 tonu linyit ve 122.428 ton ithal ve 323.129 taş kömürü koku olmak kömür üretimi gerçekleşmiştir. Linyit üretiminin satılabilir durumu 2022 yılının ocak ayında 2019 yılının son ayına göre %5,8, bir önceki yılın aynı ayına göre %21,3 oranında artış göstermiştir. Aynı zamanda taş kömürü satılabilir üretimi %17,5 azalırken 2019 yılının aynı ayına nazaran %5,8 oranında artmıştır. Taş kömürü koku satılabilir üretimi önceki aya nazaran %6,4 bir önceki yılın ocak ayına göre de %1,4 oranında azalmıştır. Taş kömürü ithalatı 2020 yılı ocak ayında 2019 yılının ocak ayna göre %13,8 azalmıştır. Taş kömürü koku dış alımı ocak ayında bir önceki yılın aralık ayına göre %37,6 geride kalan yılın ocak ayı aya göre ise %156,2 oranında artış göstermiştir (TÜİK, 2022).

Ülkemizde kullanım alanlarına göre yerli ve yurt dışından satın alınan taş kömürü tüketim miktarları verilmiştir. “*Türkiye’de kömür 2020 yılı itibarı ile ülkemizde en fazla Termik Santrallerde tüketilmiştir*” (TKİK, 2020 Yılı Taş Kömürü Sektör Raporu, 2021). Ülkemizde kullanım alanlarına göre yerli ve ithal taş kömürü tüketimi şekil 1.15’de gösterilmiştir.



Şekil 1.15 . Kullanım Yerlerine Göre Ülkemizde Yerli ve İthal Taş Kömür Tüketimi

Kaynak: TKİK (2021) 2020 Yılı Taş Kömürü Sektöre Raporu’ndan faydalanılarak hazırlanmıştır.

2022 yılında katı yakıtların teslimat yerleri incelendiğinde 2022 yılı ocak ayı itibarı ile elde edilen verilere göre ülkemizde taş kömürü tediyesinin %65,4'ü termik santrallere, %13,4'lük miktarı kok tesislerine, %9,5'lik miktarı ise demir-çelik dışındaki sanayi kuruluşlarına yapılmıştır. Linyit teslimatında ise %83,1'i termik santrallere, %9,0'ı demir-çelik dışındaki sanayiye yapılmıştır. Taş kömürü kokunda en fazla tediye %90,5 ile demir-çelik sanayisine yapılmıştır. Ülkemizde katı yakıtların 2021 ve 2022 yıllarında teslimat yerlerine göre dağıtımları 1.12 de gösterilmiştir.

Tablo 1.12. Katı Yakıtların Teslimat Yerlerine Göre Dağılımı (Ocak 2022)

		Aralık	Ocak		Bir önceki aya göre değişim (%)	Bir önceki yılın aynı ayına göre değişim (%)
Katı Yakıtlar	Teslimat Yerleri	2021	2021	2022		
Taşkömürü	Toplam	3625023	3596461	3349196	-7,6	-6,9
	Termik Santraller	2147980	1961886	2189209	1,0	11,6
	Kok Tesisleri	538206	525668	447998	-16,8	-14,8
	Demir -Çelik Sanayi	98918	106559	123585	24,9	16,0
	Sanayi	407834	504353	319072	-21,8	-36,7
	Diğer	412085	497995	269332	-34,6	-45,9
Linyit	Toplam	69741486	5473999	6661376	-4,4	21,7
	Termik Santraller	5572789	4490701	5532283	-0,7	23,2
	Sanayi	883972	562506	599099	-32,2	6,5
	Diğer	514725	420792	529894	2,9	25,9
Taşkömürü Koku	Toplam	482179	505099	499564	3,6	-1,1
	Demir -Çelik Sanayi	459601	494191	451871	-1,7	-6,8
	Sanayi	0	0	0	-	-
	Diğer	0	0	0	-	-

Kaynak: TÜİK (2022)'den faydalanılarak hazırlanmıştır.

Ülkemiz ilk olarak kömür ithalatına 1980 yılı itibari kok kömürü ithal ederek başlamış daha sonraki yıllarda ihracat miktarları sürekli artış göstermiş 2020 yılında bu rakamlar yirmi milyon tonu geçmiştir (EIGM, 2018). Yıllar itibari ile ithal edilen miktar arttıkça ülke ekonomisinden ithalata ayrılan miktarda artmıştır (TÜİK, 2017). 2017 yılı sonunda kömür ithalatına 4,13 milyar dolar ödenmiştir (TÜİK, 2018). Yıllara göre ithal edilen kömür miktarı ile ithalat maliyetleri şekil 1.16’da verilmiştir.



Şekil 1.16. Yıllar İtibariyle Kömür İthalatı, İthalata Ödenen Döviz ve Ortalama İthalat Maliyetleri

Kaynak: TKİK (2017: 28)’den faydalanılarak hazırlanmıştır.

1.3.3. Doğalgaz

“Uzun yıllar öncesinde yaşamış organizma kalıntılarının yer kabuğunun derinliklerine gömülerek başkalaşım göstermesi sonrasında meydana gelmiş renksiz, kokusuz ve çevresel etkileri diğer fosil kaynaklara göre daha az olan bir kaynaktır. Çevre dostu sayılabilecek özelliklere sahip olan bu kaynak son yıllarda konutların ısıtılması ve endüstriyel aktiviteler için önemli bir kaynak teşkil etmektedir” (Sarıbaş, 2015: 21-32).

Konutların ısıtılmasında kullanılmasının yanı sıra sanayide de çeşitli üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için oldukça önemli bir kaynaktır. Doğalgazın diğer fosil kaynaklara nazaran çevre dostu oluşu ve diğer birincil kaynaklara göre yüksek enerji verimine sahip olması gün geçtikçe hem önemini arttırmıştır hem de daha yaygın

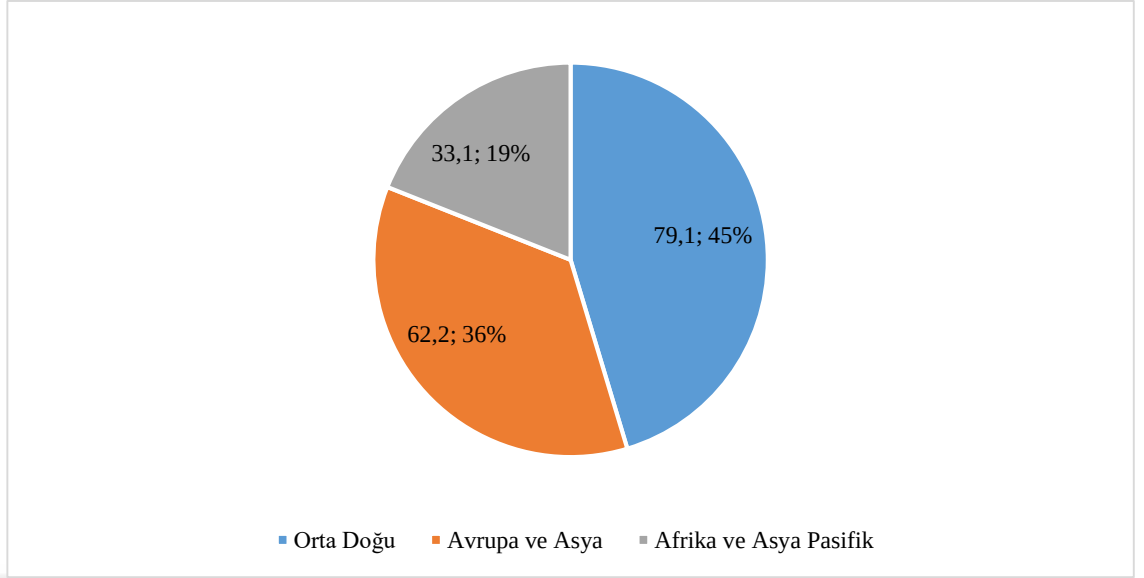
kullanılmasına sebep olmuştur. Bu durum doğalgaza stratejik önem kazandırmıştır. Dünya doğalgaz rezervlerinin dağılışı harita 1.5’te gösterilmiştir.



Harita 1.5. Dünya Doğalgaz Rezerv Dağılımı

Kaynak: Oilprice (2019), (<https://oilprice.com/Energy/Natural-Gas/This-Is-Just-The-Beginning-Of-Europes-Gas-War.html>).

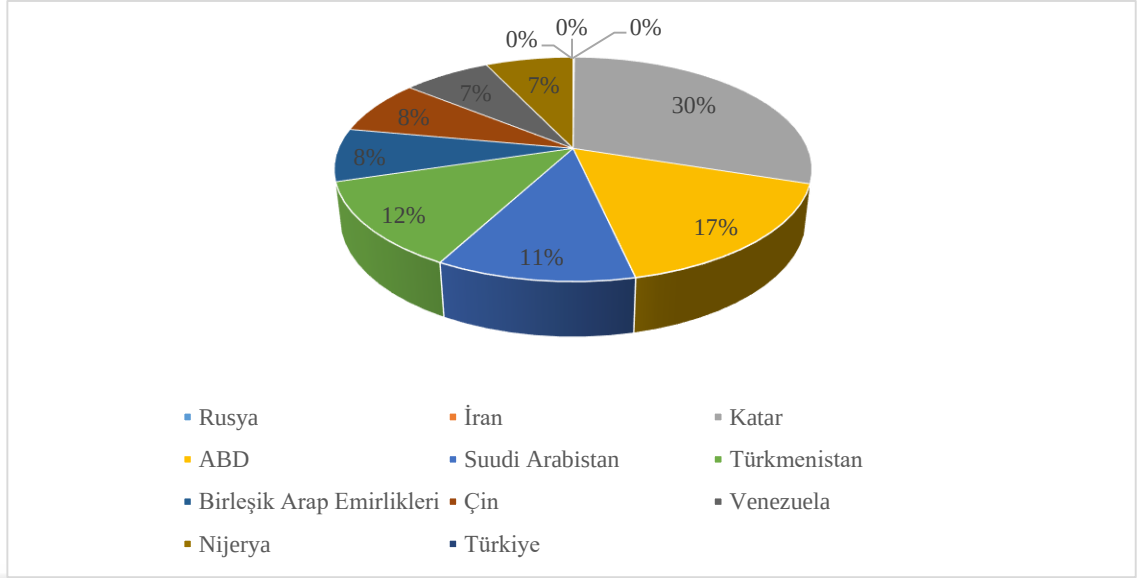
Dünya genelinde doğalgaz rezervlerinin kıtasal dağılışılarına bakıldığında Ortadoğu ülkeleri %45, Avrupa/Asya ülkeleri %36, Afrika ve Asya Pasifik ülkeleri %19'luk doğalgaz rezervine sahiptir. Doğalgaz rezervlerinin kıtasal dağılışı şekil 1.17’de gösterilmiştir.



Şekil 1.17. 2020 Dünya Doğalgaz Rezervlerinin Kıtasal Dağılışı

Kaynak: BOTAŞ (2020).

“8 Ağustos 2020’de yenilenen bilgiler doğrultusunda, küresel doğalgaz rezervleri 203,14 trilyon metreküptür” (EİA, 2021). Toplam rezervlerin ülkelere göre dağılımı incelendiğinde dünyada en çok doğalgaz rezervine sahip ülke Rusya (1,688 t m³)’dır. Rusya’dan sonra ikinci en büyük rezerve 1,197 t m³ ile İran sahiptir. En büyük rezerve sahip ülkeler incelendiğinde Rusya ve İran’dan sonra sırasıyla Katar, ABD, S.Arabistan, Türkmenistan, Birleşik Arap Emirlikleri (BEA), Çin ve Venezüella gelmektedir. Ülkemizin 2020 yılı itibari ile kayıt dışı olanlar haricindeki doğalgaz rezervi ise 0,1 t m³ olarak tespit edilmiştir. Doğalgaz rezervine sahip ilk on ülke tablo 1.18.’de gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Ükelere Göre Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervleri (2020)

Kaynak: EİA, (2021).

Fosil yakıtlar arasında çevreye daha az zarar veren hafif ve birçok gaz molekülünü içerisinde bulunduran (metan, propan ve etan) doğalgaz, ilk kez 1970’li yıllarda İngiltere’de kullanılmaya başlamış ve 1920’li yıllarda boru hatları aracılığı ile taşınabilirliği anlaşıncı 2. Dünya Savaşı sonrası yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda ki enerji ihtiyacı göz önüne alındığında bu ihtiyacın %22,8’i bu kaynaktan karşılanmaktadır (İnat, 2021).

Tablo 1.13’de de görüldüğü üzere doğalgaz tüketimi hızlı bir şekilde artmıştır. 2015 tarihinde 3.478,20 milyar metreküp olan dünya doğalgaz tüketimi aradan geçen beş yılda 3.822,80 milyar metreküpe yükselmiştir. Artan dünya nüfusu ve ülke ekonomilerindeki gelişmeler doğalgaz tüketiminin artışının süreceğini ve enerji kaynakları içerisindeki öneminin de artacağını göstermektedir (TPAO, 2018: 17-24). UEA tarafından yapılan analizler ve öngörüler 2023 yılına kadar geçecek olan sürede her yıl bu kaynağa olan ihtiyacın %1,6 oranında artış göstereceği yönündedir. Orta Doğu ile Asya Pasifik kuşağında yer alan ekonomik gelişme ve büyüme gösteren ülkelerde bu oran daha fazla artacaktır (TPAO, 2018: 21-35.). Doğalgaz, çevreye daha az zarar vermesinden dolayı elektrik üretiminde de oldukça fazla tercih edilen bir kaynak olmuştur. Doğalgaz tüketimi 2020 yılında toplam 3.822,80 milyar metreküp olmuştur. Kıtalar bazında toplam tüketim incelendiğinde ise ilk olarak Amerika daha sonra Avrupa ve Asya gelmektedir (TPAO, 2020).

Küresel doğalgaz tüketiminin 2015 ve 2020 yılları verileri incelendiğinde 2015 yılı itibari ile 3.478,20 milyar m³ iken 2020 yılında bu rakam artış göstererek 3.822,80 milyar m³ olmuştur. Ükelere göre küresel doğalgaz tüketiminin 2015 ve 2020 yılı karşılaştırmaları ve miktarları tablo 1.13’de gösterilmiştir.

Tablo 1.13. Dünya Doğalgaz Tüketimi Dağılımı

Ülke	2015 Yılı Tüketimi	2020 Yılı Tüketimi
ABD	743,6	832
Rusya	408,7	411,4
İran	184	233,1
Çin	194,7	330,6
Japonya	118,7	104,4
Kanada	110,5	112,6
S. Arabistan	99,2	112,1
İngiltere	72	72,5
Almanya	77	86,5
İtalya	64,3	67,7
Meksika	80,8	86,3
BAE	71,5	69,6
Hindistan	47,8	59,6
Ukrayna	32	29,3
Diğer	1.173,50	1.215,10
Toplam	3.478,20	3.822,80

Kaynak: Petform.org (2020), <https://www.petform.org.tr/dogal-gaz-piyasasi/dunya-dogalgaz-piyasasi/> yararlanılarak hazırlanmıştır.

Küresel doğalgaz üretimi yıllara göre dalgalanmalar göstermiştir. Dünya genelinde doğalgaz üretimi 2018 yılında 3855,0 milyar m³ iken 2019 yılında üretim artmış ve 3964,4 milyar m³ olmuştur. 2020 yılında ise üretim miktarlarında tekrar düşüş gerçekleşmiş ve 3853,7 milyar m³ olarak gerçekleşmiştir. Küresel doğalgaz üretiminin bölgelere göre dağılışı tablo 1.14’de gösterilmiştir.

Tablo 1.14. Dünya Doğalgaz Üretim Değerleri (Trilyon metreküp)

Bölgeler	2018	2019	2020
Asya Pasifik	627	658	652
Afrika	244	231	231
Orta Doğu	663	678	687
Avrupa ve Avrasya	1092	1094	1360
Orta ve Güney Amerika	176	172	153
Kuzey Amerika	1053	1130	1110
Toplam	3855,0	3964,4	3853,7

Kaynak: TPAO (2020)'dan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Küresel doğalgaz üretimi 2000 yılından 2019 yılına kadarlık on dokuz yıllık süreç içerisinde artış göstermiştir. Bu artış doğalgaz rezervlerinin azalmasına neden olmakla birlikte ulusların yeni rezerv arayışları ile birlikte kayıt dışı yeni rezervler tespit edilmiştir. Ancak rezervlerin talebi karşılayamaması, ulusların kaynağı siyasi bir araç olarak kullanıyor olması son yıllarda üretimin düşmesine neden olmuştur. 2020 yılı verileri incelendiğinde bir önceki yıla göre üretimde 2,2 trilyon m³ azalma olduğu görülmektedir. Küresel doğalgaz rezervlerinin 2000 yılı ile 2020 arası miktarları tablo 1.15'de gösterilmiştir.

Tablo 1.14. Dünya Doğalgaz Rezervleri (Trilyon metreküp)

Ülke/Yıl	2000 Yılı Rezervleri	2010 Yılı Rezervleri	2019 Yılı Rezervleri	2020 Yılı Rezervleri
Rusya	33,2	34,1	37,6	37,4
İran	25,4	32,3	32,1	32,1
Katar	14,9	25,9	24,7	24,7
Türkmenistan	1,8	13,6	13,6	13,6
ABD	4,8	8,3	12,6	12,6
S. Arabistan	6	7,5	6	6
BAE	5,8	5,9	5,9	5,9
Venezuela	4,6	6,1	6,3	6,3
Nijerya	3,9	4,9	5,5	5,5
Cezayir	4,4	4,3	4,3	2,3

Tablo 1.15. (Devamı)

Avustralya	1,7	2,9	2,4	2,4
Irak	3	3	3,5	3,5
Çin	1,4	2,7	8,4	8,4
Endonezya	2,7	3	1,4	1,3
Norveç	1,2	2	1,5	1,4
Diğer	23,2	23,4	24,5	24,7
Toplam	138	179,9	190,3	188,1

Kaynak: Petform.org (2020) <https://www.petform.org.tr/dogal-gaz-piyasasi/dunya-dogalgaz-piyasasi/>’den yararlanılarak hazırlanmıştır.

OECD ülkeleri arasındaki üretim artışının 1991 ile 2020 yılları arasında %19 olarak gerçekleşeceği düşünülmektedir. Hali hazırda Asya Pasifik ülkeleri içerisinde özellikle gelişmiş ve halen gelişme aşamasında olan ülkeler ile Japonya ve Kore gibi ekonomilerin varlığı doğalgaza bağlı olan talebin ve üretimin bu gibi ülkelerde artacağı tahmin edilmektedir. Bu durum sadece belirtilen ülkeler için değil Avrupa ve K. Amerika ülkeleri için de aynı olup, üretim ve tüketimin gelecekte artacağını rakamsal olarak ortaya koymaktadır (TPAO, 2018: 23-32).

Doğalgaz kaynağına olan ihtiyacın ve önemin gün geçtikçe artacağı düşünülmektedir. Bu nedenle doğalgaz rezervlerine sahip bölgelerin hem siyasi hem de askeri öneme sahip olduğu öngörülebilir. Her geçen gün yeni doğalgaz rezervleri bulunurken bunların bir kısmının politik açıdan istikrarlı ve ekonomik olarak iyi durumda olmayan bölgelerde olması gelecekte siyasi ve askeri birçok sorunun yaşanmasına neden olacaktır.

Birincil enerji kaynakları içerisinde çevreyi daha az kirleten doğalgaz son yüzyılda enerji üretiminde en önemli kaynak durumundadır. Küresel açıdan önemli olduğu kadar ülkemizde de enerji üretiminde önemli yere sahiptir. Ülkemizde doğalgaz tespit çalışmalarından sonra ilk üretim 1976 yılı itibarı ile Hamitabat (Trakya)’da gerçekleşmiş ve üretilen yer gazı sanayide kullanılmaya başlanmıştır (Şahin, 2007). Ülkemizdeki mevcut rezervinden elde edilen üretim miktarı ihtiyacı karşılayamadığından yaygınlaşmamıştır. Üretimin mevcut talebi karşılayamaması sonrası 1987 yılında Rusya’dan ilk yer gazı ithalatı başlamıştır. Her yıl tüketilen miktar giderek artmış ve ülkemiz için en önemli enerji kaynağı olmuştur (TPAO, 2013). Doğalgaza olan

ihtiyacının %1,5'ünü sınırları içerisindeki kaynaklardan karşılayan ülkemiz ihtiyacının büyük bölümünü ithal etmektedir. Tamamıyla dışsal alımla ihtiyacının karşılandığı doğalgaz Türkiye fosil kaynakları tüketiminde %23,56 ile ilk sırada yer alır. Ülkemizin 2020 yılı yer gazı rezervi 3.004.121.349 m³ olarak tespit edilmiştir. 2020 yılı sonlarına doğru ülkemizde özellikle Karadenizde yapılan yer gazı aramaları sonrasında Tuna I kuyusunda 405 milyar m³ yer gazı rezervi tespit edilmiştir. Aramalara devam edilirken 2021 yılında Amasra I'den 135 milyar m³ rezerve sahip yer gazı bulunduğu duyurulmuş fakat 2020 yılı sonrası tespit edilen bu rezervler uluslararası raporlarda bildirilmemiştir (Enerjiatlası, 2022). Ülkemizde tüketilmekte olan doğalgazın 2020 yılı itibari ile sektörlere dağılımı incelendiğinde ilk sırada konutların ısıtılması (%32,8), ikinci sırada elektrik üretimi (%28,5) ve üçüncü sırada ise sanayi sektörü (%26,6) gelmektedir (EPDK, 2021).

Ülkemiz petrolde olduğu gibi doğalgaz rezerv bakımından da fakirdir. 2020 yılı itibari ile ülkemizin yerli doğalgaz üretimi 441,27 milyon Sm³ olarak gerçekleşmiştir. Üretilen yerli doğalgaz miktarı talebi karşılamadığından dolayı aynı yıl içerisinde 48.125,51 milyon Sm³ doğalgaz ithal edilmiştir. Böylelikle ülkemiz 2020 yılı itibari ile toplam 48.838,87 milyon Sm³ olan doğalgaz talebinin 48.566,78 Sm³ miktarını ithal ve yerli üretimden karşılamıştır. 2020 yılı itibari ile ülkemizin doğalgaz üretim ithal ve ihracat miktarları tablo 1.16' de gösterilmiştir.

Tablo 1.15. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Doğalgaz Piyasası Genel Görünümü (Milyon Sm³)

Üretim	İthalat	Yurtiçi Satış (Tüketim)	İhracat	TOPLAM ARZ (Üretim + İthalat)	TOPLAM TALEP (Yurtiçi Satışlar + İhracat)
441,27	48.125,51	48.261,35	577,52	48.566,78	48.838,87

Kaynak: EPDK (2021: 5).

Türkiye'nin 2020 yılında yerli yer gazı üretimi ile tüketiminin birbirlerine oranı %0,91 seviyede gerçekleşmiştir. Buna göre 2016'da 367,28 Sm³ kadar çıkan yer gazı üretimi, 2020 yılında, 441,27 Sm³'e olmuştur. Üretim miktarı 2016 ile 2020 yılları arasında %-6,88 oranında değişim göstermiştir. Ülkemizin petrol ithalatında dışa bağımlılığı %94,6 iken doğalgazdaki dış alıma bağımlılığı %99,1'dir (EPDK, Doğalgaz Piyasası 2020 Sektör Raporu, 2021). Son yıllarda yeni doğalgaz rezervlerinin

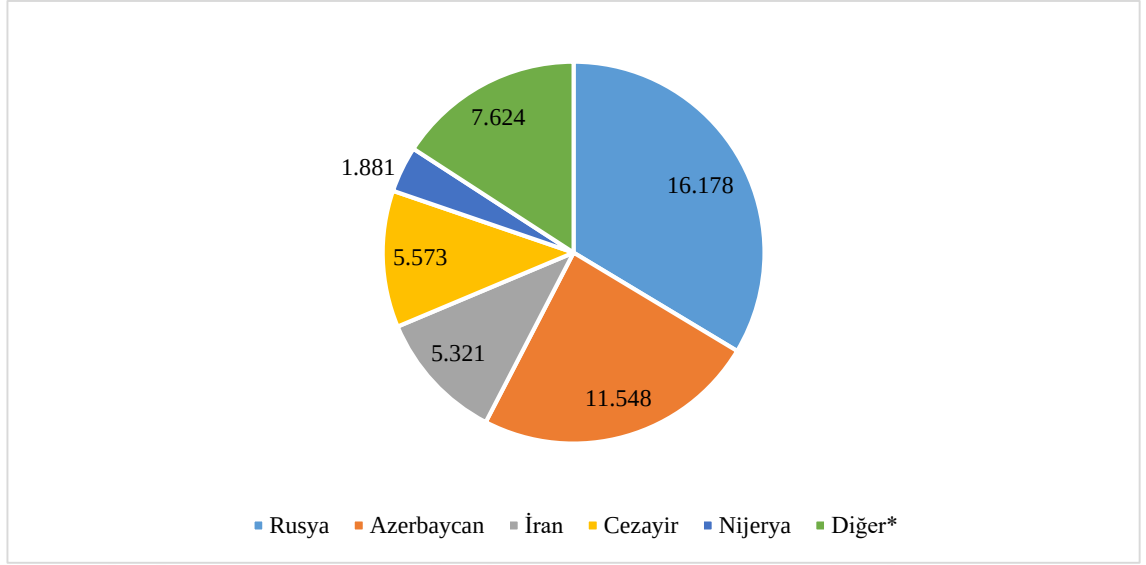
bulunduğuna yönelik açıklamalar yapılmasına rağmen maalesef ki henüz sondaj çalışmalarına başlanmamış ve üretim faaliyetleri gerçekleşmemiştir. Ülkemizin mevcut doğalgaz rezervlerinden üretimleri incelendiğinden en fazla üretim Tekirdağ'da (163,876 milyon Sm³) gerçekleşmiştir. Tekirdağ'dan sonra sırasıyla İstanbul (163,811 milyon Sm³), Kırklareli (94,411 milyon Sm³), Çanakkale (9,830 milyon Sm³), Düzce (7,410 milyon Sm³), Edirne (1,654 milyon Sm³), Adıyaman (0,244 milyon Sm³) gelmektedir. Tablo 1.17'de ülkemize ait doğalgaz üretiminin yapıldığı illere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 1.16. Türkiye Doğalgaz Üretiminin İllere Göre Dağılımı

İller	Miktar (milyon Sm ³)
İstanbul	163,811
Tekirdağ	163,876
Kırklareli	94,441
Çanakkale	9,830
Düzce	7,410
Edirne	1,654
Adıyaman	0,244
Genel Toplam	441,266

Kaynak: EPDK (2021). Doğalgaz Piyasası 2020 Sektör Raporu'ndan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Yapılan etüt çalışmaları neticesinde yakın geçmişte yeni doğalgaz rezervleri bulunduğuna yönelik açıklamalar yapılmasına rağmen henüz sondaj ve üretim çalışmalarına başlanmamıştır. Bu nedenle ülkemizin doğalgaz kaynağı bakımından dışa bağımlılığı devam etmektedir. Şekil 1.19'da ülkemizin 2020 yılı itibari ile en çok doğalgaz ithal ettiği ülkeler gösterilmiştir.



Şekil 1.19. 2017 Yılı Türkiye'nin İthal Ettiği Doğalgazın Kaynak Ülkelere Göre Dağılımı

Kaynak: EPDK (2021)'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Şekil 1.19'da görüldüğü gibi ülkemiz 2020 yılı sonu itibari ile enerjiye kaynak teşkil eden doğalgazı en fazla 16.178 Sm³ ile Rusya'dan, 11.548 Sm³ ile Azerbaycan'dan, 5.573 Sm³ ile Cezayir'den ve 5.321 Sm³ ile İran'dan karşılamaktadır.

1970 yılı itibari ile enerji alanındaki avantajlar nedeni ile kullanımına başlanan tüketim oranlarının ve alanlarının giderek arttığı doğalgazın ülkemizin sahip olduğu potansiyelin yetersiz olması nedeni ile ithalatına zorunlu olarak başlanmıştır (EPDK, Doğalgaz Piyasası 2020 Sektör Raporu, 2021). Doğalgaz kaynağının bulunduğu konumdan ithalatı boru hatları, LNG (sıvılaştırılmış gaz) ve Spot gaz (CNG) olmak üzere üç farklı yoldan yapılmaktadır.

➤ **Boru hatları ile ithalat**

Karadeniz ile komşumuz olan Rusya doğalgaz rezervleri bakımından oldukça zengindir. Rusya, Avrupa'nın en büyük gaz tedarikçisidir. Bu payı her geçen gün artmaktadır (Akdemir ve Kuşcu,2012: 102). 1986 yılından ilk olarak yıllık 6 milyar m³ miktarında ilk doğalgaz boru hattı ithalatı Rusya ile imzalanan antlaşma ile yürürlüğe girmiştir. Ancak artan talebin karşılanabilmesi için Rusya'dan ek hat, İran ve Rusya'yla Mavi Akım Hattı üzerinden yer gazı ithalatı arttırılmıştır. 2001 yılında Azerbaycan ile imzalanan antlaşma ile 2007 yılı itibari ile ek ithalat gerçekleştirilmiş ve ülkemiz böylece Rusya, İran ve Azerbaycan üzerinden gelen boru hatları ile doğalgaz ithalatını

gerçekleştirilmiştir. Ülkemizin uzun vadede gaz ithalatı yaptığı ülkeler tablo 1.18’de gösterilmiştir.

Tablo 1.17. Uzun Dönemli Gaz İthalatının Ülkelere Göre Dağılımı (2020)

Ülkeler	İthalat Yüzdesi
Rusya	40,45
Azerbaycan	28,89
Cezayir	13,94
İran	13,31
Nijerya	3,40

Kaynak: EPDK (2021)'dan faydalanılarak hazırlanmıştır.

1.3.4. Kaya Gazi

Yeraltının derin ve geçirimsiz tortul kayaçların içerisinde birikmiş ve geleneksel yöntemlerin dışında daha farklı tekniklerle elde edilebilen doğalgaz kaynakları, “kaya gazı” olarak adlandırılmaktadır (Yalçın Erik vd., 2016). Kayalar içerisinde yer alan gaz miktarı, kayanın oluşumu sırasında içerisinde kalan organik madde miktarıyla paraleldir. Bu gazların oluşumu kömür, doğalgaz ve petrol hidrokarbonları ile benzerdir. Organik maddelerin milyonlarca yıl basınç ve sıcaklığa maruz kaldıktan sonra parçalanması ile oluşmaktadır. Ortaya çıkan hidrokarbonların bir kısmı yer değiştirirken bir kısmı ana kütlede kalır. Kaya (seyl) gazı olduğu ana tabakayı terk edememiş ve ana kütlenin gözenekleri arasında sıkışmış doğalgaz anlamına gelir (Ahışhalı, vd. 2013). Kaya gazının ilk tespiti 1821’de Amerika Birleşik Devletleri’nde gerçekleştirilmiş, ancak dönemin teknolojisi yeryüzüne çıkarılıp kullanılmasını engellemiştir. Düşük geçirimli tabakalarda bulunan gazın serbest hale getirilmesi için uygun olan yatay sondaj teknikleri üzerine yapılan çalışmalar, ilk kez Amerikalı mühendisler tarafından 1930’larda yapılmıştır. Bu yöntemin ilk kez kullanımı 1940’lı yıllardan sonra gerçekleşmiştir. Fakat o yıllarda, konvansiyonel kaynakların üretim maliyetleri bu tür sondaj tekniklerine göre daha uygun olmasından dolayı, kaya gazı üretimine devam edilmemiştir (Stevens, 2012).

“Yaklaşık 350 milyon yıl öncesinde oluşan ince-taneli klastik çökelti kaya formasyonları olan şeyl tabakaları, yüksek oranda hidrokarbon içerebilmektedir. Genelde 1.500 ila 5.000 metre derinlikte yer alan şeyl tabakalarına kadar dikey kuyularla

inildikten sonra tabaka içine yatay olarak 3.000 metreye kadar sondaj yapılmakta ve hidrolik basınçla çatlaklar oluşturulmaktadır. Kaya içinde hapsolmuş durumdaki doğalgaz, petrol ve diğer hidrokarbonlar, bu çatlaklardan sızarak sondaj borusuna alınmakta ve yüzeye çıkartılmaktadır” (Elmastaş, 2015). Şeyl küçük boyutlu minerallerin yeraltında sıkışarak oluşturduğu diğer adı ile “çamur taşı” olarak adlandırılan kayalardır. Yeraltında ince ve kırılğan tabakalar halinde bulunurlar. Gazların bu kayalar içerisinde oluşması ortalama 200 yılı bulmaktadır (Karslı, 2015). Ancak yeraltında oluşmuş her çamur taşı tabakasında kaya gazı oluşmayabilir. Yerin derinliklerinde oluşmuş genellikle siyah renkli şeyl tabakalarında petrol ve kaya gazına rastlanabilir (Filoğlu, 2012). Dünya kaya gazı rezervleri incelendiğinde kaya gazı rezervi bakımından ilk sırada Çin gelmektedir. Bu rezervler enerji ihtiyacının büyük bölümünü kömür ve petrol gibi birincil kaynaklardan karşılayan Çin için büyük önem taşımaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017). Ülkelere göre kayagazı rezervleri (Tef) tablo 1.19’ da gösterilmiştir.

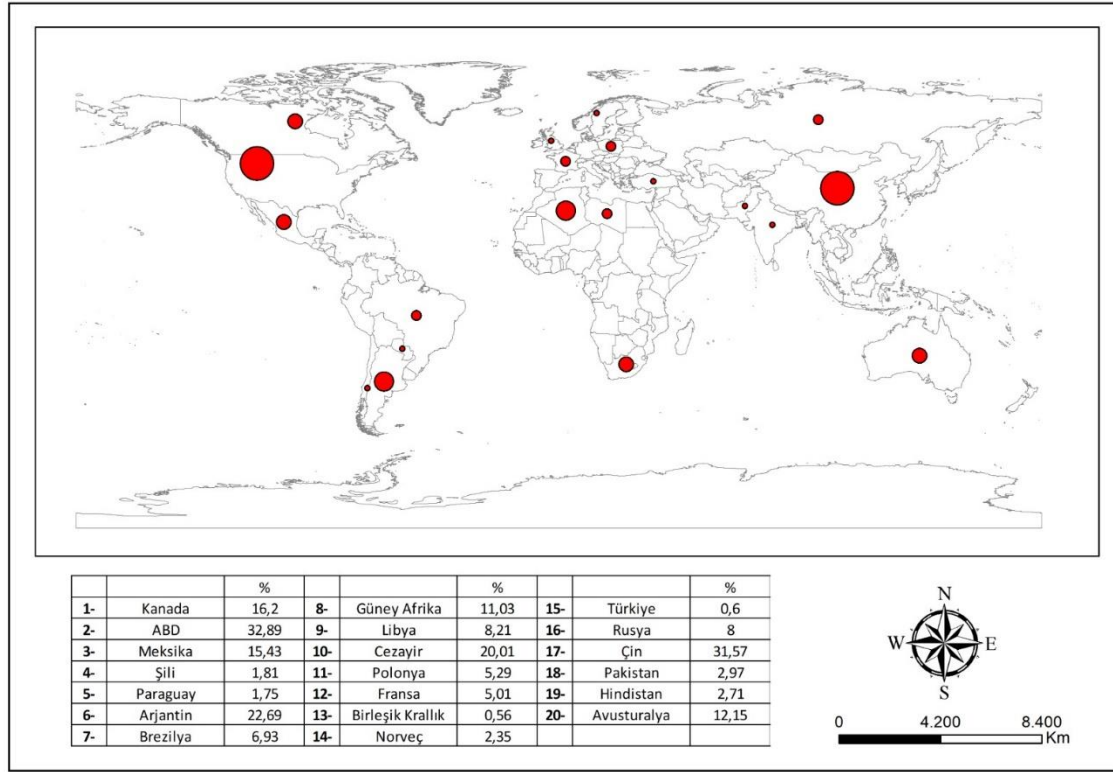
Tablo 1.18. Ülkelere Göre Kaya Gazı Rezervleri

Ülke	Kaya Gazı Rezervi (Tcf)
Çin	1275
ABD	862
Arjantin	774
Meksika	681
Güney Afrika	485
Avustralya	396
Kanada	388
Cezayir	226
Polonya	187
Fransa	180
Diğer	647

Kaynak: Dogalgaz.com (https://www.dogalgaz.com.tr/yayin/214/_6023.html#.Y6CvwnZBzIU Erişim Tarihi 21 Ocak 2022),

Tespit edilen rezervlere bakıldığında 187 trilyon metreküp olarak belirlenmiş dünya kaya gazı miktarının 163 trilyon metreküpü üretilebilir durumdadır. Şeyl gazı bakımından 36 trilyon metreküp rezerv ile Çin şeyl gazı potansiyeli açısından ilk sırada yer alırken ABD 24 trilyon metreküp ile dünyada en çok rezerve sahip ikinci ülke konumundadır

(İlbaş, 2017). Küresel doğalgaz rezervlerinin dağılışı ve küresel doğalgaz potansiyelinin ülkelere göre oranları harita 1.7’de gösterilmiştir.



Harita 1.7. Dünya Genelinde Kaya Gazı Potansiyeli

Kaynak: EİA (US Energy Information Administration),(<https://www.eia.gov/maps/maps.html>).

Kaya gazı rezervlerinin varlığı çok önceleri bilinmekteydi fakat sanayide kullanılması doğalgaz üretimindeki düşüş ile birlikte doğalgaz fiyatlarının artmasıyla yeniden gündeme gelmiştir. Üretimin azalması ve fiyatlardaki artışın yanı sıra özellikle petrol ve doğalgazın askeri, siyasi ve ekonomik olarak stratejik önem kazanması da kaya gazına yönelmek durumunda bırakmıştır. Türkiye büyük petrol ve doğalgaz yataklarına sahip ülkeleri ile komşu durumdadır. Ancak bu kaynaklar ülkemizde yeteri kadar bulunmamaktadır. Bu nedenle enerjide doğalgaza alternatif olarak belirtilen kaya gazı araştırmaları yapılmaktadır. Türkiye’de ilk olarak 2000’li yıllar itibari ile başlayan kaya gazı araştırmaları neticesinde özellikle Güneydoğu ve Trakya bölgelerinde yoğun bir kaya gazı potansiyeline rastlandığı bilinmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017). Ülkemizde kaya gazı rezervleri harita 1.8’de gösterilmektedir.



Harita 1.8. Türkiye Kaya Gazı Haritası

Kaynak : MTA (Erişim Tarihi:20 Aralık 2022).
(https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/bitumluseyl.jpg).

Ülkemizin kaya gazı potansiyelinin 500 milyar ile 1.8 trilyon m³ aralığında olabileceği yönünde tahminler öne sürülmektedir (Karşlı, 2015). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)'nın yaptığı araştırmalar sonucunda ülkemizde Trakya ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde kaya gazı rezervlerine rastlanmıştır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Dadaş, Kıradağ, Kaş ve Bedinan bölümlerinde kaya gazına rastlanırken Trakya havzasında ise Mezardere ve Hamitabat bölümlerinde değerli miktarda kaya gazı rezervlerinin bulunduğu tahmin edilmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 16). Ülkemiz enerji kaynakları bakımından büyük oranda dışa bağımlı durumdadır. Enerjiye bağımlılığın arttığı son yıllarda özellikle teknolojik gelişmelerde faydalanılarak ülkemizde kaynak arayışları devam etmektedir. Hidrokarbon arayışlarının sürdürüldüğü son yıllarda henüz daha etüt çalışmalarının tamamlanmadığı İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de kaya gazı ve sıkı kumtaşı gazı rezervlerinin olabileceği düşünülmektedir. Ülkemizde yapılan araştırmalar sonrasında Sivas ile Tuz Gölü

bölgelerinde kaya gazı rezervlerinin olabileceği öngörülmüştür (EİA, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Turkey, 2015).

1.3.5. Nükleer Enerji

“Nükleer enerjinin kullanımı yeni, teknolojik gelişimi çok hızlıdır. Bu enerjinin pek çok kullanım alanları vardır. Bunlardan en önemlisi elektrik üretimidir. Bundan başka, nükleer enerji tıpta, endüstride ve silah sanayiinde (kıtalar arası balistik füzeler gibi) önemli ölçüde kullanılmaktadır” (Temurçin vd., 2003: 27). *“Atom enerjisi ya da çekirdek enerjisi diye adlandırılan bu enerjinin kaynağı, uranyum ve toryum metalleridir. Bunların, atomlarının fizyon (İng. Fission) yani bölünmesi-parçalanması veya füzyonu (İng. Fusion), başka bir ifadeyle, birleştirilmesi sonucu açığa çıkan enerjiye, nükleer enerji denir”* (Doğanay, 2011: 368). Nükleer kaynaklardan elde edilen enerjinin yenilenebilir mi yoksa yenilenemez bir kaynak mı olduğu tartışılabilir fakat enerji üretiminde kullanılan nükleer kaynakların sınırlı olması bu enerji kaynağının yenilemeyen kaynaklar sınıfında yer alması gerektiğini göstermektedir. Nükleer enerji üretiminde kullanılan kaynaklar yüksek oranda kalori sağlamaktadır. Her ne kadar bilim adamları tarafından zararsız görülse de doğal çevre açısından tehlikeli ve zararlı olduğu da ifade edilmektedir. *“Ulusların askeri stratejileri içerisinde de büyük önem taşıyan nükleer santraller dünya nüfusu için tehdit unsuru olmakla birlikte üretiminde kullanılan madenlerin atıkları çevre içinde tehdit oluşturmakta ve zarar vermektedir”* (Doğan, 2011: 44).

“Atom parçalarının birbirleri ile çarpıştırılması esası ile nükleer enerji elde edilir. Atomlar birbirleri ile çarpıştırıldıklarında ortaya çıkan ısı enerjisi kinetik enerjiye, kinetik enerji de elektrik enerjisine dönüştürülür” (Türkiye Atom Enerji Kurumu, 2009). Dünya’da aktif durumdaki nükleer reaktör adedi 438, toplam nükleer gücün kurulu kapasitesi 372.006 GW’dır. Bu enerji üretim miktarı dünya elektrik üretiminin yaklaşık olarak %14’ü kadardır. Günümüzde ülkelerin bazıları çevreci örgütlerin tepkilerine rağmen nükleer santraller inşa etmektedir. Hala daha 57 nükleer reaktör kurulum aşamasındadır. Ülkelerin bazıları enerji üretimlerinin büyük bölümünü bu kaynaktan sağlamaktadır. Fransa bu ülkeler arasında verilebilecek en iyi örneklerdendir. Ülke enerji üretiminin %76.67’sini nükleer enerjiyle elde etmemektedir (Türkiye Atom Enerji Kurumu, 2010). Dünya genelinde nükleer enerjiden en fazla faydalanan ülkeler gelişmiş

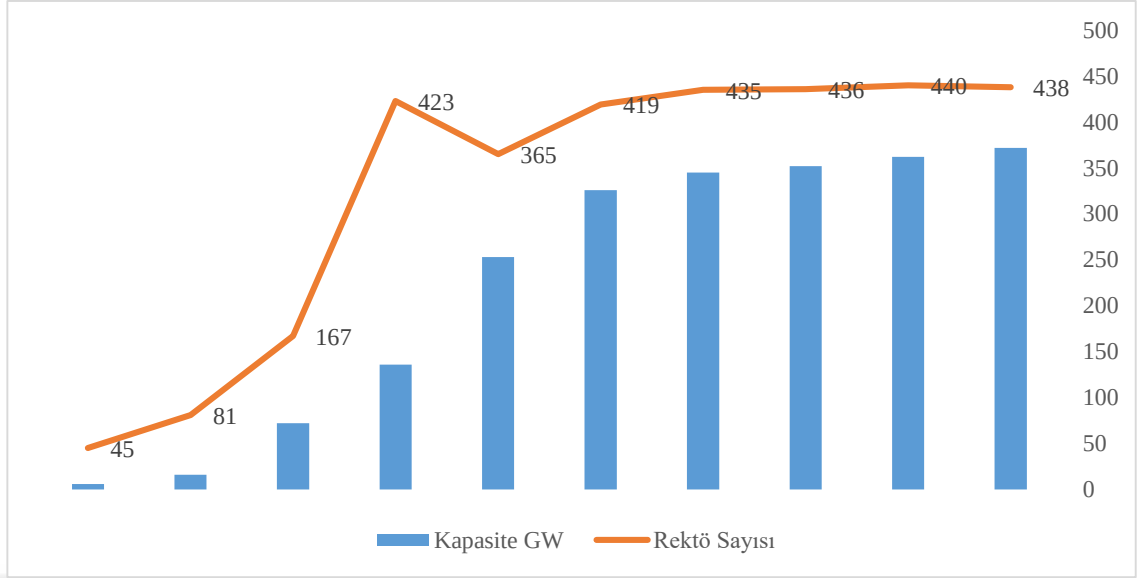
ülkelerdir bu ülkeler arasında en fazla reaktöre sahip olan ülke ise ABD'dir. Bu santrallerden elde edilen elektrik üretimi ülkenin toplam elektrik üretiminin %19'u nu karşılamaktadır. ABD dışında en fazla nükleer reaktöre sahip ülkeler tablo 1.20' de gösterilmiştir (ETKB,2022).

Tablo 1.19. Ülkelere Göre Nükleer Reaktör Sayıları (İlk 10 ülke)

Ülkeler	Nükleer Reaktör Sayıları
ABD	100
Fransa	58
Rusya	33
Güney Kore	23
Hindistan	21
Çin	21
Kanada	19
İngiltere	16
Ukrayna	15
İsveç	10

Kaynak: ETKB (2022), <https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/NUPGM/tr/Belgeler/5161-nukleer3.pdf>

Ülke ekonomileri geliştikçe tüketime bağlı olarak üretimde artmıştır. Üretimi gerçekleştirebilmek için ise enerji ihtiyacı duyulmaya başlanmıştır. Ülkeler bu enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için farklı kaynaklara yönelmişlerdir. Bu kaynaklardan birisi de nükleer enerjidir. Bu enerji kaynağına ilk kullanılmaya başladığı günden itibaren talep artmış olsa da son yıllarda dünya için oluşturduğu tehdit nedeni ile bazı örgütler tarafından karşı çıkılmaktadır. Nükleer santrallere ait üretim ve reaktör sayılarındaki tarihsel gelişim ve değişim oranları şekil 1.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.20. Nükleer Gücün Tarihsel Gelişimi

Kaynak: Türkiye Atom Enerji Kurumu (2010)

“1990 öncesi kurulmuş olan bu tesislerin kullanım sürelerinin bitmesiyle bir kısmı kapatılmış bunun yanı sıra az sayıda yeni tesis kurulmuştur. 2020 yılından itibaren birçok Avrupa ülkesi hem santrallerin ömürlerinin dolması hem de insanlık için tehlike oluşturmasından dolayı nükleer santrallerini kapatırken, hızlı ekonomik büyüme gösteren Çin, Japonya ve G. Kore endüstriyel enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni tesisler inşa etmişlerdir. Rusya, Ukrayna ve K. Amerika yeni tesisler oluşturmakla beraber kullanım ömürleri dolmuş mevcut tesisleri yenilemişlerdir. Böylece bir yandan kapatılan tesislere karşılık diğer yandan yenileri açılmış ve tesis sayıları tekrar dengelenmiştir” (Türkiye Atom Enerji Kurumu, 2010).

Her ne kadarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına teşvik edilmeye çalışılsa da birincil enerji kaynakları önemini koruyacaktır. Birincil enerji kaynaklarının dünya toplam enerji üretimindeki payının azalacağı yönünde hipotezler oluşturulursa da nükleer santrallerin yapımına devam edilmesi ve artan enerji ihtiyacına yönelik güçlü alternatiflerin oluşturulmaması bu kaynaktan vazgeçilemeyeceğini de göstermektedir (Akbulut, 2008: 133).

2019 yılında 34 ülkede mevcut 454 nükleer enerji santrali faaliyet göstermektedir. Bu ülkelerin dışında 17 ülkede inşa halinde faaliyete geçirilmesi beklenen 55 santral bulunmaktadır. Bu santrallerin faaliyete geçmesi durumunda küresel enerji ihtiyacının

%11’lik kısmı karşılanacak durumda olacaktır (Dünyada Nükleer Enerji, 2019). Ülkelerin nükleer santrallerden elektrik ihtiyaçlarının karşılama oranları tablo 1.21’de gösterilmiştir.

Tablo 1.20. Ulusların Nükleer Santrallerden Elektrik İhtiyacını Karşılama Oranları

Ülkeler	Elektrik Karşılama Oranı
Fransa	%71
Ukrayna	%55
Slovakya	%54
Macaristan	%50
Belçika	%49,9
İsveç	%39,6
ABD	%20

Kaynak: Nükleerakademi (<http://nukleerakademi.org/nukleer-enerji/dunyada-nukleer-enerji/> Erşim Tarihi: 27.01.2022),

Dünyada ulusların nükleer santrallerden elektrik talebini karşılama oranlarına bakıldığında; Fransa %71 oranla ilk sırada yer alırken, %55 oranla Ukrayna ikinci, %54 oranla Slovakya üçüncü sırada yer almıştır.

Toplumların refah seviyelerinin artması, gelişen teknoloji ve sanayide üretimin artması ile birlikte ülkelerin enerjiye olan talepleri artmıştır. Fosil kaynakların sınırlı oluşu ve çevresel etkileri nedeni ile uluslar daha fazla enerji elde edebilecekleri nükleer enerjiye yönelmişlerdir. 2020 yılı başı itibari ile küresel nükleer reaktör sayıları incelendiğinde en fazla reaktöre sahip ülke ABD olmuştur. 96 adet reaktör ile 98,152 MW enerji üretebilmektedir. ABD’yi 58 reaktörle Fransa ve 50 reaktörle Çin takip etmektedir. Fransa sahip olduğu reaktörlerle 63,130 MW enerji üretirken Çin 47,528 MW üretim gerçekleştirmiştir. 2020 yılı başı itibari ile ülkelerin sahip olduğu nükleer reaktör sayıları ve bu reaktörlerden elde edilen enerji miktarları tablo 1.22’ de gösterilmiştir.

Tablo 1.21. Ülkelere Göre Dünyada Nükleer Enerji Santrali Kurulu Gücü ve Reaktör Sayıları

Sıra	Ülke	Reaktör Sayısı	Kurulu Güç (MW)
1	Amerika Birleşik Devletleri	96	98.152
2	Fransa	58	63.130
3	Çin	50	47.528
4	Japonya	33	31.679
5	Rusya	39	29.503
6	Güney Kore	24	23.150
7	Kanada	19	13.624
8	Ukrayna	15	13.107
9	Birleşik Krallık	15	8.923
10	Almanya	6	8.113
11	İsveç	7	7.763
12	İspanya	7	7.121
13	Hindistan	22	6.255
14	Belçika	7	5.942
15	Çekya	6	3.934
16	Tayvan	4	3.844
17	İsviçre	4	2.960
18	Finlandiya	4	2.794
19	Bulgaristan	2	2.006
20	Macaristan	4	1.902

Kaynak: enerjیاتlası (<https://www.enerjیاتlası.com/ulkelere-gore-nukleer-enerji.html>)
Erişim Tarihi: 19 Aralık 2022).

1.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR (YENİLENEBİLİR) ENERJİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarına alternatif enerji kaynakları denir. Yenilenebilir kaynakları, enerji üretmek için tekrardan kullanılacak kaynaklardır. Yenilenebilir enerji, rüzgâr ve güneş ışığı gibi doğal kaynaklardan elde edilen enerjilerdir. Tükendikleri kadar çabuk yenilenirler. Sürdürülebilir enerji kaynakları biyokütle, hidroelektrik, jeotermal, güneş, rüzgâr ve deniz enerjilerini içerir. Bu enerjiler ikincil, temiz ve yerel tükenmez enerji kaynaklarıdır (Panwar vd., 2011: 1513). Yenilenebilir enerjilerin çoğu çevreye zararsız, daha düşük ve ihmal edilebilir düzeyde kirlletici maddeler üretir (Demirbaş, 2009: 212). Bununla birlikte, neredeyse tüm yenilenebilir enerji kaynakları

için fazla yakıt kullanımına gerek yoktur. Bu tür enerjiler günlük ve yıllık bazda yükselen ve düşen üretimlere sahiptir. Yenilenebilir enerjilerin kullanımının avantajları ve talebin artmasıyla birlikte, bu enerjilerin tüketimi ülkelerin enerji stratejilerinde daha önemli bir yer almaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakların kullanımı oldukça yükselmiştir. International Energy Agency (IEA)'ye göre yenilenebilir enerji kaynakları önümüzdeki 5 yıl içinde genişlemeye devam edecek ve toplam enerji tüketimindeki büyümenin %40'ını karşılayacaktır. Yenilenebilir enerji kullanımı elektrik sektöründe hızlıca artmaya devam edecek ve 2023 yılında dünya elektrik üretiminin neredeyse üçte birini oluşturacaktır. Ancak zayıf politik destekler ve diğer engeller nedeniyle, yenilenebilir enerji kullanımı ulaştırma ve ısıtma sektörlerinde daha yavaş gelişecektir (IEA, 2018). Bununla birlikte birçok yenilenebilir enerji türü geliştirilmiştir. Bu enerjilerin çoğu güneş ışığına bağlıdır. Doğrudan güneş ışığına bağlı olmayan diğer yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal gibi radyoaktif enerjiler, dalgalar gibi yerçekimi enerjileridir. Bu kısımda yenilenebilir enerji kaynaklarına genel bir bakış yapılmaktadır.

1.4.1. Hidroelektrik Enerji

“Hidroelektrik santrallerde suyun yüksek bir noktadan aşağıya doğru akışı ile oluşan enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile hidroelektrik elde edilir” (Kavcıoğlu, 2019: 222). Çevreye verdiği zararın diğer enerji kaynaklarına nazaran enerjinin ortaya çıkarılma aşamasında daha az olması hidrolik enerjinin önemini ortaya koyar. Kurulan hidrolik santrallerin işletme maliyetinin az oluşu, işletme ömrünün daha uzun olması, daha verimli ve temiz olması enerji üretiminde önemli avantaj sağlar (Yılmaz ve Öziç, 2018: 531). Hidroelektrik enerjisi kısmi olarak güneş ışınlarına bağlı oluşan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Kerimoğlu, 2020). Güneş ışınlarının etkisi ile ısınan sular ilk olarak su buharına dönüşür. Yükselen su buharı atmosferik koşullarda soğuyarak yeniden su damlacıklarına dönüşür ve yağış halinde tekrar yeryüzüne ulaşır. Su döngüsü adı verilen bu olay sayesinde su kendisini sürekli yenileyen bir enerji kaynağına dönüşür (Dalkır ve Şeşen, 2011).

Hidroelektrik Santral; günümüzde birçok alanda ihtiyaç duyulan ve günlük yaşamın vazgeçilmezi olan elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklardan birisidir. Suyun doğal veya yapay yollarla yapılmış çeşitli yüksekliklerden bırakılarak akış yolu üzerine kurulmuş türbin, türbin mili ve jeneratörlerden faydalanılarak elektrik üreten tesislerdir

(Oral vd., 2017: 30-31). “Ülkemizin önemli enerji üretim kaynakları içerisinde yer alan bu kaynağı her geçen gün yeni barajlar ve santraller kurularak mevcut kapasitesi arttırılmıştır” (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020). “Yeni tesislerin eklenmesi ile birlikte ülkemiz küresel hidroelektrik üretiminin %1’ine Avrupa’nın ise %16’sına sahip olmuştur. Ülkemiz mevcut hidroelektrik potansiyeli ile Avrupa’da Norveç’in ardından ikinci sırada yer alır” (Ertürk, 2020: 154-155).

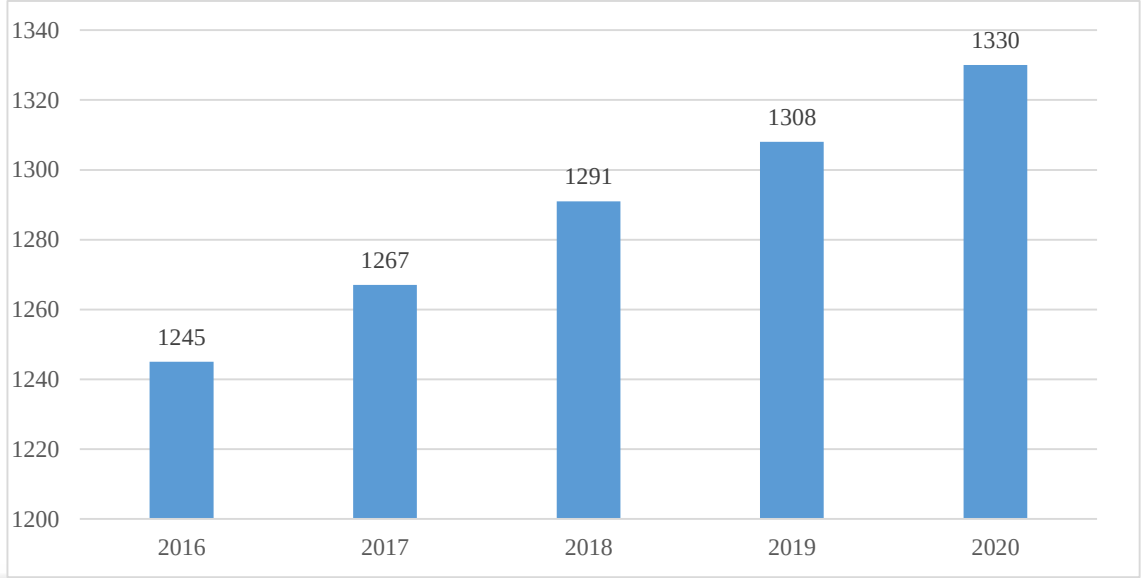
Hidroelektrik santraller (barajlar) akarsuların taşıdığı suların sahip olduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürür. Bu enerji suyun debisi ve rejimine bağlı olarak değişebilir. Akarsuların dar geçitleri üzerine kurulan setler sayesinde akarsunun toplandığı/biriktirildiği bir rezervuar oluştururlar. Oluşturulan rezervuarda biriktirilen su daha sonra kanallar yardımıyla elektrik üretebilecek türbinlere yönlendirilir. Türbin kanatlarına çarparak türbini çeviren su, kanatların bağlı olduğu jenaretör milini çevirir ve akarsuyun sahip olduğu kinetik enerji bu sayede elektrik enerjisine dönüşür (TMMOB, 2011). Elektrik enerjisi üretilen bu santraller üretim kapasitelerine göre küçük ve büyük ölçekli santraller olarak ikiye ayrılır. Küçük ölçekli santrallerin üretim kapasiteleri 10 ile 20 MW iken büyük ölçekli santrallerde üretim 50 MW’nin üzerindedir (Ender vd., 2013).

Hidroelektrik santralleri doğal çevreye duyarlı, uzun vadede daha uygun kaynaklardır. Üretim aşamasında çevreye herhangi bir şekilde gaz yayılmasına neden olmadığı için küresel ısınma veya çevre kirliliğine sebep olmamaktadır. Elektrik üretiminin yanı sıra bölgenin içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak ile birlikte bölgede gerçekleşecek sel ve taşkın risklerinin azalmasına, bölgedeki iklim şartlarının yumuşamasına neden olmaktadır (Sönmez, 2012: 224). Ayrıca üzerinde balıkçılık faaliyetlerinin yapılması ve tekne turları ile birlikte turizm faaliyetlerinin gerçekleşmesini de desteklemektedir (örneğin Bayburt İli Demirözü Barajı). Tarım arazilerinin sulanması için kullanımı da ekonomik faaliyetleri destekleyen diğer bir avantajıdır (Başkaya, 2010: 669). Hidroelektrik enerji santralleri ekonomik olarak uzun ömürlüdürler. Düşük işletme giderlerine ve yüksek verime sahiptirler. Ülke içerisindeki su kaynaklarının kullanılması tamamiyle yerli enerji üretim kaynağını teşkil eder. Böylelikle enerjide dışa bağımlılığın önüne geçilmiş olunacaktır.

Hidroelektrik enerji santralleri; yenilenebilir, dışa bağımlılığı azaltan, uzun ömürlü, işletme gideri düşük ve verimliliği yüksek enerji üretim birimleridir (Başkaya, 2010). Su

gücünden elde edilen enerjinin üretimi ekonomik olarak ele alındığında diğer enerji kaynaklarına oranla daha uygun olduğu görülmektedir. Ancak bu kaynaktan faydalanılarak enerji üretimi her ulus için mümkün değildir. Su bakımından zengin, yüksek ve engebeli arazilere sahip ülkeler su gücünden yararlanarak enerji üretiminde su bakımından fakir ülkelere nazaran daha avantajlıdır. Birincil kaynakların kullanımına bağlı olarak meydana gelen iklim değişiklikleri ve küresel ısınmanın etkilerinden dolayı ortaya çıkan kuraklık bu kaynaktan enerji üretiminin azalmasına neden olmuştur. Gelecekte de bu sorunun enerji üretiminde daha büyük bir sorun olacağı düşünülmektedir.

Küresel çapta hidroelektrik santrallerinden yapılan üretim incelendiğinde 24 ülke enerji ihtiyacının neredeyse tamamına yakını (%90) 63 ülke ise enerji talebinin yarısı kadarını (%50) bu kaynaktan karşılanmaktadır. Global olarak bakıldığında hidroelektrik enerjisi üretimi en fazla olan ülkelerden ilk onu küresel hidroelektrik üretiminde %70'lik paya sahiptir. Üretim miktarları bu enerji kaynağının uluslar için ne kadar önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Bozkurt ve Tür, 2015: 324). Dünya genelinde elektrik üretiminin %14,6'sı kadarı hidroelektrik santrallerinden karşılandığı bilinmektedir. Bu üretim her geçen yıl artmaktadır. 2016 yılında 1245 GW olan üretim 2020 yılında 1330 GW' a yükselmiştir. Bu durum su gücünden faydalanmanın önemini ortaya koymaktadır. Hidrolik gücün enerji üretimi için hem ekonomik hem sürdürülebilir bir kaynak olmasından dolayı son yıllarda fazlaca tercih edilir duruma gelmiştir. Yıllara göre küresel hidroelektrik kurulu gücü (GW) Şekil 1.21' de gösterilmiştir.



Şekil 1.21. Yıllara Göre Toplam Hidroelektrik Kurulu Gücü (GW)

Kaynak: İHA (2021), (https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/60c37321987070812596e26a_IHA20212405-status-report-02_LR.pdf)’dan faydalanılarak hazırlanmıştır).

Enerji talebinin karşılanmasında yerli ve millî kaynaklar oldukça önemlidir. Hidrolik kaynaklar da ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamada en önemli yerli ve sürdürülebilir kaynaklardan birisidir. Bu kaynaklar hem temiz enerji etmede hem de enerji bağımlılığını azaltmada önemli rol oynar. 2021 yılı itibari ile ülkelerin hidrolik güçten faydalanma ve enerji üretim potansiyellerine bakıldığında Çin, Brezilya ve İngiltere en fazla potansiyele sahip ilk üç ülkeyi oluşturmaktadır. Ülkelerin hidroelektrik potansiyelleri ve kurulu güçleri (GW) tablo 1.23’de gösterilmiştir.

Tablo 1.22. Ülkelere Göre Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

Ülkeler	Kurulu Güç (GW)
Çin	370,2
Brezilya	109,3
İngiltere	102
Kanada	82
Hindistan	50,5
Japonya	49,9
Rusya	49,9
Norveç	33
Türkiye	31
Fransa	25,5
İtalya	22,6
İspanya	20,4
Vietnam	17,1
İsviçre	16,9
İsveç	16,5
Venezüella	15,4
Avusturya	14,6
Meksika	12,6
İran	12,2
Kolombiya	11,9
Diğer	266,5
Toplam	1330

Kaynak: İHA (2021), (https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/60c37321987070812596e26a_IHA20212405-status-report-02_LR.pdf) den faydalanılarak hazırlanmıştır).

Grafikten de anlaşıldığı üzere dünyada hidroelektrik üretimine yönelik yatırımlar giderek artmıştır. 2016 yılında dünya genelinde hidroelektrik kurulu gücü 1245 GW iken üretim ve kapasite giderek artmış 2020 yılı ortalarında elde edilen üretim miktarı 1330 GW'a ulaşmıştır. Özellikle bu yıllarda yaşanan pandemi nedeni ile birincil kaynaklardan elde edilen enerji maliyetlerinin artması ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına

yönelmesine neden olmuştur. Hidroelektrik kaynaklarına yönelik yatırımlar giderek artış göstermiştir. Buna göre 2020 yılında elde edilen 1330 GW'lık üretim incelendiğinde dünya genelinde en büyük paya sahip olan ülke Çin olmuştur.

2020 yılı sonunda elde edilen üretim incelendiğinde dünya genelinde en fazla hidroelektrik kapasiteye sahip ve 370,2 GW üretim ile Çin olmuştur. Brezilya 109,3 GW üretimle Çin'i takip etmiş daha sonra ise 102 GW üretimle İngiltere üretimde pay sahibi olmuştur. Türkiye ise kurulu tesislerinden 2020 yılı sonunda 31 GW enerji elde etmiştir (İHA, 2021).

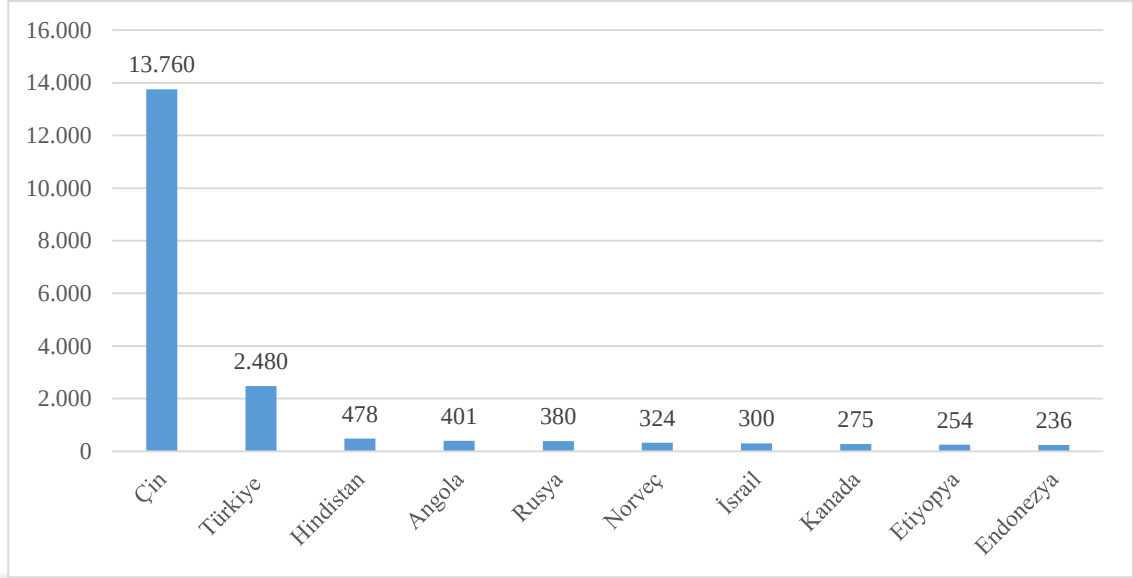
Hidroelektrik sektöründe 2019 yılında 4.306 TWh'lik üretimle son yılların en yüksek üretimi elde edilmiştir. Ancak 2020'de ise 4.370 TW/saat (TWh) üretim ile temiz enerji üretiminde yeni bir rekor elde edilmiştir. Toplam hidroelektrik kurulu kapasitesi 2020'de 1.330 gigawatt'a (GW) ulaşmıştır. Bu da yıllık ortalama 1,6'lık bir büyümeyi göstermektedir. Ancak iklim değişikliği için sağlaması gereken %2'lik katkının altında kalmıştır (İHA, 2021). 2020 yılı itibari ile bölgelere göre yeni kurulan hidroelektrik santrallerin kapasiteleri tablo 1.24' te gösterilmiştir.

Tablo 1.24. 2020 Yılı Bölgelere Göre Yeni Kurulan Hidroelektrik Kapasitesi (MW)

Bölge	Yeni Kapasite (MW)
Asya Pasifik	14,466
Avrupa	3,032
Güney ve Orta Asya	1,609
Afrika	938
Kuzey ve Orta Amerika	531
Güney Amerika	476

Kaynak: WEC (2021) Hidroelektrik Durum Raporu Özetinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

2021 yılında toplamda 21 GW hidroelektrik kapasite artışı gerçekleşmiştir. Bu kapasite artışında 13,8 GW ile Çin artışın 2/3'üne sahip olmuştur. Bununla birlikte Türkiye ise 2020 yılının sonunda tamamlanan projeleri ile 2,5 GW artış sağlamıştır (İHA, 2021). 2020 yılı sonu itibari ile kurulu güç kapasitesine göre ilk on ülke şekil 1.22'de gösterilmiştir.



Şekil 1.22. 2020 Yılı Yeni Kurulu Kapasiteye Göre İlk 10 Ülke (MW)

Kaynak WEC (2021)'den faydalanılarak hazırlanmıştır.

Ülkemizde su gücünden enerji üretimi, gene kendisi gibi sürdürülebilir enerji kaynaklardan güneş enerjisi ile birlikte çevresel etkileri oldukça azdır. Üretim aşamasında çevreye zarar vermemesine rağmen kurulumunda oluşan gürültü ile birlikte doğal çevreye ve yaşama olumsuz yönde etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle hidroelektrik santrallerinin kurulacağı bölgelerde yaşayan halktan olumsuz tepki görmekte ve çevre örgütlerin muhalif eylemleri ile karşı karşıya kalmaktadır.

Hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji ülkemiz enerji üretiminde birincil kaynaklarla birlikte büyük öneme sahiptir. Ülkemiz elektrik üretiminin %26,55 kurulu HES'lerden sağlanmaktadır. Bu oran ülkemizde enerji üretiminde ve enerji arzının %52,9'unun karşılandığı yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise %32,24'lük bir paya karşılık gelmektedir. Hidrolik enerji ülkemizde iki farklı şekilde elde edilebilmektedir. Ülkemizde sudan enerji üretimi akarsular üzerinde kurulu barajlardan (%23,89) göl ve akarsulardan (%8,35) elde edilmektedir (TMMOB, 2021). Türkiye'nin su gücünden faydalanma çalışmaları ilk olarak 1902 yılı itibari ile Tarsus (Mersin)'ta kurulan düşük kapasiteli santralle başlamıştır. 1913 yılında ise İstanbul'da daha büyük kapasiteye sahip ilk enerji santrali kuruluşu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Ödemiş'te ilk elektrik santrali kurulmuştur. Artan nüfus ve enerji talebi ile birlikte su gücünden yararlanarak enerji üretimi daha yaygın hale gelmiş ve yeni tesisler kurulmuştur. Bu kaynaklardan yalnızca elektrik üretimi için değil giderek büyüyen ve gelişen şehirlerin su ihtiyacı da

karşılanmaya çalışılmıştır (Gökdemir, Kömürcü ve Evcimen, 2012: 20). Hidrolik santrallerin kurulduğu bölgedeki iklim şartları ve gerçekleşen hava olayları santrallere su kaynağı olan barajların doluluk miktarlarını etkilemektedir. Yıllık yağış miktarı azaldıkça akarsuların debisi (akış miktarı-gücü) azalmakta bu hareketlilik elektrik üretim kapasitesini de düşürmektedir. Doluluk oranların düşmesi ile bu santrallerden elde edilen enerji miktarı da azalmaktayken ortaya çıkan enerji talebinin karşılanabilmesi için doğalgaz ile çalışan termik santrallerde daha fazla üretim yapılmak zorunda kalmaktadır. 2022 yılı itibari ile ülkemizin hidrolik enerji kurulu gücü incelendiğinde göl ve akarsular üzerinde kurulan santral adedi 604 ve bu santrallerin toplam kapasiteleri 8.224,40 MW olarak belirlenmiştir. Akarsular üzerine kurulan barajlı santraller ise 143 adet olup bu kaynakların kurulu güçleri 23.283,5 MW olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde 2022 Mart ayı verilerine göre hidroelektrik kurulu gücü ve kapasitesi tablo 1.25'deki gibidir.

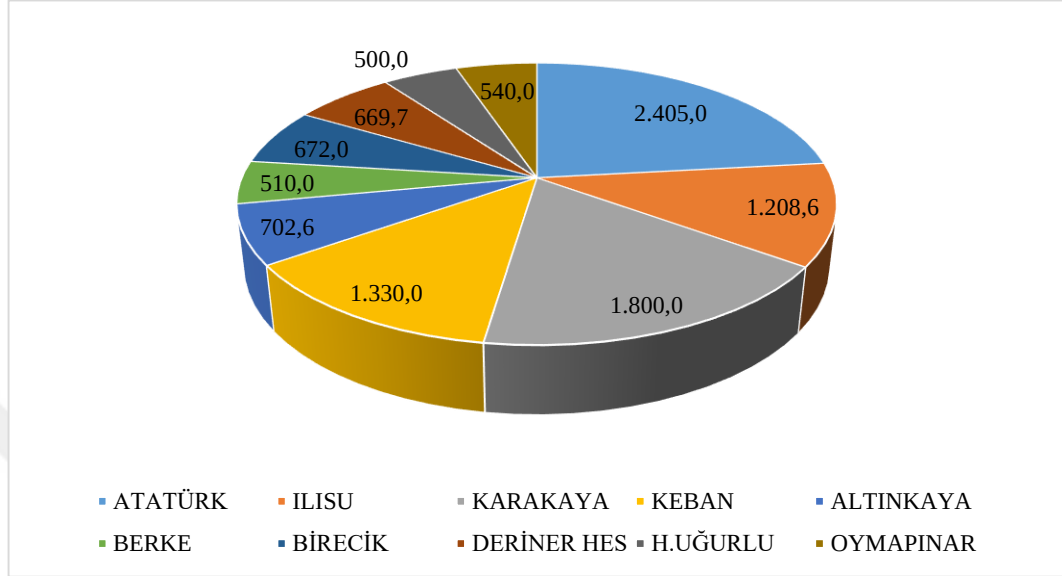
Tablo 1.23. Türkiye Hidroelektrik Kurulu Gücü ve Kapasitesi (Mart 2022)

Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Akarsu	604	8.224,40
Barajlı	143	23.283,50

Kaynak: TEİAŞ (2022). Kurulu Güç Raporu'ndan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Türkiye'de 1902 yılı itibari ile başlayan hidroelektrik üretimi 2022 yılına gelindiğinde 747 kurulu santrale ulaşmış ve bu santrallerden 241.059,9 MW enerji üretimi sağlanmıştır. Bu üretim içerisinde en büyük pay 23.283,50 MW ile barajlara aittir. İlk olarak Mersin'in Tarsus İlçesinde küçük ölçekli başlayan santraller 2022 yılına gelindiğinde 143 adedi bulmuştur. Bununla birlikte 2022 Ocak ayı itibari ile ülkemizde lisanslı hidroelektrik santrallerinden elde edilen enerji toplam enerji içerisindeki oranı %16,83 iken lisanssız üretimler içerisinde ise %0,81'dir (EPDK, Elektrik Piyasası Sektör Raporu, 2022). Ülkemizde enerji üretiminin %52,9 luk kısmı yenilenebilir kaynaklardan kaynaklanmaktadır. Bu kaynaklar arasında hidrolik enerji büyük pay sahibidir. Hidrolik enerjinin yenilenebilir kaynaklar arasındaki payı %32,34'tür. Bu oran hidrolik kaynakların enerji üretimindeki önemini ortaya koyaktadır. Ülkemiz hidrolik enerjiden barajlı ve barajsız olmak üzere iki şekilde faydalanmaktadır. Ülkemizde barajlı hidroelektrik santralleri 38 (yapım aşaması dışındakiler) adet olup bu barajlar arasında en

fazla kapasiteye sahip olanlar; Atatürk, Ilısu, Kararkaya, Keban, Altinkaya, Berke, Birecik, Birecik, Deriner, Hasan Uğurlu ve Oymapınar'dır. Türkiye'de 2021 yılı itibarı ile en fazla üretim yapan ilk on HES ve Baraj Şekil 1.23.'deki gibidir.



Şekil 1.23. Türkiye’de Faaliyette Olan İlk 10 Hidroelektrik Santrali ve Kapasitesi (MW)

Kaynak: TEİAŞ (2022). (<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/ilgili-raporlar>’dan faydalanılarak hazırlanmıştır).

Hidrolik enerji sürdürülebilir kaynaklar içerisinde en çok tercih edilendir. Ülkelerin bu enerji kaynaklarına yatırımları günümüzde hala devam etmektedir. Türkiye’de hidroelektrik enerji üretimi yatırımları devam ederek yeni hidroelektrik santralleri kurulmaktadır.



Fotoğraf 1.1. Atatürk Barajı

Kaynak: <http://www.ataturkbaraji.com/tr/30127/Ataturk-Baraji-Genel-Gorselleri>'den alınmıştır (Erişim Tarihi: 13 Ocak 2023).

1.4.2. Rüzgâr Enerjisi

Kaynağını güneşten alan ve sürekli kendisini yenileyen temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağıdır. *“Güneş ışınlarının yeryüzüne farklı açılarla gelmesi sonucu dünyanın her yeri aynı şekilde ısınmaz. Buna bağlı olarak farkı sıcaklık ve basınç merkezleri meydana gelir. Farklı basınç ve sıcaklık merkezlerinin oluşumu ile birlikte hava akımları oluşur. Bu durum rüzgâr olarak isimlendirilir. Rüzgârların oluşumuna yalnızca farklı sıcaklık ve basınç merkezleri sebep olmaz. Aynı zamanda dünyanın dönme hareketi de rüzgâr oluşumunun bir nedenidir”* (Terzioğlu vd., 2019: 227).

Rüzgârın oluşumundaki temel faktör güneş ışınları ile ısınan havadır. Güneş dünya üzerinde her noktayı eşit oranda ısıtmadığı için rüzgârın oluşmasında coğrafi konum, denizler gibi birçok faktör etkili olur. Dolayısıyla rüzgârın potansiyeli her bölgede farklılık göstermektedir. *“Bu kaynaktan elektrik üretimi yüksek maliyet gerektirmekle beraber tesislerin kurulumu da bir o kadar kolaydır. Sürekli kendisini yenileyebilen bir kaynaktır. Rüzgârdan enerji üretiminin birçok avantajı olmasına rağmen tesislerin ilk kuruluş maliyetlerinin yüksekliği ve rüzgârların sürekli oluşmamasından dolayı rüzgârdan enerji üretiminin değişken olması dezavantajlarından”* (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020). Rüzgâr türbinlerinin boyutlarının büyük ve ağır olması onları kurulacak alana getirilirken ve kurulumu gerçekleştirilirken ağır iş makinelerinin

kullanılması ile sağlanır. Ayrıca kurulumu aşamasında her bir parçanın ayrı ayrı kaldırılması ve takılan her bir civatanın kayıt altına alınması gerekir. Kurulacak alan için daha önceden yol çalışması ve yüksek gerilim hatlarının yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak her iki yılda bir düzenli olarak bakımlarının yapılması gerekmektedir (Yavuz ve Özbay, 2020: 64). Bu nedenle kurulumları ve bakım aşamaları oldukça maliyetlidir. Bu enerji kaynağı diğer alternatif enerji kaynaklarına nazaran daha gelişmiş ve endüstriyel olarak da daha elverişlidir. *“Ülkelerin enerji politikalarında oluşturdıkları değişim ile birlikte yatırımların büyük çoğu sürdürülebilir kaynaklara yapılmıştır. Bu kaynaklardan biri olan rüzgârdan genelde elektrik üretiminde faydalanılmaktadır. Ülkemiz gerek matematiksel gerekse özel konumu nedeniyle yüksek rüzgâr potansiyeline sahiptir. Yapılan araştırmalarda ülkemizin mevcut potansiyeli 48.000 MW olarak tespit edilmiştir. Avrupa’daki diğer ülkelerin mevcut rüzgâr potansiyelleri incelendiğinde ülkemizin birinci sırada yer aldığı görülür”* (Teneler, 2020: 280-283). Bununla birlikte 2000’li yıllarda dünyada bu enerji kaynağına yönelik yatırımlar artmış olmasına rağmen ülkemizde 2006 yılına kadar bu alanda yatırımlar gerçekleşmemiştir. Türkiye’de bu alanda yatırımlar 2006 yılı itibari ile başlamış olup, kurulan tesislerden elde edilen elektrik, ülkemizde ihtiyaç duyulan elektrik ihtiyacının %7.40’ını karşılamaktadır (TREB, 2019). Rüzgâr türbinlerinin iki farklı şekilde kurulumu yapılabilmektedir. Kullanılacak türbinlerin özelliklerine göre bazı türbinler dikey eksenli kurulabilirken bazıları ise düşey eksenli kurulabilmektedir.

Rüzgâr enerjisi; insan ve çevre sağlığına karşı duyarlı, sürdürülebilir, yerli kaynaklardan üretilebilir, maliyeti uygun ve kurulu arazilerde tarım faaliyetlerine devam edilebilir olması rüzgâr enerjisinin tercih edilebilir olma sebepleri arasındadır (İlkılıç, 2009). Tüm bu faydalarının yanı sıra belli bir istihdam alanı sağlayarak ekonomiye ayrıca bir katkı sağlamaktadır.

Rüzgâr enerjisi santrallerinin olumsuz yönleri de vardır. Rüzgârın etkili olduğu anlarda oluşan ses titreşimleri çevreye ve canlılara belli ölçüde rahatsızlık vermektedir. Rüzgâr enerjinden elektrik elde etmek için kurulu türbinlerin hareketi rüzgârla sağlanmaktadır. Dolayısıyla hem rüzgârın kendisinin oluşturmuş olduğu gürültü hem de türbinlerin dönüşü esnasında çevreye yaydığı uğultu insanların memnuniyetlerini olumsuz yönde etkileyecektir. Ayrıca kanatlı canlılar için de ölüm tehlikesi oluşturmaktadır. Tüm bu olumsuzlukların yanı sıra rüzgâr türbinleri hava akımlarına

bağlı olarak çalıştıkları için rüzgârsız günlerde enerji üretimi maalesef olmayacaktır (Sevim, 2015). Rüzgâr enerjisi türbinleri üretiminde kullanılan teknolojiye göre farklı çalışma prensipleri gösterebilmektedir.

Rüzgâr enerjisi dünyada tercih edilir bir enerji kaynağı haline dönüşmüş ve birincil enerji kaynaklarına alternatif kaynak yaratmak isteyen ülkeler için tercih edilir bir kaynak olmuştur. Sürdürülebilir bir kaynak oluşu ülkelerin bu kaynaklardan enerji elde etmek için yatırımlarını arttırmasına yol açmıştır. Aynı zamanda yenilenebilir kaynaklar içerisinde rüzgâr enerji kaynağı yerini sağlamlaştırmıştır. Son yıllarda enerji arzındaki yön değişimi ile rüzgâr enerjisi de ayrı bir önem kazanmıştır.

Rüzgâr enerjisi üretimi 2020’de karada 144 TWh (+%11) artmıştır. Kapasite artışları, küresel rüzgâr dağıtımının %79’unu oluşturan Çin ve Amerika Birleşik Devletleri’ndeki rüzgâr enerjisi santrallerini hızlı devreye alma nedeniyle 108 GW artış görüldü. 2019’dakinin iki katı kadar artış yaşandı. Ancak tesislerin çoğu 2020’nin 4. çeyreğinde hizmete girdiği için artış en çok 2021’de görülecektir. Genel olarak, 2020’de rüzgâr tesislerinden 1.592 TWh elektrik üretildi, bu da 2019 yılı üretiminden %12 daha fazladır. Rüzgâr enerjisinde 2020 yılına ait temel istatistikler 1.26’da gösterilmiştir.

Tablo 1.24. 2020 Yılı Rüzgâr Enerjisi Temel İstatistikleri

	IEA Rüzgâr Üye Ülkeleri	Küresel İstatistikler
Toplam Kurulu Kapasite (karada ve denizde)	631,1GW	778 GW
Toplam Açık Deniz Rüzgâr Kapasitesi	36,2 GW	32 GW
Toplam Yeni kurulu Rüzgâr Kapasitesi	79,8 GW	93 GW
Rüzgârdan Elde Edilen Toplam Üretim	1,312,7 TWh	1,590 TWh
Elektrik Talebinin Rüzgâr Olarak Üretilen Kısım (%)	8,1%	6,2%

Kaynak: EİA (2020). Wind Annual Report’tan faydalanılarak hazırlanmıştır.

2020 yılında rüzgârdan elde edilen toplam üretim 1,590 TWh olarak hesaplanmıştır. Elde edilen enerji dünyada toplam enerji üretiminin %6,2’sini karşılamaktadır. Yeni kurulan tesislerle birlikte toplam RES kapasitesi küresel alanda 778 GW olarak ölçülmüştür. 2020 yılı içerisinde RES yeni kurulu kapasitesi 93 GW’a ulaşmıştır. Bu artışı dünyada uygulanan enerji politikalarındaki değişime ve birincil enerji kaynaklarının

maliyetlerindeki artışa bağlamak mümkündür. Ülkelere göre rüzgâr enerjisi kapasiteleri tablo 1.27 'de gösterildiği gibidir.

Tablo 1.25. Ülkelere Göre Rüzgâr Enerji Kapasiteleri (2020)

	Ülke	Kurulu güç (MW)
1	Çin	281.993
2	ABD	117.744
3	Almanya	62,184
4	Hindistan	38.559
5	İspanya	27.089
6	Birleşik Krallık	24.665
7	Fransa	17.382
8	Brezilya	17.198
9	Kanada	13.577
10	İtalya	10.839

Kaynak: EİA (2020). Wind Annual Report' tan faydalanılarak hazırlanmıştır.

2020 yılı RES üretiminde 54,4 GW yeni inşa edilmiş kapasite ve 72 GW şebeke bağlantısı ile en büyük paya Çin sahip olmuştur. 2020 yılı sonunda Çin 290 GW kapasiteye ulaşmıştır. Ülkede 281 GW kara ve 11 GW açık deniz (9 GW şebekeye bağlı) olmak üzere toplam 292 GW RES enerjisi üretmiştir (EİA, Wind Annual Report, 2020). Çin'in ardından üretim sıralamasında ABD (120 GW) ve Avrupa (220 GW) (EU-27)'a gelmektedir (EİA, Wind Annual Report, 2020).

2020 yılı itibari ile RES enerji üretiminde Çin hem yeni kapasite ekleme hem de şebekeye bağlı üretimde ilk sırada gelmektedir. 2020 yılı toplam kapasite arttıran ülkeler sıralamasına bakıldığında %63 ile Norveç rekor bir artışa imza atmıştır. Norveç'in ardından Hollanda %43 ve Çin %23 ile en fazla kapasite artışı sağlayan ülkeler olmuştur. 2020 yılı itibari ile ülkelere göre RES kapasitesi, yeni eklenen ve toplam kapasite artışı şekil 1.28'de ki gibidir.

Tablo 1.26. Ülkelere Göre (İlk 10 Ülke) 2020 Yılı Sonu Toplam RES Kapasitesi, Yeni Eklenen Tesisler ve Toplam Kapasite Artışı (%)

2020 yılı sonu toplam kapasite		2020 yılı yeni eklenen kapasite		Toplam kapasite artışı	
Ülke	MW	Ülke	MW	Ülke	%
Çin	290,747	Çin	54,427	Norveç	63
ABD	121,985	ABD	16,801	Hollanda	43
Hindistan	62,16	Hollanda	2,061	Çin	23
İspanya	24,445	İspanya	1,721	Belçika	22
İngiltere	24,665	Almanya	1,651	İsveç	16
Fransa	17,611	Norveç	1,532	Yunanistan	15
Kanada	13,588	Hindistan	1,504	Finlandiya	13
İtalya	10,619	İsveç	1,403	ABD	14
İsveç	10,084	Fransa	1,105	Japonya	13
Meksika	6,6789	Belçika	836	Meksika	11

Kaynak: EİA (2020). Wind Annual Report' den faydalanılarak hazırlanmıştır.

Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olması kıyı şeritlerinde şiddetli rüzgârlar oluştururken yüksek basınç ve sıcaklık farkları da iç kesimlerde yüksek dağlarda (özellikle doğuda) kış aylarında şiddetli rüzgârlar oluşturur. Bu yüzden ülkemiz rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengindir (Köse vd., 2015: 11). Türkiye rüzgâr gücü kapasitesini belirlemek maksatıyla Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği (2018) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na hazırlanan Türkiye Rüzgâr Enerji Atlas'ında (REPA) Ege kıyıları ve Güney Marmara kıyılarında sürekli rüzgâr oluşması nedeni ile rüzgâr enerji potansiyelinin en yoğun olduğu araziler olarak belirtmiştir (Pınar vd., 2020). Bu alanlar dışında Amanos Dağları da rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu alanlardır (Özşahim ve Kaymaz.,2013). Ülkemiz gerek üç tarafının denizlerle çevrili olması gerekse batıdan doğuya yükseltinin artması, dağlık alanların geniş alanlar kapsamı nedeni ile rüzgâr oluşum ve rüzgâr enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir. Bu durum ülkemiz için rüzgâr enerjisinden faydalanması için avantaj oluşturmaktadır. Kıyı kesimlerinde denizel kaynaklı rüzgârlar etkili olurken iç kesimlerde yüksek dağlardan kaynaklanan rüzgârlar etkindir. Türkiye'nin kıyı şeritleri, yüksek alanlar ve dağların tepesiyle açık alanların yakınındaki alanlar en iyi rüzgâr potansiyeli alanlarıdır. Türkiye'nin en şiddetli yıllık ortalama rüzgâr hızları batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında meydana gelmektedir (Başkaya, 2017). Ülkemizin yedi coğrafi bölgesinde

2019 yılına ait rüzgâr enerjisi kapasiteleri ve ülkemizin toplan rüzgâr enerjisi içerisindeki oranları tablo 1.29’ da gösterilmiştir.

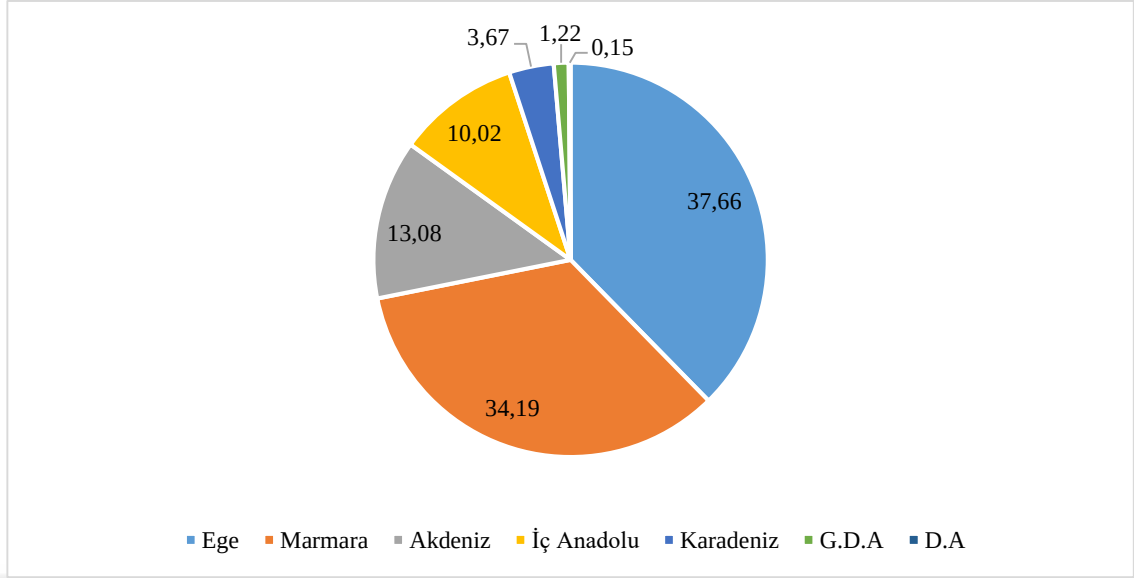
Tablo 1.27. Bölgelere Göre RES Kapasitesi 2019 (MW)

Bölge	Kapasite (MW)	%
Ege	2,868,05	37,66
Marmara	2,603,50	34,19
Akdeniz	996,10	13,08
İç Anadolu	763,30	10,02
Karadeniz	279,70	3,67
G.D. A	93,05	1,22
D.A	11,70	0,15
Toplam	2143,85	100

Kaynak: TUREB (2019).

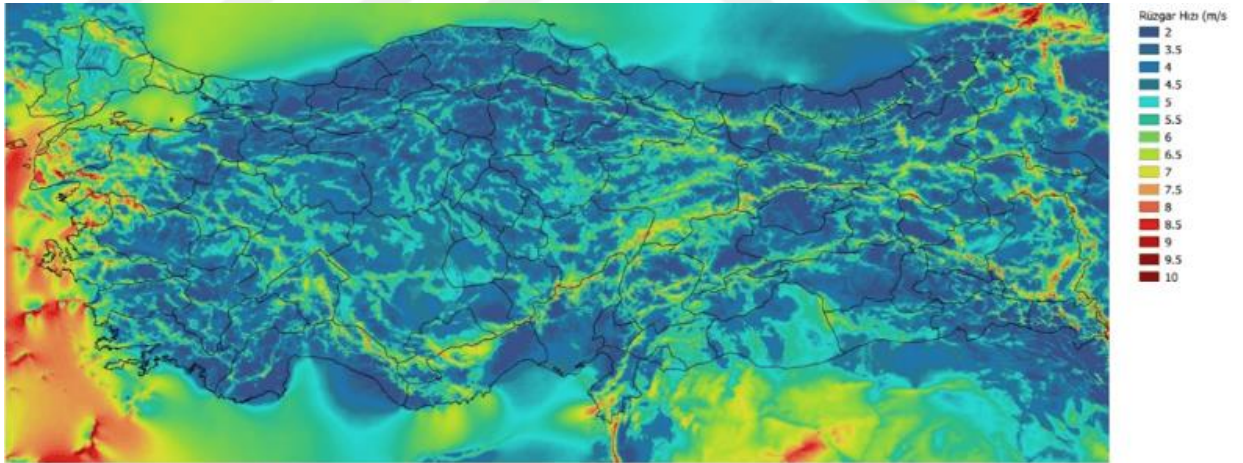
(<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaWY0MTYtNjUyNS00NzQ1LWIwMTMtOTI5ZTNkM2FYWlxiwidiCI6ImU5YzY0NjU4LWFKMWQtNDUwOS1hODk0LTE2NWZhYjU2NjEyMyIsImMiOjI9>’dan faydalanılarak hazırlanmıştır).

Türkiye’de bölgelere göre RES kapasiteleri incelendiğinde ilk 3 sırada Ege, Marmara ve Akdeniz Bölgeleri gelmektedir. Ege Bölgesi’nin rüzgâr enerjisi kapasitesi 2,868,05 Mw’tır. Bölge ülkemizin %37,66 ile en çok rüzgâr alan bölgesidir. Bölgede 1172 adet RES bulunmaktadır. Bölgenin RES kapasitesi yüksek olmasına rağmen kurulu santral gücü Marmara Bölgesi’ne nazaran düşüktür. Bu durumun temel sebebi bölgenin sahil kesimlerinde küçük kapasiteli rüzgâr türbinlerinin kullanılmasıdır (Pınar vd., 2020). Marmara Bölgesi Türkiye’de en fazla rüzgâr enerjisi santrali bulunan bölgedir. Toplam 1008 adet rüzgâr türbinine sahip olan bölge ülke genelindeki rüzgâr türbinlerinin %34,19’una sahiptir. Marmara Bölgesi, 2.603,50 MW’lık kurulu güce sahiptir. Ege ve Marmara bölgelerini sırasıyla Akdeniz (%13,08), İç Anadolu (%10,02), Karadeniz (%3,67), Güneydoğu Anadolu Bölgesi (%1,22) ve Doğu Anadolu (%0,15) bölgeleri takip etmektedir. Ülkemizin bölgelere göre RES kapasiteleri şekil 1.24’ te ve ülkemizdeki rüzgarların yıllık ortalama hızlarının dağılımı (100 metrede) harita 1.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 1.24. Bölgelere Göre RES Kapasitesi (%)

Kaynak: (TUREB, 2019).
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNmFmYWY0MTYtNjUyNS00NzQ1LWIwMTMtOTI5ZTNkM2FIYWlxlidCI6ImU5YzY0NjU4LWFkMWQtNDUwOS1hODk0LTE2NWZhYjU2NjE5MyIsImMiOj19>'dan faydalanılarak hazırlanmıştır).



Harita 1.9. Türkiye'nin Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımı (100 metrede)

Kaynak ETKB (Erişim Tarih: 21 Aralık 2022). (<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>).

Rüzgâr enerjisi tesislerinde kullanılan lisanslı ile lisanssız olacak şekilde iki tür türbin bulunmaktadır. Türbinler arasındaki bu çeşitlilik üretilen enerjiye bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Lisanssız türbinler 1MW'lık enerji üretim yapabilecek kapasiteye sahip türbinlerdir. Lisanslı olarak isimlendirilen türbinler ise 1 MW üzeri enerji üretimi

yapabilen türbinlerdir. 1998 yılında ülkemizde ilk rüzgâr enerjisi santrali (RES) kurulumu Çeşme (İzmir)'de gerçekleşmiştir. İlk olarak yalnızca fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile kurulan lisanssız üç adet türbin ilerleyen dönemde büyütülerek lisanslı üretim yapan bir proje haline dönüşmüştür (Kısar, 2016: 26).



Fotoğraf 1.2. Sivas- Kangal RES

Kaynak: tte.com (2011). (<https://tte.com.tr/referanslar-res.html> Erişim Tarihi: 11 Ocak 2023).

Türkiye son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlarını ve tesislerin kurulumuna yönelik desteklerini arttırmıştır. 2021 yılında ön projesi onaylanan 28 rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç kapasiteleri 844,15 MW, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) tarafından kabulü sağlanmış 227 Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) kapasiteleri 1.772,90MW ve 2021 yılı itibari ile onaylanan 85 rüzgâr enerjisi santralinin kurulu güç kapasiteleri 885,05 MW' tır. Bu tesislere ait tesis sayıları ve kurulu güç kapasiteleri tablo 1.30'da gösterilmiştir.

Tablo 1.28. RES Tesis Kabul Çalışmaları (2021)

2021 Yılında Ön Projesi Onaylanan Santrallerin Dağılımı		2021 Yılında Projesi Onaylanan Santrallerin Dağılımı		Kabulü EİGM Tarafından Yapılan Santrallerin Dağılımı	
Kurulu Gücü (MWe)	Sayısı	Kurulu Gücü (MWe)	Sayısı	Kurulu Gücü (MWe)	Sayısı
844,15	28	885,08	85	1.772,90	227

Kaynak: ETKB (2021).

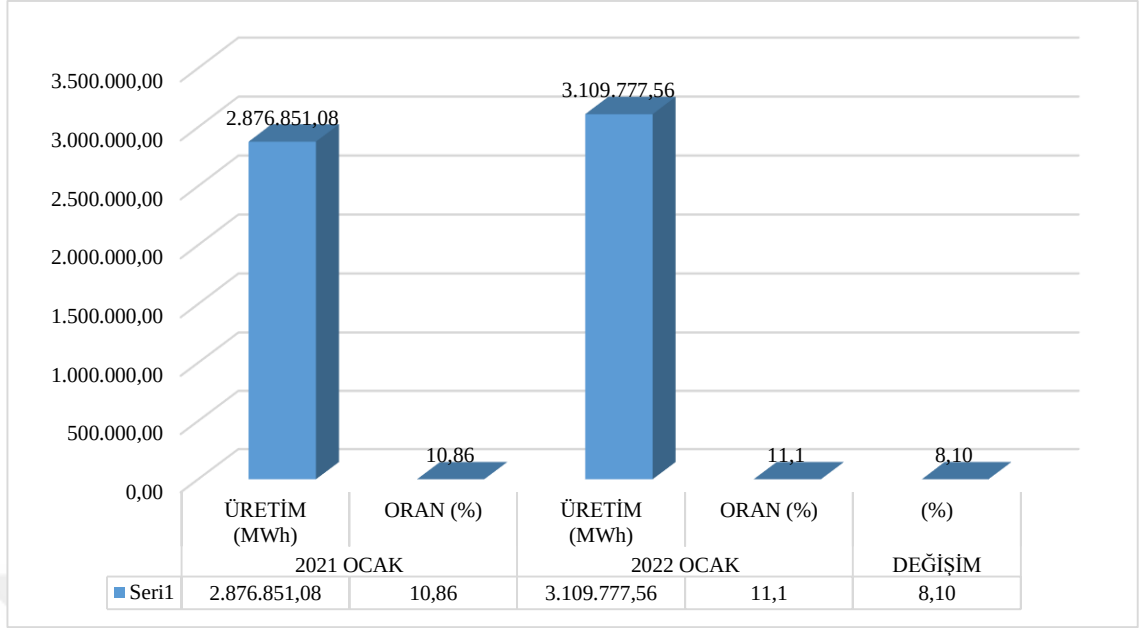
Rüzgârın esiş hızı ve türbinlerin yerden yükseklikleri rüzgâr türbinlerinden elektrik üretilmesini etkilemektedir. Çok düşük hızdaki rüzgârlardan elektrik üretilmeyeceği gibi yine çok yüksek hızdaki rüzgârlardan da faydalanılamaz. Rüzgâr hızının düşük olması durumunda türbinlerin dönüşü düşük veya hiç olamayacağı gibi yüksek hızdaki rüzgârlarda da türbinler zarar görmemek adına kendilerini korumak için otomatik olarak duracaklardır. Bu nedenle yüksek hızdaki rüzgârlardan da enerji üretiminde faydalanılmamaktadır. Ülkemizde yerden elli metre yükseklik ile 7,5m/s hıza sahip rüzgâr alanlarında her bir kilometreye 5 MW üretim yapabilecek santraller kurulabileceği onaylanmıştır. Kanunlar çerçevesinde onaylanan bu durum sonrasında sayısal hava tahmin paradigmaları (orta ölçekli) ve rüzgâr akış modelleri (küçük ölçekli) rüzgâr bilgilerinin üretildiği Rüzgâr Enerji Atlası (REPA) oluşturulmuştur. Ülkemizin mevcut rüzgâr enerjisi 48 bin MW değerinde hesaplanmıştır (ETKB, 2021 Faaliyet Raporu, 2021). Ülkemizde rüzgâr enerjisinden faydalanma oranları giderek artmaktadır. Harita 1.10'da 2019 yılı itibari ile ülkemizde kurulu olan rüzgâr enerjisi santrallerinin illere göre dağılımı ve kurulu güç miktarları gösterilmiştir.



Harita 1.10. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Santrallerinin Dağılımı (2019)

Kaynak: (Pınar vd., 2020).

Ülkemizin 2022 yılı itibari ile RES kapasitesi 254.520 MW’tır. 2022 yılı itibari ile Türkiye’nin enerji yatırımları içerisinde RES’lerin payı %37,20’dir (ETKB, 2021 Faaliyet Raporu, 2021). 2022 yılı ocak ayı itibari ile ülkemizde RES’lerden 3.109.777.56 MW elektrik enerjisi elde edilmiştir. Türkiye’de RES’lerin lisanslı elektrik üretimindeki payı %11,1’dir (EPDK, Elektrik Piyasası Sektör Raporu, 2022). Türkiye’de 2022 yılı ocak ayı sonu itibari ile lisanssız üretim yapan RES’in toplam lisanssız enerji üretimi 73,08 MW ve enerji üretimi içerisindeki payı %0,96’dır (EPDK, Elektrik Piyasası Sektör Raporu, 2022). 2022 Ocak ayı itibari ile ülkemizde lisanslı elektrik üretiminde RES kapasiteleri ve enerji üretimindeki payının oranları şekil 1.25’de gösterilmiştir.



Şekil 1.25. RES Lisanslı Elektrik Üretiminin ve 2021 Yılı Ocak Ayı Değeriyle Karşılaştırılması (MWh %) (Ocak 2022)

Kaynak: EPDK (2022). (<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>)’dan faydalanılarak hazırlanmıştır).

1.4.3. Güneş Enerjisi

“Ülkemizde güneş enerjisinden faydalanma ilk olarak su ısıtan kolektörler kullanımı ile başlamıştır” (Bağcı, 2019: 108). Güneş enerjisi üretimi, güneş termal sistemleri yoluyla sıcak su veya güneş fotovoltaik (solar photovoltaic (PV)) ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (Concentrated Solar Power (CSP)) sistemleri yoluyla elektrik sağlamak için güneş kullanımını içermektedir. Solar fotovoltaik sistemlerin kullanımı, gürültü, titreşim veya emisyon olmadan doğrudan ışıktan elektrik üretilmesini sağlamaktadır. Bu sistemin kullanımı karbondioksit (CO₂) emisyonlarının da azalmasına yardımcı olacaktır. Güneş ışığı ücretsizdir, ancak fiyatlar düşmeye başlasa da güneş enerjisi üretiminin maliyeti oldukça yüksektir. Buna rağmen Güneş enerjisi avantajları nedeniyle çok önemli bir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir (Panwar, Kaushik ve Kothari, 2011). “Son yıllarda tesislerde yeni teknoloji ile birlikte maliyetler azalmış, güneşten enerji üretimi de giderek artmıştır” (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı). Gelişen teknoloji ile birlikte güneşten enerji elde etmek daha kolay hale gelmiştir. Güneşten ısı ve ışık enerjisi elde ederek konutların ısıtılmasının yanı sıra elektrik üretimi de gerçekleştirilmektedir (Eti Menkul Kıymetler, 2007). Üretim teknolojisine göre farklı

tipte güneş enerjisi panelleri olmasına rağmen bu panellerin çalışma prensipleri temelde aynıdır.

Güneş enerjisi, tıpkı rüzgâr enerjisi, hidroelektrik, biokütle gibi doğal ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Yıllar içerisinde kullanımı ve yapılan yatırımları artmaktadır. Güneş, enerji bakımından devamlılık arz eden bir kaynaktır. Bu nedenle güneş enerjisinden faydalanma oranlarının 2040 tarihine kadar büyük ölçüde artacağı öngörülmektedir.

Dünya üzerinde neredeyse her ülkede güneş enerjisi ile enerji üretimi yapılmaktadır. Ancak resmi istatistiklerde OF-Grid (ulusal enerji sistemine bağlı olmayan) sistemler istatistiksel değerlendirmeye alınmamıştır. On-Grid (ulusal enerji sistemine bağlı olan) sistemlerin dağılışına bakıldığında 78 GW'ı üzerinde kurulu gücüyle Çin ilk sıradadır. Çin'in ardından Japonya, Almanya, ABD, İtalya, Birleşik Krallık ve Hindistan gelmektedir (Cuthbertson, 2022). 2017-2022 yılları arasında küresel ölçekte güneş enerjisinden faydalanma durumları tablo 1.31' de gösterilmiştir.

Tablo 1.29. 2017-2022 Dünya GES Verileri (GW)

2017-2022 Yılı GES Verileri		Temel Durum					Hızlandırılmış Durum		
Değerler	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Fayda Ölçeği	61	55	66	68	80	81	80	96	99
Ticari/Endüstriyel	29	33	26	19	20	23	22	27	30
Yerleşim	6	8	16	19	16	15	22	19	19
Şebekeden Bağımsız	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Tahmini Eklemeler				90	101				

Kaynak: EİA (2020). Solar Report'tan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Dünyada birincil enerji kaynaklarından faydalanma talepleri gerek artan maliyetler gerekse çevresel etkiler nedeni ile giderek azalırken yenilenebilir enerji kaynaklarına arzın gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu nedenle tükenmeyecek olan güneş enerjisi kaynağı ülkeler için önemli bir enerji kaynağının oluşturmaktadır. Öyle ki 2021 yılının kasım ayı itibari ile Çin bilim insanları gelecekte hem dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak hem de enerji piyasasında söz sahibi olmak adına nükleer füzyon reaktörü deneyini gerçekleştirerek tam olarak 17 dakika boyunca çalıştırmayı başarmışlardır.

Yapılan bu deneyi “Yapay Güneş” olarak adlandırmışlardır. Deneyin başarılı olması durumunda dünyanın tamamına yetecek enerjiyi üretebileceklerini açıklamışlardır (Tan, 2022). Ülke ve bölgelere göre net kapasite ve hızlandırılmış ilave kapasiteler tablo 1.32’de gösterilmiştir.

Tablo 1.30. Ülke ve Bölgelere Göre GES Net Kapasite İlaveleri (2020-2022)

ÜLKE VE BÖLGELER	NET			HIZLANDIRILMIŞ İLAVELER		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Çin	40,4	38,2	35,3	46,3	47	46
ABD	16,7	17,9	18,5	18,4	19,8	20,2
Avrupa	16,5	21,2	23,6	19,6	26	28
Hindistan	6,1	10,7	11,1	7,5	12,6	14,6
Latin Amerika	6,2	6,5	6,8	6,7	7,5	8,3
O.Doğu-K.Afrika	1,5	2,8	3,9	3,2	4,7	6,3
Sahra Altı Afrika	0,8	1,1	1,5	1,1	1,6	2,5
Asya	2,8	2,6	2,5	4	9,7	4,8
APAC	14,7	14,7	13,9	16,9	17,4	16,7
Diğer	1,1	1,6	1,5	1,3	2,3	1,7

Kaynak: EİA (2020). Solar Report’dan faydalanılarak hazırlanmıştır.

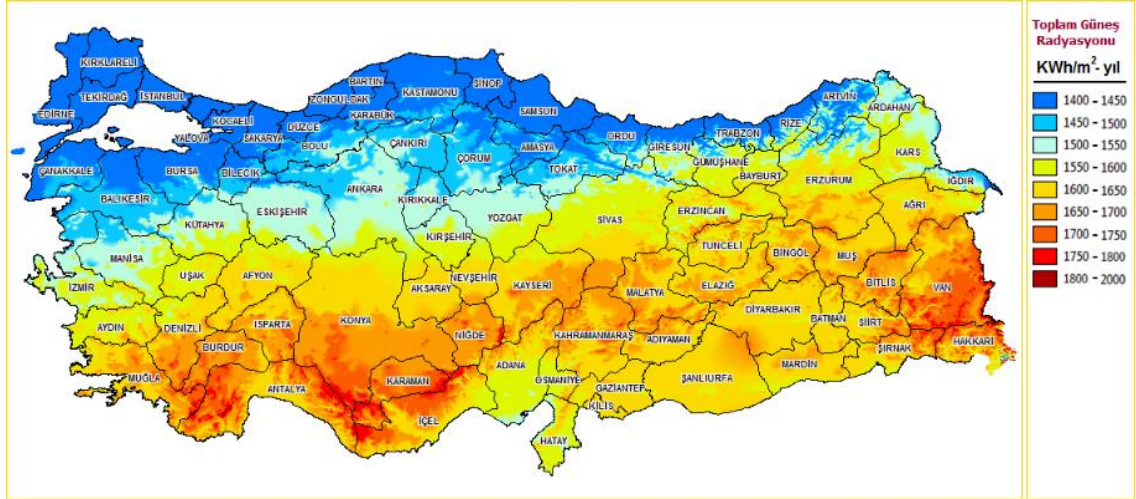
Son yıllarda giderek önem kazanan yenilenebilir kaynaklar içerisinde GES’ler büyük önem arz etmektedir. GES’lerden elde edilen enerjinin bir kısmı ulusal şebekelere bağlı iken bir kısmı lisanssız bir şekilde üretim gerçekleştirmektedir. Özellikle konutların çatıları üzerine yerleştirilmiş GES sistemleri konutlarda kullanılmakta olan enerjinin neredeyse tamamını karşılayabilir duruma gelmiştir. Ülkemizde de son yıllarda GES sistemlerine yönelim oldukça artmıştır. Gerek devlet destekli kurumsal bazda kurulan GES tarlaları ile gerekse konut tipi sistemler ile güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. 2020 yılı sonu itibari ile ülkelere göre GES kapasiteleri 1.33’de gösterilmiştir.

Tablo 1.31. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Ülkelere Göre GES Kapasitesi

Sıra	Ülkeler	Kapasite (GW)
1	Çin	254.355
2	Amerika Birleşik Devletleri	75.572
3	Japonya	67.000
4	Almanya	53.783
5	Hindistan	39.211
6	İtalya	21.600
7	Avusturalya	17.627
8	Vietnam	16.504
9	Güney Kore	14.575
10	İspanya	14.089
11	Birleşik Krallık	13.563
12	Fransa	11.733
13	Hollanda	10.213
14	Brezilya	7.881

Kaynak: Enerjiatlası (Erişim tarihi 07.04.2022). (<https://www.enerjiatlası.com/gunes/>).

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konumu nedeniyle enerji üretiminde güneş enerjisini kullanma bakımından oldukça elverişlidir. Ülkemizdeki sürdürülebilir kaynaklar içerisinde potansiyeli en yüksek olan kaynaktır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verileri; Türkiye'nin ortalama güneşlenme süresi 2741,07 saat olarak bildirmiş, ortalama ışıınım değerlerini ise 1527,46 kWh/m² miktarında hesaplanmıştır (ETKB, 2021). Ülkemizde güneyden kuzeye doğu gittikçe güneşlenme süreleri ve güneş radyasyon değerleri azalmaktadır. Öyle ki ülkemizin güneyinde güneş enerjisi potansiyeli 1800 ile 2000 kWh/m²-yıl iken kuzeyinde bu değer 1400 ile 1450 kWh/m²-yıl olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.26'a incelendiğinde ülkemizin kuzeyi dışında kalan diğer kısımları güneş enerjisi potansiyeli oldukça elverişlidir. Kuzey yönünden güneye doğru inildiğinde sarı renklerin kırmızı renge dönüştüğü görülmektedir. Kırmızı renklerle gösterilen alanlar güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu alanları göstermektedir. “Güneşlenme süresi ve enerji miktarının en yüksek olduğu bölgeleri sırasıyla Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve İç Anadolu bölgeleri oluşturmaktadır. Zamansal açıdan yıl içerisinde yaz aylarında güneşlenme süresi dolayısıyla ışıınım miktarı artarken kış aylarında bu değerler azalmaktadır” (Geçen, 2019: 3036). Ülkemizde güneşlenme sürelerine bağlı olarak güneş enerjisi potansiyeli harita 1.11’de gösterilmiştir.

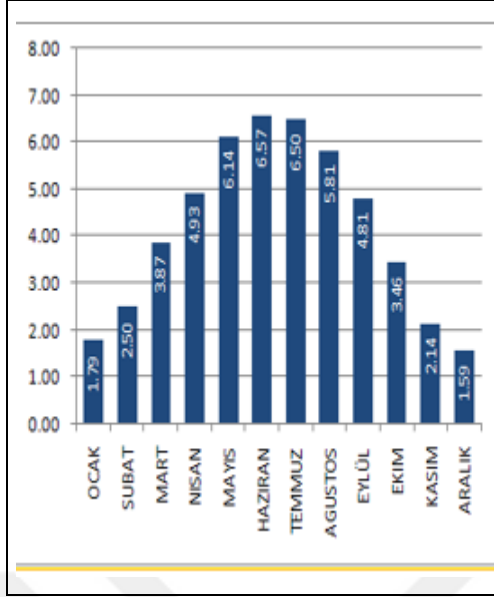


Harita 1.11. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli

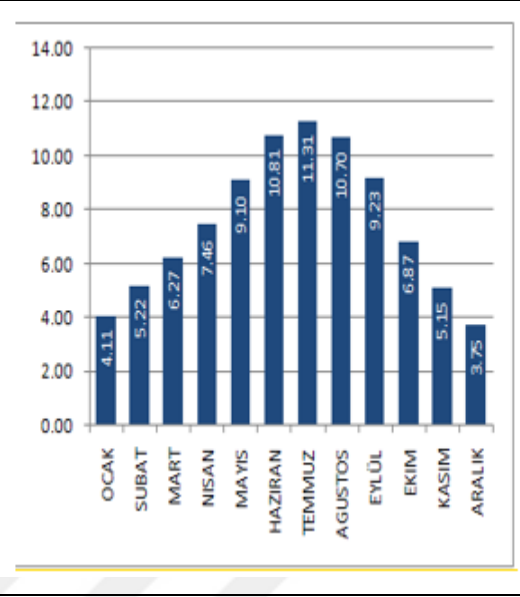
Kaynak: GEPA (<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022).

Enerji üretimi bakımından birincil enerji kaynaklarının kullanılıyor olması Türkiye'nin büyük ölçüde dışa bağımlı olmasına neden olmaktadır. Enerjide birincil kaynaklara bağımlılığın ve ithalatın azaltılması düşüncesi 1960'lı yıllardan itibaren güneş enerjisinin Türkiye'de enerji üretimi için alternatif bir kaynak olabileceği güçlendirmiştir (Selçuk ve Tran, 1975: 103). Gelişmiş ülkelerde enerji üretiminde güneş teknolojilerinin kullanılması ve bu alandaki teknolojik gelişmeler nedeni ile Türkiye'de güneş enerjisi yatırımlarına ve bu alandaki çalışmalarına başlamıştır. 1970 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Yıldız ve Ege Üniversiteleri ortaklıkları ile yürütülen güneşten enerji üretimi üzerine çalışmalar sonucunda 1975 yılına gelindiğinde İzmir'de güneş kolektörleri üretimi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte 1975 yılından sonra ülkemizde güneş kolektörlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Hepbaşlı vd., 2004: 551). 1978'de Ege Üniversitesi tarafından Güneş Enerjisi Enstitüsü kurulmuş ve 1980'de güneş piliyle çalışan ısı pompasının ilk montajı gerçekleştirilmiştir. 1983'de Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin araştırmaları sonrasında, güneş pilleriyle güç elde eden ilk santralin 1998 yılı itibarı ile Didim Araştırma Laboratuvarı'nda inşası sağlanmıştır (Alaçakır, 1999: 254).

Ülkemizde global radyasyon değerleri ile yıllık güneşlenme süreleri incelendiğinde bu değerlerin Mayıs-Eylül ayları arasında yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum ülkemizde güneşten faydalanma konusunda oldukça elverişli olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin aylara bazında oluşan radyasyon ve güneşlenme sürelerine ait veriler Şekil 1.26 ve 1.27'de gösterilmiştir.



Şekil 1.26. Türkiye Global Radyasyon Değerleri



Şekil 1.27. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)

Kaynak: GEPA (2022). (<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022).

Ülkemizde güneş enerjisi üzerine yatırımlar son yıllarda maliyetlerin azalması ile artmıştır. Ülkemizin yıllar içerisindeki güneş enerjisi kapasitesi de artan yatırımlara paralel olarak artış göstermiştir. Ülkemizde 2022 yılı Mart ayı itibari ile GES kurulu gücü 70 MB'lık artış ile 8,028,9MW yükselmiştir. Mevcut GES sayısına 301 santral eklenmiş ve 8566 olmuştur. 2022 yılı itibari ile güneş enerji kurulu gücü ülkemizde kaynaklara göre toplam kurulu gücün %8 'ini oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2022). 2014-2022 yılları arasında ülkemizin güneş enerjisi kapasitesi tablo 1.34'de gösterilmiştir.

Tablo 1.32. Türkiye Yıllara Göre Güneş Enerjisi (GES) Kapasitesi (MW)

Yıllar	Kapasite (MW)
2014	40
2015	249
2016	833
2017	3,421
2018	5,063
2019	5,995
2020	6,667
2021	7,815,6
2022	7,881,1

Kaynak: ETKB (2021) ve TEİAŞ (2022).

Tablo 1.33. Türkiye’de En Fazla Kapasiteye Sahip Güneş Enerji Santralleri (ilk 10 santral)

Sıra No	Santral Adı	İl	Kurulu Güç
1)	Karapınar YEKA-1 GES	Konya	285 MW
2)	Naturel & Esenboğa Enerji GES	Ankara	118 MW
3)	Kayseri OSB Güneş Enerjisi Santrali	Kayseri	50 MW
4)	Özkoyuncu Madencilik Balıkesir GES	Balıkesir	40 MW
5)	Teksin Enerji GES	Karaman	33 MW
6)	Kıvanç 2 GES	Mersin	31 MW
7)	Cıngıllı GES	Niğde	26 MW
8)	Van Arısu Güneş Enerjisi Santrali	Van	24 MW
9)	Fernas 4 GES	Burdur	20 MW
10)	Küçükköy GES	Antalya	19 MW

Kaynak: enerjیاتlası. (<https://www.enerjیاتlası.com/gunes/> Erişim Tarihi: 19 Mart 2021)

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yürüttüğü pozitif yönlü politikası ile yeni tesisler kurulmasına imkân tanıdığı gibi var olan tesislerin büyümesi ve kapasitelerini arttırmalarına da imkân sağlamaktadır. Tamamlandığında 1347 MW_m/1000 MW_e kurulu güce sahip olacak KARAPINAR YEKA-1 Güneş Enerjisi Santrali Projesinde şimdilerde kurulu güç olarak 530 MW’a ulaşılmıştır. Karapınar GES AA ve DA Kurulu gücü ile Avrupa’nın en büyük güneş enerjisi santrali konumuna erişmiş bulunmaktadır (TSE, 2021). “Karapınar GES yatırımlarının yanı sıra Bingöl, Adıyaman ve Balıkesir gibi illerde de yatırımlarına devam eden ülkemiz 2020 yılı itibari ile

Bingöl’de kurulan hibrit güneş enerji santrali ülkemizin ilk, Avrupa ülkeleri arasında da en büyük hibrit enerji santrali olmuştur. Bununla birlikte 1 milyon m² alana kurulu güneş enerjisi santralinde, 44 bin kolon profili ve 1 milyon metreyi aşan kablo kullanılmıştır. Bu santralle 450 bin civarında konutun yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretilmektedir” (İletişim Bakanlığı, 2021). Türkiye büyük çaplı yatırımların yanı sıra belediyeler ve gerçek kişiler tarafından da projelendirilen GES’ler için desteklerine devam etmektedir. Sürdürülebilir enerji ve kalkınma hamleleri kapsamında bir çok il ve ilçede belediyeler bünyesinde GES’ler kurulmaya devam etmektedir.



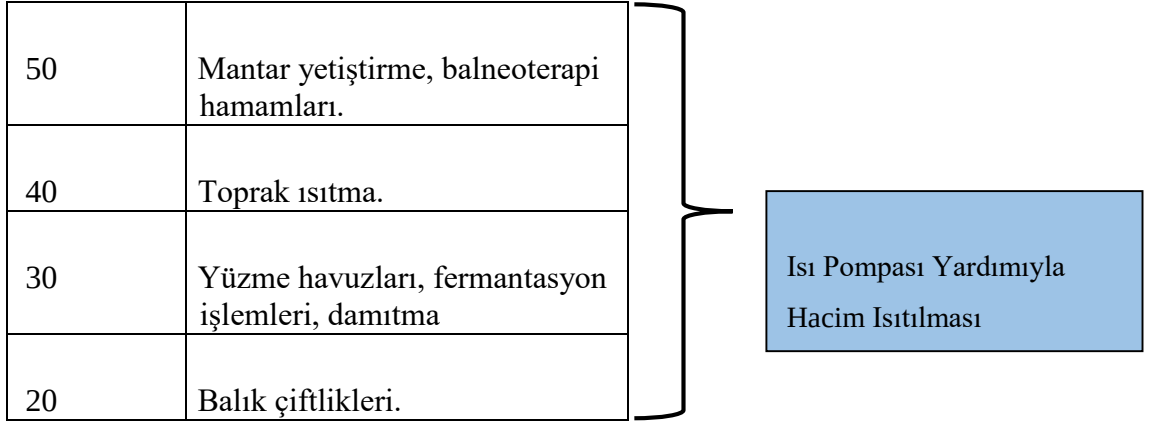
Fotoğraf 1.3. Erzincan-Tercan Güneş Tarlası

1.4.4. Jeotermal Enerji

“Yer kabuğunun derinliklerinde farklı ısı ve basınç altında birikmiş olan ve içerisinde birçok mineral ve gaz bulunduran sıcak su kaynakları jeotermal kaynaklar olarak isimlendirilir” (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Jeotermal enerjinin büyük bir kısmı sanayi, turizm ve ısıtma alanlarında kullanılırken bir kısmında da elektrik üretmek için faydalanılmaktadır (Esen ve Akça, 2019: 590). Rüzgâr ve güneş enerjileri gibi jeotermal enerji de henüz sanayi için mevcut enerji ihtiyaçlarını karşılayacak durumda olmasalar da gelecekteki enerji sorununun çözümü için umut vaat eden kaynaklardır (Doğanay ve Altaş, 2013: 28).

Çıkan her kaynaktaki ısı farklılık gösterdiği için kullanım alanları da farklılık gösterecektir. Jeotermal kaynakların sıcaklık derecelerine göre farklı kullanım alanları şekil 1.28'deki Lindal Diyagramda gösterilmiştir.

SICAKLIK (°C)	KULLANIM ALANLARI	
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma, elektrik üretimi	Elektrik Üretimi
170	Diatomitlerin soğutulması, ağır su ve hidrojen sülfid eldesi.	
160	Kereste kurutma, balık kurutma	
150	Bayer metodu ile alüminyum eldesi	Binary Santrallerle Elektrik Üretimi
140	Konservacilikte, çiftlik ürünlerinin kurutulması	
130	Şeker endüstrisi, tuz endüstrisi.	
120	Distilasyon, temiz su eldesi.	
110	Çimento kurutma.	
100	Organik madde kurutma (deniz yosunu, çimen sebze) yün yıkama ve kurutma.	
90	Stok balık kurutma.	Isı Pompası Yardımıyla Hacim Isıtılması
80	Yer ve sera ısıtma.	
70	Alt sıcak limiti soğutma	
60	Sera, ahır ve kümes ısıtma.	

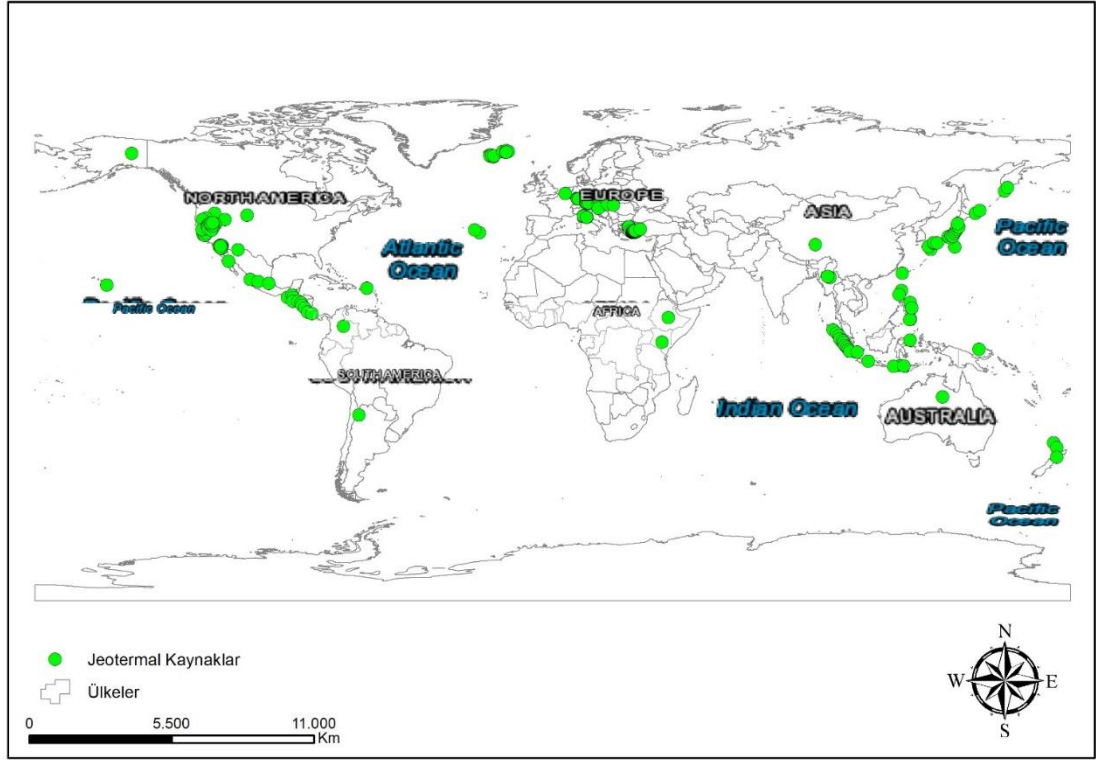


Şekil 1.28. Lindal Diyagramı

Kaynak: Geka (2016: 8). (https://geka.gov.tr/uploads/pages_v/karahayit-ve-golemezli-jeotermal-kaynaklari-2015.pdf). Erişim Tarihi 20 Ocak 2023).

Yer kabuğunun derinliklerinden yüzeye kadar çıkan bu kaynaklardan elektrik elde etmek mümkündür. Gayzerler halinde yüzeye ulaşan bu kaynaklar üzerine kurulacak buhar türbinleri sayesinde mevcut durumdaki ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek mümkün olacaktır (Ketenci, 2019). Jeotermal enerjiden farklı alanlarda kullanılabilir. Kullanım alanlarına göre kurulacak sistemler farklılık gösterebilmektedir.

Jeotermal kaynaklar çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bu kaynaklardan 150 °C’den daha yüksek olanları elektrik üretimi için kullanılabileceği gibi 150 °C’den düşük orta ve düşük sıcaklıktaki kaynaklar ısı ve ısıtma gibi alanlarda kullanılabilir (Fanelli, 2005). Jeotermal enerji kaynaklarının dünya üzerindeki yayılımı ile volkanik kuşaklar arasında bir paralellik söz konusudur. “*Dünya üzerindeki jeotermal kaynakların bulundukları alanlar: Batı Pasifik Kuşağı (Kamçatka, Japonya, Yeni Zelanda, Doğu ve Güneydoğu Asya Ülkeleri). And Volkanik Kuşağı (Alaska, Kanada, ABD batısı, Meksika, Ekvator, Peru, Şili), Alp-Himalaya Kuşağı (İtalya, Türkiye, İran, Tibet, Çin, Yunanistan), Doğu Afrika Rift Kuşağı (Zambiya, Tanzanya, Kenya, Etiyopya) ve Atlantik Kuşağı (İzlanda, Asor, Ascension, St.Helen Adaları)*” (Canik, 2000). Jeotermal kaynakların küresel dağılımı harita 1.12’de gösterilmiştir.



Harita 1.12. Dünya Üzerindeki Jeotermal Kaynaklar

Kaynak: (<https://www.thinkgeoenergy.com/map/>'den alınmıştır).

Jeotermal enerji kaynaklarından elde edilen enerji ile ilgi verilerin toplanmasında bazı kuruluşlar brüt kapasitelerini bildirirken bazı çalışır durumdakiler ise kurulu kapasitelerini bildirmektedirler. Bu nedenle verilerin toplanmasında ve düzenlemesinde tutarsızlıklar oluşabilmektedir. Kaynaklar tarafından sunulan verilerin birbirleri arasında tutarsızlığı mevcuttur. Her ne kadarda tam verilere ulaşılmamış olsa da 2021 yılı sonu itibari ile Dünya’da jeotermal kaynaklardan toplamda 15,854 MW enerji elde edilmiştir. Bu enerjiyi üreten ülkeler arasında 3.722 GW ile ABD, 2.276 GW Endonezya, 1.918 GW Filipinler ve 1.710 GW ile Türkiye en büyük paya sahip ülkeler olmuştur (Richter, 2022). Ülkelerin 2021 yılı sonu itibari ile jeotermal enerji kapasiteleri tablo 1.36’da gösterilmiştir.

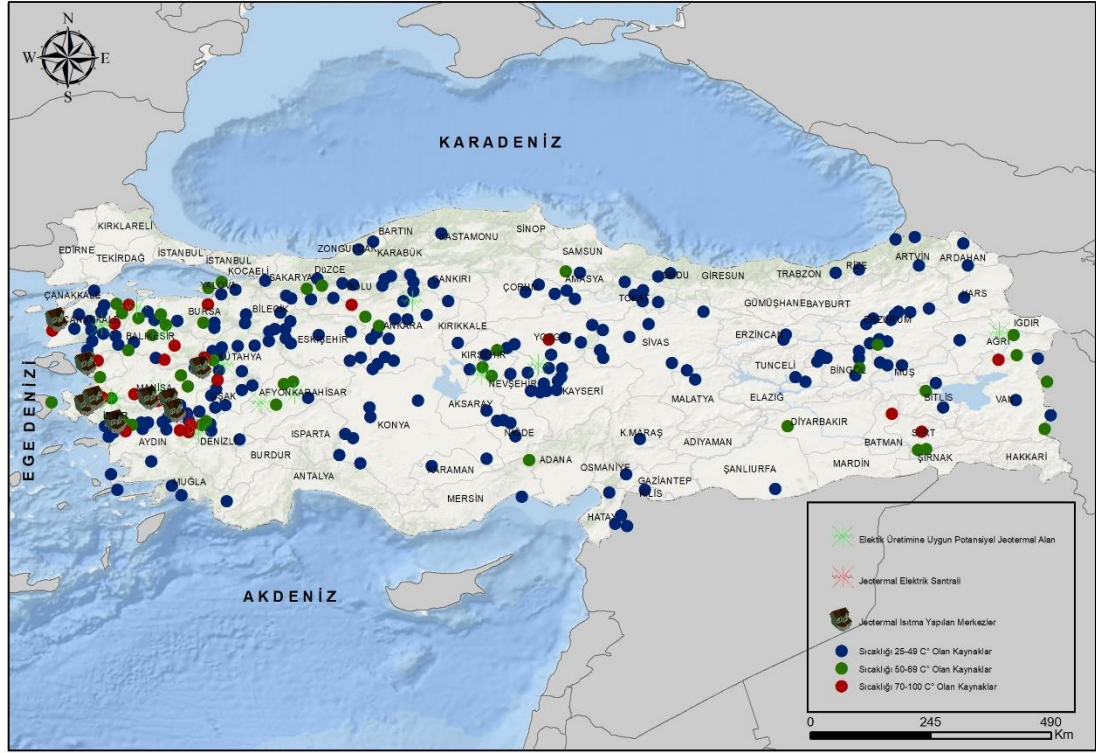
Tablo 1.34. 2021 Yılı Sonu İtibariyle Ülkelere Göre Jeotermal Enerji Kapasiteleri

Ülke	ÜRETİM (GW)
ABD	3.722
Endonezya	2.276
Filipinler	1.918
Türkiye	1.71
Yeni Zelenda	1.037
Meksika	963
İtalya	944
Kenya	861
İzlanda	754
Japonya	603
Diğer	1.067

Kaynak: (<https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2021-installed-power-generation-capacity-mwe/den> faydalanılarak hazırlanmıştır).

Ülkemizde de enerji üretimi için faydalanılan sürdürülebilir kaynaklardan biriside jeotermal enerjidir. Ülkemiz konum olarak Alp-Himalaya kuşağında yer almakta olup, genç ve aktif jeomorfolojik bir yapıya sahiptir. Genç ve kırılmalı bir yapıda olması nedeni ile birçok fay hattı bulunmaktadır. Jeotermal kaynakların fay hatları ile ilişki olması ülkemizin jeotermal enerji bakımından ülkemizi jeotermal enerji bakımından avantajlı kılmaktadır. “Ülkemizin jeotermal potansiyeli dağılımı incelendiğinde Batı Anadolu’da %78’i, Orta Anadolu’da %9’u, Marmara’da %7’si, Doğu Anadolu’da %5’i ve diğer bölgelerde ise %1’inin bulunduğu görülmektedir” (MTA, 2021). Bu kaynakların %10’luk kısmı elektrik enerjisi için uygunken geri kalan kısmı ısıtma, turizm ve diğer sanayi faaliyetlerinde kullanılmaktadır Jeotermal enerjiden birçok alanda faydalanılabilmektedir (Akkuş ve Alan, 2016). Ülkemizde jeotermal enerji kaynaklarının ilk olarak aranması MTA (Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü) tarafından 1962 yılı itibari ile başlatılmıştır. MTA tarafından başlatılan araştırmalar neticesinde ilk jeotermal sondaj kuyusu İzmir-Balçova’da açılan 40 m derinlikte 124°C sıcak su ve su buharı tespit edilmiştir (Erkul, 2012). Dağılım haritasına baktığımızda, jeotermal kaynakların Ege kıyıları ve Ege’nin iç kesimlerinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Ege Bölgesi’nde sıcaklıkları 70C⁰ ‘e kadar olan jeotermal kaynaklar sera ısıtmasında kullanılmaktadır (Kadıoğlu, 2013: 67). Böylelikle ısıtma maliyetleri düşürülmektedir. Isıtmanın yanı sıra

jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde de faydalanılmaktadır. Ülkemizdeki jeotermal kaynakların dağılışı harita 1.13'te gösterilmiştir.



Harita 1.13. Türkiye Jeotermal Enerji Haritası

Kaynak: (<http://www.mta.gov.tr>'den alınmıştır).

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi küresel ölçekte incelendiğinde ilk 5 ülke sırlamasında ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda yer alır. Jeotermal enerji yalnızca elektrik üretimi için kullanılmamaktadır, jeotermal enerjinin elektrik üretimi harici günümüzdeki kullanımı 70.329 MW olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde elektrik üretimi için kullanılan jeotermal sahası 2002'de 16 iken bu sayı 2017'ye kadar 925'e yükselmiştir. Ülkemizde yalnızca elektrik üretiminde değil konut ısıtmalarında jeotermal kullanımı da yıllara göre artış göstermiştir (KPMG, 2018: 14). Aynı zamanda 2022 Ocak ayı sonu itibari ile ülkemizde jeotermal enerji santrali sayısı 63 iken bu santrallerden elde edilen elektrik enerjisi kapasitesi 1.676,2 MW'tır. Jeotermal enerji kapasitesi 2022 yılı itibari ile ülkemiz enerji ihtiyacının yalnızca %1,68'ini karşılamaktadır (TEİAŞ, Kurulu Güç Raporu, 2022).



Fotoğraf 1.4. Denizli Jeotermal Enerji Tesisi

Kaynak: zorluenerji.com (<https://www.zorluenerji.com.tr/tr/zorlu-dogal-elektrik-uretimi/santraller/kizildere-i-ii-santralleri> Erişim Tarihi: 11 Ocak 2023).

1.4.5. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen doğada basit ve bol bulunan bir elementtir. Kokusu ve rengi olmayıp havadan 14,4 oranında daha hafif zehri olmayan bir gaz türüdür (Karalı, 2017). Hidrojen gazını doğada tek bir tip halinde değil değişik formasyonlar içerisinde bulmak mümkündür. Hidrojen birincil kaynakların reaksiyonlarından faydalanılarak elde edilebilecek yapay bir yakıttır (Kükrer, 2007)

Hidrojen gazı fosil yakıtlar içerisinde bol miktarda bulunmakla birlikte özellikle doğalgaz içerisinde önemli ölçüde rastlanır. Hidrojen birincil enerji kaynaklarının buhar yöntemi kullanılarak yeniden şekillendirilmesi ile doğrudan elde edilebilir (Karalı, 2017: 30).

Hidrojen enerji üretimi 1500’lü yıllarda ortaya çıkarılmış olup, 1700’lü yıllara gelindiğinde yanma özelliği keşfedilmiş, 20.yy.’da elektrik enerjisi üretimi için kaynaklar arasında yerini almaya başlamıştır. Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacının birincil kaynaklar tarafından karşılanamaz hale gelişi, fosil kaynakların giderek azalıyor olması sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarına yönelimi giderek arttırmıştır. Bu doğrultuda doğal çevreye zarar vermeyen ve yenilenebilir enerji bakımından en ideal kaynaklar arasında hidrojen ve güneş enerjisini göstermek mümkündür (Kükrer, 2007: 23).

Hidrojen gazının yanması ile oldukça yüksek ısı enerjisi elde edilir ve çevreye zehir salınımı olmaz. Bilinen kaynaklar içerisinde, birim ağırlık üzerinde en fazla enerjiye sahip kaynaktır. 1 kg hidrojenden üretilen enerji miktarı; 2,1 kg doğalgaz ve 2,8 kg petrol oranında üretilen enerjiye karşılık gelmektedir. Petrol cinsi kaymaklarla karşılaştırıldığında verimliliği 1,33 kat oranında daha yüksektir (Endener vd., 2013).

Hidrojen enerjisi dünya enerji ihtiyacını büyük oranda karşılayacak bir kaynaktır. Ancak üretim, taşıma, yakılma ve depolama gibi aşamalarında halen çözüm arayışı içinde olunan bazı sorunlar vardır (İder, 2003: 101-102). Tüm bunlarla birlikte hidrojen gazından enerji üretilebilmesi için doğada saf halde bulunması gerekir, saf halde bulunmayan hidrojen gazının ayrıştırılması birincil kaynaklara oranla 4 kat daha maliyetlidir (Tutar vd., 2011). Ayrıca hidrojen gazının taşıyıp depolanabilmesi için sıvılaştırılması gerekmektedir. Sıvılaştırıldığında hava hidrojen ile birlikte sıvılaşır ve hidrojen-oksijen karışımı oluşur; yoğunluğu, moleküler kütlesinin düşük olması nedeniyle depo ve borular içerisinde sızar ve metalleri kırılgan hale getirir. Bu durum patlamalara neden olacağından taşınmasını zor hatta imkânsızlaştırır (Baykara, 2002).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrojen enerjisi özellikle otomotiv sektöründe yakıt olarak tüketimi amaçlanarak bu alanda çeşitli stratejiler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Hidrojen enerjisi ile çalışma esasına dayalı yakıt pilleri dünyada petrole olan bağımlılığın azaltılmasını amaçlamaktadır. Hidrojen enerjisi alanında önemli stratejik adımlar atan ülkelerin başında Japonya gelmektedir. Tokyo hinterlandında hidrojen kullanımıyla oluşacak azotoksit emisyonu oranının düşürülmesine yönelik çalışmalarını WE-NET (World Energy Network) projesiyle gerçekleştirmektedir. 2020 yılına kadar Japonya projeyi gerçekleştirmek amacı ile 4 milyar dolarlık kaynak oluşturmuştur. Ekvator bölgesinde suni bir ada oluşturularak okyanus sularından elektrolize tekniğini kullanarak hidrojen enerjisi oluşturmayı amaçlamıştır (EİA, 2020).

Almanya günümüzde büyük bir hidrojen enerjisi pazarına sahiptir. Üretilen enerji kimya endüstrisi ve rafinerilerinde kullanılmaktadır. Mevcut enerji 34 Power To Gas tesisinden fosil yakıtlar kullanılarak elde edilmektedir. Günümüzde bu tesislerden 29 MW enerji üretilmektedir (Uluslararası Hidrojen Stratejileri Raporu, 2020). Hidrojen enerji alanında ilk adımlarını 2017 yıllarında atan Japonya hidrojen kullanımı alanında önde gelmektedir. Yapılan çalışmalar ve stratejilerle birlikte hidrojen enerjisi ile çalışan

araçların (çoğunluk otobüsler) sayısı giderek artmaktadır. Ayrıca yeni geliştirilen teknolojiler ile gemilerle hidrojen taşıyan ilk ülke olacaktır (Uluslararası Hidrojen Stratejileri Raporu, 2020). Günümüzde Çin hidrojen enerjisi üretimi ve tüketimi bakımından dünyada en önde gelen ülke konumundadır. 20 yıla yakın bir zamandır otomotiv sektöründe kullanılmak üzere yakıt hücresi ve hidrojen geliştirmişlerdir. Ayrıca gelecek yıllarda 3000 km hidrojen boru hattı kurmayı planlamaktadır (Uluslararası Hidrojen Stratejileri Raporu, 2020).

2021 yılı itibari ile 30'dan fazla ülke hidrojen enerjisi kullanımını öngören stratejilerini açıklamışlardır. Çoğunluğu Avrupa'da olmak üzere Asya ve Avusturalya'da 228'den fazla proje duyurulmuştur. Hedeflenen projeler ile hidrojen enerjisi ile üretilen yakıtlar kamyon taşımacılığı, ulaşım, sanayi gibi 20'den fazla alanda kullanılabilir. 2030 yılına kadar dünyada hidrojen enerjisi kapasitesinin 16 kat artacağı öngörülmektedir (Hydrogen Council, 2021).

Ülkemizde ilk olarak İstanbul'da UNIDO-ICHET'in çalışmalarını sürdürmesine katkı sağlamak amacıyla hidrojen araştırma ve geliştirmesini (AR-GE) birimi kurulmuştur. AR-GE birimi bu alanda çalışanların beklentilerini karşılayamadığından dolayı kapanmıştır. AR-GE biriminde bulunan materyaller, ETKB'nin Hidrojen Laboratuvarları'na nakledilmiştir. 2020 yılının ocak ayına kadar bu alandaki çalışmalar istenilen düzeyde olmamıştır. ETKB tarafından düzenlenen toplantı ("Hidrojen Arama Konferansı") ile kamuoyundan görüş alınmaya başlanmıştır (ETKB, Enerjide Arama Buluşmaları, 2020). Bu toplantı sonrasında hidrojen ülkemizin enerji kaynakları arasında önemli bir yer almıştır.

Ülkemizde sürdürülebilir enerji kaynaklarının yanı sıra inşa aşamasında olan nükleer enerji hidrojen yakıtı elde etmek için kullanılabilir kaynaklardır (Ültanır, 1998). Ülkemizde Karadeniz'in tabanında mevcut hidrojen sülfürden, rüzgâr ve jeotermal kaynaklardan hidrojen enerjisi elde edilmeye çalışılmaktadır (Kurtuluş, 2006). Ülkemiz için en uygun hidrojen üretim tesisi fotovoltaik güneş-hidrojen üretim sistemleridir. Bu yöntem ile 422 lt benzinle aynı değerde enerji üretecek şekilde bir m³ su ile 108 kg hidrojen üretilmektedir (Ültanır, 1998).

ETKB'nin 2020 yılı ocak ayında "Hidrojen Konulu Çalıştayı" sonrasında GAZBİR-GAZMER koordinatörlüğünde 2020 yılı başında Türkiye'nin ilk "Power to

Gas” projesi Konya’da başlamıştır. Bu proje ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hidrojen üretilmiş ve üretilen hidrojen gazı ilk olarak %5-10 oranında doğalgaza karıştırılmış ve 2021 yılında %20 oranında hidrojen gazı doğalgaza karıştırılarak evsel cihazlarda yakılması başarılmıştır (Akman vd., 2021). Bu proje ile uzun vadede ülkemizde hidrojen üretilmesi ve doğalgaz hatlarına entegrasi ile enerjide bağımlılığın azaltılacağı düşünülebilir.

Ülkemizde 2020-2025 yılları arasında hidrojen üretiminin 10 Mtep’i aşabileceği, 2025’ten sonra ülkemizin birincil kaynaklara yönelik ithalatında azalma gerçekleşeceği öngörülmektedir. Hidrojen üretiminin artması ile fosil yakıtların yalnızca dış alımda değil ülke üretiminde de sonlandırılacağı 2065’te, hidrojen üretiminin 290 MTEP olabileceği düşünülmektedir (Ültanır, 1998). Böylelikle enerjide dışa bağımlılık azalacağı, ülkemizde birincil enerji kaynaklarının temini için kullanılan ulusal kaynakların ülke içerisinde kalacağı ve ekonomik kalkınmışlığın artacağı düşünülmektedir. Öyle ki ABD önümüzdeki 5 yıllık süreçte ülkenin enerji tüketiminin %10’unu hidrojen enerjisinden karşılayarak birincil kaynaklardan olan petrol ithalatının yıllık ithalat miktarının yarısı kadarına düşürmeyi hedeflediği düşünülürse, Türkiye’de yürütülen projenin benzer sonuçlar vereceği düşünülebilir. Yürütülmekte olan projeye ait bulgular diğer ülkelerde elde edilen sonuçları doğrular durumdadır.

1.4.6. Dalga Enerjisi

Dünya üzerindeki büyük su kütleleri önemli bir enerji kaynağını teşkil eder. Sularda oluşan enerjinin elde edilmesinin yolu dalgaları kullanmaktır. Dalga üzerinde var olan enerji su kabarcıklarının helezonlu hareketi ile hareket enerjisine dönüşür. Suyun sıcaklık farkından meydana gelen enerjide dalga enerjisi olarak isimlendirilir (Erdal, 2012).

Yapılan araştırmalarda elde edilen verilere göre, dünya yüzeylerinin farklı ısınması neticesinde oluşan rüzgârların, su kütleleri üzerinde esmesi ile dalgalarındaki gücün diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla on, on beş kez daha mutlak olduğu tespit edilmiştir. Dalga enerjisi kaynağının dünya üzerindeki birçok ülkenin kullanımına yetecek kadar çok ve uygun olduğu bilinmektedir (Can, 2017: 70).

Sıcaklık farkları neticesinde oluşan rüzgârların etkisi ile büyük su kütlelerinde şiddetli dalgalar meydana gelebilmekte ve tonlarca ağırlıktaki su kütleleri yer

değiştirmektedir. “30 ile 60 derece enlemleri arasında kalan bölgelerdeki açık denizler bu enerjiden faydalanılmak için oldukça elverişlidir” (Batı, 2013). Dalganın ve deniz derinliklerindeki basıncın kullanımı ile dalga enerjisi elde edilebilmektedir. Bu enerji kaynağından yararlanmak için tasarlanmış sistemlerin en uygun kullanım alanları açık denizler, denizlerin kıyıya yakın kesimleri veya kıyı bölgeleri olarak planlanmıştır (Adıyaman, 2012).

Dünya yüzeyinin 3/4'ünün sular ile kaplı olduğu gerçeği ile hareket edilirse denizlerin önemli bir enerji kaynağı olduğu inkâr edilemez. Deniz kökenli enerji üzerine yapılan araştırmalar neticesinde elde edilebilecek enerjinin 2-3 milyon MW'lık bir kaynak oluşturabileceği görülmüştür. Denizler üzerinde inşa edilecek enerji tesislerinde 1.000 W'tan 100 MW kadar olan güç aralığında enerji tesisi inşa edilebilir (Gedik, 2015). Denizlerdeki dalgalardan enerji elde edilebilmesi için dalgaların belirli bir sıklık ve şiddete sahip olması gerekmektedir. Douglas Skalasına göre denizlerdeki dalga oluşumları tablo 1.37'de gösterilmiştir.

Tablo 1.35. Douglas Skalasına Göre Denizlerdeki Dalga Oluşumları

Derece	Denizin Durumu	Dalgaların yüksekliği
0	Düz (sakin)	0
1	Çarpıntılı	30 sn'den az
2	Güzel Dalgacıklı	30 ile 60 sn
3	Hafif Çalkantılı	0,60 ile 1 metre
4	Çalkantılı	1 ile 1,5 metre
5	Kaba dalgalı	1,5 ile 5 metre
6	Çok Kaba Dalgalı	2,5 ile 3,5 metre
7	Yüksek	3,5 ile 6 metre
8	Çok Yüksek	6 ile 12 metre
9	Azgın	12 metreden fazla

Kaynak: İnandık (1971 :48).

Dalga enerjisi üretiminde herhangi bir sınırlandırma yoktur. Dalga oluşumunda etkili olan rüzgâr koşullarında farklılık olabileceği gibi su kütlelerinde de yapısal farklılıklar görülmektedir. Bu nedenle enerji santrallerinin kuruluş yerleri farklılık gösterebilir. Bunun yanı sıra santrallerden enerji elde etme yöntemlerinde de farklılık

olabilir (Ketenci, 2019). Dalga enerjisi doğal çevreye zarar vermediği gibi küresel ısınmaya da yol açmamaktadır. Ancak teknolojik cihazların yoğun güç altında dayanabilir olması gerekmektedir. Bununla birlikte deniz altından üretilen enerjinin iletilmesinde kullanılacak su altı kablolarının da dayanıklı olması gerekir. Ayrıca deniz altından kıyıya enerjiyi iletmek için çok uzun kablolarla ihtiyaç vardır. Tüm bunlar düşünüldüğünde çok fazla maliyet gerektirir.

Dünyanın $\frac{3}{4}$ 'ünün büyük su kütleleri ile kaplı olması bu kaynağın sürdürülebilir olması bakımından cezbedicidir. Ancak bu kaynak gerek kurulum gerek bakım maliyetleri açısından pek tercih edilmemektedir. Kurulan tesislerin şiddetli fırtınalarda zarar görmesi bu enerji kaynağına yönelik ilgiyi azaltmaktadır. Fakat tüm bu olumsuzluklara rağmen enerji lojistiği zor olan ada ülkeleri için oldukça önemli bir enerji kaynağını teşkil etmektedir (Alpdoğan, 2009).

Dalga enerjisi ile ilgili tesis ve üretim bakımından dünyada Kore, Fransa, İngiltere ve Kanada gibi ülkeler ilk sırayı almaktadır. Dalga enerjisi ile üretilen enerji dünya genelinde enerji ihtiyacının %10'u karşılamaktadır (IRENA, 2019). Ülkelerin 2019 yılı sonu itibari ile dalga enerjisi potansiyelleri Tablo 1.38'de ki gibidir.

Tablo 1.36. Ülkelere Göre Dalga Enerjisi Kapasitesi (MW)

ÜLKE	ÜRETİM (MW)
Kore	256,000
Fransa	214,067
İngiltere	20,398
Kanada	20,000
İspanya	4,796
Çin	4,250
Hollanda	2,050
Rusya	1,700
Avusturalya	1,000
İtalya	0,200

Kaynak: İRENA (2019)'dan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Bu ülkelerin yanı sıra dalga enerjisi üretiminde Gana'da 400KW gücündeki tesis 2016 yılında faaliyete geçmiştir. ABD'de iki farklı tesisten 230 KW enerji üretilmektedir.

İspanya’da 300 KW enerji üreten tesis 2011 yılı itibari ile faaliyete geçmiştir. Bu tesis ortalama 100 hanenin enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. İsrail’de salınlı dalgalanma teknolojisi ile çalışan 40 KW’lık tesis üretimine devam etmektedir. Yunanistan ise 2015 yılından beri kurulu tesisinden 20 KW enerji üretmektedir. Dalga enerjisi potansiyeli bakımından en yüksek olan Şili 3,800 MW enerji elde etmektedir (IRENA, 2019).

Türkiye’nin büyük su kütlelerine kıyısı bulunmamaktadır. Fakat üç tarafı denizlerle çevrildiği bir yarım adadır ve bu denizlerde yaklaşık 8210 km’lik kıyı şeridinde sahiptir. Bu durum ülkemizde dalga enerjisi potansiyelinin önemli düzeyde olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu yüzden dalga enerjisi potansiyelini tespit etmek ve yararlanabilmek oldukça önemlidir. Nitekim 2020 yılında oluşan enerji kaynakları maliyetlerindeki artış bu kaynağın Türkiye için taşımış olduğu önemi bir kez daha ortaya koymaktadır.

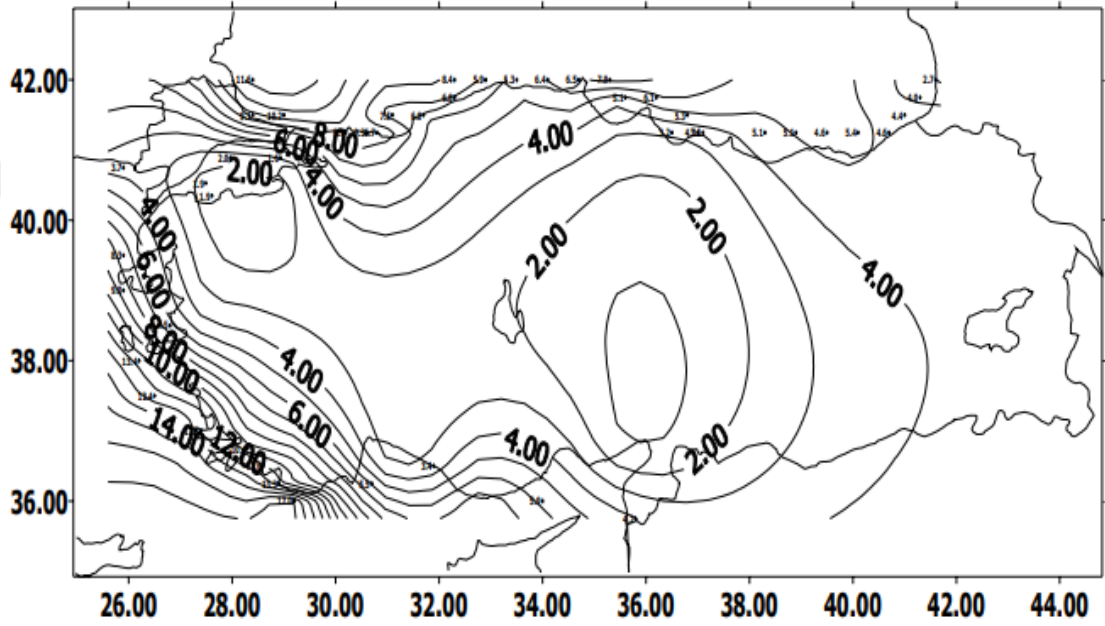
Ülkemizin sahip olduğu kıyı şeridi uzunluğunun 1/5’i kadarının dalga enerjisi üretiminde yararlanılabileceği öngörülebilir. Küçük ölçekli dönüştürücülerden, yıllık 4-17 kW/m dalga gücüne sahip sulardan, yıllık 10 TWh/yıl güç üretilebilir. Bu enerji potansiyeli ülkemizin hidroelektrik enerji varlığının %12,5’idir (WRI, 2001). Ülkemizi çevreleyen denizlerdeki dalga enerjisi potansiyelleri; Karadeniz için 1.96-4.22 kWh/m, Marmara için 0.31-0.69 kWh/m, Adalar Denizi için 2.86-8.75 kWh/m, Akdeniz için 2.59-8.26 kWh/m ve İzmir-Akdeniz kıyı şeridi için 3.91-12.05 kWh/m olarak ölçülmüştür. Ülkemiz denizlerinin sahip olduğu dalga enerjisi potansiyelleri tablo 1.39’da verilmiştir.

Tablo 1.37. Ülkemiz Denizlerinin Dalga Enerjisi Potansiyeli

Bölge	Güç
Karadeniz	1.96-4.22 kWh/m
Marmara	0.31-0.69 kWh/m
Ege	2.86-8.75 kWh/m
Akdeniz	2.59-8.26 kWh/m
İzmir-Antalya	3.91-12.05 kWh/m

Kaynak: Sağlam ve Uyar (2022).

Ülkemizi çevreleyen denizlerin kıyı şeritlerindeki dalga enerji potansiyeli açık denizlere oranla daha düşüktür. Sahip olunan kıyı şeridinin ise yalnızca 1/5'nden faydalanılabileceği öngörülmektedir. Denizlerimizdeki en yüksek dalga enerjisi potansiyeline ise İzmir- Antalya kıyı şeridi sahiptir. Bu kıyı şeridi dışında dalga enerjisi potansiyeli açısından Ege ve Akdeniz kıyıları oldukça önemlidir. Marmara ve Karadeniz’de ise dalga enerji seviyeleri diğer denizlere göre daha azdır. Ülkemize ait denizlerin dalga enerjisi seviyeleri harita 1.14’te verilmiştir.



Harita 1.14. Türkiye Denizlerinin Dalga Enerjisi Seviyeleri

Kaynak: Sağlam ve Uyar (2022).

Ülkemizde dalga enerjisi üretimi bakımından ilk girişim, “2008 yılında Sakarya’nın Karasu ilçesinde Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi projesi kapsamında Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) ile birlikte Türkiye Elektromekanik Sanayi A.Ş. (TEMSAN) ortaklığında gerçekleşmiştir. Yaklaşık 5 kW gücünde ve mobil olarak tasarlanan sistem 4 adet duba, şamandıra ve jeneratörden meydana gelmektedir. Sistem dalgaların dikey hareketinin şamandıra ile jeneratöre iletilmesiyle çalışmaktadır (Kapluhan, 2014).

Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı (BAKKA)’nın açıklamasına göre Avustralyalı CSG Exploration and Production Services firması Zonguldak’ta 50 KW üretim potansiyeline sahip dalga enerjisi tesisini ücretsiz olarak kurmayı kabul etmiştir.

Kurulması planlanan bu tesis Türkiye’de bir ilki gerçekleştirecek olup dalga enerjisinden üretim sağlayacaktır (BAKKA, 2017).

1.4.7. Biyokütle Enerjisi

“İçerisinde bulundurduğu karbona ek olarak birçok gaz, metal ve alkali toprak bulunduran yenilenebilirliğinin yanı sıra organizma atıklarından oluşan fakat fosil olmayan kaynaklar biokütle olarak isimlendirilir” (Korkmaz ve Deniz, 2019: 142-143). Bu kaynaktan elde edilen enerji biyokütle enerjisi olarak isimlendirilir. *“Bu enerji türü yakılarak ısı enerjisine dönüştürüldüğü gibi (odun, tezek) zirai ve şehrsel atıklarında çeşitli yöntemler kullanılarak işlenmesi ile yakıt olarak değerlendirilebilir”* (Karayılmazlar vd., 2011: 64). Biyokütle enerjisinin kaynağını ağaçlar bitki kalıntıları, yosunlar, hayvan gübreleri sanayi atıkları teşkil eder (Topal ve Arslan, 2008: 242). Birincil enerji kaynaklarından sonra önemli bir enerji kaynağı olarak görülür ve sürdürülebilir kaynaklar içerisinde potansiyeli en yüksek olandır. *“Biokütle enerjisi kolay yetiştirilme depolama imkânlarına sahip, çevre dostu ve diğer enerji kaynakları ile birlikte kullanılabilen bir kaynaktır”* (Korkmaz ve Deniz, 2019: 143).

İnsanlık var olduğu günden beri biyokütlenin bir parçası olan odunu pişirme, yakarak ısınma ve güç kaynağı şeklinde kullanmıştır. Daha fosil kaynakların kullanılmaya başlaması ile bu kaynağa olan ihtiyaç azalmıştır. Günümüzde fosil kaynakların sebep olduğu küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre sorunlarının artması biokütle kaynaklarının yeniden önem kazanmasına neden olmuştur (Sözen vd., 2017: 149).

Ülkemizin sahip olduğu geniş tarım alanları ve bu alanlarda tarımsal faaliyetlerin yaygın bir şekilde yapıyor olması yanında Kuzey Anadolu’nun orman alanları zengin bir biokütle varlığına işaret etmektedir. Biyokütle potansiyelinin yüksek olmasına rağmen günümüzde bu kaynağın kullanımı giderek azalmıştır.

“Ülkemizde üretilen toplam enerji içerisindeki biyoenerjinin payı %2 dir. 3 milyon TEP civarında üretilen biyoenerjinin bir kısmı sanayi ve konutlarda ısıtma amaçlı kullanılırken bir kısmı da ulaşım sektöründe biodizel yakıt olarak kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 465 bin TEP’lik biokütleden ise elektrik üretmek amacı ile faydalanılmıştır”

(ETKB, 2021). 2000 ile 2018 yılları arasında ülkemizdeki biokütle arzı tablo 1.40'ta gösterilmiştir.

Tablo 1.38. Türkiye Biokütle Enerji Arzı

Yıllar	Biyoenerji ve atıklar (TEP)	Yakacak Odun (TEP)	Atıklar (TEP)	Biyo Yakıt (TEP)	Hay. Bit. Atık (TEP)	Sıvı Biyo Yakıt (TEP)
2000	6547000	5081000			1376000	
2005	5325000	4146000			1179000	
2010	4489000	3392000		6000	1091000	
2014	3250000	2162000		81000	1007000	
2015	2945000					
2016	2843000					
2017	2531000					
2018	3014000	972000	1883000			159000

Kaynak: İllez (2020). (Türkiye’de Biyokütle Enerjisi, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-13_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20_B%C3%BClent%20%C4%B0llez.pdf).

Küresel olarak biyokütle enerjisi birincil enerji kaynaklarından sonra en fazla tercih edilen enerji çeşididir. Dünya genelinde tüketilen enerji miktarının %0.14’ünü karşılayan biokütle enerjisi ısınma, ulaşım ve enerji gibi birçok alanda kullanılmaktadır. “*Küresel anlamda tüketilen biokütle enerjisinin % 4’ü hidrojenle işlenen bitkisel yağlar, % 22’si biyodizel yakıtlar ile %74’ü de etanol yakıtlardan meydana gelmektedir*” (Karagül ve Kavaz, 2017: 18). Küresel olarak biyoenerjiden faydalanma durumlarına bakıldığında Asya, Avrupa, Güney ve Kuzey Amerika kurulu kapasite ve toplam dünya biyoenerji kapasitesi bakımından önde gelen bölgeleri oluşturmaktadır. 2020 yılı itibari ile bölgelere göre biyoenerji kapasiteleri tablo 1.41’te gösterilmiştir.

Tablo 1.39. Bölgelere Göre Biyoenerji Kapasitesi (2020)

Bölge	Kapasite	Dünya Toplam (%)
Amerika/Karayipler	2,043	2,39
Okyanusya	1,077	0,85
Afrika	1747	1,37
Avrasya	2,715	2,13
Güney Amerika	17,755	13,96
Kuzey Amerika	15,046	12,11
Avrupa	42,341	33,29
Asya	43,013	33,81
Toplam	1870,99	99,91

Kaynak: İRENA (2020)'dan faydalanarak hazırlanmıştır.

Biyoenerji kapasiteleri ülkeler bazında incelendiğinde en çok üretim ve kapasiteye sahip olan ülkeler; Çin, Brezilya, ABD, Hindistan ve İngiltere'dir. Biyoenerjiden elektrik üretimi yapan ülkelerin başında ise Çin, ABD, Brezilya ve Almanya gelmektedir (İRENA, 2019). Ülkelerin 2019 yılı itibari ile sahip oldukları biyoenerji kapasiteleri (MW) tablo 1.42' de gösterilmiştir.

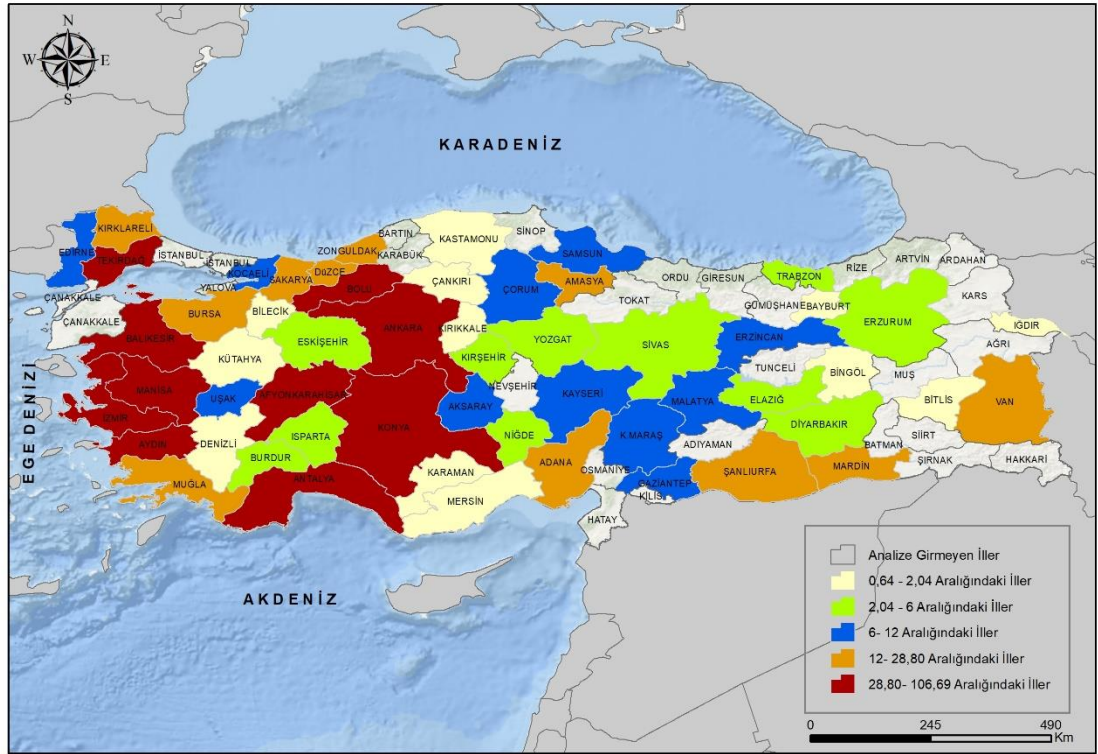
Tablo 1.40. Biyoenerji Kapasitesi (ilk 10 ülke) (2019)

ÜLKE	KAPASİTE (MW)
Çin	16,537,072
Brezilya	15,357,335
ABD	12,057,500
Hindistan	10,255,422
Almanya	9,988,000
İngiltere	7,164,907
İsveç	5,298,500
Tayland	4,254,790
Japonya	3,505,500
İtalya	3,454,148

Kaynak: İRENA (2019)'dan faydalanılarak hazırlanmıştır.

Ülkemizde biyoenerjinin giderek düşmesinin asıl nedeni biyokütle kaynaklarının bilinçsiz bir şekilde yakılmasıdır. Ormanların bilinçsiz, izinsiz bir şekilde kesilmesi tahrip edilmesi ve yakılması da bir diğer neden olarak gösterilebilir. İleri teknoloji araç ve gereçlerin olmasına rağmen ülkemizde kentsel atıkların yaklaşık olarak %90'ı kadarından da faydalanılmadığı görülmektedir (İlleez, 2020).

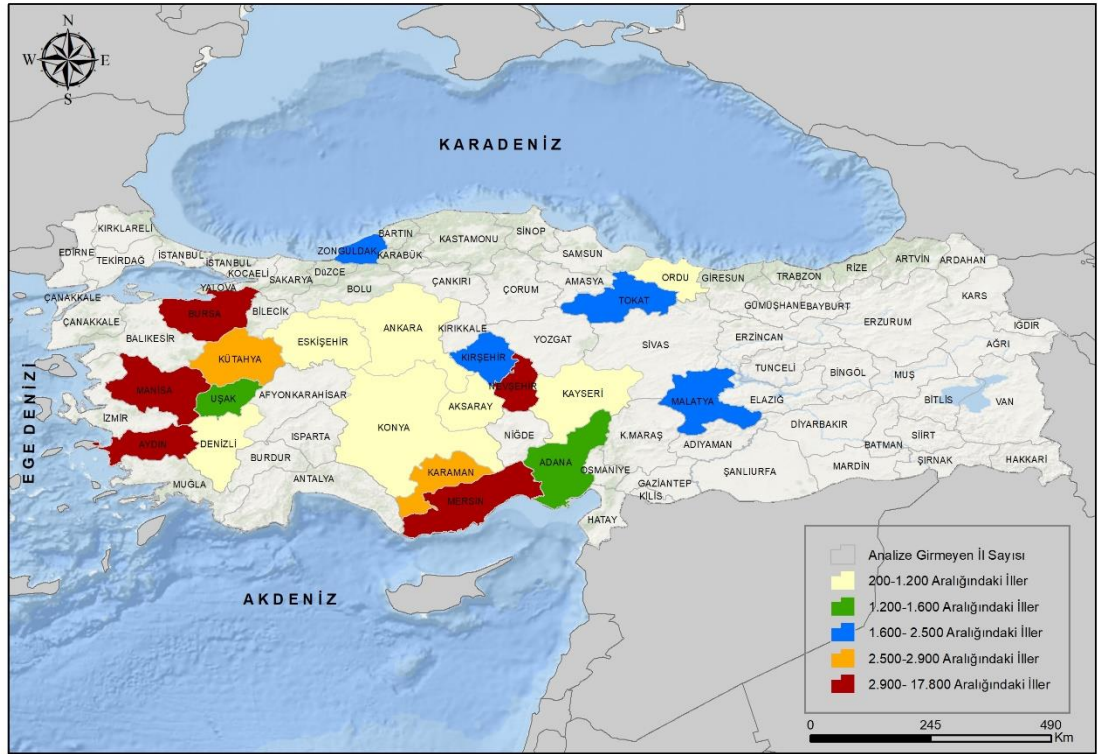
Dünyada fosil yakıtların maliyetinin artması ile birlikte biyokütleden elde edilen enerjiye yönelimde artmaya başlamamıştır. *“Ülkemizdeki biyokütle kaynaklarına dayalı enerji üretiminin Dünya geneline nispetle oldukça az miktar ve oranda olduğu anlaşılırken biyokütle kaynaklarına dayalı enerji üretiminin arttırılması halinde gerek ülkemizin enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanırken gerekse ülkemizin kalkınmasına önemli katkı sağlanabilecektir”* (Demir, 2017). Bilhassa kırsal kesimlerin sosyo-ekonomik gelişimlerini hızlandırması nedeniyle son dönemde oldukça rağbet görmektedir. Bazı iller ve ilçelere ait belediyeler enerji ihtiyaçlarını daha uygun maliyetlerde karşılayabilmek adına biyoenerji tesislerini kurmaktadır. Türkiye'nin 2022 Ocak ayı sonu itibari ulusal santrallere bağlı olarak elektrik üreten biyoenerji santral sayısı 380 ve bu santrallerin 2022 yılı itibari ile üretim kapasiteleri 1,711,1 MW'tır. Üretimin 1.622.0 MW'lık kısmını serbest üretim santralleri tarafından sağlanırken 89,1 MW'ı lisanssız üretim santralleri tarafından karşılanmaktadır. Bununla birlikte 2022 yılı itibari ile serbest üretim santralleri adedi 323, lisanssız üretim santralleri sayısı ise 57'dir. Ülkemizde 5 MW'tan fazla enerji üretebilen tesislere EPDK tarafından lisans verilmektedir. Ülkemizde 58 ilde lisanslı üretim yapan biyoenerji santrali bulunmaktadır. Türkiye'de lisanslı olarak elektrik üreten biyoenerji santralleri aşağıda gösterilmiştir (Harita 1.15).



Harita 1.15. Türkiye’de Biokütle Kaynaklı Lisanslı Elektrik Üretim Santralleri (MW)

Kaynak: BEPA (2022). (<https://bepa.enerji.gov.tr/> Erişim Tarihi:16 Mart 2021).

Ülkemizde 2022 yılı itibari ile lisanslı biyoenerji santrallerinin yanı sıra lisanssız olarak üretim faaliyetlerine devam eden 57 adet santral vardır. 2022 yılı itibari ile bu santrallerin ülkemiz enerji ihtiyacına katkısı 89,1 MW olarak ölçülmüştür. Ülkemizde 2022 yılı itibari ile lisanssız olarak faaliyet gösteren biyoenerji santralleri harita 1.16 ‘de gösterilmiştir.



Harita 1.16. Türkiye’de Biokütle Kaynaklı Lisansız Elektrik Üretim Santralleri (MW)

Kaynak: BEPA (2022). (<https://bepa.enerji.gov.tr/> Erişim Tarihi: 16 Mart 2021).

Türkiye’de toplam biyokütle enerji üretim kapasitesi ortalama 14–32 milyon TEP, hayvansal atıklardan üretilen enerji miktarı 4.385.371 TEP olarak belirlenmiştir. Ülkemizi kırsallarında potansiyeli yüksek olan biyogazın üretimi ile bu alanlardaki ekonomik kalkınmaya desteklenmiş olacaktır. Hayvansal atıklardan yılda ortalama 2,2–3,9 milyar m³ biyogaz elde edilebilmesi mümkündür (İlleez, 2020). Ülkemizde biyoenerji üretiminde çok çeşitli organik atıklardan faydalanılmaktadır. Bu atıkların bazıları; bitkisel-ormansal, şehirsal atıklar, tarım atıkları ve hayvansal atıklardır. Organik atıklardan enerji üretimine dayalı 370 adet biyoenerji santrali bulunmaktadır. 2020 yılı itibari ile bu santrallerin kurulu gücü 32483,45 MW a ulaşmıştır. Ülkemizin organik atık kaynaklı biyoenerji santralleri kurulu gücü, santral adedi ve kullanılan organik atık türleri tablo 1.43’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1.41. EPDK 2020 Yılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) Listesi

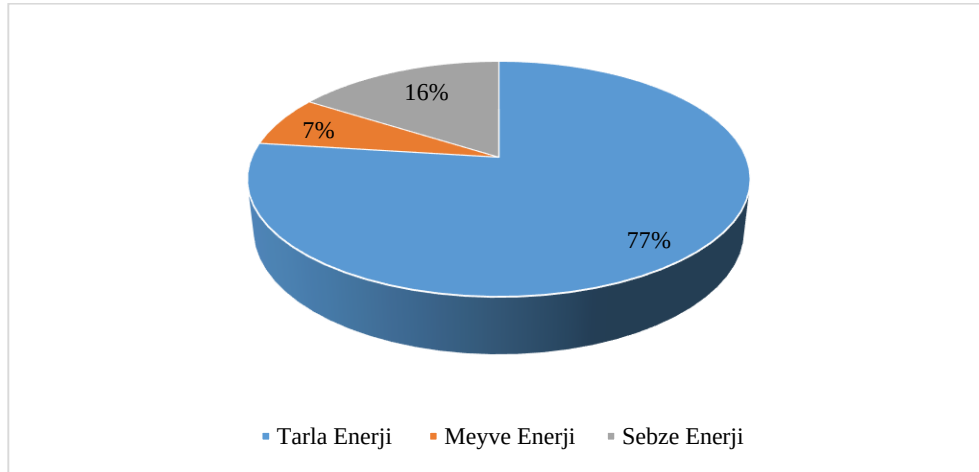
Kurulu Biokütle Santralleri Atık Türleri	Toplam kurulu gücü (MWm)	Toplam kurulu gücü (Mwe)	Toplam YEKDEM'e Esas Güç (MW e)	Toplam İşletmedeki Ünite Sayısı (adet)
Biokütle	692,921	671,169	778,729	370
Atık Lastik	6	6	6	3
Bitkisel Atık	1,6	1,56	2,729	1
Çöp	93,281	90,998	90,998	67
Çöp, Çöp Gazı	17,148	16,32	16,32	12
Çöp, Çöp Gazı, Diğer Atık	29,132	28,396	31226	21
Çöp Gazı	172,668	168,195	210,662	124
Çöp Gazı, Çöp	17,525	17,351	23,581	7
Çöp Gazı, Diğer Atık, Çöp	2,646	2,4	2,4	2
Diğer Atık	47,343	44,938	49,569	20
Diğer Atık, Çöp Gazı, Çöp	4,124	4	4	1
Hayvansal Atık	56,539	54,844	60,437	47
Hayvansal Atık, Bitkisel Atık	5,568	5,408	12,02	4
Hayvansal Atık, Tarımsal Atık	24,33	23,602	28,066	19
Hayvansal Atık, Tarımsal Atık, Diğer Atık	15,288	14,891	14,891	14
Hayvansal Atık, Tarımsal Atık, Orman Atığı, Diğer Atık	0,49	0,48	5	1
Kentsel Atık	4,353	4,242	12,726	3
Orman Atığı	36,614	36,325	36,325	3
Orman Atığı, Bitkisel Atık	0,1	0,1	7,5	1
Orman Atığı, Çöp Gazı	29,1	27,6	27,6	1
Orman Atığı, Tarımsal Atık	28,003	26,782	26,782	3
Tarımsal Atık	53,124	51	52	11
Tarımsal Atık, Hayvansal Atık	1,527	1,487	1,487	1
Tarımsal Atık, Orman Atığı	41,4	39,25	51,25	3
Tarımsal Atık, Orman Atığı, Diğer Atık	5,2	5	5	1
Genel Toplam	692,921	671,169	778,729	370

Kaynak: İllez (2020).

Biyoenerji yalnızca elektrik üretiminde kullanılmamaktadır. Bitkisel kaynaklı biyo atıklar kullanılarak sıvı biyo-yakıt ve biyo dizel üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Ulaşım sektörü için fosil yakıtlara en iyi alternatif olabilecek yakıt olarak sıvı biyoyakıtlar gösterilebilir. Bitkisel kalıntılar ve kentsel atıklar ile çeşitli üretim yolları kullanılarak biyo yakıt elde edilebilir. Ulaşım için kullanılan biyo yakıt türleri biyodizel, biyeotanol gibi yakıtlardır (İlleez, 2020). Ülkemizde biyodizel ve biyeotanol üreten iller arasında İstanbul, Ankara, Mersin, Hatay ve Karaman gibi iller örnek olarak gösterilebilir.

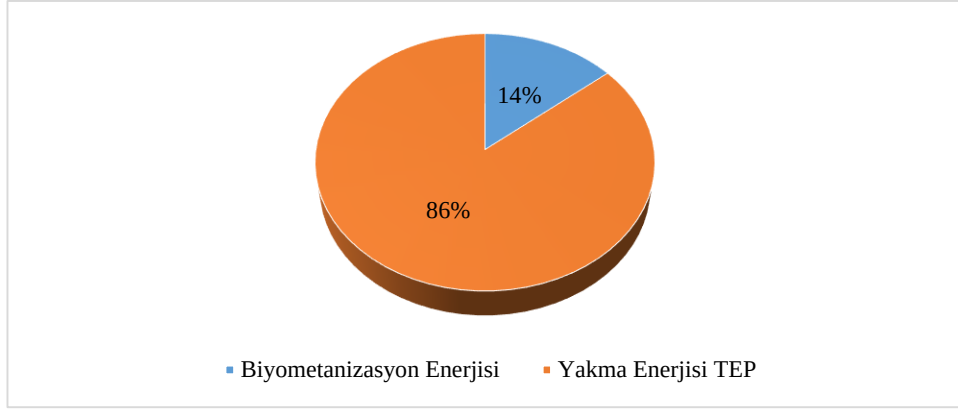
Biyokütlelerden sıvı yakıt ve elektrik üretilbildiği gibi biyogaz üretimi de yapılabilir. Biyokütlelerin oksijensiz ortamda fermentasyonu sonrasında metan gazı ve karbondioksit elde edilir. Biyokütlelerden elde edilen bu gaz, doğalgaz ve LPG'nin kullanıldığı tüm alanlarda kullanılabilir (İlleez, 2020). Biyokütlelerin çürütülmesi ile elde edilen bu gazdan elektrik, ısı ve ulaşım gibi çeşitli sektörlerde yararlanmak mümkündür.

Ülkemizde biyokütlelerden ısınma ulaşım ve elektrik alanlarında faydalanılmaktadır. Bu alanda hayvansal atıklardan, belediye atıklarından, bitkisel atıklardan ve orman atıklarından faydalanılmaktadır. Ülkemizde farklı biyo kütle kaynaklı enerji üretimlerine ait veriler şekil 1.29 ve 1.30'da gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Bitkisel Enerji Eşdeğeri Analizi (TEP/yıl)

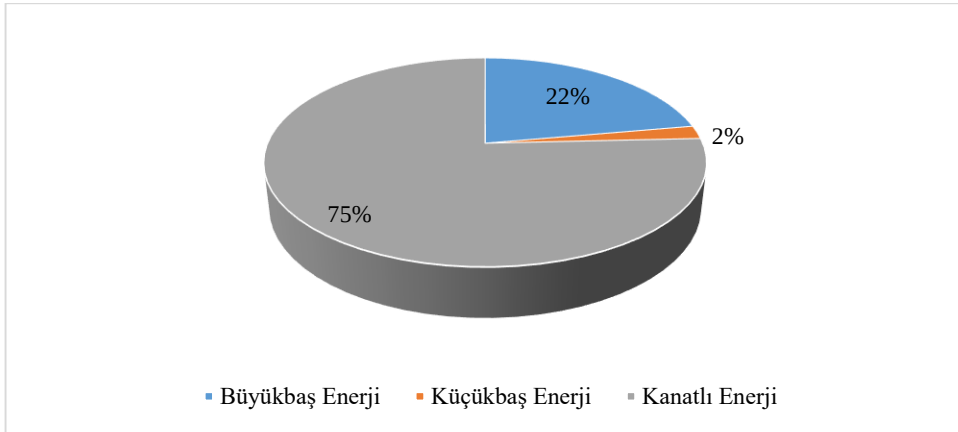
Kaynak : BEPA (2022). (<https://bepa.enerji.gov.tr/>'den) faydalanılmıştır. Erişim Tarihi 16 Mart 2021).



Şekil 1.30. Belediye Atıklarının Enerji Eşdeğeri Analizi (TEP/yıl)

Kaynak BEPA (2022). (<https://bepa.enerji.gov.tr/~den> faydalanılmıştır. Erişim Tarihi: 16 Mart 2021).

Ülkemizde sanayi faaliyetlerinin dışındaki genel ekonomik faaliyet tarım ve hayvancılıktır. Ülkemiz 2022 yılı itibarı ile 17 milyon 876 bin büyük baş (183 bin manda) ve 58 milyon 448 bin küçükbaş hayvan varlığına (TÜİK, 2022). Ülkemizdeki hayvan varlığı biyogaz potansiyelini de ortaya koymaktadır. Organik maddelerin havayla teması kesilmek suretiyle metan gazı üretilir. Bataklık gazı da denilen metan gazı ya da biyogaz elde etme uygulamaları 1860’lı yıllara kadar inmektedir” (Karabulut, 2003). Ülkemizde hayvansal atıkların enerji eşdeğerleri şekil 1.31’de gösterilmiştir.



Şekil 1.31. Hayvansal Atıkların Enerji Eşdeğeri Analizi (TEP/yıl)

Kaynak: BEPA (2022). (<https://bepa.enerji.gov.tr/~den> faydalanılmıştır. Erişim Tarihi: 16 Mart 2021).

Biyogaz üretimi için tesislerin kurulması ile birincil enerji kaynaklarından olan ve son yıllarda birim fiyatları giderek artan doğalgaz kullanımını azalabileceği gibi kırsal kesimlerdeki ısınma amaçlı tahrip edilen ormanlık alanlarda azalacaktır. Özellikle kırsal

alanlarda kurulacak tesislerle birlikte kömür kullanımı ve kömürün yanması ile atmosfere salınan karbonmonoksit miktarı da azalacaktır (Karakuzulu vd., 2017: 553).



Fotoğraf 1.5. Afyon Eber Biyokütle Elektrik Santrali

Kaynak: biyokütledergisi (2020) (<https://biyoenerjidergisi.com/turkiyenin-en-buyuk-biyokutle-santrali-devreye-alindi/>. Erişim Tarihi: 13 Ocak 2023).

İKİNCİ BÖLÜM

ENERJİ KAYNAKLARININ EKONOMİK ÇEVRE İLE OLAN İLİŞKİSİ

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE EKONOMİK ÇEVRE ÜZERİNE ETKİSİ

Ülkemiz özellikle son dönemde yenilenebilir kaynaklardan enerji elde etmek için yatırımlarını arttırsa da enerji üretiminde hala fosil kaynaklardan faydalanmakta ve bu kaynakların büyük kısmını da ithalat yoluyla sağlanmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin gerçekleştirilmesinin ülkemiz ekonomisine etkileri aşağıda başlıklar halinde ele alınmıştır.

2.2. İTHAL ENERJİ VE ENERJİ BAĞIMLILIĞI İLİŞKİSİ

Ülkelerin enerji üretiminde yerli kaynaklardan faydalanamaması enerjiye olan ihtiyacını karşılayabilmesi için kaynakları ithal etmesine neden olur ki bu durum ülkelerin enerji bağımlılığını ortaya koyar. Ülkelerdeki enerji üretim ve tüketiminin oranlanması ülke ekonomilerine doğrudan etki eden bağımlılığın tespitini sağlar. Enerji üretimi ve tüketiminin oranlamaları sonuçlarına bakıldığında eğer oran %100 ise bu ülkeler enerji bakımından kendisine yetmektedir, oran %100 altında ise ülkeler enerjide dışa bağımlı hele ki %50 ve altı bir oransa ciddi bir dışa bağımlılıktan söz edilir. Üretim ve tüketim oranlaması %100'ün üzerinde ise ülkenin enerji tüketimi ve üretiminde kendisine yetmesi yanında enerji fazlalığına sahip olduğunu ve bununla birlikte ihtiyaç fazlası enerjiyi pazarladığı söylenebilir (Aykırı, 2017).

Gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerin enerji oranları incelendiğinde üretim ve tüketim oldukça fazladır. Gelişmekte olan ülkeler enerjiye daha fazla ihtiyaç duymaktadır. Bu ülkeler enerji üretimlerini yerli kaynaklardan sağlayamıyorsa büyüme ve gelişme için duyulan yoğun enerji ihtiyacını karşılamada dışsal alıma yönelecek böylece ithal edilen enerji ve enerji kaynaklarının artması da ülkeyi enerji bağımlısı haline getirecektir. Bu durum ülkelerin gelişirken hedefledikleri ekonomik büyümeyi kısıtlamakta ve ülke ekonomisindeki en büyük payın enerji ithalatına ayrılmasına neden olmaktadır.

2.3. TÜRKİYE’DE İTHAL ENERJİNİN ENERJİ BAĞIMLILIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Ülkemiz geliştirmekte olan ve yüksek büyüme oranlarına sahip bir ülkedir. Büyüme ve gelişmenin gerçekleşmesi için de üretim yaparken de enerjiye bağımlılığını azaltmalıdır. Ülkemizde enerji üretiminin büyük kısmı fosil yakılardan yapılırken bu kaynakların neredeyse tamamı da ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Büyüme hedefleri olan ülkemizde bu büyümenin gerçekleşmesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacak buna bağlı olarak daha fazla kaynak için ithalat gerçekleşecektir. Bu ise ithalatta ülkemizi enerji bağımlılığı olan bir ülke konumuna getirecektir. Ülkemizin büyüme ve gelişme yönündeki en büyük engel enerji ithalatı ve ithalat için ayrılan bütçedir.

Ülkemizin sahip olduğu yerli kaynaklardan elde edilen enerjinin ülkemizdeki toplam enerji üretimi içerisindeki oranı tablo 4.1’de gösterilmiştir. Buna göre 2000 yılında ülkemizin enerji tüketim miktarı 124.921,6 GWh olarak gerçekleşirken yıllar itibarıyla artmış ve her yıl enerji tüketim miktarları artarak devam etmiştir. 2016 yılı rakamları incelendiğinde tüketim miktarı 274.407,7 GWh’a yükselmiştir. 2000 yılında ülkemizde mevcut yerli kaynaklardan faydalanan tesislerle yapılan üretim miktarları 68.750,8 GWh iken yerli kaynaklarla gerçekleştirilen üretim yatırımları sonucu artış göstermiştir. Dolayısıyla 2016 yılında enerji üretimi 135.536,5 GWh olarak gerçekleşmiştir (Tablo 4.1). Bu yıllar arasında ülkemizin toplam enerji üretimi içerisinde yerli kaynakların payı %45 civarında olduğu söylenebilir. Geri kalan kısmın ise ithal kaynaklardan sağlandığı görülmektedir. Ülkemizde enerji üretiminin büyük oranda doğalgaz ile çalışan termik santrallerden sağlanması da bu durumu açıkça ortaya koymaktadır. Büyüme ve gelişme çabası içerisindeki ülkemizin hedeflerine ulaşabilmesi için enerji bağımlılığını azaltması veya tamamen ortadan kaldırması gerekmektedir. Bunu da ancak yerli kaynaklardan üretimin artırılması ile gerçekleştirebilir. Bu yüzden yenilenebilir kaynaklara yapılacak yatırımların artırılması ve desteklenmesi gerekmektedir. Ülkemizin yerli kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin toplam enerji üretimi içerisindeki payı tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye’de Yerli Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisinin Toplam Üretim İçindeki Payı

YILLAR	YERLİ KAYNAK ÜRETİMİ (GWh)	TÜRKİYE TOPLAM ÜRETİMİ (GWh)	YERLİ KAYNAK PAYI %
2000	68.750,8	124.921,6	55,0
2001	61.469,0	122.724,7	50,1
2002	64.712,2	129.399,5	50,0
2003	61.878,9	140.580,5	44,0
2004	71.266,1	150.698,3	47,3
2005	72.747,7	161.956,2	44,9
2006	80.125,2	176.299,8	45,4
2007	78.159,9	191.558,1	40,8
2008	79.647,5	198.418,0	40,1
2009	81.101,4	194.812,9	41,6
2010	96.352,3	211.207,7	45,6
2011	101.626,1	229.395,1	44,3
2012	104.148,4	239.496,8	43,5
2013	103.845,0	240.154,0	43,2
2014	94.155,5	251.962,8	37,4
2015	120.354,7	261.783,3	46,0
2016	135.536,5	274.407,7	49,4

Kaynak: TEİAŞ (2018). (<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>’nden faydalanılmıştır. Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022).

2.4. ENERJİ TÜKETİMİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ

Hayatın her alanında enerji önemli bir yer teşkil etmektedir. Tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilmesinin yanı sıra sanayinin de vazgeçilmezidir. Ülkeler büyüme hedeflerini gerçekleştirmek için üretim ve ihracat yapmak zorundadır. Üretimin gerçekleşmesi için de enerjiye ihtiyacı vardır. Her ne kadar üretim aşamasında insan gücüne ihtiyaç duyulsa da enerjinin üretim için ayrı bir önemi vardır (Doğanay ve Coşkun, 2017). Ülkelerin enerji tüketimi gelişmişlik düzeyleri ile doğru orantılıdır. Enerji talebinin artmış olması ülkede üretimin ve refah seviyesinin de artmış olduğu görüşünü destekleyebilir. Ekonomik bağlamda kalkınmış ülkeler sanayi faaliyetlerinin gelişimi ile güçlü ekonomilere sahip olmuşlardır (Doğanay, 2011). Sanayide üretimi devam ettirmek için de enerji gereklidir.

Ancak üretim aşamasında harcama enerji dış alım ile temin ediliyorsa enerji için harcanan miktar artacak ve ülke ekonomisini olumsuz yönde etkileyecektir. Enerji üretiminde dışa bağımlılık ekonomik büyümeyi engelleyeceği gibi yerli kaynaklardan enerji üretimi de kalkınmayı destekleyecektir.

2.5. TÜRKİYE’DE ENERJİ TÜKETİMİNİN EKONOMİK BÜYÜME ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Kişi başına gerçekleştirilen elektrik tüketimi ile ülkenin enerji yoğunluğu ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin bir göstergesidir. Ülkedeki bireylerin tükettikleri enerji miktarı ne kadar fazla ise o ülkede refah düzeyi o kadar yüksektir. Öte yandan enerji yoğunluğu düşük oranlarda ise daha fazla işin aynı miktarda enerji ile yapıldığını gösterir (Koç ve Genel, 2013: 41). “*Toplumların enerji talepleri ve kullanımlarıyla ekonomik büyüme arasında dört farklı ilişki hipotezi karşımıza çıkmaktadır: **Büyüme Hipotezi:** Öne sürülen bu hipoteze göre enerji kullanımı arttıkça ülkelerin enerji harcamaları için ayıracakları bütçe artacaktır. Enerji harcamaları ekonomik büyümeyi olumsuz yönde etkileyecektir. **Konservatif Hipotez:** Bu hipotez yoğun enerji üretimi ve bu üretim sonrası açığa çıkan gazların sera gazı etkisinin azaltılması görüşünü amaçlamaktadır. Öne sürülen hipotez, enerji harcamalarının azaltılması ile ekonomik büyümenin sağlanabileceğini savunmaktadır. **Geribildirim Hipotezi:** Tüketilen enerji miktarının artması veya azalmasının ekonomik büyümeye etki etmeyeceğini ve bunlar arasında bağımsız ilişkinin varlığını savunmaktadır. Ancak enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi desteklediğini birbirlerini tamamlayan sonuçlar ortaya koyduğunu savunur. **Yansızlık Hipotezi:** Bu hipoteze göre enerji üretimini etkileyen faktörlerden birisidir. Ancak enerji tüketiminin artması veya azalmasının ekonomik büyüme üzerinde etkisinin neredeyse hiçbir etkisinin olmadığını öne sürer” (Kara, 2013: 70).*

Ülkemizin 1970-2003 enerji verileri incelemek üzere yapılan çalışmalara göre, ülkemizde *Büyüme Hipotezi* geçerli olduğu görülür. Başka bir deyişle “*ülkemizde üretim için kullanılan enerjinin tüketiminin artması bir anlamda üretimin artması demektir. Bu durum ekonomik büyümenin sürdüğünün birer göstergesidir*” (Lise ve Montfort, 2005: 10). “*Türkiye’de kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi ile kişi başına düşen reel gelir arasında çok güçlü ve doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Dünya’da geri kalmış veya gelişmemiş ülkelerde enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisinden bahsetmek mümkün*

değilken sürekli gelişim gösteren veya ekonomik büyümeyi ve gelişimini tamamlamış ülkelerde bu ikisi arasındaki bağ oldukça güçlü olacaktır” (Kelecioğlu, 2011: 30).

Elektrik tüketimi ile gerçek GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) arasındaki nedensellik ilişkisini araştıran başka bir çalışmada, Türkiye ekonomisi açısından; elektrik harcamalarından gerçek GSYH’ye doğru bir nedensellik bulunmuştur. Ulaşılan sonuçlar göstermektedir ki elektrik tüketimi ülkedeki ekonomik büyümeden önce gerçekleşmektedir ve elektrik tüketiminin artması ekonomik büyümeyi arttırmaktadır (Kelecioğlu, 2011: 30). *“Dünya genelinde 1971’den günümüze, toplumların enerjiye olan taleplerinde %0,6’lık bir artış meydana gelirken, global GSYH’da %1 oranında bir artışa sebep olmuştur” (Greenpace USA, 2007: 34).*

2.6. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE DOĞAL ÇEVRE ÜZERİNE ETKİSİ

2.6.1. Birincil Kaynaklar ve Çevre

Enerjinin en düşük maliyetlerle üretiliyor olması insanların alım gücü ve yaşam kalitelerinin artması için önemli bir unsur değildir. Üretim faaliyetlerinde en düşük maliyet ile birlikte çevre için de en az zarar verme şartı kabul edilebilir olmalıdır (Mahmutoğlu, 2013: 10). Enerji kaynaklarının kullanımına bağlı ortaya çıkan çevre sorunları dünya ülkeleri açısından önemli problemler oluşturmaktadır (Akbulut, 2008: 132). Çevre sorunları ile enerji arasındaki ilişkinin temelinde günden güne enerji ihtiyacının artması yer alır. Uluslar ekonomik kalkınmayı hedeflerken sanayi faaliyetlerini arttırmaları. Sanayide üretimin devamlılığı ve arttırılabilmesi için enerjiye ihtiyaç duyulmakta kullanılan enerji kaynakları da gerekli önlemler alınmadığı zaman çevresel kirliliğe neden olmaktadır (Garipoğlu, 2011). Enerji üretimi, çevrenin korunması ve ekonomik kalkınma birbiriyle iç içedir ve aralarında karmaşık bir ilişkiye sahiptirler. *“Teknolojinin ve sanayinin gelişmesi bir taraftan enerji tüketimini artırırken, diğer taraftan da çevreye verdiği zararları da arttırmaktadır” (Kervankıran, 2012: 109).* Enerji kaynaklarından üretim faaliyetleri yapılırken çevre birincil planda olmalı ve ona en az zararın verilmesi sağlanmalıdır. Üretim faaliyetleri esnasında bazı enerji kaynakları buna elverişli iken bazı kaynaklar maalesef çevreyi olumsuz etkilemektedir. Özellikle birincil kaynakların rezervlerden sondaj çalışmasıyla çıkarılırken gerçekleşen olumsuz çevre

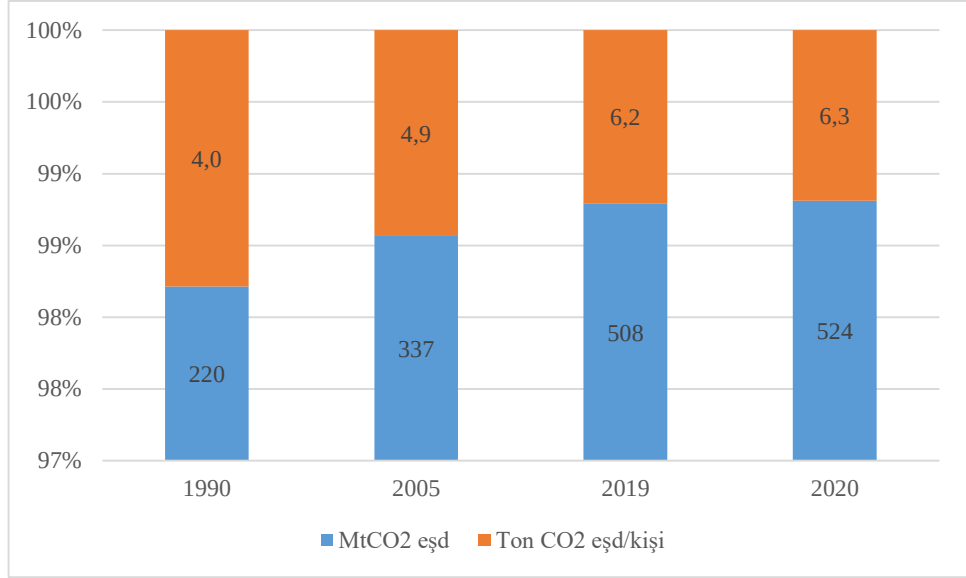
koşulları ile birlikte bu kaynaklardan elde edilen hammaddenin işlenip ürün haline getirilmesi ve bu ürünlerin ulaşım, sanayi ve evsel ısınma için kullanımı sonrasında ortaya çıkan çevresel sorunlar dünyamızın geleceği konusunda endişeye düşürmektedir. Bu hususta en belirgin örnek termik santrallerdir. *“Termik Santraller katı, sıvı ve gaz şeklinde çevreye zararlı olmaktadır. Katı atıklar o santralde kullanılan enerji kaynağına bağlı olarak ortaya çıkmakta, sıvı atıklar küllerin suyla karıştırılmasıyla gölde toplanmakta, gazlar ise yakılan maddenin bacalardan çıkan atıklardır”* (Doğan, 2011). Termik santraller hava, su, toprak kirliliğine neden olduğu gibi canlı sağlığı içinde tehdit oluşturmaktadır (Garipoğlu, 2011). Bu örnekte göstermektedir ki *“fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan gaz ve partiküller, nükleer güç santrallerinde meydana gelen kazalar ile nükleer atıklar, rafineri yangınları, petrol dökülmesi, enerji faaliyetlerinin her safhasında meydana gelen kazalar hava, toprak ve su kirliliği ile can ve mal emniyetine yönelik olumsuz sonuçlar ortaya çıkarırlar”* (Erdoğan, 2020). Enerji kaynaklarının temini, üretimi, kullanımı ile çevre arasındaki ilişkisi ve çevreye verdiği zarar aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir.

2.6.2. Sera Gazı Etkisi

“Sera gazları, atmosferde sıcaklık tutma kapasitesini artıran gazlardır. Sera gazlarının bir kısmı doğal yollarla oluşmakla birlikte %90 civarında insan faaliyetleri sonucu oluşmaktadırlar” (Erdoğan, 2020). Bu gazlar güneşten gelen ve dünyamızı ısıtan ışınların atmosferden tekrardan geri geçmelerini önlerler. Bu gazlar hava küredeki gazların yalnızca %1’ini oluşturmaktadırlar (Engin, 2010, s. 72). Dünyanın olduğundan daha fazla ısınmasının sonucu olarak yaşanan iklim değişiklikleri gümünüzde yaşamı ve doğal çevreyi etkileyen küresel bir sorundur. Geçmişte iklim değişikliklerinin izine zaman zaman rastlansa da sanayi devrimi ile birlikte fosil yakıtların kullanımı bu durumun gün geçtikçe artmasına neden olmuştur. Her ne kadar daha önce yaşanmış olan iklim değişiklikleri doğal nedenlerle ortaya çıkmış olsa da sanayi devrimi sonrası başlayan iklim değişikliklerinin temelinde insan faaliyetleri ve sera gazı bulunmaktadır (Bayraç ve Emrah, 2016: 25). Küresel ısınmanın sonucu yaşanan iklim değişikliklerinin en iyi biçimde anlaşılması için sera gazı ve sera gazına bağlı olarak ortaya çıkan etkilerinin anlaşılması gerekmektedir.

Sera gazı oluşumda etki eden gazlardan biri de karbonmonoksittir. Karbonmonoksitlerin hava küreye salınımı çok fazla olduğu için sera etkisinin temel nedenini oluşturdular (Dulkadiroğlu, 2018: 2). Bu gaz doğada kendiliğinden bulunmaktadır. Tıpkı milyonlarca yıl önce yaşamış canlı kalıntılarında olduğu gibi bazı kayalar içerisinde de bulunurlar. Doğada diğer gazların gerçekleştirdiği döngü gibi karbonmonoksitte belli bir döngü içerisinde. Örneğin kireç taşları eritilirken havaya salınan karbondioksit kireç taşı kuruyup tekrar sertleşmeye başladığında kireç taşının bünyesine tekrar geri alınır. Doğada kendiliğinden meydana gelen bu olaylarla havadaki karbondioksit miktarları dengelenirken endüstriyel devrimin başlaması ile birlikte havadaki bu dengede bozulmuştur. Yakılan birincil (fossil) enerji kaynaklarının ortaya çıkardığı karbondioksit gazları atmosfere ulaşırken havadaki karbondioksit miktarını arttırmaktadır. Kullanılan fosil yakıt miktarı arttıkça atmosferdeki bu dengede iyiden iyiye bozulmaktadır. Elbette bu dengenin bozulmasının tek nedenini fosil yakıtlar olarak göstermek mümkün değildir. Mevcut bitki örtüsünün ve orman varlığı havadaki bu gazların temizlenmesini ve dengenin sağlanmasına imkân sağlamaktadır. Ancak bitki örtüsü ve orman varlığının tahribi de hava kirliliğini engelleyemeyeceğinden havadaki karbondioksit miktarının artmasına olanak sağlayacaktır. Sanayi devrimi öncesinde havadaki karbondioksit miktarı 280 ppm olduğu düşünülürken, 2000 yılında yapılan ölçümler sonrasında 400 ppm'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu artış maalesef ki her geçen gün devam etmekte ve dünya nefes alamaz duruma gelmektedir. (seragazıdoğrulama.com, 2018).

“Ülkemizde 2020 yılında sera gazı emisyonu 523,9 Mt CO₂ te eşdeğer olmuştur. Sera gazı araştırmaları sonuçlarına bakıldığında, 2020 yılı ölçülebilen sera gazı yayılımı 2019'a göre %3,1 oranında artış göstermiştir. Kişi başı toplam sera gazı yayılımı 2020'de 6,3 ton CO₂ ile aynı oranda hesaplanmıştır” (TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020, 2022). Türkiye'de 1990-2020 yılları itibari ile kişi başına ölçülebilen toplam sera gazı emisyon değerleri şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 1990-2020 Yılları Arası Toplam Kişi Başına Sera Gazı Emisyon Miktarı

Kaynak: TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri (1990-2020, 2022).

“2020 yılı itibari ile sera gazı yayılımı incelendiğinde bu yayılımdaki en büyük etki %70,2 ile fosil enerji kaynakları kullanımına aittir. Fosil kaynaklardan sonra %14'lük oranla tarım gelirken onu %12,7 ile de sanayi faaliyetleri takip etmektedir. Atık sektörü ise sera gazı yayılımında %3,1'lik bir orana sahiptir” (TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020, 2022). Sektörlere göre sera gazı emisyon miktarları tablo 2.2’de gösterilmiştir.

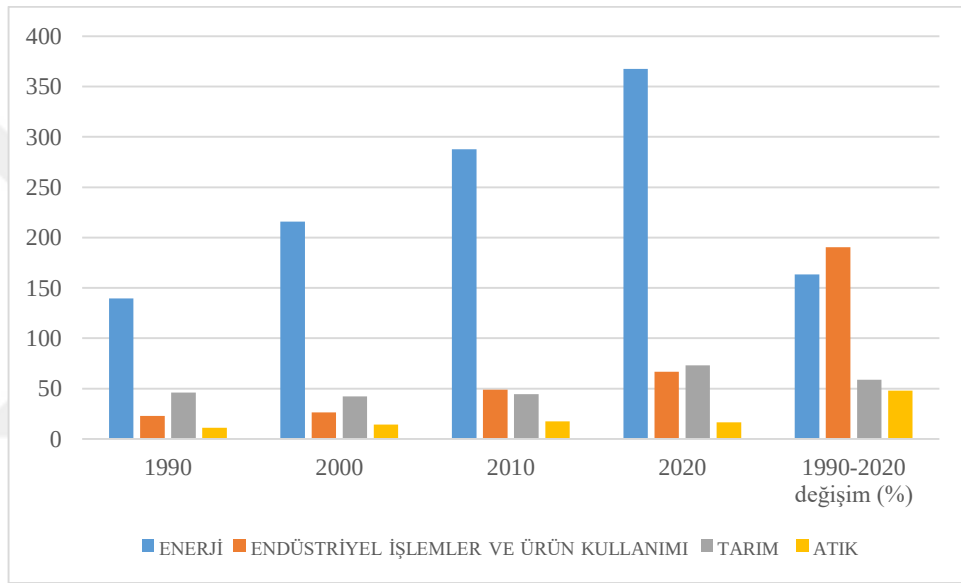
Tablo 2.2. 1990-2020 Yılları Arası Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyon Miktarları

	1990	2000	2010	2020	1990-2020 değişim (%)
Toplam Emisyon	219,7	299,0	398,7	523,9	138,4
Enerji	139,6	216,0	287,8	367,6	163,3
Endüstriyel İşlemler ve Ürün Kullanımı	23,00	26,3	49,0	66,8	190,5
Tarım	46,10	42,3	44,4	73,2	58,8
Atık	11,10	14,3	17,4	16,4	48,0

Kaynak: TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri (1990-2020)’den yararlanarak hazırlanmıştır.

“Enerji sektörüne ait sera gazı emisyonları, 1990-2020 arası dönemde %163,3 oranında artmıştır. 2020 yılı emisyon miktarı bir önceki yıla nazaran %0,6 oranında

artmış ve 367,6 Mt CO₂ olarak tespit edilmiştir. Sanayi faaliyetleri ve ürün kullanımı 1990-2020 döneminde %190,5 artış göstermiştir. 2019'dan 2020 yılına kadar olan dönemde ise %14 artmış 66,8 Mt CO₂ eşdeğer olarak analiz edilmiştir. Tarım sektörü yayılımları 1990-2020 döneminde %58,8 artarken 2019'dan 2020 yılına %7,5 artmış ve 73,2 Mt CO₂ eşdeğer hesaplanmıştır. Atık sektörü yayılımları 1990-2020 döneminde %48 oranında iken 2019'dan 2020 yılına %2,1 artmış ve 16,4 Mt CO₂ eşdeğer olarak hesaplanmıştır” (TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020). 1190 ile 2020 yılları arasında ülkemizde sektörlere göre sera gazı emisyonlarının dağılımı ve 1990-2020 yılları arasında sera gazı emisyonlarındaki değişim miktarları şekil 2.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 1990-2020 Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonu Dağılımı

Kaynak: TÜİK (2022) verilerinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

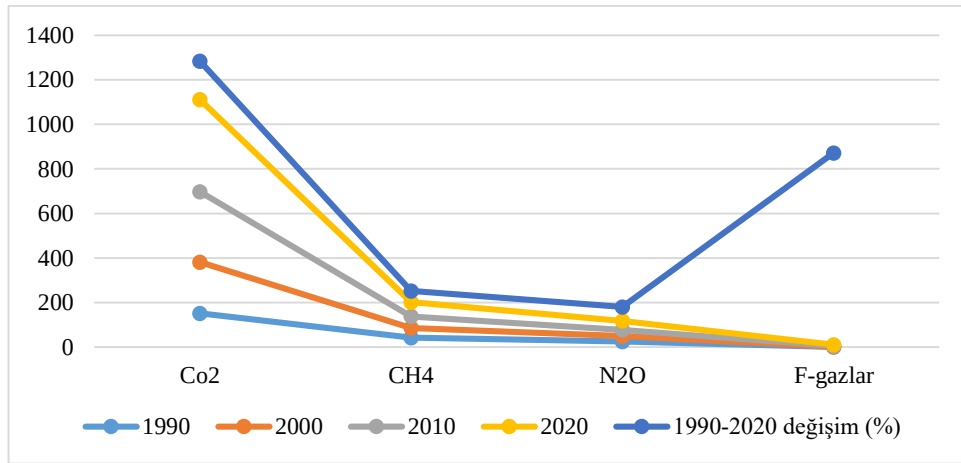
Atmosferde sera gazı oluşturan gazların 2020 yılı itibarı ile oranları incelendiğinde bu gazların toplam karbondioksit (CO₂) emisyonlarının; %70'i enerji sektöründen kaynaklanırken yayılımların %31,6'sı elektrik ve ısı üretiminden kaynaklandığı görülmektedir. Atmosferde sera etkisi yaratan gazlardan metan gazının (CH₄) yayılımında etkili olan faaliyetler incelendiğinde emisyon miktarının %61'i tarım, %22,1'i şehrsel atıklardan, %16,9'u enerji üretiminden ve %0,02'si sanayi faaliyetleri ve ürün kullanımından kaynaklanmaktadır. Sera gazına neden olan bir diğer gaz olan Azot Protoksit (N₂O) emisyonlarının ise %80,3'lük yayılımın tarım faaliyetlerinden kaynaklandığı, %9,1'lik oranın ise enerji üretimi ve tüketiminden, %10,1'nin ise kentsel

atıklar ve sanayi faaliyetlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir (TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020, 2022). Atmosfere salınan sera gazları toplamı 1990 yılında 219,7m³ iken bu miktar 2020 yılında 523,9 m³ olmuştur. 1990 yılından 2020 yılına kadar sera gazı salınımları %138,4 oranında artmıştır. Sera etkisi yaratan gazlar arasındaki salınımı en fazla artış gösterenler ise karbonmonoksit ve F-gazları olmuştur. F-gazların 1990 yılında atmosfere salınımı 0,6 m³ oranındayken 2020 yılında %860,6 oranında artarak 6,0 olmuş, karbonmoksit ise 1990 yılında 151,7m³ iken 2020 yılında 413,4m³ olmuştur. Bu istatistikler yıllar itibari ile atmosfere salınan sera gazlarının ne kadar arttığını ortaya koymaktadır. Atmosfere salınan gazların sera gazı emisyon miktarları tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Gazlara Göre Sera Gazı Emisyonları (1990-2020)

	1990	2000	2010	2020	1990-2020 değişim (%)
Toplam Emisyon	219,7	299,8	398,7	523,9	138,4
Co2	151,7	229,9	316,0	413,4	172,6
Ch4	42,5	43,7	51,6	64,0	50,6
N2o	25,0	24,8	27,4	40,5	62,2
F-Gazlar	0,6	0,7	3,6	6,0	860,6

Kaynak: TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri (1990-2020, 2022)’den yararlanarak hazırlanmıştır.



Şekil 2.3. Gazlara Göre Sera Gazı Emisyonları (%)

Kaynak: TÜİK (2022)’ten faydalanılarak hazırlanmıştır.

Sera gazı ve buna bağlı olarak gelişen küresel ısınma yalnızca küresel olarak önemli bir sorun teşkil etmektedir. İnsanlar için öncelikli yaşam kaynağı olan suyun

tükenmemesi ve besin kaynaklarının temini için başta tarım olmak üzere diğer faaliyetlerin sürdürülebilmesi için atmosfere salınan beşerî kaynaklı sera gazı oluşturmada etken gazların azaltılması ve küresel ısınmanın önüne geçilmesi gerekmektedir. Sera gazı oluşumu ve küresel ısınma etkilerini azaltmak ve durdurmak adına dünyada pek çok ülke önlemler almaya başlamış ve uluslararası antlaşmalar imzalamıştır. Bu antlaşmalardan ilki Kyôto Protokolü'dür. *“1997 yılı itibari ile Kyoto’da şartları belirlendikten sonra 1998 yılında New York’ta imzalanmıştır. Her ne kadar da 84 ülke tarafından imzalanarak kabul edilmiş olsa da uygulamaya konulmamıştır. Protokolün uygulanabilmesi için 1990’da atmosfere salınan toplam karbondioksit yayılımının neredeyse %55’inden sorumlu, gelişmiş ve gelişmekte olan elli beş ülke tarafından kabul edilmesi gerekmektedir. Protokole göre sanayisi gelişmiş ülkelerin sera gazı etkisine neden olan gazların atmosfere yayılımını azaltma hususundaki önlemlerinin daha katı halde ve hızlıca yerine getirmesi gerekmektedir”* (Ülgören, 2004).

Bu alanda imzalanmış bir diğer antlaşma ise Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)’dir. Küresel ısınma karşıtı olan BMİDÇS 1992’de onaylanmış Kyoto protokolünün aksine 1994 yılında yürütmeye konulmuştur. BMİDÇS 194 ülke tarafından onaylanmıştır. BMİDÇS amacı sera gazı etkisini azaltarak insanların iklim değişikliğine neden olan faaliyetlerinin önlenmesidir. BMİDÇS iklim sistemlerinin sera etkisine neden olacak gazlardan etkileneceğini ve küresel iklim değişikliklerinin olabileceğini öngörmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı).

Küresel ısınma ve iklim değişiklikleri ile mücadele konusunda atılan adımlardan bir diğeri ise Paris Antlaşması’dır. *“Antlaşma sera gazı etkisine neden olan gazların yayılımlarının en az %55’ine neden olan sanayisi gelişmiş elli beş ülkenin onaylaması şartı ile kabul edilerek, 4 Kasım 2016’da uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemiz antlaşmaya 2016 yılında dâhil olmuştur. Antlaşma, kalkınma faaliyetlerinin sürdürülebilmesi ve ülkelerde yaşanan yoksullukların giderilmesi kapsamında BMİDÇS’nin yürütülmesi ve geliştirilmesini amaçlamaktadır. Paris Antlaşması’nın uzun vadedeki hedefi, yaşanan küresel sıcaklık artışının sanayi devrimi öncesi rakamların 2⁰C daha altına düşürmektir. Antlaşmanın amaçları arasında iklim değişikliklerinin tarımsal üretime etkilerinin engellenmesi ve ülkelerin ekonomik kalkınmalarının istikrarlı bir duruma getirilmesi vardır”* (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (tarih yok). <https://ab.csb.gov.tr/anlasmalar-i-98915>).

Küresel iklim değişikliği ve sera gazı emisyonu karşısında imzalanan bir diğer antlaşma Viyana Sözleşmesi'dir. Sözleşmenin temel maddesini ozon tabakasındaki incelme ve açıklık oluşturur. Ozon tabakası atmosferde ozon (O₃) gazından oluşan ve canlı yaşamı için tehlikeli olan güneş ışınlarının dünyaya ulaşmasını engelleyen tabaka olarak bilinmektedir. *“1976 yılında gerçekleşen Milletler Çevre Programı (UNEP) ’nın gerçekleştirdiği toplantıda ilk defa atmosferdeki güneşten gelen zararlı ışınların tutulduğu ozon tabakasındaki incelmeler dile getirilmiştir. UNEP ile Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kuruluşu gerçekleştirilen Ozon Tabakası Koordinasyon Komitesi (CCOL) ’ndeki ozon katmanı konusundaki uzmanlar 1977’de toplanmıştır. 1881 yılında devlet yönetimleri arasında Ozon tabakasını incelten maddelerin (OTİM) ve bu maddelerin salınımlarının azaltılması yönünde görüşmeler gerçekleşmiştir. Yapılan görüşmeler neticesinde 1985’te Ozon Tabakasının Korunması amacıyla çeşitli öneriler ve kararlar alınmış toplantı sonrası Viyana Sözleşmesi imzalanmıştır. Sözleşmenin herhangi bir yasal sorumluluğu ve kontrolleri yoktur. Sözleşme insan sağlığını ve ozon katmanını korumaya yöneliktir”* (Göktaş ve Işıklı, 2016: 41).

İklim değişikliğinin önlenmesi, sera gazı emisyonlarının düşürülmesi için dikkat edilmesi ve uygulanması gereken bir dizi önlemler vardır. Bunların başında kalorisi yüksek fosil yakıtlar yerine sürdürülebilir ve atmosfere daha az karbondioksit (CO₂) salınımı yapan yenilenebilir kaynakların enerji üretiminde kullanılması gelmektedir. Bu alanda dikkat edilmesi gereken diğer hususlar ise şöyledir (Erdoğan, 2020: 277-303).

- Yoğun enerji kullanan sanayi tesisleri yerine daha az enerji kullanan sanayi tesisleri teşvik edilmelidir.
- Sanayi tesislerine yönelik sera gazı emisyon sınırlaması yapılmalıdır.
- Toplu taşıma araçları daha fazla tercih edilir hale getirilmeli ve çevreye duyarlı yakıt kullanımı için teşvik edilmelidir.
- Çöp depolama alanları biyoreaktörlere dönüştürülmelidir.
- Binaların yalıtımı devlet kontrolünde sağlanmalı, böylece binaların ısınma için kullandığı fosil yakıt miktarları düşürülmelidir.
- Sera gazı emisyonu daha az olan taşıtlar ve deniz araçlarının kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

- Sulak ve yeşil alanlar korunmalı, ormanlık alanların miktarı arttırılmalıdır.
- Daha fazla enerji harcayarak çalışan araç gereçlerin kullanımına son verilmelidir. Bu aletlerin yerine daha az enerji harcayan araçlar teşvik edilmelidir.
- Atık sular arıtılmalıdır

2.2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRE

Birincil enerji kaynaklarının kullanımıyla oluşan gazlar atmosfere yayılarak birikmekte, biriken gazlar hem çevre kirliliğine hem de sera gazı etkisi ile küresel ısınmaya neden olmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek yaygınlaşmış ve bu durum ülkelerin öz kaynakları ile enerji üretimine imkân tanımıştır. Bu sayede enerjinin taşınması esnasında da ortaya çıkabilecek çevre kirliliğinin önüne geçilmiştir. Alternatif, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynakları kaynağını; güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, akarsular ve denizlerden almaktadır.

“Güneş enerjisi çevresel etkileri minimum seviyede, temiz, yerel ve sürekli bir kaynak olması ayrıca üretilen enerji kaynakları içinde gün geçtikçe maliyetinin azalması gibi sebeplerle son yıllarda daha fazla tercih edilen bir kaynak olmakla birlikte, enerji üretim kapasitesinde mevsimlik (yaz-kış) ve günlük (gece-gündüz) farklılıklar göstermesi gibi bir takım olumsuz özellikler de taşımaktadır” (Kum vd., 2019: 70).. Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan teknolojik araçların çevreye vermiş olduğu zarar oldukça azdır. Güneş kolektörlerinin çevresel olumsuz etkileri yok denilebilecek kadar azdır. *“Buna rağmen bazı çalışmalar, zehirli iletken akışkanların ve bunların yüksek sıcaklıkların etkisinde kalmaları sonucunda çevresel ve canlı sağlığı açısından olumsuz etkilerinin olabileceğini öngörmektedir”* (Kadıoğlu ve Tellioglu, 1996: 61).

Her ne kadar rüzgâr enerjisinin çevreye olumsuz etkileri olmadığı söylene de rüzgâr türbinlerinin kullanımı bazı olumsuzluklara neden olmaktadır. Rüzgâr enerjisi üretiminde kullanılan türbinlerin cenahlarının metal olması neticesinde haberleşme araçlarının sinyallerini bozduğu görülmüştür (Özyurt ve Dönmez, 2005). Türbinlerin bu olumsuz etkisinin yanı sıra sürdürülebilir, yerli ve maliyeti düşük olması rüzgâr enerjisinin faydalarındandır. Bu faydaların yanı sıra geniş alan kaplamaları, kuş ölümlerine neden olmaları, haberleşme sinyallerini olumsuz etkilemeleri ve çalışırken

oluşturdukları gürültü ise olumsuz etkilerdendir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006). *“Bazılarına göre, doğaya uyumsuz şekilleri itibariyle, doğal ortam şartlarında garip ve çirkin görüntüler sergilemekte, görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Örneğin İngiltere’de 10 türbinden fazla ve 5 MW’tan büyük güçte rüzgâr çiftlikleri, milli park alanlarında kurulmamaktadır”* (Hayli, 2001: 14). Rüzgâr türbinlerinin kanatlarının imalatında kullanılan hammaddenin değiştirilmesi ile bu olumsuzluk giderilmiştir. Aynı zamanda tesisin inşasından önce yapılacak analiz ve etütler sonucu gerçekleşecek yer seçimi ile kuşların göç yollarını etkileme ve ölümlerine sebebiyet verme sorunu önlenmiş olacaktır.

Jeotermal enerji kaynakları çevre dostu enerji kaynağıdır. Ancak kullanımı sonrasında oluşan atık suları çevreyi kirleten bazı minarellere sahiptir. Bu suların tekrardan yer altına aktarılması gerekmektedir. Geri dönüşümü sağlanamayan bu sular diğer sulara ve topağa karışırsa toprak ve suyu kirletir (Acar ve Köseoğlu, 2021: 330). Bu durumda alınacak tedbirlerle olumsuzlukların önüne geçilebilir. Jeotermal enerjiden faydalanırken çevreye verilecek diğer bir zarar ise sondaj çalışmaları enasında meydana gelebilecek patlamalardır. Patlamalar esnasında yüzeye jeotermal kaynak içerisindeki kirletici mineraller yayılabilir ve yüzey sularının kirlenmesine neden olabilir (Lienau ve Lunis, 1991). Patlamaların yan sıra jeotermal kuyular açılırken hava küreye istenmeyen gazlar yayılabilir ve hava kirliliğine neden olabilir (Dickson ve Fanelli, 2004).

Biyokütle enerjisi çevre ile oldukça uyumlu diğer yenilenebilir kaynaklar gibi kaynağını doğal çevreden alan enerji kaynağıdır. Fakat tesislerde işlenen biyokütle türlerine göre olumsuz etkiler oluşabilmektedir. Biyokütle tesislerinde enerji üretimi için çöplerin işlendikten sonraki atıkları tehlikeli madde statüsündedir ve Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) içerisinde yer almaktadır. Ayrıca kaynak depolanması esnasında oluşan görsel kirlilik ve koku, kaynağın ulaşımı ve işlemindeki zorluklar, NO_x ve SO_x emisyonunun olması da biyokütle enerjisinin üretim aşamasındaki çevresel olumsuz etkilerindendir (Albayrak, 2019). Üretim sonrası oluşacak atıklara yönelik önlemler alınırsa bu enerji kaynağı hem temiz hem de çevreyle uyumlu bir kaynak olma görünümünü sürdürecektir (DPT, 2001: 161).

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi hidrolik kaynaklar ile çevre arasında pozitif ve negatif yönde bir ilişki mevcuttur. Hidroelektrik santralleri taşkınların önlenmesinde, balıkçılığın gelişmesinde ve tüm bu olumlu etkilerle birlikte doğanın

güzelleştirilmesinde çevreye katkıda bulunurken, kontrolsüz baraj kapaklarının açılışı taşkınlara neden olmakta taşkınlar sonrasında can ve mal kayıpları meydana gelebilmektedir. Barajların inşası aşamasında baraj gölü alanında bulunan yerleşmelerin boşaltılırken bölge halkında sosyal problemler meydana gelmektedir. Üretim aşamasındaki santrallerin göl alanlarının geniş yüzeylere yayılması buharlaşmayı arttırması beraberinde çoraklaşmayı ve tuzlanmayı da getirmektedir. Bu olumsuzluklarla birlikte parazitlerin neden olduğu hastalıkların da ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları önlemek adına büyük çaplı santraller yerine daha küçük hidroelektrik santralleri kurulabilir. (DPT, 2001: 161-162).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN ALTERNATİF YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE GÖRE ANALİZİ

Türkiye’de kullanılan mevcut enerji kaynaklarının yerine kullanılabilecek alternatif yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin belirlenmesi ve ülkemiz için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağı alternatifinin tespitinde AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemlerine göre bir değerlendirme yapılmıştır. Araştırma analizinin ilk aşamasında ülkemizde kullanılan alternatif enerji kaynaklarının potansiyelini belirlemek amacı ile beş alternatif ve her bir alternatif için uygulanan on kriterden oluşan ölçme aracı hazırlanmıştır. Hazırlanan ölçme aracı öncelikle güvenilirlik ölçümleri için alanında uzman üç kişiye uygulanmış, alınan cevaplara göre güvenilirlik hesaplanarak kullanılabilirliğine karar verilmiştir. Ölçme aracı daha sonra alanında uzman on kişiye uygulanmış ve alınan cevaplar AHP, TOPSİS ve VİKOR yönteminde analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmış ve en uygun alternatif belirlenmeye çalışılmıştır.

Çok kriterli karar verme sürecinde analiz yapılarak karar vermek için ilk adım olarak en uygun yenilebilir enerji kaynağı alternatifleri belirlenmiştir. İkinci adımda en uygun alternatif enerji kaynağının seçimi için puanlama ölçeği hazırlanmış, ağırlıklandırma faktörleri karar vericilere uygulanmış ve değerlendirmeleri alınmıştır. Üçüncü adımda çok kriterli karar verme yöntemleriyle elde edilen değerlendirme sonuçları analiz edilmiş alternatifler için belirlenmiş her bir kriterin sayısal puan karşılıkları hesaplanmıştır.

3.1. TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN ALTERNATİF YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİNE GÖRE ANALİZİ

Türkiye’de kullanılabilecek en uygun yenilenebilir enerji kaynağının AHP, TOPSİS ve VİKOR yöntemlerine göre analiz edilmesi noktasında ilk aşama yenilenebilir enerji kaynaklarının birbirleri ile kıyaslamasında kullanılacak kriterler ve bu kriterlerin tespitidir. Bu aşamada kriterlerin belirlenmesi için enerji kaynakları konusunda uzman

akademisyenler ve enerji kaynakları ile ilgili diğer uzmanların görüşleri alınmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda alternatiflere ait 10 temel kriter belirlenmiştir. Ülkemiz için en uygun alternatif enerji kaynağı belirlenmesinde kullanılan nominal grup tekniği ile hazırlanmış kriterler tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Türkiye İçin En Uygun Alternatif Enerji Kaynağının Belirlenmesinde Kullanılan Kriterler

Kriterler	
Ö1	Yenilenebilir enerji kaynakları türlerinin sahip oldukları potansiyele göre durumu
Ö2	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin kurulum maliyetlerine göre durumu
Ö3	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin bakım ve onarım maliyetlerine göre durumu
Ö4	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin yatırım maliyetlerini tolere etme durumu
Ö5	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin ekonomiye katkı oranları
Ö6	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin doğal çevreye olumsuz etkilerine göre durumu
Ö7	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin işletme ömürlerine göre durumu
Ö8	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin kurulu güç oranlarına göre durumu
Ö9	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin taşımış olduğu afet riski
Ö10	Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin teknolojiden faydalanma kolaylığı

Uzman görüşleri alınarak belirlenen 10 kriterin tutarlılık analizleri yapılmış analiz sonucunda CR değeri 0,05 olarak hesaplanmıştır. Buna göre tutarlılık oranı (CR) oldukça önemli olup, bu oran 0.1’ den az olması gerekmektedir (Aytaç ve Bayram, 2001). Yapılan analiz sonucunda ulaşılan değer tutarlılık için gerekli olan CR değerini karşıladığı görülmektedir. Belirlenen kriterlerin ağırlıklarının belirlenebilmesi için 10 uzamandan görüş alınmıştır. Bu süreçte her uzmandan 10 adet kriterin ikili karşılaştırma yapması istenmiştir. Dolayısıyla uzmanlar ikili karşılaştırmalarda her bir kriter içerisinde önemli olan maddeye 1 ile 9 arasında olan likert ölçeğe göre puanlar vermişlerdir. Bu kapsamda uzmanlardan alınan değerlendirmelere göre ikili karşılaştırmalar yapılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir.

AHP yöntemi ile yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen kriter ağırlıklarına göre Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesinde 0,193 ağırlık ortalaması ile Ö1 kodlu kriter (Yenilenebilir enerji kaynakları türlerinin sahip oldukları potansiyele göre durumu) ilk sırada önem taşırken, 0,170 ağırlık ortalaması ile

Ö10 kodlu kriter (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin teknolojiden faydalanma kolaylığı) ikinci öneme sahip kriter olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda 0,161 kriter ağırlığı ortalaması ile Ö4 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin yatırım maliyetlerini tolere etme durumu) ve Ö5 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin ekonomiye katkı oranları) kriterleri üçüncü sırada yer almıştır. Uzmanlardan alınan görüşler neticesinde diğer maddelerin önem derecelerine göre 0,085 kriter ağırlığı ile Ö2 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin kurulum maliyetlerine göre durumu), 0,082 kriter ağırlığı ile Ö7 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin işletme ömürlerine göre durumu), 0,054 ağırlık ortalaması ile Ö8 Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin kurulu güç oranlarına göre durumu), 0,044 ağırlık ortalaması ile Ö3 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin bakım ve onarım maliyetlerine göre durumu), 0,029 kriter ağırlığı ile Ö6 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin doğal çevreye olumsuz etkilerine göre durumu) ve 0,022 ortalama kriter ağırlığı ile Ö9 (Yenilenebilir enerji santralleri türlerinin taşımış olduğu afet riski) olacak şekilde sıralandığı tespit edilmiştir (Tablo 3.2)

Tablo 3.2. AHP Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Ö1	0,18	0,29	0,26	0,17	0,17	0,14	0,20	0,15	0,12	0,18
Ö2	0,04	0,06	0,11	0,06	0,06	0,14	0,07	0,15	0,12	0,06
Ö3	0,03	0,02	0,04	0,06	0,06	0,08	0,02	0,05	0,07	0,04
Ö4	0,18	0,18	0,11	0,17	0,17	0,14	0,20	0,15	0,12	0,18
Ö5	0,18	0,18	0,11	0,17	0,17	0,14	0,20	0,15	0,12	0,18
Ö6	0,04	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,07	0,04
Ö7	0,06	0,06	0,11	0,06	0,06	0,08	0,07	0,15	0,12	0,06
Ö8	0,06	0,02	0,04	0,06	0,06	0,08	0,02	0,05	0,12	0,06
Ö9	0,04	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
Ö10	0,18	0,18	0,19	0,17	0,17	0,14	0,20	0,15	0,12	0,18
Ort.	00,19 3	00,08 5	00,04 4	00,16 1	00,16 1	00,02 9	00,08 2	00,05 4	00,02 2	00,17 0
CR: 0,05										

3.2. TOPSIS YÖNTEMİYLE TÜRKİYE’DE EN UYGUN YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ

Sosyal bilimler araştırmalarında popüler olarak kullanılmaya başlayan ÇKKVY’den biri de TOPSİS yöntemidir. Bu çalışmada AHP yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları ve bunlara göre Türkiye’de kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana çıkan alternatifinin belirlenmesinde TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır. Yapılan analizde ilk aşamada en solda yer alan satırda alternatifler olarak yenilenebilir enerji kaynakları (Hidroelektrik, Rüzgâr, Güneş, Jeotermal, Biokütle) ve karar verme aşamasında kullanılacak kriterlerin yer aldığı karar matrisi bulunmaktadır. Çalışmada uzmanların kriterlere verdikleri 1-9 arasındaki puanlama değerlerinin ortalamaları alınarak yenilenebilir enerji kaynaklarına ait kriterlerin değerleri matris de gösterilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifi İçin Karar Matrisi

Kriterler		Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
Alternatifler	H	6	5	5	6	5	6	7	8	7	6
	R	5	6	5	6	6	3	5	6	2	6
	G	7	4	4	5	6	2	6	5	2	6
	J	4	5	5	5	5	3	5	4	3	4
	B	4	6	5	4	5	2	4	3	3	5

TOPSIS yöntemi ile yapılan analizin ikinci aşamasında ise karar matrisi ve sütunların karekökleri kullanılarak normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinin normalleştirilmesinde sütunlardaki değerlerin, eş sütundaki tüm değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünmesi işlemi uygulanmıştır. Tüm bu işlemler sonrasında yenilenebilir enerji kaynaklarına ait normalize karar matrisi ve normalize edilmiş standart karar matrisleri oluşturulmuştur (Tablo 3.4; Tablo 3.5).

Tablo 3.4. Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
H	36	25	25	36	25	36	49	64	49	36
R	25	36	25	36	36	9	25	36	4	36
G	49	16	16	25	36	4	36	25	4	36
J	16	25	25	25	25	9	25	16	9	16
B	16	36	25	16	25	4	16	9	9	25
Karekök Toplam	11,91	11,74	10,77	11,74	12,12	7,87	12,28	12,24	8,66	12,20

Tablo 3.5. Normalize Edilmiş Standart Karar Matrisi

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
H	0,503	0,425	0,464	0,510	0,412	0,762	0,569	0,653	0,808	0,491
R	0,419	0,510	0,464	0,510	0,494	0,381	0,406	0,489	0,230	0,491
G	0,587	0,340	0,371	0,425	0,494	0,254	0,488	0,408	0,230	0,491
J	0,335	0,425	0,464	0,425	0,412	0,381	0,406	0,326	0,346	0,327
B	0,335	0,510	0,464	0,340	0,412	0,254	0,325	0,244	0,346	0,409
Ağırlık	0,193	0,085	0,044	0,161	0,161	0,029	0,082	0,054	0,022	0,17

TOPSIS yöntemi ile yapılan incelemenin üçüncü aşamasında ise yenilenebilir enerji kaynaklarına ait normalize edilmiş karar matrisi değerleri AHP yöntemi ile yapılan analiz sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları katsayıları (Tablo 3.2) ile çarpılarak TOPSIS yönteminde ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmiştir (Tablo 3.6)

Tablo 3.6. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
H	0,097	0,036	0,020	0,082	0,066	0,022	0,046	0,035	0,017	0,083
R	0,080	0,043	0,020	0,082	0,079	0,011	0,033	0,026	0,005	0,083
G	0,113	0,028	0,016	0,068	0,079	0,007	0,040	0,022	0,005	0,083
J	0,064	0,036	0,020	0,068	0,066	0,011	0,033	0,017	0,007	0,055
B	0,064	0,043	0,020	0,054	0,066	0,007	0,026	0,013	0,007	0,069

Yapılan analizin dördüncü adımında ağırlıklı karar matrisinden elde edilen veriler kullanılarak tüm kriterler için pozitif ve negatif ideal çözüm setleri hesaplanmıştır. Her kritere ait sütunda yer alan en yüksek değer seçilerek pozitif ideal çözüm seti elde edilirken, kriterlere ait sütunlardaki en düşük değerler seçilerek de negatif ideal çözüm setleri oluşturulmuştur (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Olumlu ve Olumsuz İdeal Çözüm Setleri

<i>Kriterler</i>	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
Pozitif İdeal	0,113	0,043	0,020	0,082	0,079	0,022	0,046	0,035	0,017	0,083
Negatif İdeal	0,064	0,028	0,016	0,054	0,066	0,007	0,026	0,013	0,005	0,055

Analizin beşinci aşamasında ideal çözüme uzaklık değerleri hesaplanmıştır. İdeal çözüme uzaklık değerleri hesaplanırken kriterlerin bulunduğu sütunlarda yer alan değerlerden pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri çıkarılarak olumlu ve olumsuz ideal çözüm değerlerine uzaklık değerleri elde edilmiştir (Tablo 3.8; Tablo 3.9).

Tablo 3.8. Pozitif İdeal Çözüm Uzaklık Değerleri

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10	Toplam	Si+
H	0,000262	0,0000523551	0	0	0,000176	0	0	0	0	0	0,000491	0,022159
R	0,001049	0	0	0	0	0,000122	0,000178	0,00007776	0,000161	0	0,001589	0,039857
G	0	0,00020942	0,0000166897	0,000188	0	0,000217	0,0000445298	0,00017496	0,000161	0	0,001012	0,031809
J	0,002361	0,0000523551	0	0,000188	0,000176	0,000122	0,000178	0,00031104	0,000103	0,000776	0,004268	0,065328
B	0,002361	0	0	0,000751	0,000176	0,000217	0,000401	0,000486	0,000103	0,000194	0,00469	0,06848

Tablo 3.9. Negatif İdeal Çözüm Uzaklık Değerleri

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	Toplam	Si+
H	0,001049	0,0000523551	0,0000166897	0,000751	0	0,000217	0,000401	0,000486	0,000161	0,000776	0,003911	0,062535
R	0,000262	0,000209	0,0000166897	0,000751	0,000176	0,0000135645	0,0000445298	0,000175	0	0,000776	0,002425	0,049244
G	0,002361	0	0	0,000188	0,000176	0	0,000178	0,00007776	0	0,000776	0,003757	0,061292
J	0	0,0000523551	0,0000166897	0,000188	0	0,0000135645	0,0000445298	0,00001944	0,00000645333	0	0,000341	0,018463
B	0	0,000209	0,0000166897	0	0	0	0	0	0,00000645333	0,000194	0,000427	0,020652

Çok kriterli karar verme tekniklerinden TOPSIS yöntemine ait analizin son aşamasında pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklık değerlerinden faydalanılarak ideal çözüme yakınlık değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken alternatiflere ait değerlerin her birine ait negatif ideal çözüm değerlerini, kendisine ait değer ve aynı alternatifin pozitif ideal çözüme ait değerinin toplamına bölünmesi gerekmektedir. Bu işlem sonucunda Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarına ait alternatiflerin belirlenen kriterlere TOPSIS yöntemi ile yapılan analizi sonucu öncelik sıralaması elde edilir. Öncelik sıralamasında C_i değeri Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının sıralamada ki yerini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait alternatifler C_i değerlerine bakılarak hesaplanan en yüksek değerden en düşük değere göre sıralanır (Tablo 3.10).

Elde edilen ideal çözüm yakınlıklarına göre oluşturulan sıralamada Türkiye için yenilenebilir enerji kaynağı alternatiflerinden hidroelektrik enerji 1. sırada yer alırken 2. sırada Güneş enerjisi ve 3. sırada Rüzgâr enerjisi öncelikli alternatif olarak belirlenmiştir. Değerlendirme sonucunda Jeotermal enerji 4. ve Biyokütle enerjisi 5. alternatif enerji kaynakları olarak değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda elde edilen değerlere göre hidroelektrik (0,738366942), güneş enerjisi (0,658341156) ve rüzgâr enerjisi (0,658341156) en yüksek ideal çözüm değerlerine sahip enerji kaynağı alternatifleri olmuştur. Ülkemizde enerji üretiminde elde edilen verilerde uzman görüşlerinden elde edilen verileri doğrular niteliktedir. Üretim verileri, kurulu güç kapasiteleri ve enerji yatırımları incelendiğinde de ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidro, güneş ve rüzgâr enerjilerinin potansiyeli en yüksek enerji alternatifleri olduğu görülmektedir. Jeotermal enerji kaynaklarının bulundukları alanların sınırlı olması ve ülkemizde biyokütle enerjisine yönelik tesislerin yetersizliği bu iki enerji kaynağı alternatifinin ülkemiz enerji kaynakları alternatifleri arasında daha az tercih edilir durumda olmasına neden olmuştur (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatiflerinin İdeal Çözümüne Yakınlıkları ve TOPSIS Yöntemine Göre Sıralanması

Alternatifler	Si+	Si-	Ci+	Dizilimi
H	0,0221	0,0625	0,7383	1
R	0,0398	0,0492	0,5526	3
G	0,0318	0,0612	0,6583	2
J	0,0653	0,0184	0,2203	4
B	0,0684	0,0206	0,2317	5

3.3. AHP-VIKOR TEKNİĞİYLE TÜRKİYE'DE EN UYGUN YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN BELİRLENMESİ

Çok kriterli karar verme tekniklerinden bir diğeri VIKOR tekniğidir. Bu yöntem araştırmacılara ideal sonuca en yakın çözümü bulmalarında istatistiki yöntemler arasında bir seçenek oluşturur. VIKOR yöntemi karar vericilere birden fazla alternatif sunar. Bu çalışmada VIKOR yöntemi ile Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerine yönelik değerlendirme yapılarak belirlenen kriterlere göre enerji üretim potansiyeli, çevresel ve sosyo-ekonomik bakımdan hangi enerji kaynaklarının daha tercih edilebilir olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemde öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynağı alternatiflerinin değerlendirilmesine yönelik kriterler belirlenmiş ve AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır (Tablo 5.11.). Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra VIKOR yöntemi ile 5 aşamada değerlendirilmesi yapılmıştır.

VIKOR yönteminin ilk adımında uzmanların yenilenebilir enerji kaynakları için belirlenen temel kriterlere vermiş oldukları 1-9 arasında ki değerlerin ortalamaları her bir kritere yazılarak karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 3.11)

Tablo 3.11. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Karar Matrisi

Kriterler		Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
Alternatifler	H	6	5	5	6	5	6	7	8	7	6
	R	5	6	5	6	6	3	5	6	2	6
	G	7	4	4	5	6	2	6	5	2	6
	J	4	5	5	5	5	3	5	4	3	4
	B	4	6	5	4	5	2	4	3	3	5

Yöntemin ikinci adımında karar matrisi ve sütunlarda ki değerlerin karekökleri kullanılarak normalize edilmiş standart karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrislerinin normalleştirilmesinde sütunlardaki değerlerin, eş sütundaki tüm değerlere ait kareleri toplamının kareköküne bölümü ile hesaplanmıştır (Tablo 3.12; Tablo 3.13).

Tablo 3.12. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
H	36	25	25	36	25	36	49	64	49	36
R	25	36	25	36	36	9	25	36	4	36
G	49	16	16	25	36	4	36	25	4	36
J	16	25	25	25	25	9	25	16	9	16
B	16	36	25	16	25	4	16	9	9	25
Karekök Toplam	11,91	11,74	10,77	11,74	12,12	7,87	12,28	12,24	8,66	12,20

Tablo 3.13. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Normalize Edilmiş Standart Karar Matrisi

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
H	0,503	0,425	0,464	0,510	0,412	0,762	0,569	0,653	0,808	0,491
R	0,419	0,510	0,464	0,510	0,494	0,381	0,406	0,489	0,230	0,491
G	0,587	0,340	0,371	0,425	0,494	0,254	0,488	0,408	0,230	0,491
J	0,335	0,425	0,464	0,425	0,412	0,381	0,406	0,326	0,346	0,327
B	0,335	0,510	0,464	0,340	0,412	0,254	0,325	0,244	0,346	0,409
Ağırlık	0,503	0,425	0,464	0,510	0,412	0,762	0,569	0,653	0,808	0,491

Yöntemin üçüncü aşamasında normalize edilen karar matrisi ile kriterlere ait minimum ve maksimum değerler elde edilir. Dördüncü aşamasında ise bu değerler kullanılarak yenilenebilir enerji alternatiflerinin her birisi için **S**, **R** ve **Q** değerleri bulunur (Tablo 5.14; Tablo 5.15). **S** ve **R** değerleri yenilenebilir enerji alternatiflerinin ideal çözümlere en yakın ve en uzak değerlerini göstermektedir. **Q** değeri ise yenilenebilir enerji alternatiflerine ait kriter ağırlıklarını ve değerlendirme sonucu aralarında oluşan sıralamayı göstermektedir.

Tablo 3.14. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının VİKOR Yöntemi İle Değerlendirilmesi

Kriterler	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9	Ö10
Maksimum	0,58	0,51	0,46	0,51	0,49	0,76	0,56	0,65	0,80	0,49
Minimum	0,33	0,34	0,371	0,34	0,41	0,25	0,32	0,24	0,23	0,32

Türkiye’de kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerinin VİKOR yöntemine göre değerlendirilmesinin beşinci adımında **S**, **R** ve **Q** değerlerine göre alternatif sıralaması oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda Q değerleri içerisinde en düşük değere sahip olan G (Güneş Enerjisi) alternatifi diğer alternatiflere oranla daha kabul edilir durumdadır. Ancak G alternatifinin diğer alternatifler içerisinde kabul edilebilir olabilmesi için VİKOR yöntemindeki iki şarttan bir tanesini sağlaması gerekir.

1. Şart: $Q(a'') - (a') \geq D$ eşitsizliğinin sağlanması. Analiz sonucu elde edilen değerler eşitsizlikte yerine konulacak olursa:

$$0,20-0,06 \geq 0,2 \text{ hesaplama sonucunu koşul 1'i sağlayamamaktadır.}$$

2. Şart : “Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar”

Bu şarta göre a' alternatifi Q dizilimindeki gibi R veya S puanlarıyla yapılan sıralamalardan en az bir tanesine göre de en iyi alternatif durumunda olmalıdır. Bu koşula göre Q değerindeki en iyi alternatif “G” (0,067) olarak belirlenmiştir. R ve S değerlerine bakıldığında R değerleri arasında “G” (0,085) alternatifi en uygun alternatif olarak görülmektedir. Bu durumda uzmanlardan alınan görüşlere doğrultusunda VİKOR yöntemine göre sürdürülebilir enerji kaynakları içerisinde en ideal enerji kaynağı Güneş Enerjisi olarak tespit edilmiştir. Güneş enerjisi alternatifinden sonra Q ve R değerleri incelendiğinde R (Rüzgâr) ve H (Hidroelektrik) diğer en iyi alternatiflerdir. B (biyokütle) ve J (jeotermal) enerji alternatifleri ise uzman görüşlerine göre enerji üretiminde en az kullanılabilecek enerji alternatifleri olarak görülmektedir (Tablo 3.15).

Tablo 3.15. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının VİKOR Yöntemine Göre Değerlendirme Sonuçları

Alternatifler	Sıra	S	Alternatifler	Sıra	R	Alternatifler	Sıra	Q
R	1	0,248683	G	1	0,085	G	1	0,067
H	2	0,267833	R	2	0,128667	R	2	0,202
G	3	0,320233	H	3	0,161	H	3	0,37
B	4	0,7826	J	4	0,193	B	4	0,998
J	5	0,784217	B	5	0,193	J	5	1

SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizin enerji üretiminde kendisine yetecek duruma gelmesi ve dünya enerji piyasası içerisinde yerini alabilmesi için yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının doğru kullanılması gerekmektedir. Enerji alanında dışa bağımlı haldeki ülkemizin sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ülke ekonomisindeki aslan payı olan enerji harcamalarının da ülkede kalmasına böylelikle de refah seviyesinin yükselmesine imkân sağlayacaktır. Yapılan bu çalışmada AHP, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak ülkemiz için elverişli ve enerji üretim potansiyeli yüksek olan yenilenebilir enerji kaynakları analizleri yapılmıştır. AHP analizi sonucunda uzmanlara göre yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlarda enerji kaynaklarının potansiyeli, enerji tesislerindeki teknoloji kullanımı ve üretim tesislerinin oluşturulmasından sonra yatırım maliyetlerini tolere etme durumları yenilenebilir enerji kaynakları tercihlerini etkileyen önemli etkenler olarak belirlenmiştir. Bu durum açıkça göstermektedir ki ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde kaynağın potansiyeli ve maliyeti yapılacak yatırımlarda ön plana çıkmaktadır. Maliyetin yüksek olması veya düşük potansiyelli oluşu yatırımın uzun sürede oluşturacağı faydanın önüne geçebilmektedir. Ancak dünyada gelişen teknoloji, fosil kaynakların tükeniyor oluşu ve fosil kaynaklarının çevresel etkileri göz önüne alındığında sürdürülebilir kaynakların maliyet yükü düşünülmeden diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yakın gelecekte tercih edilen enerji kaynakları içerisinde olacağını göstermektedir. Son yıllardaki yatırımlar ve ülke enerji politikasında bu görüşü destekler niteliktedir.

Çalışmada ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilebilmesinde etkili olan faktörlerin yanı sıra VIKOR ve TOPSIS yöntemleri ile de ülkemiz için en uygun ve potansiyelli sürdürülebilir enerji kaynağı da belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan TOPSIS analizine göre ülkemiz için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağı hidroelektrik olurken rüzgâr ve güneş enerjileri bu kaynağı takip etmektedir. VIKOR yönteminde ise bu sıralama güneş, rüzgâr ve hidroelektrik şeklinde olmuştur. Her ne kadar iki yöntemde de sıralamalar farklı olsa da ülkemiz için potansiyeli önemli görülen yenilenebilir kaynaklar aynıdır (Tablo 3.16).

Tablo 3.16. VIKOR ve TOPSIS Yöntemlerine Göre Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sıralanması

Enerji Kaynağı	TOPSIS'e Göre	VİKOR'a Göre
Hidroelektrik	1	3
Rüzgâr	2	2
Güneş	3	1
Jeotermal	4	5
Biokütle	5	4

Ülkemizde yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimine yönelik bölgesel veya ulusal bazda birçok alternatif çalışma yapılmıştır. Karakul (2020) bulanık AHP yöntemini kullanarak yaptığı çalışmanın sonucunda Güneş, Hidrolik, Biyokütle, Rüzgâr ve Jeotermal sonucuna ulaşmıştır (Karakul, 2020). Yapılan ulusal boyuttaki bir diğer çalışmada ANP ve TOPSIS yöntemlerini kullanan Özcan (2016) ülkemiz için en uygun yenilenebilir enerji kaynağını rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle, jeotermal ve güneş olduğu sonucuna varmıştır (Özcan, 2016). Orhan (2018)'in ÇKKV yöntemleri ile yaptığı çalışmada ise ülkemiz için yenilenebilir enerji alternatifleri güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal olarak sıralandığı görülmektedir (Orhan, 2018). Yapılan çalışmalar incelendiğinde her ne kadarda ilk üç enerji kaynağının sıralamaları değiştiği görülse de ulusal çapta yapılan çalışmalarda çalışmamızla aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda yapılan sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlarda analiz sonuçlarını desteklemektedir. Ülkemizdeki akarsuların enerji üretim potansiyellerinin yüksek oluşu, orta enlemlerde yer almasından dolayı güneşlenme sürelerinin enerji üretimi için uygun oluşu ve ülkemizin gerek matematiksel gerekse özel konumundan dolayı aktivitesini sürdüren rüzgârların enerji üretimine uygun oluşu bu kaynakların tercih edilebilir olmasına neden olmuştur. Ancak jeotermal ve biyokütle enerji kaynaklarının da kullanılabilir olduğu ve ülkemizde bu kaynaklara yönelik tesislerin varoluşları da göz ardı edilemez.

Gelişen teknoloji ile günlük hayatta kullandığımız alet ve makineler önümüzdeki süreçte enerjinin ve enerji kaynaklarının önemini daha da arttıracaktır. Enerji üretiminde önde gelen ülkelerin dünya siyasetinde de söz sahibi olacağı tahmin edilebilir. Ancak fosil kaynakların tükeniyor oluşu ve doğal çevreye zarar veriyor olması yenilenebilir

kaynakların değerini giderek arttırmaktadır. Dünya genelinde de bu kaynaklardan elde edilen enerji miktarları fosil kaynaklara oranla giderek artış göstermektedir. Ülkemizin enerji üretiminde kullanılan fosil kaynaklar bakımından fakir ve dışa bağımlı olması yeni kaynaklara yönelmesinin en büyük sebebini oluşturmaktadır. Bu çalışmada da yapılan analizler göstermektedir ki sürdürülebilir kaynaklar ülkemizde enerji kaynağı sorunsalından en uygulanabilir çıkış yolunu oluşturmaktadır. Bu kaynaklardan elde edilecek üretim ile ülkemiz kendi ihtiyacını karşılayabilir duruma gelecek ve ithal edilen kaynaklara ayrılan döviz ülke ekonomisinde kalacaktır.

Kısaca özetlemek gerekirse güneş, hidroelektrik ve rüzgâr sürdürülebilir enerji kaynakları içeriğinde en uygun kaynaklar olarak görülmektedir. Bu kaynaklardan faydalanmak için kurulacak tesisler ile ülkenin enerji konusunda dışa bağımlılığı engellenebileceği gibi fosil kaynaklar içinde harcanan bütçe ülke içerisinde kalacaktır. Stratejik önemi artan enerji kaynaklarının jeopolitiği sadece üretiminin yapıldığı ulusları değil enerji arz-talep ilişkisinin çevrelediği tüm coğrafi unsurları da kapsamaktadır (Harunoğulları, 2017). Bu yüzden enerji üretimini kendi kaynakları ile gerçekleştirecek ülkeler gelecekte hem güçlü bir ekonomiye hem de uluslararası stratejik bir öneme sahip olacaktır.

Ülke ekonomimizin büyümesi, gelişmesi ve halkın refah seviyesinin yükselmesi endüstriyel üretimin gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Endüstride ise vazgeçilmez unsurlardan birisi de enerjidir. Maalesef ki ülkemizde hala daha ithal kaynaklarla elde edilen enerji gerek üretimde gerekse konutlarda kullanılmaktadır. Enerjinin yerli ve milli kaynaklardan üretimi kaynaklara ayrılan gelirin ülkemizde kalmasını sağlayacaktır. Ülkemiz enerji üretimi için yerli kaynakların kullanımı konusunda büyük yatırımlar yaparken aynı zamanda özel girişimcileri de desteklemektedir. Ülkemizde yıllık enerji üretiminde kullanılan kaynaklar arasında hidroelektrik santrallerinin yüksek paya sahip olması da bu durumu açıkça ortaya koymaktadır. Yenilenebilir kaynaklar arasında güneş enerjisinin de gerek yerel yönetimler gerekse özel girişimciler tarafından tercih ediliyor olması ve neredeyse ülkemizin her yerinde güneş tarlalarına rastlıyor olmak çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Her ne kadar enerji üretimi için kullanılan fosil kaynakları hala daha ithal etsek de yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımların gelecek yıllarda bu kaynakların ithalat oranlarının düşeceğini göstermektedir.

Ülkemizde gerek konut ısıtmasında gerek elektrik üretiminde doğalgazın ayrı bir önemi vardır. Ancak bu kaynağında fosil kaynaklar içerisinde yer alması ve tükenebilir oluşu gelecek yüzyıl için endişe vericidir. Ayrıca doğalgaz fiyatlarında ki artış da ulusları zor duruma sokmaktadır. Ülkemizin bu maliyetten kurtulabilmesi için bir diğer alternatif enerji kaynağı olan biyoenerjiye yönelmesi uygun olacaktır. Ülkemizde tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin devam ettiriliyor olması bu enerji kaynağından faydalanılmasını daha da kolaylaştırmaktadır. Üretilcek biyogaz doğalgaz yerine kullanılabilecektir. Böylelikle doğalgaz için harcanacak milli gelir dışa aktarılmayacaktır.



KAYNAKLAR

- Acar, S. ve Köseoğlu, H. (2021). “Jeotermal Suların Uygulama Alanları ve Çevresel Problemler”. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 325-332.
- Ağırkaya O. (2015). “Jeotermal Enerji Kaynaklı Organik Rankine Çevriminin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim Ve Teknoloji Anabilim Dalı, Enerji Bilim Ve Teknoloji Programı*, İstanbul
- Adıyaman, Ç. (2012). “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Politikaları”. (Yüksek Lisans Tezi), *Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Niğde.
- Ağaçbiçer, G. (2010). “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan Swot Analizler”. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). *Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Çanakkale
- Ahışhalı, M. A. (2013). "Kaya Gazı: Dünya Enerji Düzenine Etkileri ve Türkiye Potansiyeli". *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 12-34.
- Akova, İ. (2003) “Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı”, *Coğrafya Dergisi*, 11. 47-73.
- Akbulut, G. (2008). “Küresel Değişimler Balamanda Dünya Enerji Kaynakları, Sorunları ve Türkiye”, *C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi*, Mayıs 2008 Cilt: 32 No:1 117-137
- Akdemir, İ.O. ve Kuşçu, V. (2012).” Küresel Enerji Eksenleri Ve Türkiye’nin Coğrafi Konumu”, *Marmara Coğrafya Dergisi* Sayı: 26, Temmuz - 2012, S. 82-107
İstanbul – Issn:1303-2429
- Akman, M. M. (2021). *Doğalgaz Sektörü Hidrojene Geçişte Yol Haritaları*.
www.gazmer.com.tr:
https://www.gazmer.com.tr/upload/tr/dosya/dokumanyonetimi/69/GAZBIR-Dogal-Gaz-Sektoru-Hidrojene-Gec%C5%9ete-Yol-Haritasi-Onerileri_13102021103153-2.pdf adresinden alındı (Erişim Tarihi: 06 Haziran 2021).

- Akpınar, E. ve Başbüyük, A. (2011); “Jeoekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz,” *International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 3(3), 119-136.
- Alaçakır, F.B. (1999). "Introduction of Grid Connected PV System Installed at Didim and Investigation of it's Performance". *Proceedings of Sun Day Symposium*, 25-27 June. Kayseri: 252-257.
- Alan, İ. A. (2016). “Türkiye’nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu”. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınlar*(123).
- Albayrak, K. (2019). “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çok Faktörlü Karar Verme Tekniklerinden Bulanık Entropi Temelli Copras ve Multimoorra Teknikleri ile Bölgesel Bazda Değerlendirilmesi”. (Doktora Tezi). *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Erzurum
- Alpdoğan, E. İ. (2009). “Dalga Enerjisi İle Elektrik Üretiminin Teknik ve Ekonomik İncelenmesi”, (Yüksek Lisans Tezi). *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul:
- Alternativeenergytutorials*. (tarih yok). *Dalga Enerjisi* . <https://www.alternative-energy-tutorials.com>: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/wave-energy/wave-energy.html> adresinden alındı (Erişim Tarihi:22 Eylül 2021).
- Altuntaşoğlu, Z. T. (2007). "Sürdürülebilir Enerji Kalkınma, Yenilenebilir Enerji ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı", *TMMOB 4. Enerji Sempozyumu Bildirileri*. S.345-355.
- Anlar, Aslıhan (2017). “Farklı Bakış Açılırları ile Enerji Güvenliği Üretici, Tüketici ve Transit Ülkeler: Türkiye Örneği”, *International Journal of Economic and Administrative Studies*, 19, 59-88.
- Ardıç, Ahmet (2015). “Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkileri: Bir Koentegrasyon Yaklaşımı”. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Kayseri
- Arıgün, B. C. (2000). “Jeotermal Enerji”. *A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları*.

- Arnorsson, S. (2000). "Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use. Austria", *International Atomic Energy Agency*.
- Atatürkbarajı.com, <http://www.ataturkbaraji.com/tr/30127/Ataturk-Baraji-Genel-Gorselleri>' den alınmıştır (Erişim Tarihi: 13 Ocak 2023).
- Atalay, Ö. (2004). "Jeotermal sistemlerin ekserji analizi: Kızıldere Örneği", (Yüksek Lisans Tezi), *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Denizli
- Atlası, E. (tarih yok). "Türkiye Elektrik Üretimi". www.enerjiatlasi.com: <https://www.enerjiatlasi.com/elektrik-uretimi/> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 03 Mayıs 2021).
- Avdar, R. (2020). "Yenilenemeyen Enerji Kaynakları Piyasasının Çoklu Regresyon Yöntemi İle Analizi; Türkiye Doğalgaz Piyasası Örneği", (Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi. Karabük
- Aydın, L. (2014). "Enerji Ekonomisi ve Politikaları/ Kuram ve Kavramlar Piyasalar-Modeller-Politikalar(1.Baskı)", *Seçkin Yayıncılık*. Ankara
- Aykırı, M. (2017). "Enerjide Dışa Bağımlılık ve Sağlıklı Büyüme: Türkiye Örneği" *Aydın İktisat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 56-67.
- Bakka (2017, 03 27). "Plot Dalga Enerjisi Santrali". www.bakka.gov.tr: <https://www.bakka.gov.tr/assets/upload/haberler/Dalga-Enerji-Santrali-6.pdf> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 25 Nisan 2021).
- Başkaya, Ş. (20-22 Mayıs 2010). "Hidroelektrik Santralleri (Hes) ve Rüzgar Enerjisi Santralleri (Res)'Nde Çevresel Etki Deperlendirmesi (ÇED)". *III.Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 3, 668-676.
- Başkaya, Z. (2017) "Bilecik İlının Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Metristepe Rüzgâr Enerjisi Santrali", *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5, (57), 253-276.
- Baykara, S. (2002). "Sudan Hidrojen Üretimi ve Enerji Sektöründe Hidrojen". *I. Ulusal Hidrojen Kongresi*. 16 Temmuz.
- Bayraç, H.N. ve Doğan, E. (2016). "Türkiye'de İklim değişikliğinin tarım sektörü üzerine etkileri". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 11(1), 23- 48.

- Bayraç, H. N. ve Çildir, M (2017). “AB Yenilenebilir Enerji Politikalarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi,” *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, Özel Sayı, 201-212.
- BEPA (2022, 05 01). “Türkiye Biyoenerji Potansiyeli Atlası”. www.bepaenerji.gov.tr:https://bepa.enerji.gov.tr/ adresinden alındı (Erişim Tarihi:16 Haziran 2021).
- Berksoy, T. ve Akbaş Akdoğan, D. (2018). “Yenilenebilir Enerjide Kamu Politikaları ve Türkiye,” *Journal of Life Economics*, 5(3), 19-42.
- Bilginoğlu, M. A, (1991). “Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Politikaları”, *E. Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı 9, 122-147.
- Biyokütledergisi (2020), <https://biyoenerjidergisi.com/turkiyenin-en-buyuk-biyokutle-santrali-devreye-alindi/>’ dan alınmıştır (Erişim Tarihi: 13 Ocak 2023).
- BP (2021). *Dünya Enerjisinin İstatistiksel İncelemesi* (70. Baskı), BP.
- BP. (2021, 07 24). BP.
- Chandran, B. G. (2005). “Linear Programming Models For Estimating Weights in The Analytic Hierarchy Process”. *Computers And Operations Research*, 32(9), 2235-2254.
- Chena, M. ve Wang, S.C. (2010). "The Critical Factors Of Success For Information Market: Using Analytic Hierarchy Process (AHP) Approach". *Expert Systems With Applications*, 37(1), 694-704.
- Chu. M.T., Shyu, J.,Tzeng, G.H. ve Khosla R. (2007). "Comparision Among Three Analiytical Methods gor Knowledge Cpööunities Group Decision Analysis". *Expert Systems with Aplications*, 33, 1011-1024.
- Cinelli, M. C. (2014). "Analiysis of The Potentials of Multi Citeria Decision Analiysis Methods to Conduct Sustainability Assessment". *Ecological Indicators*,46, 138-148.
- Coğrafyaharita. (tarih yok). “Türkiye Enerji Haritası”. [www.cografyaharita.com:http://cografyaharita.com/turkiye_enerji_haritalari.html](http://cografyaharita.com:www.cografyaharita.com:http://cografyaharita.com/turkiye_enerji_haritalari.html) adresinden alındı (Erişim Tarihi: 10.Ağusots 2021).
- Council, H. (15 Temmuz 2021). “Hidrojen Bilgileri 2021”. *Hydrogen Council*.

- Cumhurbaşkanlığı (2022). “2022 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı Enerji Sektörü Raporu”. *Elder*. Ankara
- Cuthbertson, A. (2022, Mart 17). *Independent Türkçe*. [www.indyturk.com: https://www.indyturk.com/node/485686/bi%CC%87li%CC%87m/d%C3%BCnyadaki-toplam-g%C3%BCne%C5%9F-enerjisi-%C3%BCretimi-avrupan%C4%B1n-toplam-elektrik-ihtiyac%C4%B1n%C4%B1](http://www.indyturk.com/node/485686/bi%CC%87li%CC%87m/d%C3%BCnyadaki-toplam-g%C3%BCne%C5%9F-enerjisi-%C3%BCretimi-avrupan%C4%B1n-toplam-elektrik-ihtiyac%C4%B1n%C4%B1) adresinden alındı (Erişim Tarihi:08 Nisan 2022).
- Çelikoğlu, Ş. (2016) “Çatalağzı Yöresi’nde (Zonguldak) Termik Enerji Yatırımları”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 33, 510-533.
- Demir, M. (2013); “Enerji İthalatı Cari Açık İlişkisi, Var Analizi ile Türkiye Üzerine Bir İnceleme,” *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 5(9), 2-27.
- Demir, M. (2017) “Kars İlinin Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Kullanılabilirliği”, *Türk Coğrafya Dergisi*, 68, 31-41.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). (2001). “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu” http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/11/08_ElektrikEnerjisi.pdf (Erişim: 15.05.2021).
- Delbecq, A. L. (1971). "A Group Process Model for Identification and Program Planning", *Journal of Applied Behavioral Sciences*, No:7.
- Dickson, M. H., ve Fanelli, M. (2004). What is geothermal energy? International geothermal association. <http://users.metu.edu.tr/mahmut/pete450/Dickson.pdf> (Erişim Tarihi: 20 Aralık 2022).
- Doğan, B. (2010). “Enerji Tüketimi-Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği (1980-2008)”, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), *Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Konya:
- Doğan, M. (2011). "Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri". *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 36-52.

- DPT, (2001). “8. Beş Yıllık Kalkınma Planı – Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu”, s. 130, Ankara.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de Elektrik Üretiminin Sera Emisyonları Açısından İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74.
- Doğan, M. (2011) “Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 36-52.
- Doğanay, H. (2011). “Türkiye Ekonomik Coğrafyası” *Pegem Akademi Yayınları*, (5.Baskı), Ankara, s. 368.
- Doğanay, H. Ve Coşkun, O. (2017). “Enerji Kaynakları” *Pegem Akademi Yayınları*, (3.Baskı), Ankara, s.17-18.
- Doğanay, H. ve Altaş, N.T. (2013).Doğal Kaynaklar, *Pegem Akademi Yayınları* (5.Baskı), Ankara, 26-28.
- Eeia.gov. (2021, 07 25). U.S. Energy Information Administration: [https://www.eia.gov/international/data/world/natural-gas/dry-natural-gas-reserves?pd=3002&p=000000000000000000000004&u=0&f=A&v=heatmap&a=-&i=none&vo=value&t=C&g=none&l=249-0g00000200000000000000200000000040000001500000gg22&s=315532800000&e=1577836800000&vb=10](https://www.eia.gov/international/data/world/natural-gas/dry-natural-gas-reserves?pd=3002&p=0000000000000000000004&u=0&f=A&v=heatmap&a=-&i=none&vo=value&t=C&g=none&l=249-0g00000200000000000000200000000040000001500000gg22&s=315532800000&e=1577836800000&vb=10) adresinden alındı (Erişim Tarihi: 30 Kasım 2021).
- EİA (2015). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Turkey*. EİA.
- EİA (2020). *Wind Annual Report*. EİA.
- Elmacı, S. (2018) “Türkiye’de Nükleer Enerji Santralleri Kurulmasının Coğrafi Açidan Değerlendirilmesi”, *Turkish Studies (Elektronik)*, 13,283-298.
- Elmastaş, N. (2015) “Türkiye’nin Enerji Sektörü Açısından Şeyl (Kaya) Gazı Potansiyeli ve Önemi” *Turkish Studies*, 10 (14), 292-310.
- Engin, B. (2010). İklim Değişikliği İle Mücadelede Uluslararası İşbirliğinin Önemi. *Sosyal Bilimler Dergisi* 0(2), 71-82.

- Endener, H. E. (2013). “Sürdürülebilir Enerji ve Hidrojen (3. Baskı)”. *ODTU Yayıncılık*. Ankara
- Ender, H. E. (2013). “Sürdürülebilir Enerji ve Hidrojen (3. Baskı)”. *ODTU Yayıncılık*. Ankara
- Enerjiatlası (2021). “Ülkelere Göre Güneş Enerjisi”. www.enerjiatlası.com. adresinden alındı (Erişim Tarihi: 09 Şubat 2022).
- Enerjiatlası (tarih yok). “Ülkelere Göre Dünya Doğalgaz Rezervleri”. *enerjiatlası*: <https://www.enerjiatlası.com/rezerv/dunya-dogalgaz-rezervi.html#:~:text=%20%3A%202020%20sonu%20itibariyle%20resmi%20olarak,m3%20rezerv%20bulundu%C4%9Fu%20duyurulmu%C5%9Ftur>. adresinden alındı (Erişim Tarihi: 19 Mart 2021).
- EPDK (2020). “Enerji Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu”. *EPDK*. (Erişim Tarihi: 19 Mart 2021).
- EPDK (2021). “Doğalgaz Piyasası 2020 Sektör Raporu”. *Ankara: EPDK*. (Erişim Tarihi: 19 Mart 2021).
- EPDK (2022). “Elektrik Piyasası Sektör Raporu”. *Ankara: EPDK*. (Erişim Tarihi: 19 Mart 2021).
- EPDK (2022). “Petrol Piyasası 2022 Yılı Sektör Raporu”. *EPDK*. (Erişim Tarihi: 19 Mart 2021).
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, çevre ve sera gazları. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1), 277-303.
- Erkul, H. (2012). "Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği". *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 115-133.
- Erkuş, A. (2005). “Bilimsel Araştırmalar Sarmalı”. *Seçkin Yayıncılık*. Ankara
- Ertuğrul, İ. K. (2008). “Banka Şube Performanslarının VIKOR Yöntemi İle Değerlendirilmesi”. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20(1), 19-28.
- ETKB (2020, Ocak 15). *Enerjide Arama Buluşmaları*. www.enerji.gov.tr: <https://www.tenmak.gov.tr/boren/uploads//dosyaYoneticisi/479628-enerjide->

arama-bulusmalari-hidrojen-program.pdf adresinden alındı (Erişim Tarihi: 11 Mart 2021).

ETKB (2021). *2021 Faaliyet Raporu*. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı. (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2021).

ETKB (2021). *Güneş*. www.enerji.gov.tr: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2021).

ETKB (tarih yok). “Lisanssız Elektrik Üretimi”. enerji.gov.tr: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-lisansiz-elektrik-uretimi#:~:text=Lisans%C4%B1z%20Elektrik%20%C3%9Cretimi-,Enerji%20Verimlili%C4%9Fi,elektrik%20%C3%BCretim%20faaliyeti%20yapmalar%C4%B1%20sa%C4%9Flanm%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 19 Ekim 2021).

ETKB (tarih yok). “Petrol”. www.etkb.gov.tr: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol>, adresinden alındı (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2022).

ETKB (tarih yok). “Rüzgar”. enerji.gov.tr: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2021).

ETKB (tarih yok). “Ulusal Enerji Denge Tabloları”. <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tabloları> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 10 Haziran 2021).

Fanelli, M. H. (02 Nisan 2005). "Geothermal Energy: Utilization and Technology". M. H. Fanelli içinde, *Geothermal Energy: Utilization and Technology*, (s. 1-44). CNR.

Filoğlu, E. (12 Ekim 2012). “Kaya Gazının Dünyadaki ve Türkiye'deki Gelişimi”. www.dogalgaz.com.tr: https://www.dogalgaz.com.tr/yayin/214/_6023.html#.YfLbbupBzIU adresinden alındı (Erişim Tarihi: 06 Şubat 2021).

Froman, E. (1990). "AHP is Intended for More Than Ezpected Value Colculation". *S.Descision Sciences*, 36, 671-673.

- Geçen, R. (2019) “Hatay İlinde Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanlarının Belirlenmesi”, *Turkish Studies Social Sciences* Volume 14 Issue 6, 2019, p. 3031-3054.
- GEPA (2022). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022.
- GEKA (2016: 8). https://geka.gov.tr/uploads/pages_v/karahayit-ve-golemezli-jeotermal-kaynaklari-2015.pdf (Erişim Tarihi 20 Ocak 2023).
- Gökdemir, M., Kömürcü, M., Evcimen, T. (2012). "Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış", *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, Sayı: 471, 20.
- Göktaş, S. ve Işıklı, B. (2016). “Çevre Sağlığı Sözleşmesi Ve Türkiye” *Türk Dünyası Uygulama Ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, 1 (1), 38-45.
- Garipoğlu, N. (2011). “Türkiye Ortam Sorunları Coğrafyası” *Yeditepe Yayınları*, İstanbul, s.14.
- Harunoğulları, M. (2017) “Orta Doğu Jeopolitiği ve Küresel Güçlerin Enerji Mücadelesi”, *Humanitas Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*; 5(9): 121-137.
- Hayli, S. (2001). “Rüzgâr Enerjisinin Önemi, Dünya’da Ve Türkiye’deki Durumu”, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 1-26.
- Hafeez, K. M. (2007). “Outsourcing Non-Core Assets and Competences of A Firm Using Analytic Hierarchy Process”. *Computers and Operations Research*, 34(12), 3592-3608.
- Hepbaşlı, A., Koray U. ve Rüştü E. (2004). "Solar Energy Applications in Turkey". *Energy Sources*, 26 (6), 551-561.
- (2021). “Hidrojen Bilgileri”. *Hydrogen Council*.
- Hüseyin, A. İ. (2016, Şubat). "Türkiye’nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu". *TMMOB Jeoloji*(No: 123.). doi:551.22
- İBB Ugetam Genel Müdürlüğü (2016). “Genel Doğalgaz”.. *Ugetam Yayınları*, İstanbul
- İHA. (2021). “Hydropower Status Report Sector Trends and Insights”. *International Hydropower Association*.

- İlbaş, M. (2017, Mart 02). "Türkiye'nin Kaya Gazı Potansiyeli". www.tespam.org:https://www.tespam.org/turkiyennin-kaya-gazi-potansiyeli/#:~:text=Verilere%20g%C3%B6re%20tespit%20edilen%20d%C3%BCnya,%C3%BClkeler%20olarak%20onu%20takip%20etmektedirler. adresinden alındı (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2022)
- İlkılıç, C. (2009). "Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı". *Mühendis ve Makine Dergisi*, 50 (593), 26-32.
- İlleez, B. (2020). "Türkiye'nin Enerji Görünümü". *Türkiye'nin Enerji Görünümü* (s. 220-235). içinde Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- İlleez, B. (2020). "Türkiye'nin Enerji Görünümü".: *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*. Ankara
- İlleez, B. (2020, Mayıs). "Türkiye'de Biyokütle Enerjisi". *Türkiye'nin Enerji Görünümü*, 317-346.
- İnandık, H. (1971). "Deniz ve Kıyı Coğrafyası. (2.Baskı)". *İstanbul Üniversitesi Yayınları*. İstanbul
- İnat, K. (2021). Dünya Enerjisinde Değişim ve Süreklilik Trendleri. *Dünya Enerji Trendleri Rezervler Kaynaklar ve Politikalar*, 14-16.
- IRENA.(2019)."RüzgarEnerjisi".*IRENA*.www.irena.org:https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings adresinden alındı(Erişim Tarihi: 27 Temmuz 2022).
- Kadıoğlu, Y. (2013). "Simav’da Jeotermal Seracılık", *Marmara Coğrafya Dergisi*, (28), 64-80.
- Kadıoğlu, S. ve Tellioğlu, Z. (1996). "Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri", *TMMOB 1. Enerji Sempozyumu*, Ankara. S.55-67.
- Kapluhan, E. (2014). "Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Dalga Enerjisinin Dünyada’ki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu". *Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(17), 65-86.

- Kara, S. (2013). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerjiye İktisadi Bakış*, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> (Tez No: 353147).
- Karagöl, E. İ. (2017). "Kaya Gazının Küresel Enerji Pisayalarındaki Yeri ve Türkiye'deki Geleceği". *SETA*(222), 5-25.
- Karagöl., E. ve Kavaz, İ. (2017). “Kaya Gazının Küresel Enerji Piyasalarındaki Yeri ve Türkiye'deki Geleceği”, *SETA*, 222, s.16.
- Karakuzulu, Z., Arıcı, F. ve Dumansızoğlu, M. (2017) “Doğu Anadolu Bölgesi’nin Biyogaz Enerji Potansiyeli”, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (39), 541-554
- Karalı.Ş. (2017). “*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye ve DünyaEkonomisine Katkısı*”, (Yüksek Lisans Tezi). *Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü* (Tez No: 473502). İstanbul
- Karlı, S. (2015). "Enerji Sektöründe Kaya Gazının Rolü". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3), 17-23.
- Karlı, S. (2015). "Son Gelişmeler Işığında Türkiye'de Kaya Gazı". *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5(3), 25-31.
- Kavcıoğlu, Ş. (2019). "Yenilenebilir Enerji ve Türkiye", *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11-21.
- Kayahan Karakul, A. (2020). "Bulanık AHP Yöntemi İle Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi". *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 127-149.
- Kaymaz, Ç. K. (2020). *Ordu İli Turizm Merkezlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerine Göre Analizi*. İstanbul: Kriter.
- Kervankıran, İ. (2012). “Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı Ve Sorunları”. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (25), 108-126.
- Keeny, R. L. (1976). “Decisions with Multiple Objectives; Preferences and Value Tradeoffs, Hohn Wiley”.*Cambiridge University Press* 1993. New York

- Kelecioğlu, M. A. (2011). “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Finansmanı, Sorunlar ve Çözüm Önerileri”. *Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> (Tez No: 298207). Ankara
- Kerimoğlu, K. (2020). “Yenilenebilir Enerji İle Ekonomik büyüme Arasındaki İlişki Bağlamında Türkiye’nin Enerji Politikalarının Değerlendirilmesi”, (Doktora Tezi). *Selçuk Üniversitesi (Tez No: 634138)*. Konya
- Ketenci, H. S. (2019). “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Fizibilite Analizi”. *Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ordu
- Kısar, O. A. (2016). “Türkiye’de Rüzgâr Enerjisini Gelişimi ve Geleceği Elektrik Mühendisleri Odası Haziran Bülteni”. *İzmir EMO Şubesi*. İzmir
- Koç, E., ve Şenel, M.C. (2013). "Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme". *Mühendis ve Makina*, 32-44.
- Korkmaz, A. A. ve Deniz, M.B. (2019). "Sürdürülebilir Temiz Enerji Biyokütle: Enerji Üretimindeki Payı ve Ekonomiye Katkıları", *II. Uluslararası Battalgazi Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Tam Metin Kitabı*. 141-148.
- Köse, İ., Genç, B. ve Demiralp, İ. (2015). "Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin İncelenmesi". *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu.
- Kum, G., Sönmez, M. E., ve Karabaş, M. (2019). “Gaziantep İlinde Güneş Enerjisi Potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (Ahp) İle Belirlenmesi”. *Coğrafya Dergisi*, (39), 61-72.
- Kurtuluş, G. (2006). "Türkiye’de Hidrojen Enerjisi Çalışmaları ve UNIDO-ICHET". *Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, (459, 466).
- Kükrer, B. (2007). “Hidrojen Enerjisinin Potansiyeli ve Türkiye Ekonomisi Açısından Değerlendirilmesi”. (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi SBE.
- Lee, G.K.L. ve Chan, E.H.W (2008). "The Analytic Hierarchy Process (AHP) Approach for Assessment of Urban Renewal Proposals". *Soc.Indic.Res.*,89, 155-168.
- Lienau, P. J. ve Lunis, B. C. (1991). “Geothermal direct use engineering and design guidebook”. *NASA STI/Recon Technical Report N*, 92, 24030

- Lise, W. ve Van Montfort, K. (2007). "Türkiye'de Enerji Tüketimi ve GSYİH: Bir Eş Bütünleşme İlişkisi Var mı?". *Enerji Ekonomisi*, 29 (6), 1166-1178.
- MAPEG (2022, 01 01). "Petrol Haritaları". Maden ve Petrol İşletmeleri Genel Müdürlüğü: <https://www.mapeg.gov.tr/Custom/CustomPage/813ed87e-77bc-4a4f-b70b-d58b2d38b618> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 09.10.2022).
- MTA (2021). "Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli Ve Arama Çalışmaları". mta.gov.tr: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 09.10.2022).
- MTA (tarih yok). "Enerji Haritları." www.mta.gov.tr: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 09.Ekim.2022).
- Mutlu, M. ve Sarı, M. (2017). "Çok Kriterli KARAR Verme Yöntemleri ve Madencilik Sektöründe Kullanımı". *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56 (4), 181-196.
- Nachimas, C.F., ve Nachimas, D. (1996). "Basics of Social Research Qualitative and Quantitative Approaches (5th ed)". *St. Martin's Press Inc.* London
- Nükleerakademi.org. (2019, 01 15).. "Dünyada Nükleer Enerji". www.nukleerakademi.org: <http://nukleerakademi.org/nukleer-enerji/dunyada-nukleer-enerji/> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 07 Mart 2021).
- Opricovic, S. T. (2004). "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS". *European Journal of Operational Research*, 156, 445-455.
- Opricovic, S. T. (2007). "Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods". *European Journal of Operational Research*, 178, 517-529.
- Orhan, E. S. (2018). "Türkiye'nin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yenilenebilir Enerji Alternatifinin Analizi". *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, (5) 23,, 1224-1231.
- Önal, E., ve Yarbay, R. Z., (2010). "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği". *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (18), 45-60.

- Özcan, E. Ü. (2016). "ANP ve TOPSİS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi". *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 204-2019.
- Özcan, Ş. İ. (2020). "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Metro Sürücüsü Seçimi". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi* 15 (3), 1185,1202.
- Özkurt, Ö. (1999). "Rüzgâr Enerjisi", *Aydınlanma* 1923, Sayı 32.
- Özşahin.E., ve Kaymaz. Ç. K. (2013). "Rüzgâr Enerji Santrallerinin (Res) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir Cbs Analizi: Hatay Örneği". *Tubav Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.
- Öztürk, H. (2013). "Yenilenebilir Enerji Kaynakları". Birsen Yayıncılık. İstanbul
- Özyurt, M. (2005). "Alternatif Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi". *III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu* (s. 39-42). Mersin: Yeksem.
- Öztürkoğlu, Y. ve Çalışkan, A. (2016). Deniz Taşımacılığında Broker Seçimi Kararını Etkileyen Kriter Skorlarının Belirlenmesi Ve Alternatiflerin Değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 8(1), 31-61.
- Pamir, N. (2003). "Dünya’da ve Türkiye’de Enerji, Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları". *Tmmob Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi*, 134, 3.
- Pamir, N. (2015). "Enerjinin İktidarı". *Haykitap*. İstanbul
- Panwar N.L, Kaushik S.C. ve Kothari S. (2011), "Role of Renewable Energy Sourcesin Environmental Protection", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 1513-154.
- Peng, X. ve Dai, F. (2009, Mayıs 30-31). "Information Systems Risk Evaluation Based on The AHP-fuzzy Algorithm". *International Conference on Networking and Digital Society*, 178-180.
- Petformorg (2020). "Türkiye'de Petrol Üretimi." www.petroform.org:https://www.petform.org.tr/arama-uretim-sektoru/turkiyede-petrol-uretimi/ adresinden alındı (Erişim Tarihi: 27 Mart 2021)

- Pınar, A. B. (2020). "Türkiye'deki Rüzgar Enerji Santralleri Dağılışının Coğrafi Perspektifle İncelenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(43), 167-182. doi:<https://doi.org/10.17295/ataunidcd.662785>
- Ramadhan, R., Al-Abdul, V.H. ve Duffuaa, S. (1999). "The Use Of an Analytical Hierarchy Process in Pavement Maintenance Priority Ranking". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 5(1), 25-40.
- Richter, A. (2022, Ocak 10). *ThinkGeoEnergy'nin En İyi 10 Jeotermal Ülkesi 2021 – kurulu güç üretim kapasitesi (MWe)*. Think Geoenergy: <https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2021-installed-power-generation-capacity-mwe/> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 28 Ekim 2022).
- Saaty, T. (1980). "The Analytic Hierarchy Process". *McGraw-Hill*. New York:
- Saaty, T. (1990). "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operation Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T.L. ve Özdemir, S.M. (2003). "Why The Magic Number Seven Plus or Minus Two". *Mathematical and Computer Modelling*, 38(3-4), 233-244.
- Sağlam, M. U. (2022, 04 30). "Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli". *EMO*: https://www.emo.org.tr/ekler/20bb2d9a50d5ac1_ek.pdf adresinden alındı
- Sarıbaş, E. (2015). "Türkiye'de Enerji Kaynakları ve İzlenen Enerji Politikaları". (Yüksek Lisans Tezi). *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Tez No: 392387)*. Niğde
- Saygın, H. (2008). "Uluslararası Enerji Politikaları ve Güvenliği Ders Notları". *Harp Akademileri Komutanlığı Stratejik Araştırmalar Enstitüsü*, s.10.
- Selçuk, M. K. ve Tran, V.V. (1975). "Solar Stills For Agricultural Purposes". *Solar Energy*, 17(2), 103-109
- Seragazıdoğrulama.com. (2018). "Sera Gazı Nedir Sera Gazları Nelerdir Nasıl Oluşur Sera Gazı Etkisi Nedir Sera Gazı Emisyonu Nedir Nasıl azaltılır". [www.seragazidogrulama.com: https://seragazidogrulama.com/sera-gazi-nedir-](https://seragazidogrulama.com/sera-gazi-nedir-)

sera-gazlari-nelerdir-nasil-olusur-sera-gazi-etkisi-nedir-sera-gazi-emisyonu-nedir-nasil-azaltilir adresinden alındı (Erişim Tarihi: 17 Eylül 2022).

- Sevim, C. (2015). "Küresel Enerji Stratejileri ve Jeopolitik, (3. Baskı)". *Seçkin Yayıncılık*. Ankara
- Shama, M. M. (2008). "Analytic Hierarchy Process To Assess and Optimize Distribution Network". *Applied Mathematics and Computation*, 202(1), 256- 265.
- Sistemi, T. M. (2014, 05 17). "*Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik*". *mevzuat bilgi sistemi*: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=19678&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 27 Mayıs 2022).
- Sönmez, M.E.(2012). "Barajların Mekan Üzerindeki Olumsuz Etkileri Ve Türkiye'den Örnekler", *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11 (1), 213-231.
- Sözen, E., G. Gündüz, D. Aydemir, ve E. Güngör. (2017). "Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi", *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 148-160.
- Stevens, P. T. (2012, Ağustos). "The shale gas revolution: Developments and Chanfes. Energy, Environment and Resources". *EERG BP*: https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/bp0812_stevens.pdf adresinden alındı (Erişim Tarihi: 11 Şubat 2021).
- Şenel, M. C. (2014). "Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Dinamik Davranışı-Teorik Bir Model". *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(69+80), 5.
- Şenpınar, A. (2006). "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması". *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 49-54.
- Şenpınar, A., ve Gençoğlu, M. T., (2006). "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması", *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 4 (2),49-54.
- Şeşen, Ö. D. (2011). "Çevre ve Temiz Enerji". *Hidroelektrik*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

- T. C. İçişleri Bakanlığı (tarih yok). “Küresel Isınma BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve KYTO Protokolü”. *Girişimci ve İnsani Dış Politika*: <https://www.mfa.gov.tr/kuresel-isinma-bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-ve-kyto-protokolu.tr.mfa> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2022).
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (tarih yok). “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi”. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*: <https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-4362> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 27 Mayıs 2022).
- T.C. İçişleri Bakanlığı. (2021, 10 11). “Bingöl’de yapımı tamamlanan Aşağı Kaleköy Hibrit Güneş Enerji Santrali (GES) Tesisi törenle hizmete açıldı”. *iletisim.gov.tr*: https://www.iletisim.gov.tr/turkce/yerel_basin/detay/bingolde-yapimi-tamamlanan-asagi-kalekoy-hibrit-gunes-enerji-santrali-ges-tesisi-torenle-hizmete-acildi adresinden alındı (Erişim Tarihi:28 Mayıs 2022).
- Tan, O. K. (2022, Ocak 05). “Yapay Güneş Projesi”. *www.cagaskocaeli.com*: <https://www.cagaskocaeli.com.tr/0/makale/9024163/ozan-kutay-tan/yapay-gunes-projesi> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 23 Haziran 2022).
- TEİAŞ (2022). “EÜAŞ Hidrolik Santralleri (2021)”. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/ilgili-raporlar>, (Erişim Tarihi: 21 Aralık 2022).
- TEİAŞ (2021). “Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi” <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 20 Aralık 2022).
- TEİAŞ (2022). “Kurulu Güç Raporu”. *TEİAŞ*. Ankara
- TEİAŞ (2022). “Mart 2022 Kurulu Güç Raporu”. *TEİAŞ*. Ankara
- Timur, M. (2011). “Analitik Hiyerarşi Prosesi, 1. Baskı”. *Türkmen Yayıncılık*. İstanbul
- Temurçin, K. ve Aliağaoğlu, A. (2003). “Nükleer Enerji Ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği”. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 25-39.
- TKİ (2021). “2020 Yılı Taş Kömürü Sektöre Raporu”. *Türkiye Taş Kömürü İşletmeleri*. Ankara

- TKİ (2020). “TKİ Üretim”. *Türkiye Kömür İşletmeleri*: <https://www.tki.gov.tr/uretim> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 09 Mayıs 2021).
- TMMOB (2011). “TMMOB Hidroelektrik Santraller Raporu”. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*. Ankara
- TMMOB (2021). “Türkiye Elektrik İstatistikleri Şubat 2021”. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*. Ankara
- TPAO (2018). “2018 Yılı Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu” http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektor_rapor_2018.pdf (Erişim:02.Eylül.2021).
- TPAO (2020). “Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu”. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı*.
- TSE(2021).”DuyuruArşivi”.[tse.org.tr:https://www.tse.org.tr/Icerik/DuyuruDetay?DuyuruID=6160](https://www.tse.org.tr/Icerik/DuyuruDetay?DuyuruID=6160) adresinden alındı (Erişim Tarihi:30 Haziran 2022).
- TSKB (2021). “2021 Yılı Enerji Sektörü Görünümü”. TSKB. Ankara
- TSKB (2022). “Elektrik”, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (Erişim Tarihi :20 Aralık 2022).
- TUREB (2019). “Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu”. *Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği*.
- Tutar, F. ve Eren, M. (2011). "Geleceğin Enerjisi: Hidrojen Ekonomisi ve Türkiye". *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 3(6), 1-26.
- TÜİK (2022). “Katı Yakıtlar Ocak 2022”. TÜİK. Ankara
- TÜİK (2022). “Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2020”. TÜİK. Ankara
- Tüzemen, A. ve Özdağoğlu, A. (2007). “Doktora Öğrencilerinin Eş Seçiminde Önem Verdikleri Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Belirlenmesi”. *Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi*, 21(1), 215-232.
- Tzeng, G.H. ve Huang, J.J. (2011). “Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications”. *CRC Press*. New York

- Tte.com (2011). <https://tte.com.tr/referanslar-res.html>’ den alınmıştır (Erişim Tarihi: 11 Ocak 2023).
- Uytun, M. (2022). “ThinkGeoEnergy İlk 10 Jeotermal Ülkesi 2021 – kurulu güç üretim kapasitesi göre (MWe)”. *Jeotermal Haberler*: <https://www.jeotermalhaberler.com/thinkgeoenergy-ilk-10-jeotermal-ulkesi-2021-kurulu-guc-uretim-kapasitesi-gore-mwe/> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 22 Eylül 2022).
- Ülgören, M. (2004). “Küresel Isınma BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve KYOTO Protokolü”. <https://www.mfa.gov.tr/kuresel-isinma-bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-ve-kyto-protokolu.tr.mfa> adresinden alındı (Erişim Tarihi: 22 Eylül 2022).
- Ültanır, M.Ö. (1998). “21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”. *TÜSİAD- Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği*, Yayın No. TÜSİAD-T/98-12/239. İstanbul
- Varınca, K. B., Gönüllü, M. T. (2006). "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri". 25-27 Mayıs 2006. *Isparta, VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES’2006, 25-27 Mayıs 2006, Isparta.
- Wang, Y. L. (2008). “An Integrated AHP-DEA Methodology For Bridge Risk Assessment”. *Computers & Industrial Engineering*, 54(3), 513-525.
- Wind, Y. ve Saaty, T.L. (1980). "Marketing Applications of The Analytic Hierarchy Process". *Managament Science*, 26(7), 641-658.
- World Energy Council (2020). “Uluslararası Hidrojen Stratejileri Raporu”, (Erişim Tarihi: 08 Ağustos 2021).
- Woods, M. D. (1994). “Total Quality Accounting”, *John Wiley&Sons*, New York, 227-228.
- WRI (2001). “World Resources Institute”. www.wri.org: www.wri.org/climate adresinden alındı (Erişim Tarihi: 11 Ekim 2022).
- Yalçın Erik, N. (2016). "Şeyl Gazı (Kaya Gazı) ve Çevresel Etkileri". *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 37(4), 426-438.

- Yavuz, İ. Ve Özbay, H. (2020). “Rüzgâr Türbinlerinde Kurulum Ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği”, *Mühendislik Bilimleri Ve Araştırma Dergisi*, 2 (2), 58-68.
- Yeh, C. (2002). "A Problem Based Selection of Multi-Attribute Decision Making Methods". *International Transactions in Operational Research*, 9, 169-181.
- Yerebakan, M. (2010). “Güneş Kolektörü Uygulamaları”. *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*. İstanbul
- Yıldırım, B. F. (2015). “Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri”. *Dora Yayıncılık*. Bursa
- Yılmaz, M. (2012). “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi”. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.
- Yoon, K., ve Hwang, C.L. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*. New York: Springer.
- Zhou, P. A. (2006). "Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling". *An Update. Energy*, 31 (14), 2604-2622.
- Zhou, Y.D. ve Shi, M.L. (2009). “Rail Transit Project Risk Evaluation Based on AHP Model”. *Second International Conference on Information and Computing Science*, 3, 236-238.
- Zorluenerji.com (Erişim Tarihi: 11 Ocak 2023). <https://www.zorluenerji.com.tr/tr/zorlu-dogal-elektrik-uretimi/santraller/kizildere-i-ii-santralleri>

EK-2. Etik Kurulu Onayı



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İlahiyyat Fakültesi

Sayı : 77640475-000-E.2100096542
Konu : Etik Kurul Onay Talebi Başvurusu
Sorumlu (Dr. Öğr. Üyesi Çağlar
Kıvanç KAYMAZ)

02.04.2021

DAĞITIM YERLERİNE

Bilgi : 18.02.2021 tarihli ve 48551601-000-E.2100050000 sayılı belge.

Bu belgeyle ilgili olarak, Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ başkanlığında, yüksek lisans öğrencisi Emrah SATIR'ın "Çok Kriterli Karar Verme-Sıra Sıralama Görevi En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifinin Belirlenmesi" konulu tez çalışması kapsamında yapılacak araştırmalar için Etik Kurul onay talebi- onay belgesi talebine ilişkin Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurul Başkanlığından alınan cevabi yazı ekte gönderilmektedir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Ömer ÇOMAKLI
Rektör

EK : 31.3.2021 tarihli 48456144-050.01.04-E.2100084920 sayılı belge

Dağıtım:

Gereği: Bilgi
Sayın Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürüne

Atatürk Üniversitesi Rektörlüğüne
Fax: +90 362 233 1170
E-posta: rektur@atauni.edu.tr

Atatürk Üniversitesi Rektörlüğüne

Atatürk Üniversitesi Rektörlüğüne
Fax: +90 362 233 1170
E-posta: rektur@atauni.edu.tr



Bu belgeyi, 02/04/2021 tarihinde Sosyal Bilimler Enstitüsü Etik Kurul Başkanlığına gönderdiğiniz için teşekkür ederiz. Bu belgeyi, 02/04/2021 tarihinde Sosyal Bilimler Enstitüsü Etik Kurul Başkanlığına gönderdiğiniz için teşekkür ederiz.

EK-3. Araştırma İzin Belgesi



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü
Erzurum

Sayı : 48553601-300-E.2100050122
Konu : Araştırma İzni. (Emrah SATIK)

18.02.2021

İLGİLİ MAKAMA

Enstitümüz Coğrafya Ana Bilim Dalı Beşeri ve İktisadi Coğrafya Bilim Dalı yüksek lisans programı öğrencisi **Emrah SATIK**'ın **Dr.Öğr.Üyesi Çağlar Kıvanç KAYMAZ**'ın danışmanlığında **"Çok Kriterli Karar Verme Süreçlerine Göre En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifinin Belirlenmesi"** konulu tez çalışması yapmaktadır.

Konuyla ilgili olarak yapılacak çalışmalarda adı geçene yardımcı olunması ve gerekli kolaylığın (Veri, Doküman, Broşür, Kitap vb.) sağlanması hususunda gereğini arz ve rica ederim.

Doç.Dr. Kubilay GEÇİKLİ
Müdür Yardımcısı

Atatürk Üniversitesi Enstitüler Binası Kat:3 25240-Erzurum
Tel: +90-442 2314928
Elektronik Ağ: <http://www.atauni.edu.tr/bilim-sosyal-bilimler-enstitusu>
Kop Adres: atasuni@kbf1.kop.tr

Bilgi: Sayı: 1818041E3
Faks: +90 442 2314931
E-Posta: sohbilgi@atauni.edu.tr



Bu belge, 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
<https://ubya.atauni.edu.tr/ERMS/Record/Confirmation/Confirmation?code=1C3D16031D6>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Emrah SATIK
Doğum Yeri ve Tarihi	
Eğitim Durumu	
Lisans Öğrenimi	
Y. Lisans Öğrenimi	
Bildiği Yabancı Diller	
Bilimsel Faaliyetleri	
İş Deneyimi	
Stajlar	
Projeler	
Çalıştığı Kurumlar	
İletişim	
E-Posta Adresi	
Tarih _	