



**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN
ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN
BELİRLEYİCİLERİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

İlknur ALTUN

Eskişehir 2019

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ
ÜRETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

İlknur ALTUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İktisat Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevgi GEREK

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Ağustos 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İlknur ALTUN'un "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretiminin Belirleyicileri: Türkiye Örneği" başlıklı tezi 25 Eylül 2019 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca toplanan İktisat Anabilim Dalında, yüksek lisans tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Prof.Dr.Sevgi GEREK
Üye : Prof.Dr.Bülent AÇMA
Üye : Prof.Dr.Özcan DAĞDEMİR

İmza

Prof.Dr.Bülent GÜNŞOY
Anadolu Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü



ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

İlknur ALTUN

İktisat Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ağustos 2019

Danışman: Prof. Dr. Sevgi GEREK

Yaşamın her alanında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi, gerek dünyada gerekse ülkemizde yüksek oranda fosil kaynakların kullanımı ile elde edilmektedir. Elektrik üretiminde temiz ve sürdürülebilir olan yenilenebilir kaynakların, fosil kaynaklara oranla düşük bir seviyede kullanılması nedeniyle yenilenebilir kaynakların kullanımını etkileyen faktörlerin incelenmesi, çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımı yapılarak, elektrik enerjisi üretiminde bu kaynakların kullanımını etkileyen faktörler incelenmiş, Türkiye’de ve dünyada elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların durumu değerlendirilmiştir. Bu amaçla 1990-2017 arasında yıllık veriler kullanılarak Türkiye için zaman serisi analizi yardımıyla Vektör Hata Düzeltme Modeli tahmin edilmiştir. Gerekli testler uygulanarak, etki gücü yüksek olan kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları, fosil kaynaklardan elektrik üretimi ve enerji yoğunluğu değişkenleri referans alınarak, bu değişkenlerin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine olan etkisi araştırılmıştır.

Sonuç olarak değişkenler arasında hem uzun hem de kısa dönemli ilişki tespit edilmiştir. Kullanılan tüm değişkenlerin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini; yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin ise kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi ve enerjide dışa bağımlılık oranını etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçların beklenen yönde ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yenilenebilir enerji kaynakları 1, Elektrik enerjisi 2, Türkiye 3, Zaman serisi analizi 4, Vektör hata düzeltme modeli 5.

ABSTRACT

DETERMINANTS OF ELECTRICAL ENERGY GENERATION FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES: THE CASE OF TURKEY

İlknur ALTUN

Department of Economics

Anadolu University, Graduate School of Social Sciences, August 2019

Adviser: Prof. Sevgi GEREK

The electrical energy needed in all areas of life is procured by using of a high rate of fossil sources in all over the world, including our country. This study focuses on the factors that are affecting the use of renewable sources, as the renewable sources that are clean and sustainable in electricity generation are used at a low level compared to fossil sources.

In this study; the renewable energy sources are defined, the factors affecting the use of these sources in electrical energy generation was examined and the status of renewable sources in electricity generation in Turkey and the world was evaluated. Vector Error Correction Model for Turkey was estimated through using annual data between 1990-2017, with help of the time series analysis. Through applying the necessary tests, the strength effect was investigated based on gross domestic product per capita, electricity consumption per capita, energy dependence, oil prices, electricity generation from fossil sources and energy intensity variables on electricity generation from renewable sources.

As a result, both long and short-term relations were determined between the variables. It was concluded that all of the variables affect electricity generation from renewable sources; the electricity generation from renewable sources affects gross domestic product per capita, electricity consumption per capita and energy dependence to. The result obtained were determined to be statistically significant in the expected direction.

Keywords: Renewable energy sources 1, Electrical energy 2, Turkey 3, Time series analysis 4, Vector error correction model 5.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında her türlü bilimsel desteği sağlayan, güler yüzü ve destekleyici sözleriyle beni teşvik eden değerli danışmanım Prof. Dr. Sevgi GEREK'e, bilgi birikimleri, sabrı ve değerli görüşleri ile yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Bülent AÇMA'ya, hayatımın her anında en büyük destekçim olan annem Ayşegül AKYÜREK'e, beni sabırla dinleyen, verdiği motivasyon ile çalışma azmimi güçlendiren Özdemir KARABULUT'a, çalışmam boyunca meraklarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan ailem ve ailem gibi sevdiklerime bana kazandırdıkları her şey için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.


İlknur ALTUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	3
1.1. Güneş Enerjisi	6
1.1.1. Tanımı	6
1.1.2. Güneş enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	9
1.2. Rüzgâr Enerjisi	10
1.2.1. Tanımı	10
1.2.2. Rüzgâr enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	12

1.3. Jeotermal Enerji	13
1.3.1. Tanımı	13
1.3.2. Jeotermal enerji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	15
1.4. Hidrolik Enerji	17
1.4.1. Tanımı	17
1.4.2. Hidrolik enerji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	19
1.5. Biyokütle Enerjisi	21
1.5.1. Tanımı	21
1.5.2. Biyokütle enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	23
1.6. Deniz Kökenli Enerji	25
1.6.1. Tanımı	25
1.6.2. Deniz kökenli enerji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	27
1.7. Hidrojen Enerjisi	28
1.7.1. Tanımı	28
1.7.2. Hidrojen enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri	30

İKİNCİ BÖLÜM

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİ VE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ	32
---	-----------

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretiminin Belirleyicileri	32
--	-----------

2.1.1. Enerji arzının sürekliliği ve güvenliği sorunu	35
---	----

2.1.2. Çevresel etkenler	40
2.1.3. Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi	49
2.1.4. Enerjide dışa bağımlılık	53
2.1.5. Nüfus	57
2.1.6. Teknolojik gelişim	59
2.1.7. Fosil enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi	62
2.1.8. Finansal etkenler	66
2.1.8.1. Yatırım	66
2.1.8.2. Maliyet	68
2.1.9. Politik etkenler	70
2.1.9.1. Ulusal ve uluslararası düzenlemeler	70
2.1.9.2. Teşvik mekanizmaları	75
2.1.9.3. Ar-Ge harcamaları	78
2.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	80
2.2.1. Türkiye’nin enerji sorunu	80
2.2.2. Türkiye’de yenilenebilir enerjinin genel görünümü	91
2.2.3. Türkiye’nin yenilenebilir enerji politikaları	102
2.2.4. Türkiye’nin yenilenebilir enerji hedefleri	108

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ114

3.1. Literatür Taraması	114
-------------------------------	-----

3.2. Veri Seti	128
3.3. Metodoloji	132
3.4. Uygulama ve Bulgular	137
3.4.1. Durağanlık analizi	138
3.4.2. Model sorunlarının tespiti	142
3.4.3. Eşbütünleşme testi	144
3.4.4. Vektör hata düzeltme modeli	146
3.4.4.1. <i>Varyans ayrıştırması</i>	147
3.4.4.2. <i>Etki-tepki analizi</i>	148
3.4.4.3. <i>Granger nedensellik testi</i>	150
SONUÇ	151
KAYNAKÇA	154
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerjinin yakıtı	7
Tablo 1.2. Biyokütle kaynakları, kullanılan çevrim yöntemleri, elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları	22
Tablo 2.1. Fosil kaynak rezervlerinin coğrafi olarak dağılımı (%) (2017)	38
Tablo 2.2. Seçilmiş ülkelerde CO2 emisyonları ve yenilenebilir kaynak kullanım ilişkisi (1990-2017 yılları arası % değişim)	44
Tablo 2.3. Kaynaklarına göre enerji temin seçeneklerinin çevresel etkileri	48
Tablo 2.4. Ekonomik büyüme ve elektrik tüketim ilişkisi (1990-2017)	50
Tablo 2.5. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi (2017)	52
Tablo 2.6. Seçilmiş ülkelerde enerjinin genel görünümü (2017)	53
Tablo 2.7. Nüfus ve elektrik tüketim ilişkisi (1990-2017)	57
Tablo 2.8. Seçilmiş ülkelerde nüfus ve yenilenebilir kaynak kullanım ilişkisi (1990-2017 yılları arası % değişim)	58
Tablo 2.9. Enerji yoğunluğu ve yenilenebilir kaynak kullanım ilişkisi (2017)	60
Tablo 2.10. Kaynaklarına göre kurulu güç değişimi (2016-2017)	66
Tablo 2.11. Kaynaklarına göre enerji yatırımlarında ilk 5 ülke (2017)	67
Tablo 2.12. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımları (2017)	67
Tablo 2.13. Yenilenebilir enerji maliyetlerinin karşılaştırılması	69
Tablo 2.14. Seçilmiş ülkelerde enerjinin Ar-Ge harcamalarındaki yeri (%) (2017)	79

Tablo 2.15. Türkiye’de enerjide dışa bağımlılığın yıllar itibariyle değişimi (1990-2017)	83
Tablo 2.16. Türkiye’de cari işlemler hesabı (1990-2017)	84
Tablo 2.17. Türkiye’de elektrik enerjisi görünümünün yıllar itibariyle değişimi (GWh) (1990-2017)	88
Tablo 2.18. Türkiye’de elektrik enerjisindeki kayıp-kaçak oranlarının yıllar itibariyle değişimi (1990-2017)	90
Tablo 2.19. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının genel görünümü (2017)	93
Tablo 2.20. Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç kapasitesi (2005-2017)	96
Tablo 2.21. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasiteleri (GWh) (2017)	100
Tablo 2.22. Türkiye’de yenilenebilir enerji düzenleme ve politikaların genel görünümü	103
Tablo 2.23. Türkiye’de enerji piyasasının genel görünümü (2001-2023)	109
Tablo 2.24. Kaynaklarına göre toplam kurulu güç kapasite hedefleri (MW) (2012-2023)	110
Tablo 3.1. Literatür tablosu	126
Tablo 3.2. Ekonometrik analizde kullanılan değişkenlerin özet gösterimi	129
Tablo 3.3. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler	137
Tablo 3.4. Değişkenler arasındaki korelasyon matrisi	138
Tablo 3.5. ADF birim kök testi sonuçları	139
Tablo 3.6. PP birim kök testi sonuçları	140
Tablo 3.7. Değişkenlere ait VIF değerleri	142

Tablo 3.8. Jarque–Bera testi sonuçları	142
Tablo 3.9. LM otokorelasyon testi sonuçları	143
Tablo 3.10. Breusch-Pagan-Godfrey değişen varyans testi sonuçları	144
Tablo 3.11. Uygun gecikme uzunluğunun tespiti	144
Tablo 3.12. LM ve ARCH testi sonuçları	145
Tablo 3.13. Johansen eşbütünleşme testi sonuçları	145
Tablo 3.14. Normalize edilmiş eşbütünleşme vektörü	146
Tablo 3.15. Vektör hata düzeltme modeli	147
Tablo 3.16. Varyans ayrıştırması	147
Tablo 3.17. Granger nedensellik testi sonuçları	150

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Küresel elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir ve fosil kaynaklar (2017) ..	33
Şekil 2.2. Türlerine göre fosil kaynak rezervlerinin kalan ömürleri (2017)	37
Şekil 2.3. Kaynaklarına göre CO2 emisyonları (2017)	42
Şekil 2.4. Enerji kaynaklı CO2 emisyonlarının yıllar itibariyle değişimi (mt) (1990-2017)	42
Şekil 2.5. Seçilmiş ülkelerde CO2 emisyonları (mt) (1990-2017)	43
Şekil 2.6. Küresel sıcaklık değerlerinin yıllar itibariyle değişimi (°C)	45
Şekil 2.7. İthal ham petrol fiyatları (varil başına \$)	55
Şekil 2.8. Küresel elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2017)	63
Şekil 2.9. Küresel elektrik üretiminde kullanılan fosil kaynakların yıllar itibariyle değişimi (%) (1990-2017)	64
Şekil 2.10. Enerji alanında küresel Ar-Ge harcamaları (2017)	78
Şekil 2.11. Kaynaklarına göre enerji tüketimi (2017)	81
Şekil 2.12. Türkiye’de enerji üretim ve tüketimin yıllar itibariyle değişimi (mtoe) (1990-2017)	82
Şekil 2.13. Kaynaklarına göre elektrik üretimi (2017)	85
Şekil 2.14. Türkiye’de elektrik üretim ve tüketimin yıllar itibariyle değişimi (TWh) (1990-2017)	86

Şekil 2.15. Türkiye’de elektrik üretimindeki yerli ve ithal kaynaklar (2000-2017)	87
Şekil 2.16. Seçilmiş ülkelerde kişi başına elektrik tüketimi (kWh) (2017)	89
Şekil 2.17. Türkiye’de yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasitesinin yıllar itibariyle değişimi (MW) (1990-2017)	94
Şekil 2.18. Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç kapasitesinin yıllar itibariyle değişimi (%) (1990-2017)	95
Şekil 2.19. Türkiye’de kaynaklarına göre elektrik üretimi (2017)	97
Şekil 2.20. Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin toplam üretim içerisindeki payının yıllar itibariyle değişimi (%) (1990-2017)	98
Şekil 2.21. Türkiye’de kaynaklarına göre elektrik üretiminin yıllar itibariyle değişimi (GWh) (2005-2017)	99
Şekil 2.22 Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklar (2017)	100
Şekil 2.23. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir kaynakların genel görünümü (2017)	101
Şekil 2.24. Sektörlere göre yenilenebilir kaynakların kullanımı (%) (2012-2023)	110
Şekil 3.1. Zaman serisi grafikleri	129
Şekil 3.2. Değişkenlerin logaritmik değerlerine ilişkin birinci farklarının grafiği	141
Şekil 3.3. Ters köklerin birim çember konumu	143
Şekil 3.4. Bir standart şoka tepkiler	149

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADF	: Augmented Dickey-Fuller
AIC	: Akaike Bilgi Kriteri
ARCH	: Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
Ar-Ge	: Araştırma-Geliştirme
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
Bkz.	: Bakınız
BM	: Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BP	: British Petrol
C4	: Karbon
CH	: Hidrokarbon
CH4	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO2	: Karbondioksit
Çev.	: Çeviren
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
D	: Birinci Farklarında Durağan Seriler
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
Dr.	: Doktor
ECM	: Hata Düzeltme Terimi
EDB	: Enerjide Dışa Bağımlılık
ENVER	: Enerji Verimliliği Programı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

EY	: Enerji Yoğunluğu
FKEU	: Fosil Kaynaklardan Elektrik Üretimi
FPE	: Son Kestirim Hatası
g	: Gram
G7	: Ekonomisi En Büyük Yedi Ülke Arasındaki Birlik
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatt-saat
H	: Hipotez
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
HES	: Hidroelektrik Santral
HQ	: Hannan-Quinn Bilgi Kriteri
http	: Hyper Text Transfer Protocol
ICEBSS	: International Conference on Economics Business Management and Social Sciences
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
İİBF	: İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
KB	: Kişi Başına
KBET	: Kişi Başına Elektrik Tüketimi
KDV	: Katma Değer Vergisi
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
koe	: Toplam Enerji Tüketimi
KP	: Kyoto Protokolü
kWh	: Kilowatt-saat
L	: Logaritmik Değer
LM	: Lagrange Multiplier
LR	: Ardışık Modifiye Edilmiş Test İstatistiği

m ²	: Metrekare
Mt	: Milyon Ton
MTOE	: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
MW	: Megawatt
MWh	: Megawatt-saat
NO _x	: Azotoksit
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)
OPEC	: Organization of the Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü)
PF	: Petrol Fiyatları
PP	: Phillips-Peron
Prof.	: Profesör
REC	: The Regional Environmental Center (Bölgesel Çevre Merkezi)
REPA	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
s.	: Sayfa
SIC	: Schwarz Bilgi Kriteri
SO ₂	: Kükürtdioksit
SV	: Student Version
TEMA	: Türkiye Erezyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Kaynakları Koruma Vakfı
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TCMB	: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜFE	: Tüketici Fiyat Endeksi
TWh	: Terawatt-saat
VAR	: Vector Autoregression
vd.	: ve diğerleri

VECM	: Vector Error Correction
VIF	: Variance Inflation Faktor
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
YKEU	: Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Üretimi
yy.	: Yüzyıl
\$	: ABD Doları
°C	: Santigrat Derece





GİRİŞ

Elektrik enerjisi, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmişliğinin en önemli göstergesi ve toplumsal hayatın vazgeçilmez bir parçasıdır. Enerji türleri içerisinde elektrik enerjisinin sahip olduğu özellikler dolayısıyla, önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu özellikler: sera gazı emisyonlarına neden olmaması ve atık sorunu oluşumu gibi çevreyi kirletici etkilerinin bulunmaması nedeniyle temiz bir enerji olarak nitelendirilmesi, sanayi, konut, ulaşım gibi birçok alanda kullanımının bulunması, yüksek talepli olması ve talebin sürekli olarak artması, üretim sürecinde farklı enerji kaynaklarından yararlanılabilmesi, ısı, ışık, hareket gibi farklı enerji türlerine dönüşümünün mümkün olması, üretim ve iletiminin kolay olması şeklinde özetlenebilmektedir.

Yıllar itibariyle gerek Türkiye’de gerekse dünyada elektrik enerjisi başta olmak üzere enerji üretiminde fosil kaynakların kullanımı tercih edilmekte, yenilenebilir kaynakların kullanımı ise sınırlı kalmaktadır. Kirli ve sürdürülemeyen enerji olarak nitelendirilen fosil kaynakların kullanımı; ekonomik, sosyal, siyasi ve çevresel alanda birçok probleme neden olarak bölgesel ve küresel huzursuzluk ortamı oluşturmaktadır. Fosil kaynakların; rezervlerinin sınırlı olması, coğrafi olarak eşit dağılım göstermemesi, Türkiye gibi fosil kaynak rezervleri yetersiz olan ülkelerde enerjide dışa bağımlılık oluşturması, enerji arz güvenliği sorununa neden olması, çevre ve canlılar üzerinde büyük tahribatlara neden olan sera gazı birikim düzeyini artırması gibi nedenler ile günümüz ve gelecek için yaşanabilir bir dünya açısından bu kaynakların kullanımının azaltılarak yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, üzerinde önemle durulması gereken bir konuyu oluşturmaktadır.

1970’li yıllarda fosil kaynakların kullanımının küresel iklim üzerinde yarattığı olumsuzlukların hissedilebilir boyutlara ulaşması ile gelişen çevreci bakış açısı ve 1973 Petrol Krizi, fosil kaynaklara bir alternatif olarak yenilenebilir kaynakların öneminin artmasında önemli dönüm noktalarını oluşturmaktadır. Bu yıllarda petrol fiyatlarındaki yükselme, enerji ihtiyacının karşılanmasında kesintiye neden olarak fosil kaynaklara dayalı enerji üretimi yapan, enerjide dışa bağımlı ülkelerde enerji arz güvenliği sorunu oluşturarak küresel buhrana neden olmuştur. Enerji ihtiyacının kesintisiz, yeterli miktarda, kaliteli, güvenilir, ekonomik, çevre dostu, uluslararası barışı destekleyen enerji kaynaklarından karşılanması, ekonomik ve sosyal gelişimin uzun süreli ve sürdürülebilir

olması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda temiz ve sürdürülebilir olarak nitelendirilen yenilenebilir kaynakların; her coğrafyada potansiyelinin bulunması, yerli üretim ile enerjide dışa bağımlılık sorununun giderilmesine katkı sağlayarak enerjide arz güvenliği oluşturması, fiyat istikrarı sağlaması, enerjide siyasi riskleri azaltması gibi nedenler ile yaşam standartlarının iyileştirilerek küresel refah ortamının sağlanması açısından kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı çalışmanın odak noktasını, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarını etkileyen faktörler oluşturmaktadır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımı yapılarak, bu kaynakların kullanımının çeşitli nedenler gösterilerek olumlu ve olumsuz yönleri ele alınacaktır. İkinci bölümde; ilk olarak elektrik enerjisinin öneminden bahsedilerek, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının önemi ve bu kaynakların kullanımını etkileyen faktörler ele alınacaktır. Devamında Türkiye'nin enerji üretim, tüketim, ithalat ve ihracat miktarları değerlendirilerek enerji sorunu ele alınacak, elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların durumu değerlendirilecek, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması amacıyla yürürlüğe konulan ve uygulanan kanunlar, yönetmelikler, politikalar ele alınacak ve bu doğrultuda tanımlanmış olan hedefler belirtilecektir. Üçüncü bölümde ise yenilenebilir kaynakların kullanımını etkileyen faktörler ve bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin belirleyicilerine yönelik yapılmış olan çalışmalara yer verilecektir. Devamında Türkiye için zaman serisi analizi yardımıyla kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları, fosil kaynaklardan elektrik üretimi ve enerji yoğunluğu değişkenlerinin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine olan etkisini incelemek amacıyla ekonometrik bir çalışma gerçekleştirilecek ve elde edilen bulgular sunulacaktır.

Literatürde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını etkileyen faktörlere yönelik birçok çalışma bulunmasına karşın bu konuyu elektrik enerjisi çerçevesinde uygulamalı olarak inceleyen çalışmalar oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu çalışma ise elektrik enerjisi çerçevesinden Türkiye'de fosil kaynaklara oranla düşük bir seviyede yer alan yenilenebilir kaynakların kullanımını etkileyen faktörlerin ampirik bir çalışma ile desteklenerek literatüre katkı sağlamayı amaçlamıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımını yapmadan önce yaşamımızın her alanında ihtiyaç duyduğumuz enerjinin tanımını yaparak, enerji kaynaklarından bahsedelim:

Enerji, teknik olarak iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmektedir (Montgomery, 2014, s.8). **İş yapabilme yeteneği** ise maddelerin hareket etmesine veya değişmesine neden olarak, yaşamsal faaliyetlerin sürdürülmesi ve kolaylaştırılmasını sağlamaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.112).

Enerji, her şeyden önce belirli kaynakların varlığını gerektirmektedir (Montgomery, 2014, s.9). Bu kaynaklar, enerji çevrim veya dönüşüm biçimlerine göre aşağıdaki gruplara ayrılarak incelenmektedir (Gürsoy, 2004, s.35-36):

A. Tükenebilirliğine Göre Enerji Kaynakları

- | | | |
|------------------------------|---|-----------------|
| 1. Fosil (tükenen) kaynaklar | 2. Yenilenebilir (tükenmeyen) kaynaklar | |
| - Kömür | - Güneş | - Biyokütle |
| - Petrol | - Rüzgâr | - Deniz kökenli |
| - Doğal gaz | - Jeotermal | - Hidrojen |
| - Nükleer | - Hidrolik | |

B. Ekosisteme Verdikleri Zarara Göre Enerji Kaynakları

- | | | |
|-------------------------|--------------------|-----------------|
| 1. Kirli kaynaklar | 2. Temiz kaynaklar | |
| - Kömür | - Güneş | - Deniz kökenli |
| - Petrol | - Rüzgâr | - Hidrojen |
| - Doğal gaz | - Jeotermal | |
| - Nükleer | - Barajsız su gücü | |
| - Büyük barajlı su gücü | - Biyokütle | |

Yenilenebilir enerji kaynakları, herhangi bir üretim sürecine ihtiyaç duyulmadan temin edilebilen, fosil kaynaklı olmayan, hem insan hem de çevre açısından fosil enerji kaynaklarına göre daha düşük zararı olan, sürekli olarak yenilenen, tükenmeyen ve kullanılmaya hazır olarak doğada bulunan kaynaklar olarak ifade edilmektedir (Ataman, 2007, s.97). Yukarıda belirtildiği üzere güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, deniz kökenli enerji ve hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almakta olup, temiz enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir.

Küresel enerji ihtiyacının karşılanmasında yüksek oranda fosil kaynaklar kullanılmaktadır. 2017 küresel enerji tüketiminde fosil kaynakların payı %90 iken; yenilenebilir kaynakların payı %10'dur (British Petrol [BP], 2018, s.9). Bununla birlikte 2017 küresel elektrik üretiminin %75'i fosil kaynaklardan; %25'i yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir (http-1). Bu oranlar, günümüzde yenilenebilir kaynak kullanımının, fosil kaynaklara oranla düşük bir seviyede olduğunu göstermektedir.

Fosil kaynaklar, karbondioksit [CO₂], sera gazı gibi yaşamı tehdit eden gazların temel kaynağıdır. Bu kaynakların kullanımı CO₂ ve sera gazı emisyonlarını artırarak, küresel ısınmaya ve bunun sonucunda iklim değişikliğine neden olarak, canlılar ve çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bununla birlikte fosil kaynakların kullanımı, rezervlerin azalmasına neden olmakta, bu kaynakların coğrafi olarak düzensiz dağılımı nedeniyle de küresel enerji arz güvenliği sorunu oluşturmakta ve küresel refah bozulmaktadır (Çınar ve Yılmaz, 2015, s.56).

Sanayi Devrimi ile birlikte kömür kullanımı yaygınlaşmış, daha sonraki dönemlerde bu yakıta petrol ve doğal gaz eklenmiştir (Ürün ve Soyu, 2016, s.32). 2017 küresel enerji tüketiminde %28 oranında kömür; %34 oranında petrol; %23 oranında doğal gaz; %4 oranında nükleer kullanılmaktadır (BP, 2018, s.9). Enerji ihtiyacının büyük bir bölümü, fosil kaynaklardan karşılanmasına rağmen küresel ölçekte yarattığı olumsuzluklar nedeniyle 1970'li yıllardan itibaren yenilenebilir kaynakların kullanımının önemi artmış ve küresel politikalarda önemli bir konu haline gelerek, kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır (Sülükçüler, 2018, s.3).

Yenilenebilir kaynakların öneminin artmasında, 1973 yılında yaşanan Petrol Krizi'nin etkisi büyük olmuştur. Kriz ile birlikte petrol fiyatlarındaki yükselme, fosil

kaynaklara dayalı enerji üretimi yapan enerjide dışa bağımlı ülkelerde güvensizlik ortamı yaratmış ve ülkeleri yenilenebilir kaynakların kullanımına yönlendirmiştir. Böylece, kriz sonrasında enerjinin önemi tüm ülkeler tarafından daha iyi anlaşılmaya başlanmış; enerji güvenliği, enerji çeşitlendirilmesi ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımı, enerji politikalarının belirleyici unsurları olmuştur. Fosil kaynakların kullanımı sonucunda ortaya çıkan küresel ısınma ve iklim değişikliği, 1970'li yıllarda ülkeler için önemle üzerinde durulması gereken bir konuyu oluşturmuştur. Bu dönemde gelişen çevreci bakış açısı da yenilenebilir kaynakların öneminin artmasında bir diğer önemli etken olmuştur (Çukurçayır ve Sağır, 2008 s.258). Bu etkenlerle birlikte artan enerji ihtiyacının karşılanması için enerji bağımlılığının giderek artması, bağımlılığın çeşitli siyasi ve ekonomik sorunlara yol açması, fosil kaynakların sürdürülemez olması, rezervlerinin bir gün tükenebileceği düşüncesi, fiyat istikrarsızlıkları, canlılar ve çevre üzerindeki olumsuzluklar yenilenebilir kaynakların öneminin artmasında önemli etkenlerdir (Eser ve Polat, 2015, s.220). Küresel nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik gelişim, yaşam standartlarındaki yükselme, tüketim harcamalarındaki artışa paralel olarak enerji ihtiyaçlarının artması, ekonomik, sosyal, siyasi ve çevresel alanda sürdürülebilirliğin sağlanması hedefleri ve bu hedefler doğrultusunda imzalanan uluslararası sözleşmeler de yenilenebilir kaynakların önemini artıran etkenler içerisinde yer almaktadır (Çınar ve Yılmaz, 2015, s.56).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tüm insanlığın ve çevrenin geleceğini güvence altına almak açısından yaşamsal bir öneme sahiptir. Bu kaynakların kullanımı:

- CO2 ve sera gazı emisyonlarını azaltarak, doğal hayatın korunmasını sağlamakta,
- Kaynak çeşitliliği sağlamakta,
- Yerli kaynak kullanımını artırmakta,
- Yerli üretimi artırarak, istihdamı artırmakta,
- Üretim sürecinde kullanılan enerji girdi maliyetlerini azaltmakta,
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltmakta,
- Ödemeler dengesi açıklarının iyileştirilmesini sağlamakta,
- Fiyat istikrarı sağlamakta,
- Enerji ihtiyacının karşılanmasında enerji arz güvenliğini oluşturmakta,
- Enerji üretim ve tüketiminde güven ortamı oluşturmakta,
- Enerji güvenliği ile enerji sektöründe yatırımlar artmakta,

- Sosyal ve çevresel alanda sürdürülebilirlik sağlamakta,
- Ekonomik alanda sürdürülebilir büyüme ve gelişme sağlamakta,
- Enerji konusunda siyasi riskleri azaltmakta,
- Küresel refahı artırmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.4; Acaravcı ve Erdoğan, 2018, s.55).

1.1. Güneş Enerjisi

1.1.1. Tanımı

Güneş, soğuk ve karanlık olan yerkürenin ısınmasında ve aydınlanmasında önemli bir işleve sahiptir. Yaşam, güneş enerjisinin varlığına bağlıdır. Güneş, milyonlarca yıl ışımasını sürdüreceğinden dolayı dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağıdır (Ataman, 2007, s.99). **Güneş enerjisi**, güneş çekirdeğinde bulunan hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan ışıma enerjisidir (Koç ve Kaya, 2015, s.41).

Güneş yüzeyinden dünyaya gelen enerji, 150 milyon km uzaklıktan gelmekte ve bu enerjinin iki milyarda biri yeryüzüne ulaşmaktadır (Yalkı, 2014, s.17). Güneş ışıınlarıyla dünyaya 170 milyar MW güçte enerji gelmektedir (Ataman, 2007, s.99). Bu değer, bir yılda kullanılan toplam enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır. Bir yılda yeryüzüne düşen güneş enerjisi miktarı, dünyanın bilinen petrol rezervlerinin 516, kömür rezervlerinin ise 157 katına denk gelmektedir. Güneşin ömrünün 5 milyar yıldan fazla olduğu göz önüne alındığında, bu kaynağın herhangi bir potansiyel sorunu bulunmadığı anlaşılmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.11).

Güneş enerjisi, yeryüzünde en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu enerji kaynağının diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde, enerji kaynaklarının büyük bir bölümünün asıl kaynağının güneş olması ve diğer kaynaklara doğrudan veya dolaylı etkisinin bulunmasından dolayı önemli bir yeri bulunmaktadır. Birçok enerji kaynağının yakıtının güneş olmasıyla birlikte fosil kaynaklar da güneş enerjisinin şekil değiştirmiş halleridir. Bu nedenlerle güneşi dünyanın en önemli enerji kaynağını olarak tanımlayabilmek mümkündür (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.8). Tablo 1.1.'de yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların yakıtları gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları ve enerjinin yakıtı

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Enerjinin Yakıtı (Kaynağı)
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgâr Enerjisi	Rüzgâr
Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
Hidrolik Enerji	Nehir ve Akarsular
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Deniz Kökenli Enerji	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Kaynak: Karagöl ve Kavaz, 2017, s.8.

Güneş enerjisi değişim geçirerek rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, deniz kökenli enerji gibi birçok enerji kaynağına dönüşmektedir (Ürün ve Soyu, 2016, s.36). Güneş ışınımının yeryüzüne farklı açılarla düşmesi sonucunda, sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru ısı akımı bir diğer deyişle rüzgâr oluşmaktadır. Bu akım, rüzgâr türbinleri aracılığı ile enerjiye dönüştürülmektedir. Rüzgârların okyanus üzerinde esmesi sonucunda dalgalar oluşmakta ve dalgalardan enerji üretmek mümkün olmaktadır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının büyük bir bölümü okyanuslar tarafından emilmektedir. Okyanuslar, ısınma sonucu havaya su buharı katılmasına yol açmakta, su buharı yoğunlaşarak yağmur haline gelmekte, bunun sonucunda akarsu ve nehirler beslenmektedir. Akarsu ve nehirlerle türbin ve barajların yapılması sonucunda hidrolik enerji üretilmektedir. Güneş, fotosentez aracılığı ile daha karmaşık moleküllerin oluşması için su ve atmosferik CO₂'yi karbonhidrata dönüştürerek biyokütlenin oluşumunda da dolaylı olarak yer almaktadır (Yalkı, 2014, s.16-17).

Güneş enerjisi kullanımı MÖ.400'lere dayanmaktadır. Bu yıllarda Sokrat, evlerin güney yönüne daha fazla pencere koyarak, güneş enerjisinden daha fazla faydalanılabileceğini belirtmiştir. 1600'lü yıllarda Galileo merceği bulmuştur. 1725 yılında Belidor güneş enerjisiyle çalışan su pompası geliştirmiştir. 1891 yılında Clarence M. Kemp termal güneş sistemleri ile ilgili dünyadaki ilk patenti almıştır. Bu sistem, suyu ısıtmak amacı taşıyan basit bir depolama sistemidir. Ancak güneş enerjisi kullanımı 1950'li yıllardan sonra artmaya başlamıştır. Bu yıllarda ABD'de güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik pil üretimi yapılmış, Fransa ve İtalya'da su ısıtıcıları kullanılmaya başlamıştır (Adıyaman, 2012, s.39; Yalkı, 2014, s.18). 1970'li yıllarda yenilenebilir kaynak kullanımının öneminin artmasıyla bu dönemde,

güneş enerjisinden faydalanma konusundaki çalışmalar hız kazanmış, Araştırma-Geliştirme [Ar-Ge] faaliyetleri artmış, teknolojik gelişme ve maliyetlerde düşme gözlemlenmiş ve güneş enerjisi faydalanılması gereken önemli bir enerji kaynağı olarak küresel ölçekte kendini kabul ettirmiştir (Erdener vd., 2013, s.81).

Güneş enerjisinden ısı ve elektrik elde etmek amacıyla faydalanılmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.13). Bununla birlikte konut ve iş yerlerinde ısıtma, soğutma, sıcak su sağlama, yemek pişirme, havuz ısıtma; tarımsal alanlarda sulama, sera ısıtması, bitkisel ürün kurutma; sanayide pişirme, güneş ocakları, güneş fırınları, güneş pilleri, güneş havuzları, su üretimi, ısı borusu uygulaması; ulaşım ve iletişim araçlarında sinyalizasyon, otomasyon; elektrik enerjisi üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006, s.271).

Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla geliştirilen teknolojiler çeşitlilik göstermekle birlikte genel olarak fotovoltaiik ve ısı güneş teknolojileri olarak iki ana gruba ayrılarak incelenmektedir (Erdener vd., 2013, s.82):

- **Fotovoltaiik güneş teknolojileri:** Yarı iletken olan güneş pillerinden yararlanılarak güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamaktadır (Yalkı, 2014, s.18-19). Güneş pillerinin birbirlerine seri ve paralel olarak bağlanması sonucunda fotovoltaiik modül bir diğer deyişle **güneş panelleri** oluşmaktadır. Güneş ışınının güneş paneline gelmesiyle güneş pilindeki yarı iletken teknoloji sayesinde elektron alışverişi gerçekleşerek, elektrik enerjisi elde edilmektedir (Dinçer, 2011, s.10).
- **Isıl güneş teknolojileri:** Öncelikli olarak ısı elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Elde edilen ısı, elektrik üretiminde de kullanılabilir (Koç ve Kaya, 2015, s.41). Su ısıtma sistemi, güneş ısı toplama ve depolama tankından oluşmaktadır. Güneş ısı toplayıcıdaki üniteleri ısıtarak, enerji depolanmasını yani içinden geçen suyun ısınmasını sağlamaktadır (Erdener vd., 2013, s.82). Isı elde etmek amacıyla güneş enerjisinin ayna veya mercekler tarafından konsantre edilmesine **termal güneş enerjisi** adı verilmektedir. Bir diğer teknoloji olan **güneş kolektörleri**, kolektörler tarafından emilen güneş ışını sıcak su, ısıtma, aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır (Yalkı, 2014, s.16).

Elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinden faydalanmak büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisi ile üretilecek 1 GWh elektrik enerjisi, 1050 tona kadar; her kWh elektrik enerjisi, 0.6 kg CO₂'nin atmosfere yayılmasını önlemektedir (Ataman, 2007, s.105).

1.1.2. Güneş enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Temiz bir enerji kaynağıdır. CO₂ ve sera gazı emisyonları yaparak hava kirliliğine neden olmamakta, çevre kirliliğine neden olacak atık sorunu bulunmamakta, kurulum aşamasında diğer kaynaklara göre çevre tahribatı minimum seviyede olmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.115; Sülükçüler, 2018, s.22).
- Ekonomik bir enerji kaynağıdır. Yakıtı güneş olduğundan yakıt maliyeti bulunmamaktadır. İlk kurulum ve üretim maliyetleri yüksek olmasına rağmen bakım ve işletme maliyetleri düşüktür. Uzun dönemde fosil kaynaklara göre başlangıçta ödenen maliyetlerin geri dönüşümü bulunmaktadır (Karalı, 2017, s.32; Sülükçüler, 2018, s.16).
- Pratik işleve sahip bir enerji kaynağıdır. Güneş enerji sistemleri, kolay ve hızlı bir şekilde kurulmakta, değiştirilmekte ve taşınmaktadır. Kullanım teknolojileri karmaşık değildir (Ürün ve Soyu, 2016, s.36).
- Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha tahmin edilebilir bir enerji kaynağıdır.
- Ulaşım problemi yoktur. Enerjiye ihtiyaç duyulan birçok yerde güneş enerjisinden faydalanmak mümkündür (Karalı, 2017, s.32-33). Elektrik şebeke hattının olmadığı ya da şebeke hattının götürülmesinin pahalı olduğu bölgelerde güneş pillerinin kullanımı daha ekonomik olabilmektedir. Ayrıca güneş pilleri güvenilir, dayanıklı ve kullanım ömürleri uzundur (Ataman, 2007, s.105).
- İşlevsel bir enerji kaynağıdır. Isıtma, soğutma, sıcak su, elektrik üretimi gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.16).

Güneş enerjisi kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Güneş enerji sistemlerinin ilk kurulum ve üretim maliyetlerinin yüksek olmasıyla birlikte güneş panellerinin kullanımı fosil kaynaklara göre daha maliyetlidir (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.13).
- Güneş enerjisinden %5-%20 arasında verimle elektrik enerjisi elde edilmektedir (Dinçer, 2011, s.10). Verim, güneşin durumuna bağlı olduğundan kapalı havalar, çevre kirliliği, güneşin yönü gibi unsurlar verimi etkilemekte ve bölgeler arasında verim farklılıkları oluşmaktadır (Ataman, 2007, s.106).
- Enerji arz sürekliliğinin devamlılığı açısından depolama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güneş panelleri, geniş alanların kullanımına ihtiyaç duymakta ve görüntü kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca bu panellerin üretimi CO₂ ve zehirli atık oluşumuna neden olmakta, kullanım ömrü bittikten sonra ise çevre kirliliği oluşturmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.115; Montgomery, 2014, s.18).
- Güneş enerjisinin birçok kullanım alanı bulunsa da ulaşım amaçlı uygulamalar için teknolojiler yeterli verime sahip değildir (Sülükçüler, 2018, s.16).
- Küçük ve akü destekli güneş enerji sistemlerinde kullanılan aküler, kısa ömürlü ve dayanıksızdır.
- Güneş kuleleri olarak adlandırılan elektrik üretim yöntemi, özellikle göç eden kuşlar açısından büyük sorun oluşturmaktadır. Güneş aynalarının güneş ışınlarını büyük bir ısı ile güneş kulelerine yansıtması sebebiyle birçok hayvan zarar görmektedir (Karalı, 2017, s.34).

1.2. Rüzgâr Enerjisi

1.2.1. Tanımı

Rüzgâr, yeryüzünde hareket eden hava olup, güneş ışınımının yeryüzünü farklı ısıtması sonucunda oluşmaktadır. Yeryüzünde oluşan ısı farklılıkları; hava sıcaklığının, nem ve basınç faktörlerinin farklılaşmasına, yüksek basınç merkezlerinden alçak basınç

merkezlerine doğru havanın hareket etmesine neden olarak rüzgârı oluşturmaktadır (Ürün ve Soy, 2016, s.38). Böylelikle rüzgâr enerjisini **çevrime uğramış güneş enerjisi** olarak tanımlamak mümkün olmaktadır (Erdener vd., 2013, s.65).

Rüzgâr enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla bazı özelliklere sahiptir. Rüzgâr enerjisi elektrik enerjisine en hızlı ve kolay dönüştürülebilen, en geniş kullanım alanına sahip, ticari anlamda gelişmiş ve en elverişli olan enerji kaynağıdır (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.15; Yılmaz, 2012, s.41; Sülükçüler, 2018, s.17).

Rüzgâr enerjisi ilk kez Mısır ve Çin’de, özellikle deniz taşımacılığında kullanılmıştır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.263). 12. yy. da rüzgâr enerjisi ile hareket ettirilen yel değirmenleri vasıtasıyla elektrik enerjisi üretimi başlamıştır (Sülükçüler, 2018, s.18). 19. yy. sonlarında ise elektrik enerjisi üretmek amacıyla ilk rüzgâr türbinleri kullanılmıştır (Yalkı, 2014, s.20). İlk uygulama 1891 yılında Danimarka’da gerçekleşmiştir (Ataman, 2007, s.110).

Rüzgâr enerjisinden mekanik, ısı ve elektrik enerjisi üretmek amacıyla faydalanılmaktadır. Üretilen mekanik enerji genel olarak su pompalama sistemlerinde, ısı enerjisi ve şebeke bağlantısıyla elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.19). Rüzgâr enerjisi, yüzyıllar boyunca rüzgâr değirmenleriyle su pompalamak ve buğday öğütmek amacıyla kullanılmıştır. Bununla birlikte elektrik üretimi, akülerin şarj edilerek depolanması ve soğutma alanlarında da kullanımı bulunmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010, s.83).

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde, rüzgâr enerji santral [RES]’lerinden diğer bir deyişle rüzgâr çiftliklerinden ya da tarlalarından faydalanılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015, s.43). **RES**’ler, aynı yerde bulunan rüzgâr türbinleri grubudur. Santrallerin temel teknolojik birimi, rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr değirmenlerinin bugünkü modern karşılıklarıdır (Erdener vd., 2013, s.65). Türbinlerden elektrik enerjisi, yüksek kulelerin üzerine monte edilen kanatlar yardımıyla üretilmektedir. **Rüzgâr türbinleri**, rüzgârdaki kinetik enerjiyi mekanik enerjiye, elde edilen mekanik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Rüzgâr türbinleri belli bir açısal hızla döndürmekte ve oluşan gücü mil ile jeneratöre iletmektedir. Jeneratörün hareket enerjisiyle elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanmakta ya da doğrudan alıcılara ulaştırılmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.17-20). Üretilen elektrik miktarı,

rüzgârın hızına ve süresine bağlı olarak değişmekte, rüzgârın hızı ve süresi arttıkça üretilen elektrik miktarı da artmaktadır. Ancak bu artış, türbinin üretebileceği en fazla elektrik miktarı ile sınırdır (Yalkı, 2014, s.23). Türbinler rüzgârın yönüne doğru otomatik olarak konum alabilmekte, rüzgâr hızının çok şiddetli olduğu zamanlarda türbinin zarar görmemesi için otomatik olarak kapanmaktadır. Rüzgâr enerjisinden en yüksek verimin elde edilebilmesi için türbinlerin, rüzgâr hızının sabit olduğu alanlara kurulması gerekmektedir (Ataman, 2007, s.108-109).

Elektrik enerjisi üretiminde rüzgâr enerjisinden faydalanmak büyük önem arz etmektedir. 1 MW rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç, yaklaşık 150 bin ağaca eşdeğer oksijen sağlamaktadır (Ataman, 2007, s.117).

1.2.2. Rüzgâr enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Temiz bir enerji kaynağıdır. Elektrik üretim aşamasında CO₂ ve sera gazı emisyonları yaparak hava kirliliğine neden olmamakta, atık sorunu bulunmamakta, kurulum aşamasında güneş ile birlikte diğer kaynaklara göre çevreye daha az zarar vermektedir (Karalı, 2017, s.34; Sülükçüler, 2018, s.22).
- Ekonomik bir enerji kaynağıdır. Yakıt maliyeti bulunmamakta, rüzgârın olduğu her an enerji elde edilebilmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.264). Türbinlerin bir kısmı, yeterli rüzgârın olmadığı zamanlarda küçük bir dizel motorla çalışmasını sürdürmekte ya da enterkonnekte (bağlılımlı) sisteme bağlanmak koşulu ile enerjiden optimum fayda sağlamaktadır (Ataman, 2007, s.116). Türbinlerden ortalama %30 verimle elektrik enerjisi elde edilmektedir (Montgomery, 2014, s.254).
- RES'ler, 2-5 ay gibi kısa bir sürede kurulmakta ve işletilmeye başlanmaktadır. Santrallerin işletme maliyeti düşüktür. Kapasite kullanım etmenine bağlı olarak başlangıçta ödenen maliyetin 3-6 yıl arasında geri dönüşümü bulunmaktadır (Ataman, 2007, s.120). Santrallerin kullanım ömrü 20-30 yıl olup, kullanım ömrü

bittikten sonra tasfiye edilmeleri diğer enerji kaynaklarına göre daha kolay olmaktadır (Karalı, 2017, s.35).

- Pratik işleve sahip bir enerji kaynağıdır. Türbinlerin kurulumu, değişimi, bakımı ve işletimi kolaydır (Sülükçüler, 2018, s.22).
- RES'ler, geniş alanların kullanımına ihtiyaç duymamaktadır. Kanatlar yüksekte bulunduğundan, kuruldukları alanın %5'lik bölümünü işgal etmekte, bu nedenle kalan arazi çeşitli amaçlarla kullanılabilir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.264).
- Dünyanın birçok yerinde enerji üretimi için yeterli potansiyeli bulunan ve gelecek için ümit veren yenilenebilir enerji kaynağıdır (Karalı, 2017, s.34).

Rüzgâr enerjisi kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Rüzgâr enerji sistemlerinin ilk kurulum ve bakım maliyetleri yüksektir (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.115).
- Verim, rüzgârın durumuna bağlı olduğundan, rüzgâr ve enerji ihtiyacı durumunda zamanlama problemi yaşanmaktadır (Karalı, 2017, s.27).
- Elektrik üretimi için rüzgârın optimum hız ve sürede esmesi gerekmekte, rüzgârın az ya da fazla esmesi durumunda türbinler çalışmamaktadır. RES'lerin kurulumu bütün coğrafi koşullar için uygun olmadığından, santrallerin kurulumunda çok ciddi ölçümlerin yapılması gerekmektedir (Karalı, 2017, s.35).
- Rüzgâr türbinleri görüntü, ses ve hava kirliliğine neden olmakta, türbinlerin yaydığı elektromanyetik dalgalar da radyo ve televizyon alıcılarında parazit oluşturmaktadır (Montgomery, 2014, s.18; Sülükçüler, 2018, s.23).
- Güneş kuleleri gibi RES'ler de özellikle göç eden kuşlar açısından büyük sorun oluşturmaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.260).

1.3. Jeotermal Enerji

1.3.1. Tanımı

Jeotermal enerji, yerkabuğunun sahip olduğu ısı enerjisidir. Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan, yeryüzündeki havzalardan beslenen sularla potansiyelini

oluşturan, sıcaklıkları bölgesel olarak değişen, bünyesinde çoğunlukla mineral tuzlar ve gazlar içeren su ve buhardan oluşan termal enerji olarak tanımlanmaktadır (Ürün ve Soyu, 2016, s.39).

Yeryüzünden yeraltına sızan yağmur suları, sıcak kaya ve magma tabakasıyla kurduğu temasla ısınmaktadır. Bu suların yeraltında birikerek, tekrardan yeryüzüne çıkmasıyla oluşan bu döngü jeotermal enerjiyi yenilenebilir bir kaynak yapmaktadır (Ataman, 2007, s.122). Genel olarak sıcak su ve buharın yeryüzüne çıkmasına engel olan kayalık alanlarda bulunmakta, yeraltındaki ısının kullanımı ile enerji üretimini ifade etmektedir (Acaravcı ve Erdoğan, 2018, s.54; Karalı, 2017, s.27).

Magma adını verdiğimiz yerkürenin erimiş sıvısı, büyük bir enerji kaynağıdır. Magma kalın yerkabuğu tabakasıyla çevrilidir. Yerkabuğunun derinliklerine inildikçe her 1 km’de, sıcaklık değeri 30°C artmaktadır (Erdener vd., 2013, s.72). Jeotermal enerji; kaynağın ısısına, bulunduğu derinliğe, kayanın kimyasal özelliklerine ve yeraltı sularının miktarına göre farklılıklar göstermektedir (Yalkı, 2014, s.25). Su ve buhar sıcaklık derecelerine göre jeotermal enerji; düşük sıcaklıklı sahalar (20-70 °C), orta sıcaklıklı sahalar (70-150 °C) ve yüksek sıcaklıklı sahalar (150 °C ve üzeri) olmak üzere 3 grupta incelenmektedir. En uygun yerler 200°C ile 300°C arasındaki sıcaklıklardır (Sülükçüler, 2018, s.26).

Jeotermal enerji, sahip olduğu sıcaklık dereceleri doğrultusunda çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları, genellikle düşük ve orta sıcaklıklı sahalarlardır. Bu sıcaklıklı sahalar ısıtma, soğutma, bitkisel ürün kurutma, tuz elde etme, mineralli içme suyu üretme, termal turizm ve sağlık alanlarında kullanılmakta iken; yüksek sıcaklıklı sahalar ise elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Yılmaz, 2012, s.43).

İlk kez eski Roma döneminde kullanılan jeotermal enerji, doğal sıcak su, temizlik ve sağlık alanlarında kullanılmıştır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.267). İlk kez 1827 yılında borik asit üretmek, 1904 yılında elektrik üretmek amacıyla İtalya’da kullanılmış ve burada 1931 yılında ilk jeotermal enerji santrali kurulmuştur (Sülükçüler, 2018, s.25; Yalkı, 2014, s.26; Karalı, 2017, s.28).

Jeotermal enerji genellikle sondaj yoluyla yeraltından yeryüzüne çıkarılmakta ve ikinci sondaj deliği vasıtasıyla yeraltına tekrar aktarılmaktadır. Bu enerjiden yararlanmak

için çok gelişmiş sondaj teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Jeotermal enerjiden ısı elde etmek amacıyla kullanılan en yaygın teknoloji ısı pompaları; elektrik elde etmek amacıyla kullanılan en yaygın teknoloji ise hidrotermal sistemlerdir (Sülükçüler, 2018, s.24; Yalkı, 2014, s.26). Jeotermal enerji teknolojileri genel olarak kuru buharlı santraller, üflelemeli jeotermal teknolojiler ve iki sıvılı türbin teknolojisi olarak üç grupta incelenmektedir (Sülükçüler, 2018, s.28-29):

- **Kuru buharlı santraller:** Doymuş ve kızgın jeotermal buhar içeren bölgelerde kullanılmaktadır. Buhar doğrudan türbinlere verilerek, ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.
- **Üflelemeli jeotermal teknolojiler:** Sıcaklığı 200°C'nin üzerinde su buharı üreten kaynaklarda kullanılmaktadır. Sıvı veya gaz az bir basınçta tankın içerisine püskürtülmekte ve hızla buharlaşması sağlanmaktadır. Oluşan buhar türbin jeneratörünün dönmesini sağlamak ve jeneratörün dönmesiyle elektrik enerjisi elde edilmektedir.
- **İki sıvılı türbin teknolojisi:** Jeotermal sıvı ikinci bir sıvıyı buharlaştırarak, buhar türbinini döndürmekte ve elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi büyük önem arz etmekte olup, CO₂ emisyonlarının değeri kömürde 900-1300 g/kWh; doğal gazda 500-1250 g/kWh; jeotermal enerjide ise 20-35 g/kWh'dir (Ataman, 2007, s.128).

1.3.2. Jeotermal enerji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Ekonomik bir enerji kaynağıdır. Yakıt maliyeti bulunmamakta, doğrudan elde edilmesi nedeniyle üretim, bakım ve birim gücün maliyeti (hidrolik hariç) düşüktür (Ataman, 2007, s.127; Karagöl ve Kavaz, 2017, s.16-17).
- İklim koşullarından etkilenmeyen bir enerji kaynağı olup, güneş ve rüzgâr enerjilerinin aksine kesintisiz elektrik üretimi sağlamaktadır (Montgomery, 2014, s.265).

- Jeotermal enerji sistemleri kolay işlenebilir sistemler olup, kullanım teknolojileri karmaşık değildir (Sülükçüler, 2018, s.29). Ayrıca bu sistemler patlama, yangın, zehirlenme gibi riskler taşımamakta bu nedenle güvenilir enerji kaynağı olarak ifade edilmektedir (Ataman, 2007, s.128).
- Jeotermal enerji santrallerinin kurulumu, diğer enerji santrallerine göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Jeotermal arama sondajları aynı zamanda üretim sondajlarıdır. Bu nedenle uygulamaya geçiş süresi kısa olmaktadır (Karalı, 2017, s.36).
- Jeotermal enerji santralleri, geniş alanların kullanımına ihtiyaç duymamakta, görüntü kirliliğine neden olmamaktadır (Ataman, 2007, s.129).
- İşlevsel bir enerji kaynağıdır. Isıtma, elektrik üretimi, kaplıca, termal turizm gibi birçok kullanım alanı bulunmakta ve enerji dönüşümü kolay olmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.115).

Jeotermal enerji kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- İlk yatırım maliyeti yüksektir (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.115).
- Jeotermal enerji yapısında hidrojen sülfür [H₂S] ve CO₂ gazını barındırmaktadır. Bu gazlar hava ile temas ettiğinde kalp, akciğer, kemik erimesi, kanser gibi hastalıklara neden olabilmektedir. Açığa çıkan bu gazlar asit yağmurlarına neden olarak canlılar ve çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır.
- Jeotermal enerjinin açık alanlarda üretimi, CO₂ ve metan gazı emisyonları yaparak hava kirliliğine, küresel ısınmaya ve canlıların yaşam alanlarının zarar görmesine neden olmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.30).
- Suyun belli bir sistemle boru içinde dolaşımı sırasında suyun yapısındaki kükürt ve tuz boru içindeki maddelerle etkileşime girerek su kirliliğine yol açmaktadır (Karalı, 2017, s.36-37).
- Yeryüzünde belirli bölgelerde bulunmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.115).
- Yerinde kullanılabilen bir enerji kaynağı olup, uzun mesafelere (100 km üzeri) transfer aşamasında ulaşım problemi yaşanmaktadır (Ataman, 2007, s.129).

1.4. Hidrolik Enerji

1.4.1. Tanımı

Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.267). **Beyaz kömür** olarak da adlandırılan bu enerji, aktif olan sudan elde edilen enerji olarak da tanımlanmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.38).

Su, önemli bir enerji kaynağıdır. Suyun akışı olarak nitelendirilen hidrolik enerjisinin kaynağı ise güneştir. Güneş, okyanusların ısınmasını sağlayarak suyun buharlaşmasına neden olmaktadır. Güneşin etkisiyle buharlaşan su, rüzgârla girdiği tepkime sonucunda yağmur veya kar haline dönüşerek yeryüzüne tekrar inmekte ve barajlarda toplanmaktadır. Toplanan su, türbin ve jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu döngü hidrolik enerjiyi yenilenebilir bir kaynak yapmaktadır (Yalkı, 2014, s.23).

Hidrolik enerji, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla bazı özelliklere sahiptir. Teknoloji gelişimi en ileri seviyede ve maliyet açısından avantajlı bir konumunda bulunan hidrolik enerji, küresel enerji ihtiyacının karşılanmasında en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır (Karalı, 2017, s.31; Karagöl ve Kavaz, 2017, s.13).

Hidrolik enerjinin en yaygın kullanım şekli; akarsu ve nehirler üzerine barajlar kurularak suyun rezervuarda biriktirilmesi ve suyun potansiyel enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi elde edilmesidir (Ürün ve Soyu, 2016, s.37). Akarsu ve nehirlerin sahip olduğu enerji miktarı, suyun düşüş hızı ve akış yüksekliği ile doğru orantılıdır. Büyük bir akarsu ya da nehirde akan su, büyük miktarda potansiyel ve kinetik enerji taşımaktadır. Kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akmakta ve türbinin kanatlarına çarparak enerjisini kanatlara bırakmaktadır. Kanatlar jeneratöre bağlı olan türbin milinin dönmesini sağlamak ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bu yolla, suyun enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmekte ve bu amaçla hidroelektrik santral [HES]’lerden yararlanılmaktadır (Ünver, Bilgin ve Güven, 2015, s.58). Bu santraller küçük ölçekli ve büyük ölçekli HES olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Erdener vd., 2013, s.87; Kara, 2013, s.12-13):

- **Küçük ölçekli HES:** Bu sistemlerde bir set bulunmakta ve su bir depoda biriktirilmektedir. Genellikle mülk sahipleri, özel girişimler, küçük firmalar tarafından işletilmektedir. Kapasiteleri 10 MW'ı aşmamaktadır. İşletme ömürleri 25 yıl ve üzeridir.
- **Büyük ölçekli HES:** Kapasiteleri 10 MW'ın üzerindedir. İşletme ömürleri 150-200 yıl arasındadır.

HES'lerden enerji elde etme türleri ise depolamalı, nehir tipi ve pompalı rezervuarlı santrallerden enerji üretimi olarak üç grupta incelenmektedir (Ünver, Bilgin ve Güven, 2015, s.57-59; Sülükçüler, 2018, s.37):

- **Depolamalı (barajlı) santrallerden enerji üretimi:** Yağışlı havalarda baraj önüne set kurulmasıyla depolanan sular, yağışsız ve kurak dönemlerde buradan temin edilmektedir. Enerji üretimi, içme suyu ve sulama amacıyla kullanılmaktadır.
- **Nehir tipi (barajsız) santrallerden enerji üretimi:** Elektrik üretimi için baraj yapılmamakta, akarsuyun üzerine yapılan regülatör ile su seviyesi bir miktar artırılmaktadır. Elektrik üretimi amacıyla kullanılmakta olup, üretim mevsimlere bağlı olarak değişmektedir.
- **Pompalı rezervuarlı santrallerden enerji üretimi:** Alt ve üst olmak üzere iki rezervuara sahiptir. Enerji talebinin düşük ve enerji fiyatlarının yüksek olduğu durumlarda, üst rezervuardaki suyun alt rezervuara düşürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu santraller büyük miktarlarda enerji depolamakta ve kullanılmayan enerjiyi ihtiyaç duyulan zamana taşıyarak arz-talep dengesinin sağlanmasına yardımcı olmakta ve enerji arz güvenliği sağlamaktadır.

Tarih boyunca insanın suya olan ihtiyacı, insanları suyu biriktirmeye zorlamıştır. Bu nedenle insanlar günlük ihtiyaçlarını giderecek su kapları yapmış, özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde su yapıları inşa etmiştir. Bu yapılardan en önemlisini barajlar oluşturmaktadır (Erdener vd., 2013, s.87). İlk baraj, MÖ.1300 yılında Hititler tarafından inşa edilmiş, MÖ.1000 yılında Urartular tarafından hidrolik yapılar oluşturulmuş ve ilk ince kemer tipli baraj olarak bilinen Dara Barajı ile hidrolik enerji kullanımının temelleri atılmıştır (Sülükçüler, 2018, s.38). İlk kez 1880 yılında, ABD'de küçük bir doğru akım santralini yapımı ile su gücünden elektrik üretilmiş ve ilk HES ABD Niagara'da inşa

edilmiştir. Bu santral, dünya çapında HES inşaatlarının başlamasında öncü olmuştur (Kara, 2013, s.12).

HES'lerin yapımında, ülkenin coğrafi konumu büyük önem taşımakta, özellikle engebeli araziler ve sulak bölgeler tercih edilmektedir. Bu bölgelerde bulunan ülkeler, bu enerji kaynağının potansiyeli açısından avantajlı bir konumda yer almaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.13).

1.4.2. Hidrolik enerji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Temiz bir enerji kaynağıdır. CO₂ ve sera gazı emisyonları yaparak hava kirliliğine neden olmamakta, enerji üretim aşamasında çevre kirliliğine neden olacak atık sorunu bulunmamaktadır (Karalı, 2017, s.31; Erdener vd., 2013, s.88).
- Ekonomik bir enerji kaynağıdır. Enerji kaynağı su olduğundan yakıt maliyeti bulunmamaktadır. Üretim, işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Bu nedenle maliyet konusunda diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üstünlükleri bulunmaktadır. Başlangıçta ödenen maliyetlerin 5-10 yıl içerisinde geri dönüşümü vardır (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.13-20; Sülükçüler, 2018, s.39).
- HES'lerin 100-200 yıllık kullanım ömürleri bulunmakta olup, bu santraller %90 verim ile elektrik üretmektedir (Ataman, 2007, s.145-147).
- Su ve taşkınların önlenmesi için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçek, 2016, s.115).
- Elektrik şebeke hattının bulunmadığı bölgelerde küçük suların değerlendirilerek hidrolik enerjiden faydalanılması, bu bölgelere şebekenin ulaşma zorluğunu ortadan kaldırmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.39).
- Güneş ve rüzgâr enerjisine göre sabit, sürekli ve depolanabilir olması dolayısıyla üstünlükleri bulunmaktadır (Yalkı, 2014, s.24). Enerjinin depolanabilir olması, üretilen enerji miktarının ayarlanmasını mümkün kılmakta, enerji ihtiyacının artması gibi durumlarda hızla devreye girmekte, acil durumlarda ise hızla

devreden çıkmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçekler, 2016, s.115; Erdener vd., 2013, s.88).

- Santrallerde enerji üretimi için yapılan barajlar, suyun akış hızını keserek erozyon oluşmasını önlemekte ve yöre halkına tarım, su sporları, turizm gibi ekonomik katkılar sağlamaktadır (Karalı, 2017, s.31).

Hidrolik enerji kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Tüm HES'lerin ilk kurulum ve üretilen kWh enerji başına yapılan maliyetleri yüksektir. Bununla birlikte küçük ölçekli santrallerin işletme ve yatırım maliyetleri, büyük ölçekli santrallere göre daha yüksektir (Sülükçüler, 2018, s.40).
- HES'lerde enerji üretimi için yapılan barajlar; suyun ısını, kimyasını, akışını ve çamur tabakasını etkileyerek bulunduğu bölgedeki biyolojik çeşitliliğe zarar vermekte, balık göçlerini büyük oranda engellemekte, bölgede yaşayan insanların göç etmesine neden olmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçekler, 2016, s.115).
- Santraller ile akarsudaki su rejimini azaltmakta, akarsu çevresindeki fauna (hayvan türleri), flora (bitki türleri) ve dolayısıyla insan yaşamı olumsuz etkilenmektedir.
- Bataklıkların oluşmasına neden olmakta, oluşan bataklıklar ise metan gazı için uygun ortamı sağlamaktadır.
- Sıcak havalarda santrallerin geniş yüzey alanlarındaki suyun buharlaşması sonucunda baraj çevresindeki tarım arazilerinde tuzlanma, çoraklaşma, suyun yapısına bağlı olarak parazit oluşumu gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir.
- Santrallerin kurulum süresi uzundur. Kurulum aşamasında diğer kaynaklara kıyasla ağaç kesimi, tarihi ve kültürel zenginliklerin yok olması gibi yüksek oranda çevre tahribatına neden olmaktadır (Ürün ve Soy, 2016, s.37; Karalı, 2017, s.32).

1.5. Biyokütle Enerjisi

1.5.1. Tanımı

Biyokütle, biyolojik kökenli ve fosil olmayan organik madde kütlesi olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2012, s.46). Diğer deyişle biyokütle, yakın dönemde yaşamış ve yaşayan organizmalardır (Acaravcı ve Erdoğan, 2018, s.54). Biyokütlenin asıl kaynağı kalıntılardır. Bitkisel ve hayvansal kökenli tüm kalıntılar, biyokütle enerji kaynağını oluşturmaktadır. **Biyokütle enerjisi** ise bu kalıntılardan elde edilen enerji olarak tanımlanmaktadır (Koç ve Kaya, 2015, s.43). Bu enerji, klasik ve modern biyokütle enerjisi olarak iki grupta incelenmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.265; Yılmaz, 2012, s.46):

- **Klasik biyokütle enerjisi:** Geleneksel ormanlardan elde edilen ısıtma ve pişirme amacıyla kullanılan odun, hayvan ve bitki atıklarından meydana gelmektedir. Ateşin bulunmasından günümüze kadar olan süreçte kullanılan enerji kaynağıdır.
- **Modern biyokütle enerjisi:** Enerji üretmek amacıyla kullanılan enerji ormancılığı, ağaç ve orman endüstrisi atıkları, hayvansal atıklar ve kentsel atıklardan meydana gelmektedir. İlk kez 21. yy. da kullanılmıştır.

Biyokütle enerji kaynağını sadece doğada bulunan kalıntıların oluşturmaması ve yetiştirme tekniğiyle yeni kaynaklar üretilerek mevcut potansiyelinin geliştirilebilmesi, bu enerji kaynağını diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ayırmaktadır.

Biyokütle, her ortamda yetişebilen, sosyo-ekonomik gelişim sağlayan, ısınma, elektrik ve yakıt üretmek amacıyla kullanılan stratejik bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağı ya doğrudan yakılmakta ya da alternatif biyoyakıtlar elde edilerek değerlendirilmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.265). Bu enerjiden faydalanmak için birçok teknoloji kullanılmakla birlikte enerji üretimi termo-kimyasal veya biyo-kimyasal çevrim yöntemleriyle istenilen teknolojiye uygun enerji formuna dönüştürülmektedir (Sülükçüler, 2018, s.32-35):

- **Termo-kimyasal çevrim yöntemleri:** Doğrudan yakma, gazlaştırma ve piroliz süreçlerini kapsamaktadır. **Doğrudan yakma**, biyokütle içerisindeki yanabilir maddelerin oksijenle hızlı kimyasal tepkimesi; **gazlaştırma**, biyokütlenin yüksek sıcaklık uygulanarak yanabilir gaz haline getirilmesi; **piroliz** ise organik

maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılmasıyla meydana gelen kimyasal ve fiziksel olaylar bütünü olarak tanımlanmaktadır.

- **Biyo-kimyasal çevrim yöntemleri:** Çürütme ve biyofotoliz süreçlerini kapsamaktadır. Bir maddenin organizmalar aracılığıyla genellikle ısı vererek ve köpürerek kimyasal olarak çürümesi **fermantasyon** olarak adlandırılmaktadır. **Havasız çürütme**, oksijensiz ortamda yaşamını devam ettiren mikroorganizmalar tarafından yalnızca bu ortamda gerçekleştirilmekte; **biyofotoliz** ise deniz suyu içerisindeki alglerden (yosunlar) güneş enerjisi vasıtasıyla hidrojen ve oksijen elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 1.2. *Biyokütle kaynakları, kullanılan çevrim yöntemleri, elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları*

Biyokütle	Çevrim Yöntemleri	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman atıkları	Havasız çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Ulaşım araçları, ısınma
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermentasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	-	Sentetik yağ rocketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

Kaynak: Karayılmazlar vd., 2011, s.65.

Biyokütle enerji kaynakları işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülmektedir. Bu yakıtlara **biyoyakıt** adı verilmektedir. Biyoyakıtların katı haline **biyokütle enerjisi**; sıvı haline **likit biyoyakıt enerjisi**; gaz haline ise **biyogaz** adı verilmektedir (Şengelen, 2016, s.19). Biyokütle enerjisi kullanılarak birçok yakıt üretilmekle birlikte yaygın olarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz üretimi yapılmaktadır. **Biyoetanol**, içerisinde şeker bulunan mısır, buğday, şekerpancarı gibi tarımsal ürünlerin fermentasyonu sonucu üretilen bir yakıt türüdür. Bir diğer adı etil alkoldür (Montgomery, 2014, s.273). **Biyodizel**, kolza, ayçiçeği, soya, aspir, mısır gibi yağlı tohumlular ve hayvansal yağlar kullanılarak üretilen bir yakıt türü olup, dizel motorlarda kullanılmaktadır. **Biyogaz** ise

hayvansal, bitkisel, şehir ve endüstri gibi organik maddelerin oksijensiz ortamda fermentasyonu sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve CO₂ gazıdır (Yılmaz, 2012, s.46).

1900'lü yıllarda Dr. Rudolf Diesel tarafından bitkiler yağların yakıt olarak kullanılabileceği fikri ortaya atılmıştır. Dr. Diesel bitkisel yağların kullanımıyla hem petrole olan bağımlılığın azalacağı hem de tarım sektöründe gelişimin sağlanacağı düşüncesiyle bu fikri ortaya atmıştır. Dr. Diesel sadece yer fıstığı yağıyla çalışan bir motor icat etmiştir. 1913 yılında bu motor petrolle beraber çalıştırılacak duruma getirilmiş ve **dizel** olarak adlandırılmıştır (Erdener vd., 2013, s.6).

Biyokütle enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde kullanımı, termik santrallere benzer bir sistemle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemle organik maddelerin doğrudan yakılmasıyla ısı oluşumu sağlanmakta ve buhar elde edilmektedir. Elde edilen buhar, türbinleri döndürerek jeneratörlerden elektrik üretmektedir (Ataman, 2007, s.132-133).

Fosil kaynaklar da biyokütle gibi büyük bir kısmı bitki ve hayvan kalıntılarından meydana gelmekte, fosil kaynaklardan enerji üretimi sırasında açığa çıkan kirleticiler milyonlarca yıl önceki oluşumdan kaynaklandığı için çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu durumda fosil kaynaklar ve biyokütleden enerji üretim aşamasında söz konusu kirleticilerin açığa çıkmasında zaman açısından farklılık bulunmaktadır (Yalkı, 2014, s.28).

Biyokütle enerjisinden elektrik üretimi büyük önem arz etmekte olup, biyokütlenin 1990-2050 yılları arasında fosil kaynaklı CO₂ emisyonlarının %12-15'ine karşılık gelen 60-87 milyar ton emisyonu geri emeyeceği tahmin edilmektedir (Ataman, 2007, s.138).

1.5.2. Biyokütle enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Her yerde yetiştirilmesi mümkündür (Özşahin, Mucuk ve Gerçekler, 2016, s.115).
- Biyokütle enerjisinin yakıtla dönüştürülmesi esnasında, biyokütle kaynaklarının bitki olarak yetiştirildiği müddetçe atmosferden aldığı gazları enerji kaynakları

olarak kullandıklarından atmosfere geri bırakması dolayısıyla atmosfere fazladan CO₂ gibi kirletici madde bırakmamaktadır (Yalkı, 2014, s.28).

- Atıkların biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla atıklar enerji üretiminde değerlendirilmekte, atıkların oluşturduğu çevresel sorunlar ve bunlardan kaynaklanan hastalıklar önlenilmekte ve atıkların depolanması sorunu oluşmamaktadır (Karalı, 2017, s.37).
- Güneş ve rüzgâr enerjisine göre sabit, sürekli ve depolanabilirliğinin kolay olmasından dolayı üstünlükleri bulunmaktadır (Ataman, 2007, s.136).
- Biyokütle enerji sistemleri kolay işlenebilir sistemlerdir. Üretim ve çevirim teknolojileri iyi bilinmektedir.
- Her ölçekte enerji üretimi için elverişli bir konumdadır (Yalkı, 2014, s.28).
- Çorak ve tarım dışı kalan arazilerin değerlendirilmesine imkan sağlamakta ve toprağı erozyondan koruyarak çölleşmeyi önlemektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.266).
- İşlevsel bir enerji kaynağıdır. Isı, yakıt, elektrik üretimi gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır.
- Diğer enerji kaynakları ile birlikte kullanımı mümkündür (Karalı, 2017, s.29).

Biyokütle enerjisi kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Enerji dönüşümü için yatırım maliyetleri yüksektir. Biyokütle enerji kaynaklarının dağınık olması nedeniyle taşınması ve depolanması diğer enerji kaynaklarına göre daha maliyetlidir.
- Depolanmasıyla geçici görüntü ve çevre kirliliğine neden olmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.35).
- Diğer enerji kaynaklarına göre düşük enerji içeriğine ve verime sahiptir.
- Biyokütle, enerji üretimi dışında yaşamın diğer alanlarının da temel kaynağıdır. Bu nedenle gıda, yem, sunta ve kâğıt malzemelerinin de ana kaynağı olan biyokütle, enerji üretimi ve bu sektörler ile rekabet içerisinde yer almaktadır. Enerji üretimi için gerekli olan enerji bitkilerinin yetiştirilmesine ağırlık verilmesi, gıda ürünlerinin üretim miktarının azalmasına ve ürünlerin fiyatının artmasına yol açabilmektedir (Karalı, 2017, s.37-38).

- Biyokütle enerjisi, fosil kaynaklardan ve kentsel atıkların yakılmasıyla elde edildiğinde canlılar ve çevre üzerinde zararlı etkiler oluşturmaktadır (Özşahin, Mucuk ve Gerçekler, 2016, s.115).

1.6. Deniz Kökenli Enerji

1.6.1. Tanımı

Deniz kökenli enerjinin kaynağı rüzgârdır. Farklı açılardan esen rüzgârların meydana getirdiği su kaynaklı enerji **deniz kökenli enerji** olarak adlandırılmaktadır. Bu enerji, hareket eden su kütlelerinin sahip olduğu mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini amaçlamaktadır. Genel olarak dalga enerjisi, gel-git enerjisi ve okyanus ısısı enerjisi olarak üç grupta incelenmektedir (Sülükçüler, 2018, s.40-41):

Dalga enerjisi: Deniz ve okyanuslarda meydana gelen depremler, dip çökmeleri, rüzgâr, fırtına, gel-git gibi olaylar dalgaları meydana getirmektedir. Dalga, çoğunlukla rüzgâra bağlı olmakta ve rüzgâr da yeryüzündeki ısı farklılıkları sonucunda ortaya çıkması nedeniyle dalganın, dolaylı olarak güneşe bağlı olduğunu söylemek mümkün olmaktadır (Yalkı, 2014, s.31). Dalgalarla oluşan su yüzeyinde ve yüzey altındaki basınç değişimlerinden faydalanılarak elde edilen enerji **dalga enerjisi** olarak adlandırılmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.40-41). Bu enerji, suyun geniş enerji potansiyelinden yararlanma ve sudan sınırsız enerji elde etme imkanı sunmaktadır (Ürün ve Soyu, 2016, s.40). Dalga enerjisinden elde edilecek olan enerji miktarı; dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalganın olduğu dönem tarafından belirlenmektedir (Yalkı, 2014, s.32).

Dalga enerjisinin ısıtma, aydınlatma, sıcak su ve elektrik üretimi gibi kullanım alanları bulunmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.43). Bu enerji diğer deniz kökenli enerji kaynaklarına göre teknolojisi en kapsamlı olan enerji kaynağıdır. Dalga enerjisi teknolojisiyle enerji elde etmek için kıyı şeridi, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde olmak üzere üç farklı teknik kullanılmaktadır (Yalkı, 2014, s.32):

- **Kıyı şeridi teknolojileri:** Kıyıya sabitlenmiş ya da gömülü şekilde bulunmaktadır. Bu teknolojiler, diğer teknolojilerin ihtiyaç duyduğu su

bağlantılarına, su altı kablolarına ihtiyaç duymamakta, diğer tekniklere kıyasla kullanımı daha elverişli olmaktadır. Ancak kıyı şeridi teknolojilerinde dalga seviyesinin zayıf olması, üretilen enerjinin diğer teknolojilere kıyasla daha az miktarda olmasına neden olmaktadır.

- **Kıyıya yakın teknolojiler:** 10-25 metre derinlikteki sularda bulunmakta ve kıyı şeridi teknolojilerine göre daha fazla; kıydan uzak teknolojilere göre daha az miktarda enerji elde edilmektedir.
- **Kıydan uzak teknolojiler:** 40 metreden daha derinlikteki sularda bulunmaktadır. En yüksek enerji üretimi bu teknolojiler ile kıydan uzak bölgelerde yapılmaktadır.

Gel-git enerjisi: Doğrudan güneşe bağlı olmayan, asıl kaynağı ay olan enerji kaynağıdır (Yalkı, 2014, s.31). Ayın çekim kuvvetiyle deniz ve okyanusların yükselip alçalmasıyla oluşan seviye farklarından üretilen enerji **gel-git enerjisi** olarak adlandırılmaktadır (Koç ve Kaya, 2015, s.44).

Gel-git enerjisinden elektrik enerjisi üretimi amacıyla faydalanılmakta olup, iki yöntemle enerji elde edilmektedir (Sülükçüler, 2018, s.41-43):

- **İlk yöntem,** suyun bir haznede biriktirilerek hazne ile deniz seviyesi arasında yükselti farkı oluşturulması ve buradaki potansiyel enerjiden elektrik enerjisi elde edilmesidir. Ancak bu yöntem yüksek maliyetli ve geniş alanlara ihtiyaç duymaktadır.
- **İkinci yöntem** ise suyun yükselip alçalması esnasında oluşan enerjinin türbinleri döndürerek jeneratörlerden elektrik enerjisi elde edilmesidir. Ancak bu yöntem büyük türbinlere ihtiyaç duymakta bu nedenle uygulama alanı sınırlı kalmaktadır.

Okyanus ısı enerjisi: Yüzey suyu ve soğuk derin su arasında oluşan ısı farklılıklarından faydalanılarak elektrik üretimini amaçlamaktadır. Bu yöntemle elektrik üretimi diğer enerji kaynakları kadar yaygınlaşmamıştır. Bunun sebebi sadece oğlak ve yengeç dönenceleri arasında kalan bölgelerin bu tip enerji üretimi için uygun olması ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bu enerjinin tatlı su üretimi, klima ve soğutma gibi kullanım alanları bulunmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.42-43).

İlk kez 1799 yılında dalga enerjisiyle ilgili patent alınmış, 1881 yılında okyanus ısı enerjisi yöntemi ortaya çıkmış, 1892 yılında denizdeki kinetik enerjiden

faaydalanılması gerektiği konusunda çalışma yapılmıştır (Yılmazer, 2016, s.24). Denizlerdeki ve okyanuslardaki enerji potansiyelinden yararlanmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Ancak bu tür enerji teknolojileri yeni sayılmakta olup, diğer yenilenebilir enerji teknolojileri kadar gelişmemiştir (Sülükçüler, 2018, s.40).

1.6.2. Deniz kökenli enerji kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Temiz bir enerji kaynağıdır. Bu enerji ile evre kirliliğine neden olan fiziksel, kimyasal ve organik kirleticiler denize bırakılmamakta; hava kirliliğine neden olan CO₂ emisyonları oluşmamakta; çoğunlukla deniz altında faaliyet göstermesi nedeniyle görüntü kirliliği yaratmamakta, toprak kaybına neden olmamaktadır (Ataman, 2007, s.138; ürün ve Soyu, 2016, s.41).
- Yakıt masrafı bulunmamaktadır.
- Deniz kökenli enerji sistemlerinin kullanım ömürleri uzundur (Ataman, 2007, s.153).
- Her dalga seviyesinde enerji üretimi gerçekleşmekte, üretilen enerjinin depolanması mümkün olmaktadır (Yalkı, 2014, s.32).
- Elektrik şebekesinin olmadığı kıyı bölgelere elektrik sağlamakta, tuzlu suyun tatlı suya dönüşümünü sağlayarak ihtiyaç duyulan bölgeye pompalayabilmektedir.
- Gel-git barajları sel taşkınlarını önlemektedir (Sülükçüler, 2018, s.45).

Deniz kökenli enerji kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Pahalı bir enerji kaynağıdır. Yatırım maliyetleri diğer enerji kaynaklarına göre yüksektir.
- Kesikli elde edilen bir enerji türüdür. Dünyanın belirli bölgelerinde deniz ve okyanuslar bulunmakta, gel-git oluşmaktadır. Oluşan gel-git kaynağından günün belirli saatlerinde enerji elde edilmektedir (ukurayır ve Sağır, 2008, s.268).
- Deniz yaşamında, balıkçılık ve turizm sektöründe olumsuz etkilere neden olmaktadır.

- Kıyı şeridi santralleri görüntü kirliliğine neden olmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.45).
- Dalga enerjisinden düşük su seviyelerine sahip kıyı bölgelerinde faydalanıldığı için kullanım alanı sınırlı kalmaktadır (Yalkı, 2014, s.32).

1.7. Hidrojen Enerjisi

1.7.1. Tanımı

Hidrojen, evrende en fazla ve en basit şekilde bulunan elementtir. Evrenin %75'i hidrojenden oluşmaktadır. Renksiz, kokusuz, havadan 14.4 kat daha hafif ve zehirsiz bir gazdır (Montgomery, 2014, s.285). Tüm enerji kaynakları içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. 1 kg hidrojen, 2.1 kg doğal gaz ya da 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerji içeriğine sahiptir. Petrol türevi yakıtlara göre ortalama 1.33 kat daha verimlidir (Erdener vd., 2013, s.24).

Doğada genellikle serbest halde değil, bileşikler halinde bulunmaktadır. En çok bilinen bileşeni sudur (Önal ve Yarbay, 2010, s.91). Hidrojen, doğada serbest halde bulunmaması nedeniyle saf bir enerji kaynağı değil, bir **enerji taşıyıcısı** olarak nitelendirilmektedir (Montgomery, 2014, s.285). Hidrojenin saf bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için öncelikle hidrojen gazının açığa çıkartılması gerekmektedir. **Hidrojen gazı**, suyun bulunduğu birçok yenilenebilir ve fosil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Bu nedenle hidrojenin temiz bir enerji kaynağı olup olmadığı konusunda birçok tartışma yapılmaktadır. **Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi** hidrojenin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmediği müddetçe temiz bir enerji olmadığı görüşündedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.262-263).

Hidrojen enerjisi ilk kez 1500'lü yıllarda keşfedilmiş, 1700'lü yıllarda yanma özelliği fark edilmiş, ancak 1766 yılında bir element olarak bulunmuştur (Sülükçüler, 2018, s.48; Karalı, 2017, s.30; Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.262). 1954 yılında ilk hidrojen bombasının patlatılması ve 1955 yılında hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak tanımlanması, hidrojen enerjisi konusunda çalışmaların hız kazanmasına neden olmuştur (Yılmaz, 2016, s.22).

Hidrojen sistemi, hidrojenin çeşitli yerlere iletilerek enerjiye dönüştürülmesi olarak tanımlanmakta; hidrojen üretimi, depolama ve enerji çevirimi olarak üç bölümden oluşmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.46). Doğada serbest halde bulunmayan hidrojene, çeşitli yöntemlerle ulaşılmaktadır. Hidrojen, genellikle yakıt pili teknolojisi ve doğrudan yanmalı motor teknolojisi ile kullanılmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.50-51; Yılmaz, 2016, s.22):

- **Yakıt pili teknolojisi:** Temiz, çevreci, yüksek verimli enerji dönüşüm teknolojileridir. Kimyasal reaksiyonla elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu teknolojiler ısıtma, elektrik, ulaşım amacıyla uzay ve savunma sanayide kullanılmaktadır.
- **Doğrudan yanmalı motor teknolojisi:** Ulaşım sektöründe benzin, dizel yakıtı, doğal gaz ve sıvı petrol gazı gibi içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır.

Hidrojen enerjisi, geleceğin alternatif enerji kaynağı olarak görülmektedir (Ürün ve Soyu, 2016, s.40). Hidrojen su, güneş, rüzgâr, dalga, biyokütle enerjisi kullanılarak da elde edilebilmektedir (Erdener vd., 2013, s.24). Hidrojenin sudan üretilmesinde güneş enerjisinin önemli bir yeri bulunmaktadır. **Elektroliz** adı verilen bu yöntem, elektrik akımı yardımıyla bir sıvı içinde çözülmüş kimyasal bileşiklerin ayrıştırılması işlemidir. Bu yöntemde su, güneşte özel katalizörle (kimyasal tepkimeyi sağlayan madde) hidrojen ve oksijene ayrılmakta ve hidrojenin yakıt olarak kullanılması sağlanmaktadır. Böylelikle güneş enerjisinden hidrojen gazı ve elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Dolayısıyla hidrojen enerjisi, güneşin depolanmama, taşınamama gibi eksiklerini gidermektedir. Güneş ve hidrojen enerjisinin bir araya gelmesiyle **güneş-hidrojen enerji sistemi** oluşmaktadır. Bu sistem güneş ve hidrojen enerjisini kullanarak üretilmekte ve üretildikten sonra boru hatları, süper tankerler vasıtasıyla elektrik sağlanacak bölgelere, doğrudan ısıtma ve ulaşımda yakıt olarak kullanılmak üzere gönderilmektedir (Ataman, 2007, s.101-108).

1.7.2. Hidrojen enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri

Olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Hidrojen gazı, yenilenebilir enerji kaynakları ile üretildiğinde sonsuz ve sınırsız bir enerji kaynağı olmaktadır.
- Tüm enerji kaynakları içerisindeki en temiz enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. İçerisinde karbon [C4] taşımadığından dolayı hava ve çevre kirliliğine neden olmamakta, atık olarak sadece ısı ve su buharı ürettiğinden herhangi bir atık sorunu bulunmamaktadır (Montgomery, 2014, s.285).
- Depolanabilir, her yere kolaylıkla taşınabilir, kullanım alanlarının geniş, elektrik üretiminin kolay ve veriminin yüksek olması dolayısıyla diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üstünlükleri bulunmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010, s.91; Sülükçüler, 2018, s.52).
- Elektrikten hidrojen üretilmekte, üretilen hidrojen ile daha yüksek niteliğe sahip elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Yılmaz, 2016, s.23).
- Araçlar için kullanıma elverişli bir enerji kaynağı olup, fosil kaynakların aksine hidrojen yakan araçlar kirlilikci üretmemekte ve daha güvenli olabilmektedir (Ataman, 2007, s.160-161).

Hidrojen enerjisi kullanımının birçok olumlu yönü olmasına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

- Diğer enerji kaynaklarına göre yüksek maliyetlidir (Önal ve Yarbay, 2010, s.92). Hidrojen gazının saf şekilde kullanılması gerektiği için saflaştırma işlemi uygulanmakta ve bu işlem, maliyeti artırmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.52).
- Hidrojen gazının üretimi diğer kaynakların tüketimini gerektirmektedir (Montgomery, 2014, s.285).
- Hidrojenin oksijen ile karşılaşması ciddi zararlara neden olabilmekte, bu nedenle güvenlik sisteminin çok iyi seviyede olması beklenmektedir.
- Sıvı formda depolanabilmesi çok düşük sıcaklık gerektirdiğinden bu işlem zor olmaktadır (Karalı, 2017, s.38).
- Hidrojenin kolay sızma özelliği nedeniyle korunması ve uzun süre muhafaza edilmesi zor olmaktadır.

- Hidrojenin depolandığı tankların geniş alanlara ihtiyaç duyması, geçici görüntü kirliliğine neden olmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.52).

Kısaca, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir (Gürsoy, 2004, s.121-122; Özşahin, Mucuk ve Gerçeker, 2016, s.114):

- Sonsuz ve sınırsız olmaları,
- Temiz olmaları,
- Ekonomik olmaları,
- Yerli olmaları,
- İstihdam olanakları yaratmaları,
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltarak, enerji güvenliği sağlamaları,
- Enerji kaynak tekellerinin kırılmasını sağlamaları,
- Uluslararası barışı desteklemeleri,
- Çağdaş olmaları,
- Teknolojik gelişime açık olmaları,
- Canlılara ve çevreye saygılı olmaları,
- Ekolojik olmaları,
- Ekonomik, toplumsal ve çevresel gelişimi desteklemeleri,
- Enerjide fiyat istikrarı sağlamalarıdır.

Bu özellikler, enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını fosil enerji kaynakları kullanımının iyi bir alternatifi yapmaktadır. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının olumlu özelliklerine karşın bu kaynakların kullanımı sınırlı kalmaktadır. Bu kaynakların kullanımının sınırlı kalmasının nedenleri şu şekilde belirtilmektedir (Ataman, 2007, s.165-166):

- Dışsal maliyetlerin dikkate alınmaması nedeniyle pahalı kabul edilmeleri,
- İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması,
- Uluslararası politika ve planlarda öncelikli konu olarak dikkate alınmamaları,
- Kamuoyu bilinci ve duyarlılığının oluşturulmaması,
- Fosil kaynaklara olan talebin yüksek olması,
- Mevcut altyapı ve teknolojilerin yetersiz olması,
- Bilimsel ve teknik yetersizlikler,
- Bölgeler arası üretime yönelik altyapı farklılıklarının bulunmasıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİ VE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretiminin Belirleyicileri

İktisat teorisinde klasik üretim faktörleri; emek, sermaye, doğal kaynaklar (genellikle enerji, toprak) ve girişimdir. 1970'li yıllarda iki büyük petrol krizinin (1973 ve 1979) yaşanmasıyla enerjinin, ayrı bir üretim faktörü olarak önemi ortaya çıkmıştır. İlerleyen süreçte enerjinin önemi tüm dünyada artarak devam etmiştir (Karahana, 2014, s.111).

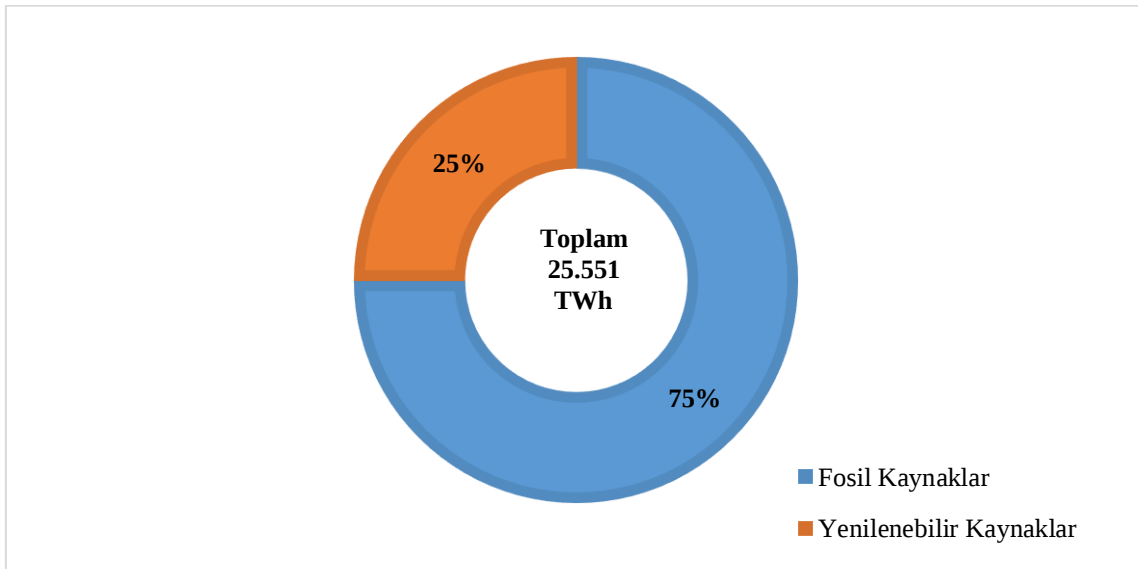
Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimi ile refah düzeylerinin artırılmasında önemli ve vazgeçilmez bir girdi, itici bir güç; kesilmesi durumunda ekonomik ve sosyal hayatı felce uğratan bir güvenlik riski olarak tanımlanmaktadır (Tugal, 2014, s.17; Erdal ve Karakaya, 2012, s.107). Ekonomik ve sosyal gelişimin uzun süreli ve sürdürülebilir olması; ihtiyaç duyulan enerjinin yeterli miktarda, en az maliyetle, güvenilir, kesintisiz ve çevreye en az zarar veren yöntemle elde edilmesine bağlıdır. Enerjinin bu koşullarla üretim ve tüketimi, ülkelerin en önemli sorunlarından birini oluşturmaktadır (Çalışkan, 2009, s.297).

Enerji; ısı enerjisi, ışık enerjisi, kimyasal enerji, mekanik enerji, nükleer enerji ve elektrik enerjisi gibi değişik formlarda ortaya çıkmaktadır (Erdal ve Karakaya, 2012, s.109). Enerji türleri içerisinde elektrik enerjisinin önemli bir yeri bulunmaktadır. Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimlerinin en önemli girdisi olan elektrik enerjisinin;

- Temiz ve çevre dostu,
- Yaygın kullanım alanlarına sahip,
- Diğer enerji türlerine göre daha yüksek talepli olması,
- Üretim sürecinde farklı enerji kaynaklarından yararlanılabilmesi,
- Büyük miktarlarda, yüksek verimle ve kolay bir şekilde üretilmesi,

- İstenilen kalitede ve kesintisiz olarak sağlanabilmesi,
- Uzak mesafelere büyük miktarlarda ve hızlı bir şekilde iletimi ve dağıtımının yapılabilmesi,
- Isı, ışık, hareket gibi değişik enerji türlerine kolayca dönüştürülebilmesi, bu enerji türünün önemini ortaya koymaktadır (Peker, 2015, s.764; Rumeli, 2007, s.311-312).

Elektrik enerjisi; petrol, kömür, doğal gaz, nükleer gibi fosil enerji kaynakları ile güneş, rüzgâr, hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından dönüştürülerek elde edilmektedir. Enerjinin taşınabilmesine ve depolanabilmesine olanak sağlaması nedeniyle **enerji taşıyıcıları** olarak adlandırılan bu enerji türü, bir yandan mal ve hizmet üretiminde temel girdi olarak; diğer yandan konut ve sosyal donatı alanlarında tüketim olarak kullanılabilir (Yılmaz, 2012, s.47). Elektrik enerjisi, 1880’li yıllarda toplumsal hayatta kullanılmaya başlanmış ve giderek endüstrinin ve modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Her geçen gün artan elektrik talebini karşılamak amacıyla gerçekleştirilen elektrik üretiminde, üretim teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler ve ucuz olmaları nedeniyle büyük oranda fosil kökenli yenilenemez enerji kaynakları kullanımı tercih edilmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.258).



Kaynak: BP, 2018, electricity generation by fuel verilerinden derlenmiştir.

Şekil 2.1. Küresel elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir ve fosil kaynaklar (2017)

2017 yılında küresel ölçekte üretilen toplam elektrik enerjisi 25.551 TWh'dir. Üretimin %75'i (19.157 TWh) fosil kaynaklardan, %25'i (6.394 TWh) yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir. Bu oranlar, yenilenebilir kaynakların kullanımının, fosil kaynaklara kıyasla oldukça düşük bir seviyede olduğunu göstermektedir. Ancak yıllar itibariyle elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı artmakta; fosil kaynakların kullanımı ise azalmaktadır. 1990-2017 yılları arasında elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı %20'den, %25'e yükselmiş; fosil kaynakların kullanımı ise %80'den %75'e azalmıştır (http-1).

Elektrik enerjisi üretiminde temiz ve sürdürülebilir olan yenilenebilir kaynakların kullanımı büyük önem taşımaktadır. Günlük tüketilen enerjinin 15-20 bin katı enerjiye sahip olan bu kaynaklar, mevcut potansiyelleri ile dünya enerji ihtiyacının tümünü karşılayabilecek düzeydedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.260). Uluslararası enerji kuruluşları, enerjinin sürdürülebilirliğini; bulunabilirlik, erişilebilirlik ve kabul edilebilirlik prensipleriyle açıklamaktadır. Bu prensipler dikkate alınarak enerji kaynaklarının miktarı, sera gazı emisyonları, enerji dönüşüm verimi, enerjinin birim fiyatı, birim başına kullanılan arazi ve kamuoyu algısı gibi parametreler ile enerjinin sürdürülebilirliği açıklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları bu parametreler açısından da değerlendirildiğinde oldukça önemli avantajlara sahip olmaktadır (Onat, 2018, s.2).

Dünyada en çok talep edilen enerji türü, elektrik enerjisidir (Çalışkan, 2009, s.304). Diğer enerji kaynaklarına göre birçok teknoloji ile üretilmesi, kullanımının kolay ve yaygın olması, çevreye zarar vermemesi gibi özellikleri dolayısı ile tercih edilmektedir. Temiz bir enerji olarak nitelendirilen elektrik enerjisinin üretimi aşamasında tercih edilen kaynaklara bağlı olarak yüksek oranda CO2 emisyonları meydana gelmektedir. Bu nedenle üretim sürecinde temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Elektrik üretiminde fosil kaynakların yerine, yenilenebilir kaynakların kullanımının tercih edilmesi bölgesel ve küresel ölçekte refahın sağlanması için gereklilik arz etmektedir. Üretim sürecindeki bu problem, çalışmanın odak noktasını oluşturmakta ve elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının belirleyicileri ele alınmaktadır.

2.1.1. Enerji arzının sürekliliği ve güvenliği sorunu

1973 **Petrol Krizi**, ilk kez enerji kaynakları konusunda güvensizlik ortamı oluşturmuş, enerji arzının sürekliliği ve enerji güvenliği kavramlarını gündeme getirmiştir. Kriz ile birlikte petrol fiyatlarında artış yaşanmış, bu durum 1980'lere kadar devam etmiştir. Bu tarihten sonra krizin petrol fiyatları üzerindeki olumsuz etkisi kaybolmaya başlamış ancak ülkelerin bu tehdide karşı önlemler almasının gerekliliği devam etmiş ve güvenlik alanında enerji, öncelikli olarak yer almaya başlamıştır (Yılmaz ve Kalkan, 2017, s.186).

Enerji arz güvenliği tanımını yapmadan önce bir üst kavram olan enerji güvenliğini tanımlamak gerekmektedir. Enerji güvenliğinin tanımına ilişkin evrensel düzeyde kabul görmüş bir tanım bulunmamaktadır. Bunun temel nedeni, her ülkenin güvenlik algısının farklı olmasıdır. Genel olarak enerji güvenliği konusunda iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşım, kaynakların bulunabilirliği, erişilebilirliği, kabul edilebilirliği konularını kapsarken; diğer yaklaşım, enerji arama, geliştirme, üretme, dağıtma, pazarlama, tüketim ağı gibi tesisleri her türlü saldırıya karşı fiziki olarak koruma konularını kapsamaktadır (Akbaş ve Ürün, 2016, s.103).

Enerji ithalatçısı ve enerji ihracatçısı ülkeler tarafından enerji güvenliğini tanımlamada farklılıklar bulunmaktadır. **Enerji güvenliği**, enerji ithalatı yapan ülkeler için, makul fiyata, yeterli miktarda ve güvenilir kaynaklardan enerji alabilmek; enerji ihracatı yapan ülkeler için, güçlü fiyat, enerji rezervlerini artırmak ve güvenilir talep olarak tanımlama yapılmaktadır (Montgomery, 2014, s.328). Bir diğer tanıma göre enerji güvenliği, enerji ithalatçısı ülkelerde **enerji arz güvenliği**; enerji ihracatçısı ülkelerde ise **enerji talep güvenliği** olarak tanımlanabilmektedir (Yılmaz ve Kalkan, 2017, 172).

Enerji güvenliği, ekonomik, sosyal, siyasi, askeri, çevre, jeopolitik, jeolojik gibi birçok farklı boyutu olan geniş kapsamlı bir kavramdır. Güvenlik olgusunun sadece devleti değil aynı zamanda toplumu, bireyi ve çevreyi etkileyen, üzerinde önemle durulması gereken bir konu olduğunu savunan **Kopenhag Okulu**'na göre, bir ülkenin enerji güvenliğinin ekonomik boyutu, kaynaklara ve pazara ulaşılabilirlik; siyasi boyutu, iç ve dış istikrar; askeri boyutu, savunma ve saldırı gücü; sosyal boyutu, etnik ve dini kimliğinin korunması; çevre boyutu, ekolojik biyosferin korunması olarak

belirtilmektedir (Erdal ve Karakaya, 2012, s.109-114). Yapılan tanımlar çerçevesinde enerji güvenliğinin kapsamını ekonomik, fiziksel ve çevresel güvenlik olarak üç grupta inceleyebiliriz:

- **Ekonomik güvenlik:** Arz, talep ve ulaşım yolları güvenliğini,
- **Fiziki güvenlik:** Enerji kaynaklarının aranması, üretimi, satışı ve dağıtımı aşamalarında meydana gelen fiziksel sorunları, diğer ülkelerin güvenliğini tehdit eden faaliyetleri ve terör saldırılarını,
- **Çevresel güvenlik:** Çevre korumasını, gelecek nesillere daha güzel bir çevre bırakılmasını vurgulamaktadır (Yılmaz ve Kalkan, 2017, s.173-174).

Enerji güvenliği kavramının tanımlaması yapılırken 1990'lı yıllara kadar fosil kaynakların tükenmesi konusuna odaklanılmış ancak bu tarihten sonra enerji güvenliği çevre boyutu ile ele alınarak tanımı genişletilmiştir.

Enerji arz güvenliği ise enerji kaynaklarının tükenme ihtimalinden ziyade, var olan enerji kaynaklarına ulaşım konusuna odaklanmaktadır (Erdal ve Karakaya, 2012, s.109). Enerji kaynaklarına ulaşımındaki zorluklar ve enerji talebindeki sürekli artış sonucu enerji kaynaklarının yetersiz kalması halinde ortaya çıkan durumları kapsamaktadır (Çalışkan, 2009, s.306). Uluslararası Enerji Ajansı [IEA]'na göre enerji arz güvenliği, enerji kaynaklarının makul fiyattan, kesintisiz bir şekilde ulaşılabilirliği olarak tanımlanmaktadır. Enerji arz güvenliğini tanımlamada kısa ve uzun dönem için farklılıklar bulunmaktadır. Kısa dönemde, arz-talep dengesindeki değişikliklere hızlı cevap verebilme becerisi olarak tanımlanırken; uzun dönemde, enerji arzını ekonomik gelişim ve çevresel ihtiyaçlara uyumlu bir şekilde sağlamak amacıyla yapılan yatırımlar olarak tanımlanmaktadır (IEA, 2014, s.13).

Enerji arz güvenliği; enerji fiyat farklılıkları, uluslararası yatırım farklılıkları, altyapı sorunları, terör saldırıları, doğal afetler, ambargo, grev, savaş gibi birçok tehlikeye maruz kalan geniş kapsamlı bir kavramdır (Erdal ve Karakaya, 2012, s.115). Enerji arz güvenliğinin kapsamını aşağıdaki gruplara ayırarak inceleyebiliriz:

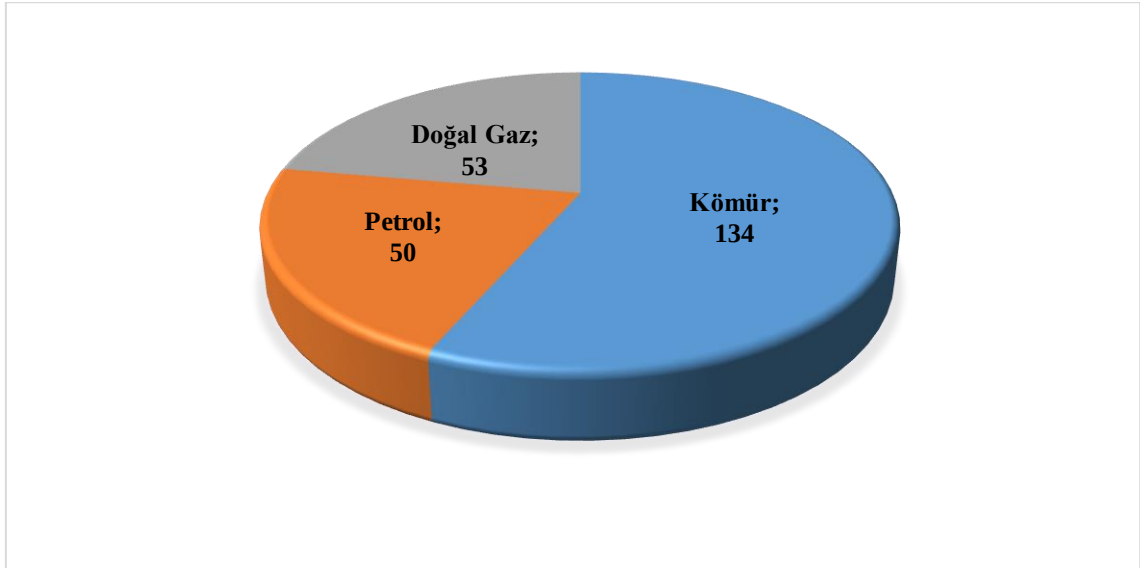
- **Kullanılabilirlik:** Enerji kaynaklarının bilinen rezervlerinden elde edilebilirliği,
- **Erişilebilirlik:** Bilinen rezervlerin arz açısından güvenilirliği, enerji arzının kesintisiz bir şekilde devam ettirilebilirliği,
- **Ekonomiklik:** Enerji fiyatları ve altyapı maliyetleri,

- **Çevresellik:** Enerji kaynaklarının çevreye duyarlılığı ve canlıların yaşamını olumsuz etkilememesi, toplum tarafından onaylanması gerekliliği olarak tanımlanmaktadır (Peker, 2015, s.767).

Enerji kaynağının bu unsurlara sahip olması ile enerji arz güvenliği sağlanmaktadır. Enerjinin ulaşılabilirliğini ve sürdürülebilirliğini ifade eden arz güvenliği, ülkelerin ekonomik büyüme ve kalkınmaları ile ulusal güvenliklerini etkileyen en önemli unsurlardan birini oluşturmaktadır. Bu nedenle ülkelerin güçlü bir ekonomik yapıya sahip olabilmesi için enerji arz güvenliğini sağlaması gerekmektedir.

Ekonomik, sosyal ve siyasi alanlarda birçok soruna neden olan enerji arz güvenliği sorununun oluşmasının nedenleri şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Enerji ihtiyacının karşılanmasında yüksek oranda fosil kaynakların kullanılması,
- Enerji kaynaklarının dünya üzerinde eşit dağılım göstermemesi,
- Fosil kaynak rezervlerinin tükenebilir olması ve kendini yenileyememesi,
- Rezervlerin sınırlı olmasına karşın, enerji ihtiyacının sürekli olarak artması,
- Enerji kaynaklarında dışa bağımlılığın yüksek olmasıdır (Ataman, 2007, s.10-12).



Kaynak: BP, 2018, total proved reserves.

Şekil 2.2. Türlerine göre fosil kaynak rezervlerinin kalan ömürleri (2017)

Küresel elektrik ihtiyacının %75'i fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Ancak 2017 yılı itibariyle sınırlı rezervlere sahip olan bu kaynakların kalan ömürlerine baktığımızda, elektrik ihtiyacını kömür 134 yıl; petrol 50 yıl; doğal gaz ise 53 yıl boyunca karşılamaya yetecektir.

Tablo 2.1. Fosil kaynak rezervlerinin coğrafi olarak dağılımı (%) (2017)

Bölgeler	Petrol	Kömür	Doğal Gaz
Kuzey Amerika	13.3	25.0	5.6
Orta ve Güney Amerika	19.5	1.4	4.2
Avrupa	0.8	9.7	1.5
Bağımsız Devletler Topluluğu [BDT]	8.5	21.6	30.6
Orta Doğu	47.6	0.1	40.9
Afrika	7.5	1.3	7.1
Asya ve Okyanusya	2.8	41.0	10.0

Kaynak: BP, 2018, total proved reserves.

Tablo 2.1.'de görüldüğü üzere dünya fosil kaynak rezervleri, coğrafi olarak eşit bir dağılım göstermemektedir. 2017 yılı sonu itibariyle kanıtlanmış petrol rezervlerinin (%47.6) ve doğal gaz rezervlerinin (%40.9) büyük bir kısmı Orta Doğu'da bulunurken; kömür rezervlerinin (%41) büyük bir kısmı Asya ve Okyanusya'da bulunmaktadır. Bu ülkeler fosil kaynak rezervlerinde üstün bir konumda iken, sınırlı rezervlere sahip ülkelerde enerji arz güvenliği sorunu yaşanmaktadır.

Ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme, küreselleşme, enerji fiyatları, yaşam standartlarının yükselmesi, nüfus artışı, teknolojik gelişme, tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörler enerji talebini sürekli olarak artırmaktadır (Çalışkan, 2009, s.297; Narin, 2008, s.50). Dünyada artan enerji talebine bağlı olarak enerji ihtiyacı artmaya devam ettikçe, enerji arz güvenliği konusu önemle yerini korumaya devam edecektir. Enerji arzının sürekliliği ve güvenliğinin sağlanması için yapılması gerekenler şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Enerji arz-talep dengesinin sağlanması,
- Enerji altyapısının gelişimi için yatırımların artırılması,

- Enerji ve kaynak yoğunluğunun azaltılarak enerji verimliliği ve tasarrufunun artırılması,
- Enerji fiyat dalgalanmaları hassasiyetinin azaltılması,
- Ar-Ge yatırımlarının artırılarak, yenilik ve rekabetin teşvik edilmesi,
- İç piyasanın tam serbestleştirilmesi ve sınır ötesi yatırımların teşvik edilmesi,
- Enerji kaynaklarının ve ithalat yapılan ülkelerin çeşitlendirilmesi,
- Enerji depolama sistemlerinin kapasitelerinin geliştirilmesi,
- İthalatçı ve ihracatçı ülkeler arasındaki ilişkilerin kuvvetlendirilmesi,
- Enerji bağımlılığının azaltılarak, yerli ve yenilenebilir kaynak kullanımının artırılması gerekmektedir (Peker, 2015, s.768; Narin, 2008, s.60; Erdal ve Karakaya, 2012, s.115).

Enerji arzının sürekliliği ve güvenliğinin sağlanması konusunda, tek tür kaynaktan ya da diğer kaynaklara oranla daha fazla kullanılan kaynağın azalması, üretiminde aksama çıkması, kesilmesi, tükenmesi gibi durumlara karşı önlemler alınması gerekmektedir. Bu bağlamda enerjinin çeşitlendirilmesi, bu önlemlerin başında gelmekte ve büyük önem taşımaktadır (Adıyaman, 2012, s.14-15).

Enerjinin çeşitlendirilmesi kavramı, 1973 Petrol Krizi'nden sonra ortaya çıkmış ve enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Enerjinin çeşitlendirilmesi kavramının ortaya çıkmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi konusu önem kazanmış ve birçok ülke bu enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı;

- Enerji fiyat dalgalanmalarına olan hassasiyeti azaltmakta,
- Enerjide ithal kaynak bağımlılığını azaltmakta,
- Uluslararası rekabet gücünü artırmakta,
- Hem ülke hem de küresel ölçekte enerji arz güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.259; Ataman, 2007, s.10).

Enerji arz güvenliği, ülkelerin ulusal ve uluslararası güvenliklerini etkileyen önemli bir konu olması nedeniyle ülkelerin yeterli miktarda, makul fiyatla, güvenilir, kesintisiz, çeşitlendirilmiş ve temiz kaynaklardan enerji sağlaması gerekmektedir. Enerjide güvenlik ortamının oluşması için gerekli yatırımlar; enerji ithalatını azaltan, enerjinin çeşitlendirilmesini artıran, ekonomik, siyasi ve sosyal güç sağlayan, enerji piyasalarının

düzgün işlemlerini sağlayacak potansiyele sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleyen alanlara yapılmalıdır (Peker, 2015, s.763). Kullanılabilirlik, erişilebilirlik, ekonomiklik ve çevresellik unsurları bakımından yenilenebilir enerji kaynakları, rezervlerinin sonsuz olması, her ülkede bulunması, düşük maliyetli ve çevreci bir enerji kaynağı olması dolayısıyla avantajlı bir konumda yer almaktadır. Küresel ölçekte enerji konusunda güven ortamının oluşması için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, üzerinde önemle durulması gereken bir konuyu oluşturmaktadır.

2.1.2. Çevresel etkenler

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin gündeme gelmesinin ardında, enerji güvenliği sorunu bulunmasıyla birlikte çevre sorunlarının hissedilebilir boyutlara ulaşması da bu kaynakların önemini artırmıştır. Çevre sorunlarının en temel belirleyicisi, enerjidir. Bu sorunlar enerjinin üretimi, tüketimi ve dağıtımı aşamasında oluşmaktadır. Aşırı miktarda enerji kullanımı, diğer bir deyişle üretilen enerjinin doğanın kendini yenileme kapasitesinin üzerinde tüketilmesi, çevre sorunlarına neden olmaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.258).

Sanayi Devrimi ile başlayan sanayileşme süreci ve elektrik enerjisinin toplumsal hayatta kullanılmaya başlanmasıyla 1880’li yıllardan günümüze elektrik enerjisi talebi sürekli olarak artmış ve bu talebin karşılanmasında büyük oranda fosil kaynaklar kullanılmıştır. Fosil kaynakların kullanımındaki artış çevre ve canlılar üzerinde ciddi problemlere neden olarak, insanlığı bu problemler ile yüzleşmek durumunda bırakmıştır.

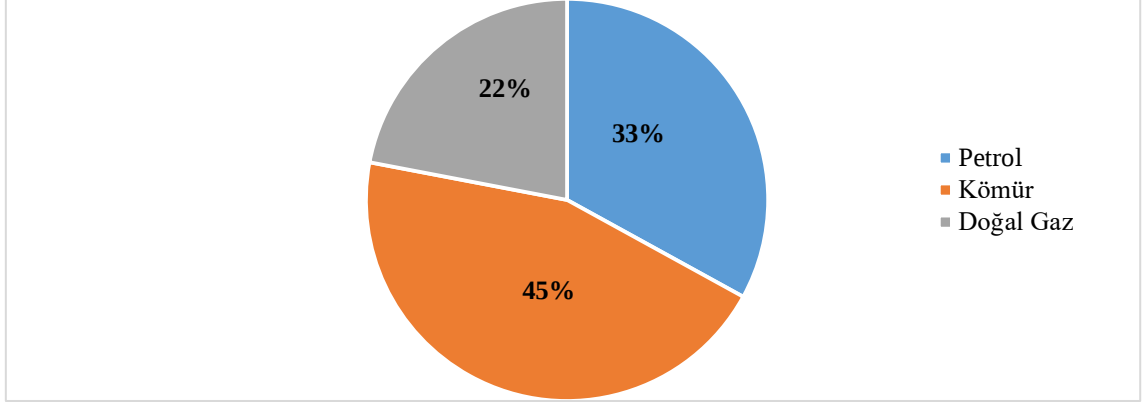
1970’li yıllarda fosil kaynak kullanımının çevre ve canlılar üzerinde meydana getirdiği tahribatlar, öncelikli olarak ozon tabakasının incilmesiyle kendini göstermiş, zamanla küresel ısınma, buzullarda erime, biyolojik çeşitliliğin azalması, iklim değişikliği gibi problemlerle hissedilebilir boyutlara ulaşmıştır (Bacak, Külcü ve Ekinci, 2009, s.10). Çevre problemlerinin hissedilebilir boyutlara ulaşması ve 1970’li yıllarda çevre bilincinin artmasıyla küresel ısınma ve iklim değişikliği problemleri kavramsal olarak anlam kazanmış, enerji ve çevre faktörlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur (Adıyaman, 2012, s.33). Bu bağlamda enerji kaynaklı en önemli

evre sorunları olan sera etkisi, küresel ısınma, asit yağmurları ve iklim değişikliği kavramlarından bahsedelim:

Sera etkisi: Güneşten dünyaya gelen güneş ışınlarının bir kısmı atmosferde bulunan gazlar tarafından tutulurken, diğer kısmı uzaya yansıtılmaktadır. Sera gazları olarak adlandırılan bu gazlar tarafından tutulan güneş ışınları, dünyanın ısınmasına neden olmakta ve bu durum **sera etkisi** olarak adlandırılmaktadır (http-2).

Sera gazları, atmosferde %0.1'den daha düşük oranda bulunmasına karşın, dünyanın ısınması ve yaşamın sürdürülmesi için gerekli olan gazlardır. Dünyanın sıcaklık değerleri, bu gazların atmosferdeki birikim düzeyi tarafından belirlenmektedir. Sürdürülebilir bir yaşam için bu gazların birikim düzeyinin mevcut durumunu koruması, yüksek oranlarda artmaması gerekmektedir. Sera gazları birikim düzeyinin artması, dünya sıcaklık değerinin artmasına ve beraberinde küresel ısınma, iklim değişikliği gibi birçok probleme neden olmaktadır.

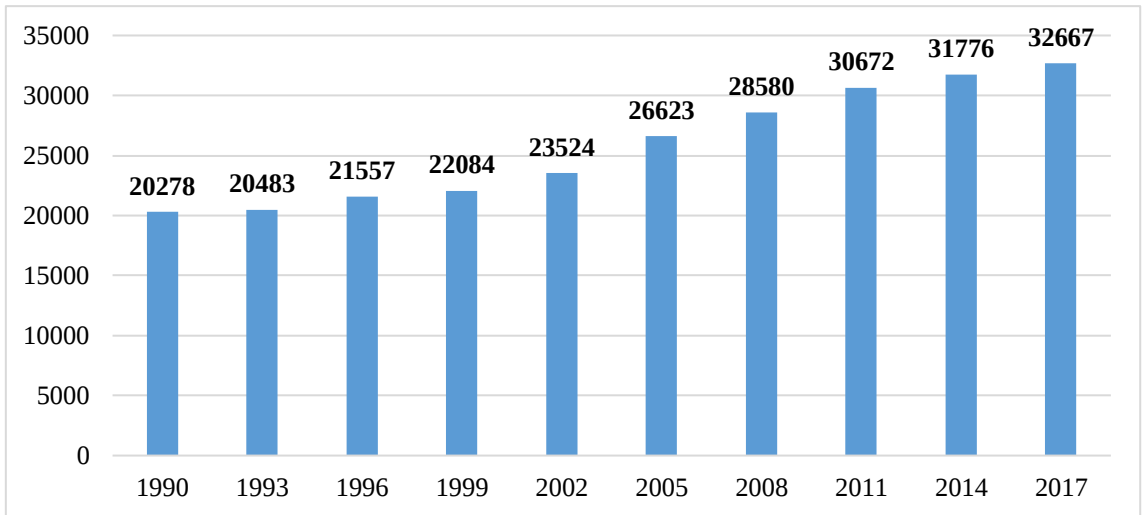
evre problemlerinin en önemli nedenlerinden biri olan sera gazları; CO₂, metan [CH₄], karbonmonoksit [CO], kükürtdioksit [SO₂], azotoksitler [NO_x], hidrokarbonlar [CH] ve tozlardan oluşmaktadır. Bu gazlar içerisinde CO₂ gazının önemli bir yeri bulunmaktadır. CO₂, güneşten doğrudan gelen kısa dalgalı ışınları büyük oranda geçirmekte, ancak yerden gelen uzun dalgalı ışınları tutmaktadır. Bu nedenle atmosferin alt kısımlarının ısınmasını sağlayarak, evre problemlerinin en önemli nedenlerinden biri olmaktadır. Bununla birlikte CO₂'nin toplam sera gazları içindeki payının %80 civarında olması, evre problemlerine neden olan sera gazlarının, yüksek oranda CO₂'den kaynaklandığını göstermektedir (Ataman, 2007, s.30-31).



Kaynak: Enerdata, 2019, CO2 emissions from fuel combustion.

Şekil 2.3. Kaynaklarına göre CO2 emisyonları (2017)

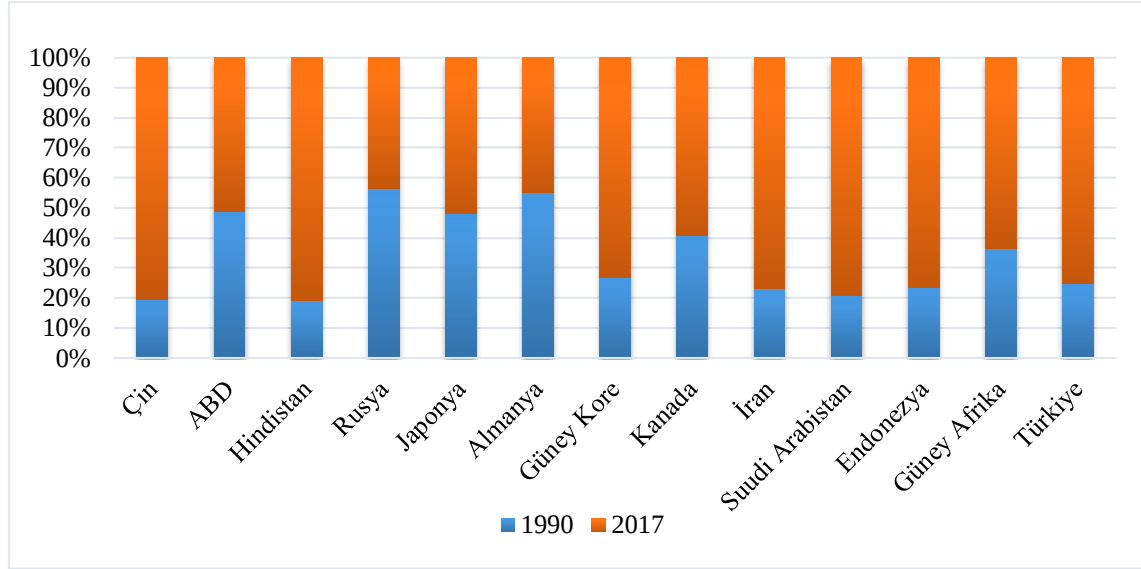
Şekil 2.3.'te görüldüğü üzere CO2 emisyonlarının kaynağı, fosil kaynakların kullanımıdır. 2017 yılında toplam CO2 emisyonu 32.667 milyon ton düzeyinde olup, bu birikim düzeyinin %33'ü (10.780) petrol, %45'i (14.700) kömür, %22'si (7.187) ise doğal gaz kullanımından kaynaklanmaktadır. Fosil kaynaklar yüksek düzeyde CO2 üreterek, sera gazları birikim düzeyinin artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte tarımsal ve endüstriyel etkinlikler, ormansızlaşma, arazi kullanım değişiklikleri gibi insan faaliyetleri de sera gazları birikim düzeyinin artmasına neden olmaktadır (Ataman, 2007, s.35).



Kaynak: Enerdata, 2019, CO2 emissions from fuel combustion (mtCO2).

Şekil 2.4. Enerji kaynaklı CO2 emisyonlarının yıllar itibariyle değişimi (mt)
(1990-2017)

Şekil 2.4.'te görüldüğü üzere çevre problemlerinin en önemli belirleyicisi olan CO2 emisyonları yıllar itibariyle sürekli artma eğilimindedir. Dünyada enerji kaynaklı CO2 emisyonları 1990 yılında 20.278 milyon ton iken, 2017 yılında 32.667 milyon tona yükselerek, %61 oranında artış yaşanmıştır. Bunun sonucunda küresel sıcaklık değeri 1990 yılından 2017 yılına kadar 0.4 °C artmıştır.



Kaynak: Enerdata, 2019, CO2 emissions from fuel combustion (mtCO2).

Şekil 2.5. Seçilmiş ülkelerde CO2 emisyonları (mt) (1990-2017)

Şekil 2.5.'te 2017 yılında enerji kaynaklı CO2 emisyonlarında en yüksek paya sahip olan ülkeler ve Türkiye verilmiştir. 2017 yılında küresel CO2 emisyonlarında %28.5 (9.297 mt) ile en yüksek paya sahip olan ülke Çin'dir. Bunu %15.5 (5.073 mt) ile ABD ve %6.8 (2.234 mt) ile Hindistan takip etmekte olup, Türkiye'nin payı %1.2 (403 mt)'dir. 1990 yılı ile kıyaslandığında bu ülkelerin neden olduğu CO2 miktarı sürekli artış göstermiştir. Tablo 2.2.'de CO2 emisyonlarındaki değişim detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 2.2. Seçilmiş ülkelerde CO2 emisyonları ve yenilenebilir kaynak kullanım ilişkisi (1990-2017 yılları arası % değişim)

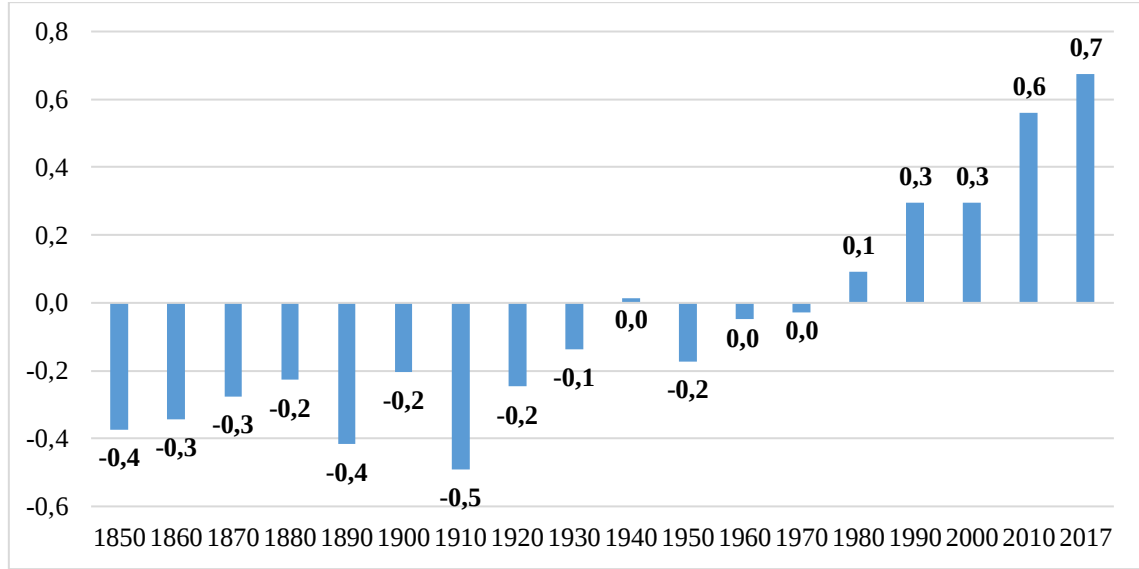
Ülkeler	CO2 Emisyonları	Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Payı
Çin	313.4	5.3
ABD	4.6	5.4
Hindistan	326.3	-7.4
Rusya	-22.6	1.6
Japonya	8.5	3.8
Almanya	-18.2	30.3
Güney Kore	173.8	-1.9
Kanada	45.1	3.8
İran	234.8	-5.3
Suudi Arabistan	277.6	0.0
Endonezya	227.7	-7.6
Güney Afrika	73.2	3.3
Türkiye	205.3	-11.0

Kaynak: Enerdata, 2019, CO2 emissions from fuel combustion (mtCO2) ve share of renewables in electricity production (%) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 2.2.'de görüldüğü üzere 1990-2017 yılları arasında CO2 emisyonlarındaki en büyük artış %326.3 ile Hindistan'da; en büyük azalış ise %22.6 ile Rusya'da gerçekleşmiştir. Bu yıllar arasında elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı Hindistan'da %7.4 azalırken; Rusya'da %1.6 artmıştır. Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımındaki en büyük artış %30.3 ile Almanya'da; en büyük azalış ise %7.6 ile Endonezya'da gerçekleşmiştir. Bu yıllar arasında CO2 emisyonları Almanya'da %18.2 azalırken; Endonezya'da %227.7 oranında artmıştır. Türkiye'de ise 1990-2017 yılları arasında elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı %11 azalış gösterirken; CO2 emisyonları %205.3 oranında artış göstermiştir. Böylelikle elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanıldığı ülkelerde CO2 emisyonlarının düşük bir seviyede olduğunu söyleyebiliriz.

Küresel ısınma: Sera gazlarının atmosferde yoğun olarak birikmesi sonucunda dünya sıcaklığının artması **küresel ısınma** olarak tanımlanmaktadır. Enerji kaynaklı dünya sıcaklığının artmasının iki nedeni bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, enerji tüketiminin doğrudan etkisi; ikincisi ise fosil kaynaklardan enerji üretim aşamasında gerçekleştirilen yanma sonucunda CO2 emisyonlarının artmasıdır. Yıllar itibariyle enerji tüketimi ve fosil

kaynak kullanımının sürekli olarak artması, küresel sıcaklık değerlerinin artmasına neden olmuştur (Adıyaman, 2012, s.17).



Kaynak: Our world in data, 2017, temperature anomaly.

Şekil 2.6. Küresel sıcaklık değerlerinin yıllar itibariyle değişimi (°C)

Şekil 2.6.'da görüldüğü üzere küresel sıcaklık değeri 1850 yılından 2017 yılına 1.1 °C artmıştır. Atmosferdeki birikim düzeyi artmaya devam eden sera gazları nedeniyle kuvvetlenen sera etkisinin oluşturduğu küresel ısınma, özellikle 1970'li yıllardan sonra küresel sıcaklık değerinin sürekli olarak artması ile belirginleşmeye başlamıştır.

Küresel ısınmayla birlikte insan, bitki ve hayvan türlerinin yaşamını tehdit eden doğa felaketleri görülmeye başlanmıştır. Küresel ısınma, beraberinde ozon tabakasının delinmesi, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, verimli tarım topraklarının sular altında kalması, şiddetli doğa olayları, aşırı erozyon, orman yangınları, çölleşme, hastalıkların artması, asit yağmurları, iklim değişikliği gibi birçok probleme neden olmaktadır (Güner ve Turan, 2017, s.49; Akın, 2006, s.36).

Asit yağmurları: Fosil kaynakların kullanımı ile oluşan yağışlardır. Sera gazları içerisinde yer alan SO₂ ve NO_x gazları, asit yağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Fosil kaynakların kullanımının artmasıyla birikim düzeyi artan bu gazlar, yağmur suları ile tepkimeye girerek sülfürik asit [H₂SO₄] oluşumunu sağlamaktadır. H₂SO₄,

yağmurların asit içermesine neden olmakta ve bu nedenle **asit yağmurları** olarak adlandırılmaktadır (Ataman, 2007, s.46).

Asit yağmurları düştüğü bölgede canlı ve cansız varlıklar üzerinde birçok probleme neden olmaktadır. Asit yağmurları:

- Demiryolları, binalar, köprüler gibi cansız varlıkları tahrip etmekte,
- Ülkelerin sanat ve mimarisine zarar vermekte,
- Bitkilerin yapraklarını yakmakta ve hastalıklara karşı direncini azaltmakta,
- Ormanların CO₂'yi temizleme gücünü azaltmakta,
- Göl ve akarsudaki canlı yaşamını olumsuz etkilemekte,
- Toprağa ve içme suyuna düşen asitler, çeşitli hastalıklara neden olmakta,
- Toprağın mineral dengesini bozarak, toprağın yüksek oranda asit barındırmasına neden olmakta,
- Toprağı, büyük miktarlarda üretim yapmaya elverişsiz duruma getirmekte,
- Ürünleri nicelik ve nitelik kaybına uğratmaktadır (Ataman, 2007, s.46-47; Adıyaman, 2012, s.23-24).

İklim değişikliği: Başta enerji olmak üzere insan faaliyetleri sonucunda atmosferde bulunan sera gazları birikim düzeyinde görülen sürekli artışların sonucunda iklim ve ekosistemde oluşan değişiklik, **iklim değişikliği** olarak tanımlanmaktadır (http-2).

İklim değişikliği, canlıların sağlığına, tarım ürünleri ve alanlarına, su kaynaklarının kalite ve miktarlarına, sahil bölgelerine ve doğal yaşam alanlarına doğrudan ve dolaylı olarak olumsuz etki etmektedir (Güner ve Turan, 2017, s.49). Kuraklık, tatlı su kaynaklarının azalması, ısı dalgaları, buzulların erimesi, yükselen su seviyeleri, seller, daha yıkıcı fırtınalar, daha şiddetli yangınlar, ekinlerin ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi durumlar, iklim değişikliğinin göstergelerindendir (Brown, 2008, s.53).

En önemli çevre sorunlarından biri olan iklim değişikliğinin diğer çevre problemleri üzerinde tetikleyici rolü bulunmakta ve bu problemler ulusal değil uluslararası bir nitelik taşımakta olup, tüm dünya ülkelerini ciddi oranda etkilemektedir.

En önemli çevre sorunlarından bahsettikten sonra, bu sorunlara neden olan fosil kaynak kullanımının çevre ve canlılar üzerindeki etkilerini açıklayalım:

- Başta CO2 olmak üzere, doğal yaşamı tehdit eden sera gazları birikim düzeyinin artmasına,
- Ortalama yüzey sıcaklığını artırarak, küresel ısınmaya,
- Ozon tabakasının delinmesine,
- Tarım arazilerinin değersiz çöllerle dönüşmesine,
- Ürün çeşitliliği ve verimliliğinin azalmasına,
- Hava kirliliğine neden olarak, canlıların yaşam kalitesinin düşmesine,
- Asit yağmurlarının oluşmasına,
- Tatlı su kaynaklarının azalmasına,
- Canlıların hastalıklara karşı direncinin kırılmasına,
- Biyolojik çeşitliliği azaltarak, ekolojik dengenin bozulmasına,
- Ormansızlaşmaya,
- Çeşitli doğa felaketlerinin daha sık ve şiddetli olmasına,
- İklim değişikliğine neden olmaktadır (Dinçer, 2011, s.8; Çınar ve Yılmaz, 2015, s.56).

Fosil kaynakların kullanımı, CO2 yoğunluğunu artırarak, atmosferdeki sera gazları birikim düzeyinin artmasına neden olmaktadır. Birikim düzeyinin artmasıyla yıl boyunca dünyada ölçülen sıcaklık seviyesi artarak, küresel ısınma oluşmaktadır. Küresel ısınma da beraberinde iklim değişikliğine neden olarak, bedelini tüm dünyaya ödetmektedir. Günümüzde dünyanın çeşitli bölgelerinde milyonlarca insan açlık, hastalık, sel gibi doğa felaketleri, tatlı su kaynağına ulaşamama gibi problemler yaşamaktadır. Dolayısıyla çevresel faktörlere baktığımızda çevre problemlerinin oluşumunda sera gazları salınımının başat faktör olduğunu görmekteyiz. Bu nedenle çevre problemlerinin önlenmesi ve iklimde istikrar sağlanması açısından sera gazları salınımının azaltılması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılması gerekenler şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması,
- Enerji üretimi aşamasında oluşan CO2 gazının yakalanması ve yeraltında depolanarak atmosfere salınımının önlenmesi,
- CO2 emisyonlarının artmaması için orman kesiminin yasaklanması ve yerleşimin orman tabakasının geliştirilmesi,
- Enerji tasarrufu ve verimliliğinin artırılması,

- Toplamların enerji kaynakları ve etkileri konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir (Adıyaman, 2012, s.24-25; Brown, 2008, s.71).

Bu unsurlar içerisinde enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Tablo 2.3.'te enerji kaynaklarının çevresel etkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.3. *Kaynaklarına göre enerji temin seçeneklerinin çevresel etkileri*

Kaynaklar	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Toprak Kirliliği	Su Kirliliği	Gürültü Kirliliği	Radyasyon
Petrol	+	+	+	+	+	-
Kömür	+	+	+	+	+	+
Doğal Gaz	+	+	-	+	+	-
Nükleer	-	-	+	+	-	+
Güneş	-	-	-	-	-	-
Rüzgâr	-	-	-	-	+	-
Jeotermal	-	-	+	+	-	-
Hidrolik	+	-	+	+	-	-

Kaynak: Ataman, 2007, s.30.

Tablo 2.3.'te görüldüğü gibi fosil kaynakların kullanımı birçok çevre sorununa neden olurken; yenilenebilir kaynakların kullanımı çevreye hemen hemen hiç zarar vermemektedir. Hidrolik hariç yenilenebilir kaynakların kullanımı en önemli çevre problemlerinden biri olan iklim değişikliğine neden olmamaktadır.

Günümüzde sera etkisi, küresel ısınma, asit yağmurları, iklim değişikliği gibi çevre problemleri nedeniyle küresel bir bunalım yaşanmaktadır. Fosil kaynak kullanımının oluşturduğu çevre problemlerinin çözümü için canlıların sağlığı ve gelecek için tüm ülkelerde fosil kaynakların kullanımı azaltılmalı, enerji altyapısı yenilenebilir kaynakların kullanımına uygun duruma getirilmeli ve daha verimli üretim teknolojileri kullanılmalıdır (Güner ve Turan, 2017, s.49). Fosil kaynaklara kıyasla yenilenebilir kaynakların sürdürülebilir, temiz, çevre ve canlıların yaşamına saygılı bir enerji kaynağı olması dolayısı ile başta elektrik enerjisi olmak üzere enerji ihtiyacının karşılanmasında, tüm ülkeler tarafından tercih edilmelidir. Sürdürülebilir büyüme ve kalkınmanın

sağlanabilmesi çevrenin sürdürülebilirliği, çevrenin sürdürülebilirliği ise yenilenebilir kaynakların kullanımı ile mümkün olmaktadır. Çevre konusunda önlemler alınmadıkça bugün dünyanın belirli bölgelerinde yaşanan açlık, kıtlık ve sefalet tüm dünyaya yayılarak küresel güvenlik ve refah bozulacaktır. Bu nedenle problemlerin oluşum nedenleri iyi analiz edilerek çözümünde tüm ülkeler ve insanlar eşit olarak yer almalıdır.

2.1.3. Ekonomik büyüme ve enerji tüketimi

Ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların büyük bir bölümünde, iki değişken arasında güçlü bir ilişkinin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. **Ekonomik büyüme**, çok sayıda değişkene bağlı olarak gerçekleşen, üretimin büyümesi ve bunun sonucu olarak milli gelirin artması olarak tanımlanmaktadır. Büyümenin sağlanabilmesinde öncü güç üretim; üretimin sağlanabilmesinde ise enerjidir. Bu nedenle enerji tüketimi, ekonomik büyümenin vazgeçilmez bir unsuru olmakta, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimi ile toplumsal refah seviyelerinin önemli bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde, enerji tüketimi ile birlikte enerji kaynaklarının potansiyeli, çeşitliliği, ulaşılabilirliği, enerjiyi çevirebilme ve elde edebilme gücü ve sürekliliğinin sağlanması da önemli parametreleri oluşturmaktadır (Yıldırım ve Dağdemir, 2018, s.58; Dertli ve Yınaç, 2018, s.588).

Ekonomik büyüme, kişi başına geliri artırmakta; kişi başına gelirin artması ise kişi başına enerji tüketimini artırarak, üretimde artışa neden olmakta ve milli geliri artırmaktadır. Bu durum ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasında bir döngü oluşturarak, enerjinin önemli bir üretim faktörü olarak önemini ortaya koymaktadır (Karahan, 2014, s.110).

Tablo 2.4. *Ekonomik büyüme ve elektrik tüketim ilişkisi (1990-2017)*

Yıllar	Kişi Başına GSYİH (\$)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)
1990	4.280	1.919
1993	4.665	1.934
1996	5.449	2.021
1999	5.390	2.089
2002	5.526	2.204
2005	7.287	2.405
2008	9.414	2.579
2011	10.474	2.733
2014	10.929	2.842
2017	10.769	2.954

Kaynak: World bank, 2017, GDP per capita (current US\$) ve population total; Enerdata, 2019, electricity domestic consumption (TWh) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 2.4.'te görüldüğü üzere kişi başına GSYİH ve kişi başına elektrik tüketiminde yıllar itibariyle artış yaşanmıştır. 1990 yılında dünyada kişi başına GSYİH 4.280 \$, kişi başına elektrik tüketimi ise 1.919 kWh'dir. 2017 yılında kişi başına GSYİH 10.769 \$'a yükselirken, kişi başına elektrik tüketimi de 2.954 kWh'ye yükselmiştir. 1990-2017 yılları arasında kişi başına GSYİH %152; kişi başına elektrik tüketimi ise %54 oranında artmıştır.

Ekonomik büyüme ve artan elektrik enerjisi tüketimiyle:

- Enerji arz-talep dengesi bozulmakta,
- Yoğun küresel üretim süreçleri tetiklenerek gerek fosil, gerekse yenilenebilir kaynaklara olan talep artmakta,
- Günümüzde enerji ihtiyacının büyük oranda fosil kaynaklardan karşılanması nedeniyle fosil kaynak kullanımı artmakta,
- Fosil kaynak kullanımının artmasıyla yerel, bölgesel ve küresel ölçekte olumsuzluklar yaşanmakta,
- Sınırlı rezervlere sahip olan fosil kaynakların tükenme endişesi artmakta,
- Enerjide dışa bağımlı ülkelerde, bağımlılık oranı artmakta,
- Enerji fiyatlarında dalgalanma yaşanmakta,
- Enerji arz güvenliği sorunu oluşmaktadır (Başar ve Akyol, 2018, s.333; Peker, 2015, s.764).

Yukarıda belirtilen olumsuzluklar, ülkeleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye yönlendirmiştir. Enerjinin, arz güvenliği sorunu oluşturmada, çevre ve canlılar üzerinde geri döndürülemez tahribatlara yol açmadan, ekolojik dengeyi bozmadan ve kuşaklararası adalet anlayışına uygun olarak kullanımını içeren sürdürülebilir enerji kavramı, tüm ülkeler tarafından benimsenen ortak bir politika ilkesi olarak uygulamaya konulması gerekliliğinin önemi, birçok ülke tarafından anlaşılmış olup, enerji üretim ve tüketiminin bu kavram çerçevesinde geliştirilmesi ülkelerin en önemli hedefleri arasında yer almıştır.

Sürdürülebilir kavramı, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları ile bir bütün olup, var olan kaynakların gelecek nesillerin ihtiyaçlarını sağlayabilme yeteneklerini tehlikeye atmadan, günümüz ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde kullanımını ifade etmekte, tarımdan endüstriye birçok alanda üretime yönelik tüm faaliyetlerde fosil kaynakların mümkün olan en az düzeyde kullanma gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları, enerjinin etkin ve verimli kullanımı bu kavramın merkezinde bulunmaktadır (Onat, 2018, s.1). Bu kavram, ilk olarak 1987 yılında Birleşmiş Milletler [BM] Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanmış olan **Brundtland Raporu**'nda tanımlanarak küresel düzeyde gündeme getirilmiştir (Onat, 2018, s.1; Seydioğulları, 2013, s.19). Ülkeler, sürdürülebilir anlayışı ile daha iyi yaşam standardı arayışına devam ettikçe, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi, küresel ölçekte bir öncelik haline gelerek, kullanımı yaygınlaşacaktır (Ataman, 2007, s.59).

Ülkelerin gelişmişlik düzeyinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametre, kişi başına elektrik enerjisi tüketimidir (Yılmaz, 2012, s.47). Kişi başına elektrik enerjisi tüketiminin yüksek olduğu gelişmiş ülkelerde, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı da yüksek bir seviyededir. Bkz. Tablo 2.5.

Tablo 2.5. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi (2017)

Ülkeler	Kişi Başına GSYİH (\$)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)	Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Payı (%)
Norveç	75.704	23.429	97.8
Yeni Zelanda	42.260	8.140	81.1
Kolombiya	6.376	1.370	79.4
Brezilya	9.881	2.486	79.2
Kanada	45.070	1.422	66.2
Venezuela*	15.692	2.483	66.1
İsveç	53.253	1.327	57.5
Şili	15.037	3.816	44.4
Portekiz	21.291	4.663	41.0
Romanya	10.793	2.492	38.3
İtalya	32.155	4.983	35.7
Almanya	44.681	6.438	34.2
Türkiye	10.500	3.056	29.4
Dünya	10.769	2.954	24.8

Kaynak: World bank, 2017, GDP per capita (current US\$) ve population total; Enerdata, 2019, electricity domestic consumption(TWh) ve share of renewables in electricity production (%) verilerinden derlenmiştir.

*2014 yılına ait kişi başına GSYİH verisini göstermektedir.

Tablo 2.5.'te 2017 yılında yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminde en yüksek paya sahip olan ülkeler ve Türkiye verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere yenilenebilir kaynak kullanımında yoğunluk, gelişmiş ülkelere aittir. Norveç, İsveç, Kanada gibi ülkeler bu kaynakların kullanımında yüksek bir paya sahipken, gelişmekte olan ülkelere Kolombiya, Brezilya, Romanya gibi örnekler yukarıda saydığımız ülkeler ile aynı tabloyu paylaşabilmektedir. Diğer gelişmekte olan ülkeler de fosil enerji kaynaklarının yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaları durumunda temiz, yerli ve güvenli enerji kaynaklarına sahip olacaktır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.260).

Ekonomik büyüme ve artan enerji tüketimi sonucunda artan fosil kaynak kullanımı azaltılarak, yenilenebilir kaynakların kullanımı teşvik edilmelidir. Bu kaynakların kullanımı, ekonomik, sosyal, siyasi ve çevresel alanda sürdürülebilirlik sağlamakta, sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir büyümeyi de beraberinde getirmektedir. Böylelikle, günümüz ve gelecek için daha yaşanabilir bir dünya oluşmaktadır.

2.1.4. Enerjide dışa bağımlılık

Toplumsal hayatın vazgeçilmez bir parçası olan enerji, kaynakların sınırlı olduğu ve oluşan talebin ithalat yoluyla karşılandığı, enerjide dışa bağımlı ülkelerde kritik bir öneme sahiptir. 1973 Petrol Krizi bunun en önemli örneklerinden biridir. Enerji fiyatlarında meydana gelen artış, enerjide dışa bağımlı ülkeleri büyük bir krize sürüklemiş ve bu ülkeleri enerji kaynakları konusunda yeni politikalar üretmeye teşvik etmiştir. Bu tarihte enerji tüketimi ile cari açık arasındaki ilişki gündeme gelmiş ve enerjide dışa bağımlılık sorunu, ülkelerin enerji politikalarında öncelikle çözülmesi gereken bir konuyu oluşturmuştur.

Ülkelerin varlıklarını devam ettirebilmeleri, artan enerji talebini karşılayacak enerji kaynaklarının temin edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bir ülkenin enerji kaynaklarının yetersiz, rezervlerin kalitesiz ya da teknoloji potansiyelinin düşük olması gibi nedenlerle enerji arzının, enerji talebini karşılayamaması, o ülkeyi enerji ithalatı yapmak durumunda bırakmaktadır. Günümüzde başta elektrik olmak üzere enerji üretiminde fosil kaynakların hâkim olması ve bu kaynakların coğrafi olarak eşit bir dağılım göstermemesi nedeniyle birçok ülke, enerji talebini öz kaynaklarından karşılayamamakta, enerjide dışa bağımlı bir konumda bulunmaktadır (Yılmaz ve Kalkan, 2017, s.179; Tugal, 2014, s.22).

Tablo 2.6. Seçilmiş ülkelerde enerjinin genel görünümü (2017)

Ülkeler	Elektrik Üretimi (TWh)	Elektrik Tüketimi (TWh)	Ticaret Dengesi (TWh)	Elektrik Üretiminde Kaynaklar (%)	
				Fosil	Yenilenebilir
Norveç	150	124	-15.2	2.2	97.8
Yeni Zelanda	44	39	0	18.9	81.1
Kolombiya	78	67	0.1	20.6	79.4
Brezilya	588	517	36.4	20.8	79.2
Kanada	671	520	-50.5	33.8	66.2
Venezuela	119	73	0	33.9	66.1
İsveç	164	133	0	42.5	57.5
Şili	79	70	0	55.6	44.4
Portekiz	59	48	-2.7	59.0	41.0
Romanya	64	49	-2.7	61.7	38.3
İtalya	296	302	37.8	64.3	35.7
Almanya	655	532	-52.5	65.8	34.2
Türkiye	297	248	-0.6	70.6	29.4
Dünya	25.691	22.189	-	75.2	24.8

Kaynak: Enerdata, 2019, electricity production (TWh), electricity domestic consumption (TWh), electricity balance of trade (TWh) ve share of renewables in electricity production (%) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 2.6.'da 2017 yılında yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminde en yüksek paya sahip olan ülkeler ve Türkiye verilmiştir. Küresel elektrik ihtiyacının karşılanmasında %75 oranında fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Fosil kaynakların her coğrafyada bulunmaması nedeniyle elektrik üretiminde bu enerji kaynağına bağımlı olan ülkelerde, enerjide dışa bağımlılık sorunu yaşanmaktadır. Norveç, Kanada, Almanya gibi ülkelerde elektrik ithalat değerleri, elektrik ihracat değerlerinin altında yer almakta ve bu ülkelerde enerjide dışa bağımlılık sorunu yaşanmamaktadır. Ancak Brezilya ve İtalya gibi enerji ithalat değerlerinin enerji ihracat değerlerinin üzerinde yer alan ülkelerde enerjide dışa bağımlılık sorunu yaşanmaktadır.

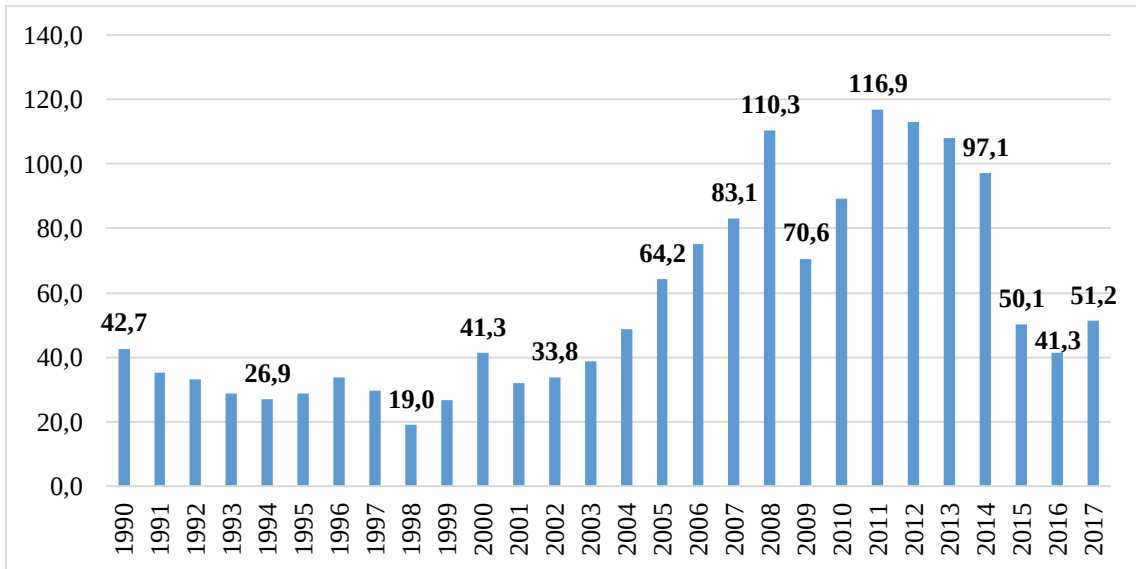
Enerjide dışa bağımlılık ekonomik, sosyal ve siyasi alanda birçok probleme neden olmaktadır. Bu problemler şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Dış ticaret ve cari açık sorunu ile ödemeler dengesinin bozulması,
- Enerji ithalatının her koşulda gerçekleşmesi gereken bir zorunluluk olması nedeniyle ekonomik performansın olumsuz etkilenmesi,
- Enerji ithalatının enerji ihracatından yüksek olduğu durumda milli gelirin düşerek, ekonomik büyümenin olumsuz etkilenmesi,
- Yeterli enerjinin sağlanamaması durumunda, enerji arzında darboğazların yaşanması,
- Enerji fiyatlarında meydana gelen dalgalanmalara karşı hassasiyetin artması,
- Enerji arz güvenliği sorununun oluşması,
- İşsizliğin artması,
- Ülke ekonomilerinin risklere açık bir duruma gelmesi,
- Ekonomik krizlere ve durgunluğa neden olmasıdır (Ürün ve Soyu, 2016, s.43; Çalışkan, 2009,s.299; Ataman, 2007, s.12-14).

Enerjide dışa bağımlılığın neden olduğu en önemli problem, cari açık problemidir (Demir, 2013, s.2). Bu problem, özellikle enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan gelişmekte olan ülkelerde yaşanan ekonomik krizlerin de en önemli nedenlerinden birini oluşturmaktadır. **Cari açık**, yurtdışına satılan mal ve hizmetlerin toplam değerinin,

yurtdışından satın alınan mal ve hizmetlerin toplam değerinden az olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Dış ticaret açığı, enerjide dışa bağımlılık, enerji fiyatları, iç tasarruf oranlarının azlığı, dış borç stokunun yüksekliği, genişletici maliye ve para politikaları cari açık sorunun temel parametreleri olup, en önemli parametresi enerji ithalatıdır (Göçer, 2013, s.213-221; Ertürk ve Erdinç Ertürk, 2018, s.104).

Ekonomik ve sosyal gelişimle birlikte üretim artışı, toplumsal talep ve beklentilerdeki değişim, nüfus artışı, teknolojik gelişim, dış ticaret hacimlerinin genişlemesi gibi faktörlere paralel olarak enerji talebi sürekli olarak artmaktadır. Enerji talebindeki sürekli artış, enerjide dışa bağımlı ülkelerde enerji ithalatını artırarak, bağımlılığın ve cari açığın artmasına, enerji fiyatlarında meydana gelen artışlar da bu sorunun derinleşmesine neden olmaktadır (Demir, 2013, s.22). Enerji kaynaklarının rezervlerinin giderek azalması karşısında enerji fiyatlarında dalgalanmalar yaşanmaktadır. Bu dalgalanmalar, enerji ithalat ve enerji ihracatçısı ülkelerin ekonomilerinde ciddi değişikliklere yol açmaktadır. Fiyat artışları karşısında petrol ithalatçısı ülkelerin ekonomileri cari açığın artması gibi büyük problemlerle yüz yüze gelirken; enerji ihracatçısı ülkeler bu artışlarla önemli gelirler elde etmektedir (Yılmaz ve Kalkan, 2017, s.185).



Kaynak: EİA, 2019, annual average imported crude oil price (dollars per barrel), <http-3>.

Şekil 2.7. İthal ham petrol fiyatları (varil başına \$)

Şekil 2.7.'de görüldüğü üzere ithal ham petrol fiyatlarında sürekli dalgalanmalar yaşanmıştır. 1990-2017 yılları arasında petrol fiyatları %20 oranında artmıştır. Ancak fiyatlarda yaşanan artış ve dalgalanmalar petrol üretimi ve tüketimi üzerinde olumsuz bir etki oluşturmamıştır. Bu yıllar arasında petrol üretiminde %34, petrol tüketiminde %48 oranında artış yaşanmıştır (http-3).

Literatürde cari açığın GSYİH'ye oranının %5 olmasının bir eşik değer olduğu belirtilerek, bu değer aşılmasının kriz sinyali olduğu kabul edilmektedir (Göçer, 2013, s.213). Bu nedenle ödemeler dengesinin kontrol altında olması ve cari açığın azaltılarak cari dengenin sağlanması güçlü bir ekonomi ve politikaların sürdürülebilirliği için gereklilik arz etmektedir (Uysal, Yılmaz ve Taş, 2015, s.63). Enerji kaynaklarının yetersiz ve kalitesiz olması, bu kaynaklara ulaşımın ve kullanımın yüksek maliyetli olması, bu maliyetlerin cari açığı olumsuz etkilemesi, fosil kaynak kullanımının ekonomik, sosyal ve siyasi etkileri nedeniyle birçok ülke, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına önem vererek, elektrik enerjisi üretiminde bu kaynakları kullanmaktadır. Bu bağlamda enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için:

- Enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması,
- Yeni kaynakların arama ve üretim faaliyetlerinin geliştirilmesi,
- Yerli kaynak kullanımının artırılması,
- Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının teşvik edilmesi ve yatırımlarının artırılması,
- Yeni teknolojilerin uygulanması gerekmektedir (Narin, 2008, s.60; Çalışkan, 2009, s.307).

Ülkeler, enerji talebini kendi enerji kaynaklarıyla ya da diğer ülkelerin enerji kaynaklarına bağımlı olarak karşılamaları noktasında ayrılmaktadır. Buna karşın bir ülkenin kalkınma ve ticaret anlamında diğer ülkelerle küresel ölçekte rekabet edebilmesindeki en önemli unsur, ucuz ve kolay yollarla enerjiye erişim sağlayabilme kabiliyetidir (Yıldırım ve Dağdemir, 2018, s.58). Bununla birlikte bu talebin sürekli, kesintisiz, zamanında ve güvenilir kaynaklardan karşılanması da büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kaynakların kullanımı, enerjide dışa bağımlılık sorununu azaltmasıyla birlikte, ülke ekonomisine yeni bir dinamizm kazandırmakta, ithalat için harcanan döviz giderlerini azaltmakta ve cari açık sorununun giderilmesine katkıda

bulunmaktadır. Böylelikle maliyetlerin azalması ve milli gelirin artmasıyla ülke ekonomileri güçlenerek şoklara ve krizlere daha dirençli hale gelmekte, küresel ölçekte rekabet gücü artmaktadır.

2.1.5. Nüfus

Nüfusun artması ile ihtiyaçlar çeşitlenmiştir. Daha çok ve daha iyi olanı isteyen insan, enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil kaynaklara yönelmiştir. Ancak 1970’li yıllarda bu kaynakların kullanımının yarattığı olumsuzlukların, sağladığı faydaları gölgelediği anlaşılmaya başlanmıştır. Ayrıca gelecekte bu kaynakların ihtiyaçları karşılayamaz duruma geleceği ve bu nedenle tüm dünyada enerji darboğazlarının ağır bir şekilde yaşanacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının önemi ortaya çıkmaktadır.

Dünyada enerjiye olan talep, ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme, küreselleşme, ticaret, teknolojik gelişim, yaşam standartlarının artması gibi değişkenler ile birlikte dünyadaki nüfus artışına paralel olarak sürekli artmaktadır (Yılmaz, 2016, s.26; Yılmaz, 2012, s.34). Enerji talebindeki değişimin en önemli nedeni enerjiyi talep edenlerin sayısı yani nüfustur (Güngör, 2016, s.36). Her insanın enerjiye ihtiyacı olması dolayısıyla nüfus artışı ve enerji talebi arasında doğrusal bir ilişki bulunmakta, nüfus artışı yaşandığında enerjiye olan talep de artmaktadır.

Tablo 2.7. *Nüfus ve elektrik tüketim ilişkisi (1990-2017)*

Yıllar	Nüfus (milyar)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)
1990	5.281	1.919
1993	5.538	1.934
1996	5.790	2.021
1999	6.035	2.089
2002	6.273	2.204
2005	6.512	2.405
2008	6.757	2.579
2011	7.004	2.733
2014	7.255	2.842
2017	7.510	2.954

Kaynak: World bank, 2017, population, total; Enerdata, 2019, electricity domestic consumption (TWh) verilerinden derlenmiştir.

Dünya nüfusu 1800 yılına kadar olan süreçte ancak 1 milyara ulaşmış, bu tarihten sonra yaşam standartlarındaki gelişmeye paralel olarak hızla artmıştır (Brown, 2008, s.XV). 1990 yılında dünya nüfusu 5.281 milyar iken; 2017 yılında 7.510 milyar olmuştur. 2050 yılına gelindiğinde ise 12 milyar olacağı öngörülmektedir (Karahana, 2014, s.112). Nüfus artışına karşın kişi başına elektrik tüketimi 1990 yılında 1.919 kWh iken; 2017 yılında 2.954 kWh olmuştur. 1990-2017 yılları arasında nüfus %42; kişi başına elektrik tüketimi ise %54 oranında artmıştır. Böylelikle nüfus artışının, kişi başına elektrik tüketimini olumlu yönde etkilediğini söyleyebiliriz.

Tablo 2.8. Seçilmiş ülkelerde nüfus ve yenilenebilir kaynak kullanım ilişkisi (1990-2017 yılları arası % değişim)

Ülkeler	Nüfus	Elektrik Tüketimi	Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Payı
Norveç	24.4	26.5	-2.0
Yeni Zelanda	44.0	36.8	1.1
Kolombiya	47.7	149.4	3.0
Brezilya	39.5	139.4	-15.3
Kanada	32.0	20.5	3.8
Venezuela	49.7	54.8	3.7
İsveç	17.5	2.1	6.3
Şili	39.1	345.7	-9.4
Portekiz	3.2	100.6	5.9
Romanya	-15.6	-18.9	20.6
İtalya	6.7	37.9	18.0
Almanya	4.1	10.6	30.3
Türkiye	50.4	429.4	-11.0
Dünya	42.2	118.9	5.1

Kaynak: World bank, 2017, population, total; Enerdata, 2019, electricity domestic consumption (TWh) ve share of renewables in electricity production (%) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 2.8.'de görüldüğü üzere nüfus artışı ve elektrik tüketimi arasında doğru yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Nüfusun artması, elektrik tüketimini artırırken; nüfusun azalması, elektrik tüketimini azaltmaktadır. 1990-2017 yılları arasında dünyada nüfus %42.2; elektrik tüketimi %118.9; elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların payı ise %5.1 oranında artmıştır. Nüfus ve elektrik tüketiminin artmasına karşın elektrik

üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların payı Norveç, Brezilya, Türkiye gibi ülkelerde azalırken; Romanya, İtalya, Almanya gibi ülkelerde artmıştır. Burada, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını, nüfus dışındaki faktörlerin de etkilediği söylenebilmektedir.

Nüfus ve buna bağlı enerji talebi artmakta ve artan talep fosil kaynakların kullanımı ile karşılanmaktadır. Bu durum devam ettikçe dünya, enerji kaynaklı birçok problemle yüz yüze kalmaya devam edecektir. Mevcut üretimin artan talebi karşılamaya yetmediği durumlarda, enerji üretimi ve tüketimi arasında dengesizlik oluşmaktadır. Ülkeler, dengenin sağlanabilmesi için yeni yatırımlar yaparak, talebin karşılanmasını sağlamaya çalışmaktadır. Enerji talebinin karşılanmasında yenilenebilir kaynak kullanımının artırılmasının önemi tüm ülkeler tarafından anlaşılmalıdır. Bu sayede nüfus artışı ile birlikte ihtiyaç duyulan enerji, çevre ve canlılara zarar vermeyen, ekonomik güç sağlayan, sonsuz, kesintisiz ve güvenilir kaynaklar ile karşılanmış olacaktır (Yılmaz, 2016, s.26; Tugal, 2014, s.18).

2.1.6. Teknolojik gelişim

Enerji ve ekonomi arasındaki ilişki, enerji kaynakları ve teknolojik gelişimden büyük oranda etkilenmektedir. **Teknoloji**, insanların içinde yaşadıkları ortamı değiştirmek ve bu ortamı denetlemek için ürettikleri bilgi olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu olan değişim ve denetimin yapılabilmesi için sahip olunan bilgiler ve üretim faktörleri kullanılarak, hem üretim araç ve gereçleri hem de tüketim amaçlı ürünler üretilmektedir (Gürak, 2006, s.9). Teknolojik gelişim ve bu gelişimin devamlılığının sağlanabilmesinde en önemli tüketim maddelerinden birisi, enerjidir (Sülükçüler, 2018, s.3). Enerjinin üretim ve tüketim aşamasında kullanılan fosil kaynakların çevre ve canlılar üzerindeki olumsuz etkileri, teknolojik gelişimi zorunlu kılmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemi artırmaktadır. Bu kaynakların kullanımı ve teknolojik gelişim, olumsuz etkileri minimize ederek, gelişmiş verimlilik olanakları sunmaktadır (Aydın, 2016, s.415-416).

Ekonomik, sosyal ve çevresel alanda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi, ülkelerin enerji kaynaklarını etkin ve verimli kullanması bir diğer deyişle enerjinin tasarruf

edilmesi ile mümkün olmaktadır. **Enerji verimliliği**, daha az enerji kullanımı ile aynı mal ve hizmeti, kalite ve konfor şartlarından ödün vermeksizin elde etmek ya da aynı birim enerji ile daha fazla mal ve hizmet elde etmek olarak iki farklı şekilde tanımlanmakta olup, kısaca **katma değer üretme becerisi** olarak ifade edilebilmektedir. **Enerji tasarrufu** ise belirli davranışların yerleştirilmesi, iyileştirme yöntemleri uygulanması ve yeni teknolojilerin kullanılması ile üretim ve kaliteyi düşürmeden, sosyal yaşam standartlarını koruyarak, enerjinin daha etkin ve verimli kullanımı olarak tanımlanmaktadır (Karahana, 2014, s.114-115). Enerji verimliliğinde üretim, performans, kalite ve sosyal refahta azalma olmaksızın, birim mal ve hizmet başına kullanılan enerji miktarının azaltılması söz konusu olması dolayısıyla enerji verimliliği, enerji tasarrufunun sağlanmasına yönelik bir gelişimi göstermektedir (Aydın, 2016, s.411).

Enerji verimliliğinin en önemli göstergelerinden biri enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, birim hasıla başına birincil ya da nihai enerji tüketimini göstermekte ve birincil ya da nihai enerji tüketiminin GSYİH'ye bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Narin, 2008, s.57).

Tablo 2.9. Enerji yoğunluğu ve yenilenebilir kaynak kullanım ilişkisi (2017)

Ülkeler	Kişi Başına GSYİH (\$)	Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Payı (%)	Enerji Yoğunluğu
Norveç	75.704	97.8	0.088
Yeni Zelanda	42.260	81.1	0.117
Kolombiya	6.376	79.4	0.055
Brezilya	9.881	79.2	0.092
Kanada	45.070	66.2	0.174
Kuveyt	29.475	0.0	0.125
Suudi Arabistan	20.804	0.0	0.124
Birleşik Arap Emirlikleri	40.325	0.3	0.109
Cezayir	4.048	0.6	0.090
Güney Kore	29.743	4.1	0.158
Türkiye	10.500	29.4	0.068
Dünya	10.769	24.8	0.115

Kaynak: World bank, 2017, GDP per capita (current US\$); Enerdata, 2019, share of renewables in electricity production (%) ve energy intensity of GDP at constant purchasing power parities (koe/\$2015p) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 2.9.'da görüldüğü üzere enerji yoğunluğu, dünyada 0.115 seviyesindedir. Enerji yoğunluğu, Norveç, Kolombiya, Brezilya gibi elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakları yüksek oranda kullanan ülkelerde, dünya ortalamasının altında; Kuveyt, Suudi Arabistan, Güney Kore gibi elektrik üretiminde fosil kaynakları yüksek oranda kullanan ülkelerde ise dünya ortalamasının üzerindedir. Türkiye'de ise enerji yoğunluğu 0.068 olup, dünya ortalamasının altında yer almaktadır. Enerji yoğunluğunun düşük olması, enerji verimliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle gelişmiş ülkeler teknolojik gelişime önem vererek, enerji verimliliğini artırmakta; enerji yoğunluğunu azaltmaktadır (Çalışkan, 2009, s.299).

Enerji arz güvenliğinin sağlanması, çevre ve canlıların korunması, enerjide dışa bağımlılık probleminin azaltılması, sürdürülebilirliğin sağlanması, maliyetlerin azaltılması, israfın önlenmesi ve enerjinin etkin kullanılması için enerji verimliliğinin artırılması gerekmektedir (http-4). Bu amaçlar doğrultusunda enerji verimliliğinin artırılması:

- Dünya enerji verimliliği yönünde pazarların geliştirilmesi,
- Tüketicilerin bilgilendirilmesi,
- Sübvansiyon ve vergi indirimleri gibi ekonomik desteklerin artırılması,
- Nihai tüketimde enerji yoğunluğunun azaltılması,
- İletim ve dağıtımda kayıp-kaçak oranlarının azaltılması,
- Özel finansman mekanizmalarının yaygınlaştırılması,
- Enerji tasarrufu ve verimliliği konusundaki mevzuatların düzenlenmesi,
- Enerjiyi en verimli kullanan teknolojilerin geliştirilmesi,
- İyileştirme yatırımlarının yapılması,
- Tüm kesimleri kapsayacak hukuki bir çerçevenin diğer kesimler tarafından algılanması,
- Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi,
- Enerji verimliliği uzmanlıklarının yaygınlaştırılması ile mümkün olmaktadır (Karahana, 2014, s.116; Narin, 2008, s.64; Brown, 2008, s.72).

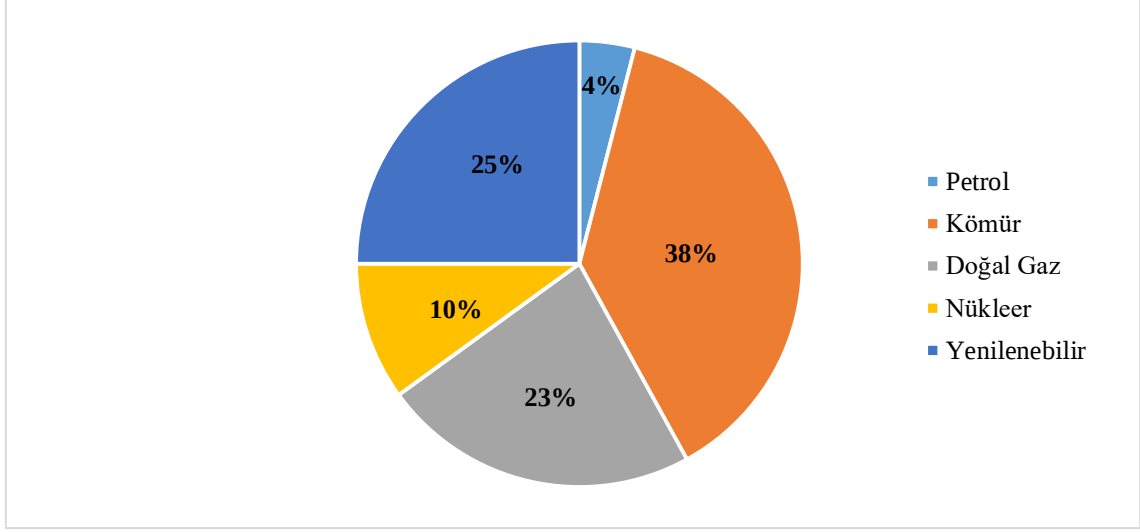
Sürdürülebilir enerji politikalarının asıl amacı, enerjinin etkin ve verimli kullanımıdır. Bu amaç doğrultusunda teknolojik gelişim büyük önem taşımaktadır. **Teknolojik gelişim**, aynı ürünü daha az maliyetle üretme veya yeni bir ürünü piyasaya sürme olanağı taşımaktadır. Gelişim ile üretim ve tüketim aşamasında kullanılan enerjinin

verimi artmakta, yapılan yatırımların maliyetleri azalmakta, çıktı miktarı artmakta, elektrik kullanım alanları çeşitlenmekte, enerji piyasaları büyümekte ve toplumların refah seviyesi yükselmektedir. Bu nedenle küresel ölçekte rekabet gücünün artmasını amaçlayan ülkeler, teknolojik gelişime önem vermelidir (Tugal, 2014, s.21; Koç ve Kaya, 2015, s.37; Güngör, 2016, s.45).

Enerji verimliliğinin artırılarak, enerji yoğunluğunun azaltılması amaçlarına ulaşmak için yenilenebilir kaynakların kullanımı teşvik edilerek, mevcut elektrik üretim santrallerinde bu kaynak teknolojilerinden daha fazla yararlanılmalıdır. Yenilenebilir kaynaklarının kullanımı, yüksek teknoloji desteği gerektirmektedir. Bu nedenle bu kaynaklardan iktisadi rasyonaliteye uygun bir şekilde yararlanmak için yapılan yatırımların Ar-Ge çalışmaları ile desteklenmesi gerekmektedir. Ar-Ge çalışmalarına önem veren bilgi tabanlı üretim teknolojilerine sahip ülkeler, teknolojik olarak geri kalmış ülkelere kıyasla enerji potansiyellerinden ve elektrik üretiminde yenilenebilir kaynak teknolojilerinden daha fazla yararlanmaktadır. Ayrıca gelişmiş teknolojiler kullanarak üretim yapan bu ülkelerde, kişi başı verimlilik ve refah düzeyi, diğer ülkelere kıyasla daha yüksek seviyededir (Gürak, 2006, s.245). Bu nedenle teknolojik gelişime önem verilmeli, enerji verimliliği konusu ülke politikalarının önemli maddelerinden biri yapılmalıdır (Demir, 2013, s.6-11).

2.1.7. Fosil enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi

Elektrik üretiminde yoğun olarak kullanılan fosil kaynaklarda meydana gelen değişimin, yenilenebilir kaynakların kullanımı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla öncelikle küresel elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Kaynak: IEA, 2017, s.11.

Şekil 2.8. *Küresel elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2017)*

2017 küresel elektrik enerjisi üretiminde %25 oranında yenilenebilir kaynaklar; %75 oranında fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Fosil kaynaklar içerisinde yer alan kömür %38 ile en çok kullanılan kaynak olup, bunu sırasıyla %23 ile doğal gaz, %10 ile nükleer, %4 ile petrol takip etmektedir.

Dünya elektrik enerjisi üretiminde büyük bir paya sahip olan fosil kaynaklar şu şekilde tanımlanmaktadır:

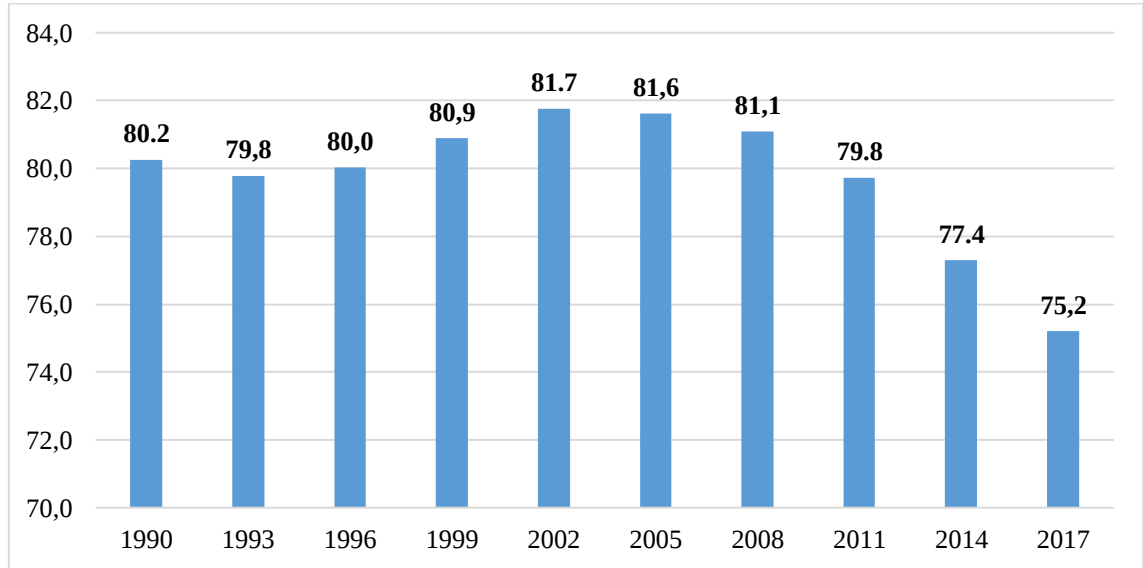
Petrol: Milyonlarca yıl önce yaşamış olan hayvan ve bitki atıklarının, basınç ve sıcaklığın etkisiyle kimyasal olarak değişime uğraması sonucunda oluşan organik kökenli bir olgudur. Hidrojen ve karbondan oluşan, içerisinde az miktarda oksijen, nitrojen ve kükürt barındıran karmaşık bir bileşim olup, doğada katı, sıvı ve gaz halinde bulunmaktadır. Sanayi, ulaşım, konut, tarım gibi çok kapsamlı kullanım alanlarına sahip olmasından dolayı çıkarıldığı ve dağıtım koridorlarında yer alan ülkeler açısından stratejik bir öneme sahiptir. Diğer fosil kaynaklar ile kıyaslandığında ekonomik, sosyal, siyasal ve çevresel alanda ciddi boyutlarda zararı bulunmaktadır (Tugal, 2014, s.9; [http-5](#)).

Kömür: Uygun ortam ve şartlarda, bitki kalıntılarının zaman içerisinde fiziksel ve kimyasal etkilerle değişimi sonucunda oluşmaktadır (Yalkı, 2014, s.7). Hidrojen, karbon ve oksijenden oluşan, içerisinde az miktarda kükürt ve nitrojen barındıran, fiziksel ve kimyasal bakımdan farklılık gösteren yapıya sahip maden ve kayadır. Doğrudan

yakılarak ya da ısıtılarak kullanılmakta olup sanayide, demir-çelik ve çimento imalatında, ısınma, buhar ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Diğer fosil kaynaklar ile kıyaslandığında yüksek CO2 emisyonlarıyla iklim değişikliğine neden olan en tehlikeli yakıttır (Sülükçüler, 2018, s.5).

Doğal gaz: Gaz halinde bulunan petroldür. Başta metan ve etan olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşmaktadır (http-6). Gözenekli kayaçların boşluklarına sıkışmış ya da serbest olarak bulunan renksiz, kokusuz, yanıcı ve havadan hafif gazdır (Tugal, 2014, s.9). Diğer fosil kaynaklar ile kıyaslandığında düşük CO2 emisyonlarına sahip olması nedeniyle temiz bir enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Sanayi, konut, ısıtma, soğutma, pişirme, yakıt ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Yalkı, 2014, s.9).

Nükleer: Ağır radyoaktif atomlarla nötronun çarpması sonucunda atom çekirdeğinin parçalanması (filyon) ya da hafif radyoaktif atomların birleşmesi tepkimeleri sonucunda ortaya çıkan enerjidir. Askeri amaçla bomba yapımı ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek seviyede radyasyon ve atık sorunu bulunmaktadır. Ancak elektrik enerjisi üretim aşamasında CO2 salınımı yapmaması, enerji arz güvenliği oluşturması gibi nedenlerle diğer fosil kaynaklara göre üstünlükleri bulunmaktadır (Tugal, 2014, s.11; Yalkı, 2014, s.12).



Kaynak: Enerdata, 2019, share of renewables in electricity production (%) verilerinden derlenmiştir.

Şekil 2.9. Küresel elektrik üretiminde kullanılan fosil kaynakların yıllar itibariyle değişimi (%) (1990-2017)

Elektrik üretiminde fosil kaynakların kullanımı 1990 yılında %80.2 iken; 2017 yılında %75.2'ye azalmıştır. Yıllar itibariyle bu kaynakların kullanımı 2002 yılına kadar artış göstermiş, bu yıldan itibaren sürekli olarak azalmıştır. Buna karşın elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı 1990 yılında %19.8 iken; 2017 yılında %24.8'e yükselmiştir.

Fosil kaynakların kullanımı, çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmakta, ülke ekonomilerine zarar vermekte, enerjide dışa bağımlılık yaratmakta, cari açığı artırmakta ve küresel ölçekte huzursuzluk ortamı yaratmaktadır. Bu kaynaklar ülkelerin mülkiyetinde bulunmakta ancak kullanımı günümüzde ve gelecekteki tüm dünya toplumlarını olumsuz olarak etkilemektedir (Montgomery, 2014, s.10). Fosil kaynakların kullanımının yarattığı olumsuzluklar, rezervlerinin sınırlı olması ve coğrafi olarak eşit dağılım göstermemesi, enerji fiyatlarında meydana gelen dalgalanmalar gibi nedenlerle ülkeler, alternatif enerji kaynakları arayışına yönelmiştir.

Enerji fiyatları, enerji arz ve talebini etkileyen en önemli faktörden birisidir. Enerji kaynaklarında yaşanan fiyat dalgalanmaları, ekonomide kısa ve uzun dönemde farklı etkiler ortaya çıkarmaktadır. Enerji fiyatlarındaki artış, kısa dönemde maliyet artışı yaratarak, ücretlerin düşmesine veya işgücü talebinin azalmasına neden olmaktadır. Böylelikle işgücü verimliliği ve istihdamın azalmasıyla toplam çıktı miktarı azalmaktadır. Uzun dönemde ise enerji verimliliği, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı, teknolojik ilgi veya ihtiyacı artırarak, enerji arzının artmasına neden olmaktadır. Böylelikle enerji fiyatlarının artması, kısa dönemde ekonomi üzerinde negatif etki yaratırken; uzun dönemde pozitif etki yarattığı söylenebilmektedir (Tugal, 2014, s.23-24).

Elektrik üretiminde kullanılacak olan enerji kaynağının değerlendirilmesi yapılırken, enerji kaynağına ulaşım kolaylığı, enerji kaynağının oluşum süreci, maliyetler, istihdama etkisi, teknolojik gelişime katkı sağlama durumu ve çevre dostu olup olmama kriterleri değerlendirilmelidir. Bu kriterler baz alındığında, yenilenebilir kaynaklar fosil kaynaklara göre sürdürülebilir, temiz ve tüm coğrafyalarda bulunabilir olması nedeniyle üstün konumda yer almaktadır. Bu nedenle elektrik üretiminde fosil kaynakların kullanımı azaltılarak, yenilenebilir kaynakların kullanımı artırılmalıdır.

2.1.8. Finansal etkenler

2.1.8.1. Yatırım

Ülkeler, sürdürülebilirlik ve güvenlik kapsamında enerji arz-talep dengesinin sağlanması, arz güvenliğinin oluşması, çevre problemlerinin önlenmesi, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, ekonomik ve sosyal gelişimin hızlandırılması amacıyla enerji yatırımları yapmaktadır. Bu noktada yatırımların, enerjide güven ortamı sağlayan, uluslararası barışı destekleyen, ekonomik, güvenilir, kesintisiz, kaliteli ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılması büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımlar, ülkelerin gelişmişlik seviyesine göre farklılıklar göstermekte olup, özellikle gelişmiş ülkelerde yüksek düzeydedir. Bu ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelere de bu kaynaklara yapılan yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır (Onat, 2018, s.5).

Tablo 2.10. *Kaynaklarına göre kurulu güç değişimi (2016-2017)*

Kaynaklar	Kurulu Güç (2016)		Kurulu Güç (2017)		2016-2017
	GW	%	GW	%	%
Güneş	308	15.3	407	18.5	32.1
Rüzgâr	487	24.1	539	24.6	10.7
Jeotermal	12	0.6	13	0.6	5.8
Hidrolik	1.095	54.3	1.114	50.7	1.7
Biyokütle	114	5.7	122	5.6	7.0
Deniz Kökenli	1	0.0	1	0.0	0.0
Yenilenebilir	2.017	100	2.195	100	8.9

Kaynak: World energy council, 2018, <http://www.worldenergy.org/>.

Küresel enerji ihtiyacını karşılamak için yapılan yatırımlar her yıl artış göstermektedir. 2016 yılında 274 milyar \$ olan enerji yatırımı, 2017 yılında 279.8 milyar \$'a yükselmiştir. Yatırımda meydana gelen artış ile 2016 yılında 2.017 GW olan yenilenebilir enerji toplam kurulu gücü, 2017 yılında %8.9 artarak 2.195 GW'a yükselmiştir. 2016-2017 yılları arasındaki değişime kaynaklar bazında baktığımızda, en yüksek değişim %32.1 ile güneşte meydana gelmiştir. Bunu %10.7 ile rüzgâr, %7 ile biyokütle, %5.8 ile jeotermal, %1.7 ile hidrolik izlemektedir. 2016 ve 2040 yılları

arasında küresel ölçekte 66.5 trilyon \$ yatırım yapılacağı tahmin edilmektedir (Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [T.C. ETKB], 2017, s.5).

Tablo 2.11. *Kaynaklarına göre enerji yatırımlarında ilk 5 ülke (2017)*

Kaynaklar	1	2	3	4	5
Güneş	Çin	ABD	Hindistan	Japonya	Türkiye
Rüzgâr	Çin	ABD	Almanya	İngiltere	Hindistan
Jeotermal	Endonezya	Türkiye	Şili	İzlanda	Honduras
Hidrolik	Çin	Brezilya	Hindistan	Angola	Türkiye
Biyodizel	ABD	Brezilya	Almanya	Arjantin	Endonezya
Etanol	ABD	Brezilya	Çin	Kanada	Tayland
Yenilenebilir	Çin	ABD	Japonya	Hindistan	Almanya

Kaynak: World energy council, 2018, http-7.

2017 yılında toplam yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlarda ilk sırada Çin bulunmakta, bunu sırası ile ABD, Japonya, Hindistan ve Almanya izlemektedir. Çin güneş, rüzgâr ve hidrolik enerji kaynaklarına yapılan yatırımlarda da ilk sırada yer almaktadır. Jeotermal enerjiye yapılan yatırımda ilk sırada Endonezya, biyokütle enerjiye yapılan yatırımda ise ABD ilk sırada yer almaktadır.

Tablo 2.12. *Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımları (2017)*

Ülkeler	Milyar \$	%	Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Payı (%)
Çin	126.6	45.2	25.7
ABD	40.5	14.5	17.4
Japonya	13.4	4.8	16.2
Hindistan	10.9	3.9	17.1
Almanya	10.4	3.7	34.2
Avustralya	8.5	3.0	15.8
Birleşik Krallık	7.6	2.7	30.1
Brezilya	6.0	2.1	79.2
Meksika	6.0	2.1	15.9
İsveç	3.7	1.3	57.5
Diğer	46.2	16.5	-
Toplam	279.8	100	24.8

Kaynak: Chinadaily, 2018, http-8.

Tablo 2.12.'de 2017 yılında yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımlarda en yüksek paya sahip olan ülkeler verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere 2017 yılında dünyada 279.8 milyar \$ yatırım yapılmıştır. Çin, 126.6 milyar \$ yatırım yaparak, %45.2 ile toplam yatırımlarda en yüksek paya sahip olan ülke konumunda olup, elektrik üretiminde %25.7 oranında yenilenebilir kaynaklardan yararlanmaktadır.

Özellikle gelişmiş ülkelerde bu kaynaklara yapılan yatırımlar daha fazladır. Bu nedenle gelişmiş ülkelerin politikalarında sürdürülebilirlik ve güvenlik kavramları daha fazla önem taşıırken, yatırımların kısıtlı olduğu gelişmekte olan ülkelerin politikalarında bu kavramlardan söz etmek güç olmaktadır (Ataman, 2007, s.2).

Ekonomik, sosyal ve çevresel alanda sürdürülebilirliğin ve güvenliğin sağlanabilmesi için yenilenebilir kaynak yatırımlarının artması gerekmektedir. Faiz oranı, kredi maliyetleri, döviz kuru, piyasaların hareketliliği, politikalar, teşvik mekanizmaları, siyasal ve makroekonomik istikrarsızlık, belirsizlik ve beklentiler gibi birçok değişken yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımları etkilemektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.260; Şenses, 2017, s.534). Yatırımlar, kullanılabilir enerji, üretim, istihdam, işsizlik, enerji dışı yatırımlar, cari açık, milli gelir ve çevre üzerinde olumlu etki yaratmaktadır. Bu durum rahatlık ve konforun artmasına neden olarak, refah seviyesinin yükselmesini sağlamaktadır (Tugal, 2014, s.21).

2.1.8.2. Maliyet

Elektrik enerjisi üretimi için yapılan yatırımların maliyetleri hesaplanırken; kurulum, yakıt, üretim, işletme, bakım, atıkların yok edilmesi gibi maliyetler değerlendirilmektedir (Ataman, 2007, s.15). Günümüzde elektrik üretiminde büyük oranda fosil kaynakların kullanılıyor olmasının temel nedenlerinden biri, bu kaynakların yenilenebilir kaynaklara göre daha düşük maliyetli olmasıdır.

Elektrik üretiminde kullanılacak enerji kaynaklarına yapılacak olan yatırımların maliyetleri hesaplanırken, kurulumdan ortadan kaldırılmasına kadar doğabilecek tüm maliyetler değerlendirilmeye katılmalıdır. Kullanılan enerjinin birim üretim başına çevre ve canlılara verdiği zararlar fiyatlandırılarak, ayrıca hesaplanması ve çevresel (toplumsal) maliyet bir diğer deyişle dışsalıklar olarak diğer maliyetlere eklenmesi gerekmektedir.

Dışsallıkların içselleştirilmesi ile gerçek maliyetler hesaplanmış olacaktır (Ataman, 2007, s.17; Gürsoy, 2004, s.48).

Enerjinin üretimi aşamasında ortaya çıkan hava, su ve toprak kirliliği, CO2 emisyonlarının artması, küresel ısınma, ozon tabakasının delinmesi, şiddetli doğa olayları, asit yağmurları, ormanların ve arazilerin yok olması, ürün kalitesinin azalması, yeraltı sularının azalması, iklim değişikliği, hastalıkların artması, canlı türlerinin azalması, yaşam alanlarının yok olması gibi olumsuzluklar, ekonomik etkinliklerin sahipleri tarafından işletme dışındaki çevreye yani topluma bırakılmaktadır. Bu nedenle bu olumsuzluklar, **çevresel maliyet** olarak adlandırılmaktadır. Bu tür çevresel maliyetlerin göz ardı edilmesi, üretici ve tüketiciler tarafından hesaplanmaması nedeniyle bu maliyetler pazar fiyatı içinde yer almamaktadır (Gürsoy, 2004, s.47-48). Bu maliyetlerin fiyatlara yansıtılabilmesi, kirlilik yaratan faaliyetlere CO2 vergisi gibi dolaylı vergiler getirilmesi ya da çevresel maliyeti çok düşük seviyede olan yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim faaliyetlerini destekleyecek vergi farklılaştırılması uygulamaları ile mümkün olabilmektedir. Çevresel maliyetlerin fiyatlara yansıtılmasıyla çevrenin korunması sağlanarak, gerçek rekabetin olduğu bir enerji piyasası oluşmaktadır. Böylelikle enerji, çevre ve rekabet arasındaki denge sağlanmış olmaktadır (Ataman, 2007, s.20).

Tablo 2.13. Yenilenebilir enerji maliyetlerinin karşılaştırılması

Maliyetler	Güneş		Rüzgâr	Jeotermal	Hidrolik	Biyokütle	Hidrojen
	Toplaç	PV					
İlk Yatırım	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
Kullanım	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
Bakım	Düşük	Orta	Ota	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Atık	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Uygulama Kolaylığı	Orta	Orta	Düşük	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek
Kullanma Kolaylığı	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Orta	Düşük
Bakım Kolaylığı	Orta	Orta	Ota	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek

Kaynak: Öztürk, 2013.

Tablo 2.13.'te verilen maliyetler dikkate alındığında yenilenebilir kaynaklarının fosil kaynaklara göre üstün bir konumda bulunduğu söylenebilmektedir. Ayrıca

yenilenebilir kaynakların çevresel maliyetlerinin düşük bir seviyede olması, çevre ve canlılar üzerinde büyük olumsuzluklar oluşturmamaktadır. Bu kaynaklarının ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması kullanımının önündeki en büyük engeli oluşturmaktadır. Ancak maliyetlerinin uzun vadede geri ödemesi mümkündür. Bu nedenle bu kaynaklara yapılan yatırımların uzun vadede ülke ekonomisine büyük katkılar sağlaması, çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etki oluşturmaması nedeniyle elektrik üretiminde kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

2.1.9. Politik etkenler

2.1.9.1. Ulusal ve uluslararası düzenlemeler

İnsanlar, her dönem ısınma, aydınlanma, yemek pişirme gibi amaçlarla enerjiye ihtiyaç duymuş ve enerjiyi elde etmenin yollarını aramıştır. Bireysel ihtiyaçlarla başlayan bu süreç, zamanla ülkelerin ihtiyaçlarına dönüşerek, enerjiyi dünyanın ekonomik, sosyal ve siyasi düzenini belirleyen en önemli unsurlardan biri yapmıştır. Bu nedenle enerjinin ulusal ve uluslararası politikaları etkileyen öncelikli bir konu olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

Enerji politikaları genel olarak enerji, ekonomi ve teknolojiyle ilgili kararların alındığı kurumsal yapıdan oluşmakta, kısa dönemde arz-talep yönetimi; uzun dönemde planlama ile ilgili faaliyetleri içermektedir (Bayraç, 2009, s.118). Politikaların temel amaçları; enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerjinin verimli kullanılması, fiyat istikrarı, çevrenin korunması, maliyetlerin azaltılması, istihdam olanaklarının ve ihracat avantajlarının ön plana çıkarılmasıdır (Kılıç ve Urgun, 2016, s.158).

1970’li yıllarda çevresel problemlerin sınır ötesi bir niteliğe sahip olduğunun anlaşılmasıyla çevre bilinci gelişme sürecine girmiştir. Bu süreçte, enerji, ekonomi ve çevre arasındaki çatışmanın etkisinin daha güçlü hissedilmeye başlamasıyla bu alanlarla ilgili uluslararası ölçekte ortak bir iradenin oluşmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda, sorunların tespiti ve çözümü için uluslararası ölçekte birçok anlaşma yürürlüğe girmiş ve var olan politikalarda köklü değişiklikler yapılmıştır (Acaravcı ve Erdoğan, 2018, s.53-54).

Çevre sorunları ve çözümlerinin ulusal ve uluslararası niteliği, 1972 yılında Stockholm’de gerçekleştirilen **BM İnsan ve Çevre Konferansı** ile ülkelerin gündemine taşınmıştır. Bu konferansta, çevre ile uyumlu ekonomik gelişimden ilk kez bahsedilmiş, **çevre hakkı** ilk kez kabul edilmiş ve çevrenin herkesin ortak varlığı olduğu görüşü savunularak, insan faaliyetlerinin doğa karşısındaki tutumunun değişmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu hak ile bugün ve gelecek için çevrenin sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve herkes tarafından eşit bir şekilde yararlanılması hedeflenmiştir (http-9; Ataman, 2007, s.26). Çevre sorunları ve çözümlerinin ülkelerin gündemine taşınmasıyla birlikte aynı yıl Roma Kulübü tarafından **Büyümenin Sınırları** başlıklı bir rapor yayınlanmıştır. Bu raporda, ekonomi ve çevrenin birbirinden bağımsız olmadığı ve bu alanların kalkınma politikalarında ele alınmasının gerekliliği belirtilerek, uluslararası alanda ilk kapsamlı uyarı yapılmıştır. Kaynaklar, büyüme ve çevre arasındaki ilişki üzerinde önemle duran ve **Sıfır Büyüme** olarak da adlandırılan bu raporda, çevrenin korunması için denetimsiz büyümenin durdurulması gerektiği, aksi takdirde kaynakların yetmeyeceği ve çevrenin 150 yıl içerisinde yaşanabilirlik niteliğini kaybedeceği belirtilmiştir (Aksu, 2011, s.11-12; Ataman, 2007, s.66).

1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından **Ortak Geleceğimiz** olarak da adlandırılan **Brundtland Raporu** yayınlanmıştır. Bu rapor ile çevrenin korunması ve kalkınma arasındaki ilişkiye vurgu yapılmış, sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez küresel ölçekte gündeme gelmiştir. Sürdürülebilirlik konusunda fosil kaynak kullanımının azaltılarak çevreye zarar vermeyen yenilenebilir kaynak kullanımının artırılması ve bu amaçla Ar-Ge çalışmalarına önem verilmesi gerekliliği belirtilmiştir (Aksu, 2011, s.14).

Çevre problemlerin en önemlilerinden biri olan iklim değişikliğinin, insan faaliyetleri sonucu ortaya çıktığını destekleyen bilimsel çalışmaların artması sonucunda birçok müzakere yapılmıştır. İklim değişikliği müzakereleriyle ilgili üç odak nokta bulunmaktadır. Bunlar: 1992 yılında Brezilya’nın Rio de Janeiro kentinde düzenlenen Dünya Zirvesi’nde imzaya açılan ve 1994 yılında yürürlüğe giren **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi [BMİDÇS]**, 1997 yılında Japonya’nın Kyoto kentinde imzaya açılan ve 2005 yılında yürürlüğe giren **Kyoto Protokolü [KP]** ve 2015 yılında Fransa’nın Paris kentinde imzaya açılan ve 2016 yılında yürürlüğe giren **Paris İklim Zirvesi**’dir (Güner ve Turan, 2017, s.48).

BMİDÇS: 1992 yılında Rio'da **BM Çevre ve Kalkınma Konferansı** gerçekleştirilmiştir. Bu konferansta Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi, Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzaya açılmıştır. Bu sözleşmeler, **Rio Üçlüsü** olarak adlandırılarak sürdürülebilir kalkınma kavramının en önemli yasal dayanaklarını oluşturmaktadır. Ancak bu sözleşmeler içerisinde 1994 yılında 50 ülkenin imzasıyla yürürlüğe giren ve günümüzde Türkiye'nin de içinde bulunduğu 196 ülke ve Avrupa Birliği [AB]'nin taraf olduğu **BMİDÇS**, iklim değişikliğiyle mücadelenin uluslararası hukuki temelleri oluşturması nedeniyle adından en çok söz ettirilen sözleşme olmuştur. Bu sözleşme, uluslararası alanda atılmış olan ilk ve en önemli adımdır. Sözleşmenin amacı: insan kaynaklı sera gazları emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkisini önleyecek bir düzeyde tutulmasını sağlamaktır (Arıkan, 2006, s.7; [http-10](http://10)). Sözleşmenin temel ilkeleri:

- Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi, politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına uyumlu hale getirilmesi,
- İklim sisteminin eşitlik temelinde, ortak fakat farklı sorumluluk ilkesine uygun olarak korunması,
- İklim değişikliğinin etkilerine karşı alınacak önlemlerin en az maliyetle, küresel fayda sağlayacak şekilde yapılması,
- İklim değişikliğinden etkilenecek olan gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaç ve özel şartlarının dikkate alınması,
- Tarafların işbirliği içinde hareket etmeleridir ([http-11](http://11)).

Sözleşmeyi kabul eden, onaylayan, taraf olan ya da katılan ülkeler, iklim değişikliği ile ilgili yükümlülüklerini yerine getirmekle yükümlüdür.

1992 yılında gerçekleşen Rio Konferansı'nda **Gündem 21** (21. yy. için sürdürülebilir kalkınma hedefleri)'in önemli bir yeri bulunmaktadır. Gündem 21 ile insanların temel gereksinimlerinin karşılanması, yaşam standartlarının iyileştirilmesi, ekosistemin korunması ile daha güvenilir bir gelecek hedeflenmektedir. Çevre sorunlarının çözümünde yerel yönetimlere önemli görevler verilmiştir. Bununla birlikte ülkelerin, kırsal topluluklarda yenilenebilir kaynakları en geç 2000 yılına kadar kullanılabilir hale getirmesi ve politikalarda bu kaynakların kullanımını teşvik etmesi gerektiği belirtilmiştir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.258-259).

1996 yılında AB Komisyonu, yenilenebilir kaynaklarla ilgili en önemli konuları gündeme getirerek hedefleri, hedeflerin önündeki engelleri, engellerin ortadan kaldırılması amacıyla yapılması gerekenleri ve bu amaç doğrultusunda kullanılacak olan araçları belirlemek üzere ilk strateji adımı olarak **Yeşil Rapor**'u yayınlamıştır. Raporda, özellikle enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir kaynakların değerlendirilebilmesi için kamu destekli **Yeşil Fon** olarak adlandırılan bütçelerin oluşturulması gerektiği belirtilmiştir (Ataman, 2007, s.77-78; Demir, 2013, s.12).

KP: Protokol, iklim değişikliğiyle mücadelede ileriye dönük temel bir adımı teşkil etmektedir. BMİDÇS'ye taraf olan ülkeler, sözleşmenin etkisinin güçlendirilmesi ve bağlayıcılığının artırılması için KP üzerine müzakerelere başlamıştır. İki buçuk yıl süren müzakereler sonucunda, 1997 yılında Kyoto'da yapılan 3. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiş olan bu protokole, günümüzde Türkiye'nin de dâhil olduğu 191 ülke ve AB taraftır (http-12). Bu protokol, uluslararası ve yaptırım gücüne sahip ilk somut adım olma özelliği taşımaktadır (Narin, 2008, s.64). BMİDÇS'nin nihai amacına ulaşması için oluşturulan protokol, sözleşmeyi tamamlayan ve güçlendiren bir belge olup, sözleşme ile aynı temelleri ve hedefleri taşımaktadır. Protokole göre, iklim değişikliğiyle mücadelede ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltması gerekmektedir. Protokol, gelişmiş ülkelerde sera gazı emisyonlarını azaltma önlemlerinin yaratacağı ekonomik küçülmenin derecelerinin azaltılmasını; gelişmekte olan ülkelerde ise teknoloji transferlerini özendirici bir ortamın yaratılmasını hedeflemektedir. Ülkeler, gelişmişlik düzeylerine göre belirli taahhütler vermek ve emisyonları belirlenen sürede, belirlenen düzeye indirmekle yükümlüdür (Ataman, 2007, s.72).

2002 yılında Güney Afrika'nın Johannesburg kentinde, 1992 Rio Konferansı'ndan 10 yıl sonra gerçekleştirilmesi nedeniyle **Rio+10** olarak adlandırılan **Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi** de çevre sorunları ve çözümleri konusunda ortak bir mücadele vurgusu yapılması dolayısıyla büyük önem taşımaktadır (Ataman, 2007, s.74-75).

Paris İklim Zirvesi: Dünya sera gazı emisyonlarının büyük bir bölümünü oluşturan 196 ülke arasında iklim değişikliğiyle ilgili mücadele konusunda uzlaşa sağlanarak, 2015 yılında Paris'te gerçekleştirilen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiş ve 2016 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu anlaşma, geniş bir emisyon hacmi ve geniş ülke

grubunu kapsamayı dolayısıyla önemli bir dönüm noktası olarak görülmektedir. İlk kez, 2020 sonrası için küresel ölçekte bütün ülkeler tarafından sera gazı emisyonlarının azaltılması için taahhütte bulunulmuştur. Anlaşma ile sanayileşme öncesi döneme kıyasla küresel sıcaklık artışının 2 °C'nin olabildiğince altında tutulması hedeflenmekte olup, bu hedef fosil kaynak kullanımının azaltılarak, yenilenebilir kaynak kullanımının artırılmasını gerektirmektedir (http-13; Acaravcı ve Erdoğan, 2018, s.53-54).

Bu sözleşmelerin odak noktası, fosil kaynakların kullanımının neden olduğu sera gazı emisyonları, küresel ısınma, iklim değişikliği gibi tüm dünyayı etkisi altına alan çevre problemleridir. Bu problemler, çevre ile birlikte ülke ekonomileri üzerinde de olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle ekonomi ve çevre alanında olumsuzlukların önlenmesi için sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlamak ve bu amaç doğrultusunda uluslararası ölçekte ortak bir mücadele başlatmak ve bu mücadelenin korunmasını sağlamak yapılan sözleşmelerin ortak amacını oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda bugün ve gelecek için tehlike arz etmeyen ve kirliliğe neden olmayan kaynakların kullanımının artırılması büyük önem taşımaktadır.

Enerji politikaları, ülkelerin mevcut kaynak potansiyeli, teknolojik yeterlilik ve teşvikler göz önüne alınarak gerçekçi ve sağlam temeller üzerine kurulmalı ve sürdürülebilir olmalıdır. Enerjinin sağlanacağı kaynaklar; kaynakların sürdürülebilirliği, ulaşılabilirliği, üretim ve dönüşüm yöntemleri, tüketiciye kesintisiz ulaşımı, tüketimde verimlilik gibi ölçütler üzerinde önemle durulmalıdır (Sülükçüler, 2018, s.168; Çalışkan, 2009, s.306). Politikaların sürdürülebilirliği konusunda öncelikli olarak yenilenebilir enerji politikaları oluşturulması ve yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi alınacak önlemler arasında ilk sırada yer almaktadır (Güner ve Turan, 2017, s.49). Enerji politikalarının yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmesi ile çevre unsuru dışında Ar-Ge çalışmaları desteklenmekte, yerli üretim artarak iç talep karşılanmakta ve uluslararası rekabet gücü artmaktadır (Kılıç ve Urgan, 2016, s.158).

Yenilenebilir kaynaklara yapılacak olan yatırımlar, bu kaynaklara yönelik ulusal ve uluslararası bakış açısı ile doğru orantılı olup enerji politikaları, ulusal ve uluslararası düzenlemelerden büyük oranda etkilenmektedir. Bu kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması için:

- Toplumsal destek sağlanmalı,
- Kamuoyu bilinci ve duyarlılığı oluşturulmalı,
- Fosil kaynak kullanımının çevre ve canlılar üzerindeki olumsuz etkisinin, tüm toplumlar tarafından öğrenilmesini sağlayacak eğitimler verilmeli,
- Üretilen enerjinin özellikleri hakkında üretici ve tüketici bilgilendirilmelidir (Ataman, 2007, s.22).

Çevre, bir ülkenin ya da bir bölgenin sorunu değil tüm insanlığın sorunudur. Bu nedenle çevre sorunlarının çözümünde yenilenebilir kaynakların kullanımı, temiz, çevreci, güvenilir ve sürdürülebilir enerji politikaları oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır.

2.1.9.2. Teşvik mekanizmaları

Fosil kaynakların çeşitli açılardan içerdiği olumsuzluklar nedeniyle ülkeler, yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelmiştir. Günümüzde birçok ülke, sürdürülebilir enerji politikası hedefine ulaşmak ve enerji güvenliğini sağlamak amacıyla başta elektrik enerjisi olmak üzere enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması için çeşitli teşvik mekanizmaları uygulamaktadır. Bu kaynak teknolojilerinin, fosil kaynak teknolojilerine göre maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle bu kaynaklara yapılacak olan yatırımların artması ve rekabet gücünün sağlanması için yatırımların, teşvik mekanizmaları ile desteklenmesi gerekmektedir (Bayraktar ve Kaya, 2016, s.422).

Teşvik mekanizmalarını tasarlama, uygulama ve değerlendirme aşamasında bazı kriterler bulunmaktadır. Bu kriterler:

- Maliyetlerin azaltılmasını sağlamak,
- Birden çok uygulama ile teşvik mekanizmalarının çeşitliliğini artırmak,
- Yatırımcı için güven ortamı oluşturmak,
- Tüketici fiyatlarının azaltılmasına katkı yapmak,
- Piyasanın kalkınma ve gelişimini sağlamak,
- Piyasa ve diğer düzenleyici mekanizmalar arasında uyum sağlamak,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin kamuoyu oluşturmak,

- Mevcut sistemden kolay ve kademeli geçişi sağlamak,
- Dışsal faktörlerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktır (Sülükçüler, 2018, s.93).

Ülkeler, yenilenebilir kaynakların kullanımına ilişkin hedefler belirlemekte ve bu hedefler doğrultusunda çeşitli teşvik mekanizmaları uygulamaktadır. Bu kaynakların kullanımı düzenleyici ve mali olmak üzere iki farklı teşvik mekanizması ile desteklenmektedir (Eser ve Polat, 2015, s.205).

- **Düzenleyici teşvikler:** Sabit fiyat garantisi, prim garantisi ve kota uygulamasını kapsamaktadır.

Sabit fiyat garantisi: Tarife garantisi olarak da adlandırılan bu teşvik mekanizması, yatırımların hızlandırılması amacıyla kullanılan uzun vadeli alım anlaşmasıdır. Hükümetler, yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üreten üreticilerden kWh başına yıllık olarak piyasa fiyatının üzerindeki bir fiyatla enerji alımını garanti etmektedir. Bu alım garantisi genellikle 10-20 yıl arasında verilmektedir. Alınacak enerji miktarı, enerji kaynağının türüne ve ekonomik olarak uygulanabilirliğine bağlı olmaktadır. Bu teşvik mekanizması ile kullanılan yenilenebilir teknolojinin maliyeti düşmekte ve birim başına üretilen enerji miktarı artmaktadır. Böylelikle uzun dönemde yatırımcının riski azalarak, verimliliği artmaktadır. Hızlı, esnek, uygulaması kolay ve kamu tarafından idaresinin düşük maliyetli olması nedeniyle bu teşvik mekanizması, yenilenebilir enerji yatırımlarının desteklemesi konusunda etkili bir araç olarak kullanılmaktadır.

Prim garantisi: Sabit fiyat garantisine benzemekte olup, üreticiye sabit bir fiyattan ziyade piyasa fiyatının biraz üzerinde ödeme yapılacağı garantisinin verilmesidir. Piyasa fiyatının üzerindeki tutar ya tüketiciden ya da kamu bütçesi tarafından karşılanmaktadır. Üretici hem sattığı enerjiden hem de prim garantisinden gelir elde etmektedir.

Kota uygulaması: Yeşil sertifika, yeşil etiket, yenilenebilir belgesi olarak da adlandırılan bu teşvik mekanizması ile hükümetler, elektrik enerjisi üretiminin belirli bir bölümünün yenilenebilir kaynaklardan üretilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu teşvik mekanizması ile yenilenebilir enerji sektöründe dolaşımda bulunan para miktarı artmaktadır. Kotasının üzerinde üretim yapan üretici, bu fazlalığı kotasını dolduramayan üreticiye satabilmektedir. Ancak bu uygulamanın sağlıklı olarak işleyebilmesi için kotasını

tutturamayan üreticilere uzun vadede caydırıcı cezaların getirilmesi gerekmektedir (Eser ve Polat, 2015, s.206-207; Yalkı, 2014, s.65-66; Bayraktar ve Kaya, 2016, s.438).

- **Mali teşvikler:** Vergi muafiyeti ve indirimleri, ihale yöntemiyle teşvik, yatırım ve üretim teşvikleri, sübvansiyon ve hibeleri kapsamaktadır.

Bu teşvikler üretim, tüketim ve yatırım aşamasında uygulanabilmekte ve düzenleyici teşviklerin tamamlayıcısı olarak kullanılabilmektedir.

Vergi muafiyeti ve indirimleri: Hükümetler, yenilenebilir kaynakların rekabet gücünün artırılması ve haksız rekabetin ortadan kaldırılması amacıyla başta CO2 vergisi olmak üzere, enerji vergileri, çevre vergisi istisnası, Katma Değer Vergisi [KDV] muafiyeti, emlak vergisi muafiyeti, hızlandırılmış amortismanlar gibi teşvikler uygulamaktadır. Vergiler, yenilenebilir kaynakların kullanımında artırıcı, fosil kaynakların kullanımında ise azaltıcı bir niteliğe sahip olmaktadır. Ancak bu teşviklerin kamu bütçesinden finanse edilmesi nedeniyle kamu finansmanı açısından olumsuzluklara neden olabilmektedir.

İhale yöntemiyle teşvik: Büyük projeler için belirli bir bölgeye tesis kurulması amacıyla düşük maliyet garantisi sunan bir teşvik mekanizmasıdır. İhaleyi kazanan yatırımcıya üretim için 10-25 yıl arasında sabit fiyat garantisi sunmaktadır.

Yatırım ve üretim teşvikleri: Yatırım teşvikleri, yenilenebilir enerji kaynaklı projelerin ve teknolojilerin geliştirilmesi amacıyla toplam maliyetin belirli bir yüzdesi ya da kurulu kWh başına uzun dönemli, düşük faizli kredi ve vergi avantajları şeklinde verilmektedir. Üretim teşvikleri ise kuruluştan sonraki aşamada fiyat odaklı olarak verilmektedir.

Sübvansiyon ve hibeler: Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde gerekli altyapı olanaklarının sağlanması amacıyla hibe ve kredilerin kullanılması şeklinde verilmektedir. Yatırım bedellerinin belirli bir kısmı kadar sübvansiyon uygulanmaktadır.

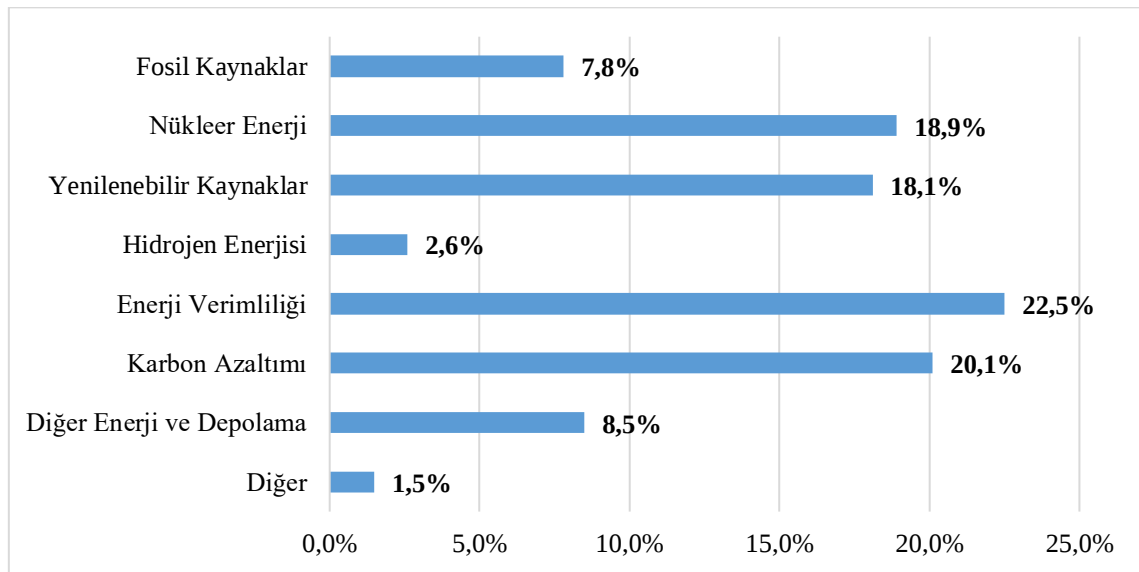
Bu teşvik mekanizmalarıyla birlikte danışmanlık desteği, yer tahsisi gibi teşvikler de verilmektedir (Eser ve Polat, 2015, s.207-208; Sülükçüler, 2018, s.97; Yalkı, 2014, s.67).

Yerli ve yabancı yatırımcıları destekleyici ve yatırımcılara cazip fırsatlar sunan bu teşvik mekanizmaları ile elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı artmakta ancak bu artış her ülkede farklı seviyelerde gerçekleşmektedir. Teşvik mekanizmalarının ülke tarafından iyi analiz edilmesi, zamanla değişen koşullara uyum

sağlaması ve ülke çıkarlarını koruyucu bir nitelik taşıması büyük önem arz etmektedir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.260).

2.1.9.3. Ar-Ge harcamaları

Elektrik üretiminde fosil kaynakların kullanımına bağlı olarak küresel ısınmanın etkisinin giderek arttığı günümüzde, birçok ülke enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yenilenebilir kaynaklara yönelmiştir. Bu kaynakların kullanımı ile elde edilen elektrik miktarının ve veriminin artırılması amacıyla Ar-Ge çalışmaları yapılmakta ve bu kaynaklara yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Ülkelerin ekonomik, sosyal ve siyasi yapıları, teknoloji kapasiteleri, enerji güvenliğine yönelik bakış açıları gibi faktörler, enerji alanında yapılacak olan Ar-Ge bütçelerinin belirlenmesinde önemli işlevlere sahiptir. Bununla birlikte Ar-Ge bütçelerinin büyüklüğü ve yatırım yapılacak alanların belirlenmesi, yatırımların uzun vadedeki istikrarı gibi faktörler de kamunun ekonomik ve siyasi desteğini ortaya koyması açısından önem taşımakta ve özel sektörün yatırım önceliklerini saptayabilmesi yönünde büyük katkılar sağlamaktadır (Teke, 2013, s.55).



Kaynak: IEA, 2017, evolution of public energy RD&D by technology.

Şekil 2.10. Enerji alanında küresel Ar-Ge harcamaları (2017)

Şekil 2.10.'da 2017 yılında enerji alanında yapılan Ar-Ge harcamalarının konusu verilmiştir. Ar-Ge harcamalarının, nükleer enerji dâhil %26.7'sini fosil kaynaklar; hidrojen enerjisi dâhil %20.7'sini yenilenebilir kaynaklar oluşturmaktadır. %22.5 ile enerji verimliliği, %20.1 ile C4 azaltımı, %8.5 ile diğer enerji ve depolama Ar-Ge harcamalarında önemli bir yer tutmaktadır.

Yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaşması ve daha az maliyetle üretiminin gerçekleşmesi amacıyla Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Ar-Ge çalışmaları ile desteklenen teknolojik gelişim, enerjinin üretim, tüketim, dağıtım ve iletim alanında daha etkin ve verimli kullanımını sağlamaktadır. Sürdürülebilir enerji altyapısının oluşması, enerji piyasasının büyümesi, yeni istihdam ve ihracat alanlarının oluşmasında da Ar-Ge harcamaları önemli bir rol oynamaktadır (Kılıç ve Urgan, 2016, s.158).

Ar-Ge çalışmalarını harekete geçiren iki ana unsur bulunmaktadır. Bunlar: üretici ve tüketicinin talepleridir (Gürak, 2006, s.11). Örneğin, çevresel problemlerin artması, enerji fiyatlarının yüksek olması gibi nedenlerle tüketicilerin enerjide dışa bağımlılık, yaşanan darboğazlar nedeniyle maliyetlerin artması gibi nedenlerle üreticilerin talepleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik Ar-Ge çalışmalarını harekete geçirmektedir.

Tablo 2.14. Seçilmiş ülkelerde enerjinin Ar-Ge harcamalarındaki yeri (%) (2017)

Ülkeler	Ar-Ge Harcamaları	Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Payı	Elektrik Üretiminde Fosil Payı
Meksika	19.7	15.9	84.1
Japonya	12.1	16.2	83.8
Güney Kore	8.2	4.1	95.9
Kanada	7.4	66.2	33.8
Fransa	6.3	17.2	82.8
Avustralya	5.8	15.8	84.2
Almanya	4.8	34.2	65.8
Çek Cumhuriyeti	4.3	12.4	87.6
İsveç	4.0	57.5	42.5

Kaynak: IEA, 2017, share of energy in total R&D; Enerdata, 2019, share of renewables in electricity production (%) verilerinden derlenmiştir.

Tablo 2.14.'te 2017 yılında enerjinin toplam Ar-Ge harcamalarındaki payının yüksek olduğu ülkeler verilmiştir. Ancak bu ülkeler tarafından yapılan Ar-Ge harcamalarının öncelikli konuları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Elektrik üretiminde, Meksika, Japonya, Güney Kore gibi ülkelerde ağırlıklı olarak fosil kaynaklar; Kanada, Almanya, İsveç gibi ülkelerde ise yenilenebilir kaynaklar kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik Ar-Ge harcamalarının artmasıyla;

- Teknolojik gelişim sağlanmakta,
- Maliyetler azalmakta,
- Kullanımı yaygınlaşmakta,
- Enerjinin etkin ve verimli kullanımı sağlanmakta,
- Yeni istihdam alanları oluşmakta,
- Yerli üretim artmakta,
- Enerji ithalatı azalarak, enerji ihracatı artmakta,
- Ekonomik büyüme sağlanmaktadır.

Ar-Ge harcamaları, yenilenebilir teknolojilerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Bu nedenle dünya genelinde Ar-Ge harcamaları artırılarak elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu kaynakların kullanımı bugün ve gelecek açısından büyük önem taşımaktadır (Teke, 2013, s.61).

2.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

2.2.1. Türkiye’nin enerji sorunu

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla zengin yenilenebilir kaynak potansiyellerine sahip bir ülkedir. Ancak sahip olduğu fosil kaynak rezerv miktarları düşük bir seviyededir. Türkiye’de sürekli artan enerji ihtiyacının karşılanmasında ağırlıklı olarak fosil kaynaklar kullanılmakta, bu durum Türkiye’de, enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu oluşturarak ekonomik, sosyal, siyasi ve çevresel alanda olumsuzluklara neden olmaktadır.

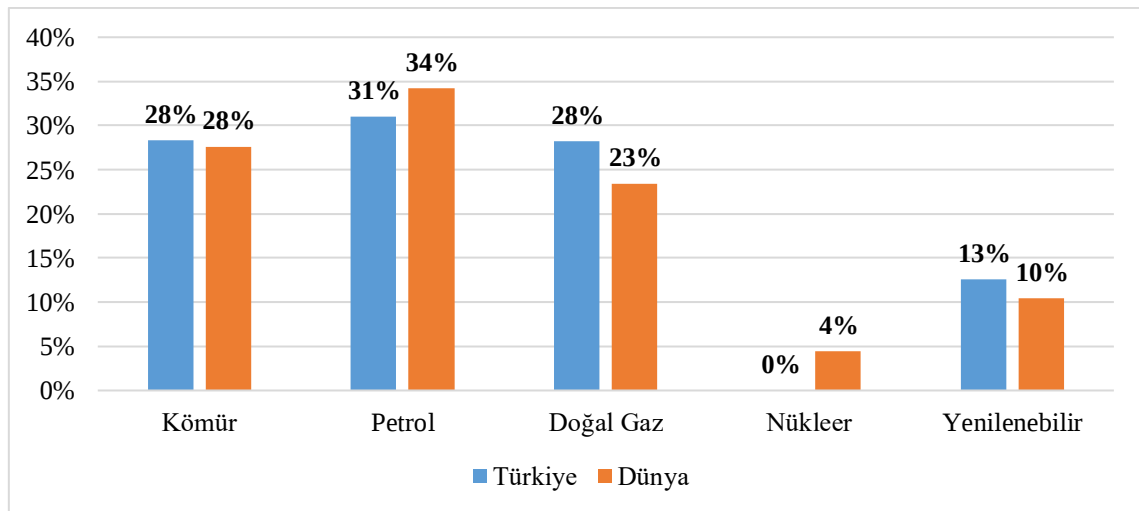
Türkiye'nin enerji yapısına ilişkin temel tespitler şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyellerinin yüksek olması,
- Fosil enerji kaynaklarının rezervlerinin düşük olması,
- Enerji ve elektrik talebinin sürekli olarak artması,
- Enerjide dışa bağımlılığın yüksek olması,
- Enerji kaynaklı cari açık sorunu yaşanması,
- Kişi başına elektrik tüketiminde gelişmiş ülkelerin altında yer alması,
- Elektrik enerji sistemindeki kayıp-kaçak oranının yüksek olmasıdır (Narin, 2008, s.50; Onat, 2018, s.8-10).

Türkiye'nin enerji yapısına ilişkin temel tespitlerin belirlenmesinden sonra Türkiye'nin enerji sorununu, enerji ve elektrik enerjisi olmak üzere iki bölümde inceleyebiliriz:

A. Türkiye'de enerji

Türkiye'de 2017 yılı toplam enerji üretimi 37 mtoe iken; toplam enerji tüketimi 147 mtoe'dir. Dünyada ise enerji üretimi 14.068 mtoe iken; enerji tüketimi 14.070 mtoe'dir. Dünya enerji üretiminde Türkiye'nin payı %0.26, enerji tüketiminde ise %1.04'tür (http-14 ve http-15).

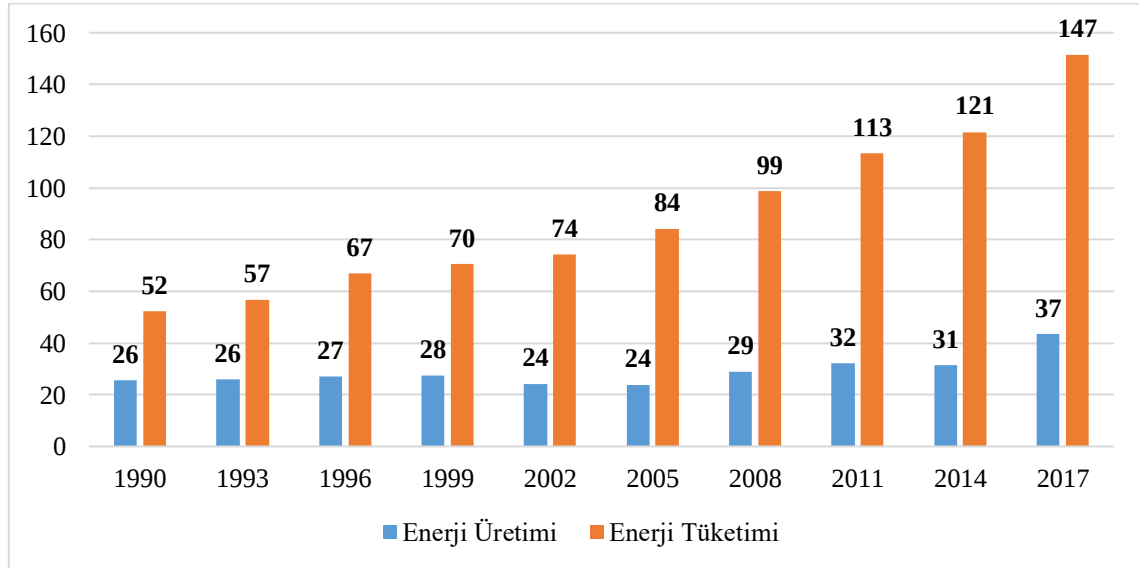


Kaynak: BP, 2018, primary energy: consumption by fuel verilerinden derlenmiştir.

Şekil 2.11. Kaynaklarına göre enerji tüketimi (2017)

Türkiye’de ve dünyada enerji tüketiminde en yüksek paya sahip olan kaynaklar sırasıyla; petrol, kömür, doğal gaz, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer enerjidir. Petrol, %31 ile Türkiye’de, %34 ile dünyada enerji tüketiminde en yüksek paya sahip olan enerji kaynağıdır. Enerji tüketiminde kömürün payı hem Türkiye’de hem de dünyada %28; doğal gazın payı Türkiye’de %28, dünyada %23; yenilenebilir kaynakların payı Türkiye’de %13, dünyada %10; Türkiye’de kullanılmayan nükleer payı dünyada %4’tür. Türkiye petrol ve nükleer tüketiminde dünya ortalamasının altında; kömür, doğal gaz ve yenilenebilir kaynakların tüketiminde ise dünya ortalamasının üzerinde yer almaktadır.

Türkiye’de nüfusun artışı, sanayileşme, hızlı kentleşme, ekonomik büyüme ve refah artışına paralel olarak enerjiye olan talep sürekli olarak artmaktadır. Bu unsurlara bağlı olarak 1980 sonrası dönemde enerji tüketiminde hızlı bir artış sürecine girilmiştir (Yılmaz, 2012, s.33; Karahan, 2014, s.113). Artan enerji ihtiyacı, Türkiye’nin sahip olduğu kısıtlı kaynaklarla karşılanamamakta, bu nedenle enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark gün geçtikçe artmaktadır (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.271). Bkz. Şekil 2.12.



Kaynak: Enerdata, 2019, total energy production (mtoe) ve total energy consumption (mtoe).

Şekil 2.12. Türkiye’de enerji üretim ve tüketimin yıllar itibariyle değişimi (mtoe)
(1990-2017)

1990 yılında Türkiye’de 26 mtoe enerji üretilmiş iken; 52 mtoe enerji tüketilmiştir. 1990-2017 yılları arasında enerji üretiminde %45; enerji tüketiminde ise %180 oranında artış yaşanmıştır. Yıllar itibariyle bakıldığında enerji üretimi ve tüketimi arasındaki farkın gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu durumda Türkiye, ürettiği enerjiden daha fazlasını tüketen ülkeler arasında yer almakta ve mutlak anlamda enerjide dışa bağımlı bir ülke konumunda bulunmaktadır (Akbaş ve Ürün, 2016, s.103). Bkz. Tablo 2.15.

Tablo 2.15. *Türkiye’de enerjide dışa bağımlılığın yıllar itibariyle değişimi (1990-2017)*

Yıllar	Enerji Üretimi (mtoe)	Enerji Tüketimi (mtoe)	Enerji Ticaret Dengesi (mtoe)	Dışa Bağımlılık (%)
1990	26	52	28	51
1993	26	57	31	54
1996	27	67	41	59
1999	28	70	43	61
2002	24	74	51	67
2005	24	84	62	72
2008	29	99	72	71
2011	32	113	81	72
2014	31	121	94	74
2017	37	147	117	75

Kaynak: Enerdata, 2019, total energy production (mtoe), total energy consumption (mtoe) ve energy balance of trade (mtoe) verilerinden derlenmiştir.

Not: Enerji ticaret dengesi=enerji ithalatı–enerji ihracatı

Tablo 2.15’e göre 2017 yılında Türkiye’de 37 mtoe enerji üretilmiş iken; 147 mtoe enerji tüketilmiştir. Enerji ithalatı ve ihracatı arasındaki fark ise 117 mtoe’dir. Bu durum Türkiye’yi %75 oranında enerjide dışa bağımlı bir konuma getirmiştir. Yıllar itibariyle bakıldığında enerji üretiminin sürekli olarak enerji tüketimi altında yer alması, enerji ithalatı ve ihracatı arasındaki farkın giderek artmasına neden olmuştur. Türkiye’de 1990 yılı enerji yapısı %51 oranında; 2017 yılı enerji yapısı ise %75 oranında dışa bağımlıdır. Tabloda görüldüğü üzere enerji tüketiminin sürekli olarak artması, buna karşın enerji üretiminin bu artışı karşılayamaması, enerji ithalatını artırarak, enerjide dışa bağımlılık sorununun giderek derinleşmesine neden olmuştur.

Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığının yüksek olması, hem ekonomik hem de enerji arz güvenliği açısından oldukça büyük problemlere yol açmaktadır. Fosil kaynak

fiyatlarının sürekli olarak artması, enerji ithalatına ödenen döviz miktarlarını artırarak, yüksek cari açık sorununa neden olmaktadır (Yılmaz, 2012, s.51).

Tablo 2.16. *Türkiye’de cari işlemler hesabı (1990-2017)*

Yıllar	Cari İşlemler Hesabı (milyon \$)	Yıllar	Cari İşlemler Hesabı (milyon \$)
1990	-2.625	2004	-14.198
1991	250.000	2005	-20.980
1992	-974.000	2006	-31.168
1993	-6.433	2007	-36.949
1994	2.631	2008	-39.425
1995	-2.339	2009	-11.358
1996	-2.437	2010	-44.616
1997	-2.638	2011	-74.402
1998	2.000	2012	-47.963
1999	-925.000	2013	-63.642
2000	-9.920	2014	-43.610
2001	3.760	2015	-32.145
2002	-626.000	2016	-33.139
2003	-7.554	2017	-47.347

Kaynak: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası [TCMB], 2019, s.11-12.

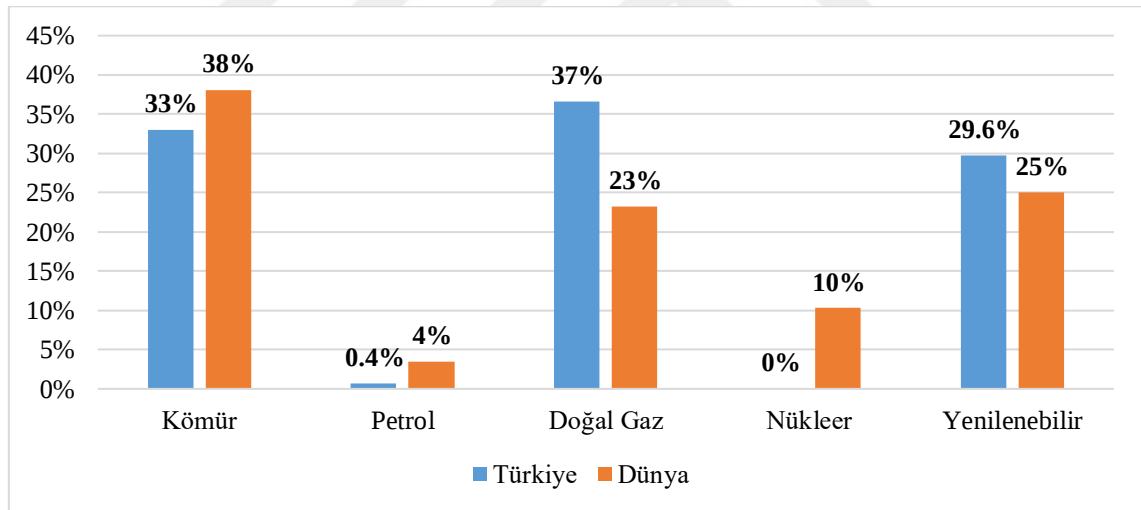
Bir ülkenin ihraç ettiği mal ve hizmetlerin ithal ettiği mal ve hizmetlerden az olması durumunda **cari açık**; tam tersi durumda ise **cari fazla** ortaya çıkmaktadır (Ertürk ve Erdoğru Ertürk, 2018, s.108). Tablo incelendiğinde, Türkiye’nin genel anlamda cari açık veren bir ülke olduğu görülmektedir. Bu yıllar arasında Türkiye sadece 1991, 1994, 1998 ve 2001 yıllarında cari fazla vermiş, 2001 yılı sonrası dönemde ise cari açık sorunu giderek derinleşmiştir. 2017 yılında 47.347 milyon \$ olan cari açık, 1990 yılına kıyasla %1704 oranında artmıştır. Cari açığın önemli bir bölümünü enerji ithalatı oluşturmakta olup, 2017 yılı cari açığın %79 (37.204 milyon \$)’u enerji ithalatından kaynaklanmıştır (TCMB, 2019, s.24).

Türkiye’de yenilenebilir kaynak potansiyellerinin yüksek; fosil kaynak rezervlerinin düşük olmasına karşın, enerji ihtiyacının karşılanmasında yüksek oranda fosil kaynakların tercih ediliyor olması, enerji arz güvenliği, enerjide dışa bağımlılık, cari açık gibi birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Türkiye’nin enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını artırarak enerji kaynaklarını çeşitlendirmesi

gerekmektedir. Yenilenebilir kaynakların kullanımının artması, fosil kaynakların kullanımını azaltarak, enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerji ithalatının azalması ve cari açığı azaltarak cari dengenin sağlanmasına katkı yapmaktadır. Böylelikle bu sorunların çözümünde yenilenebilir kaynakların kullanımının büyük önem taşımakta olduğunu söyleyebiliriz.

B. Türkiye’de elektrik enerjisi

Türkiye’de 2017 yılı toplam elektrik üretimi 297 TWh iken; toplam elektrik tüketimi 248 TWh’dir. Dünyada ise elektrik üretimi 25.691 TWh iken; elektrik tüketimi 22.189 TWh’dir. Dünya elektrik üretiminde Türkiye’nin payı %1.16, elektrik tüketiminde ise %1.12’dir (http-16 ve http-17).

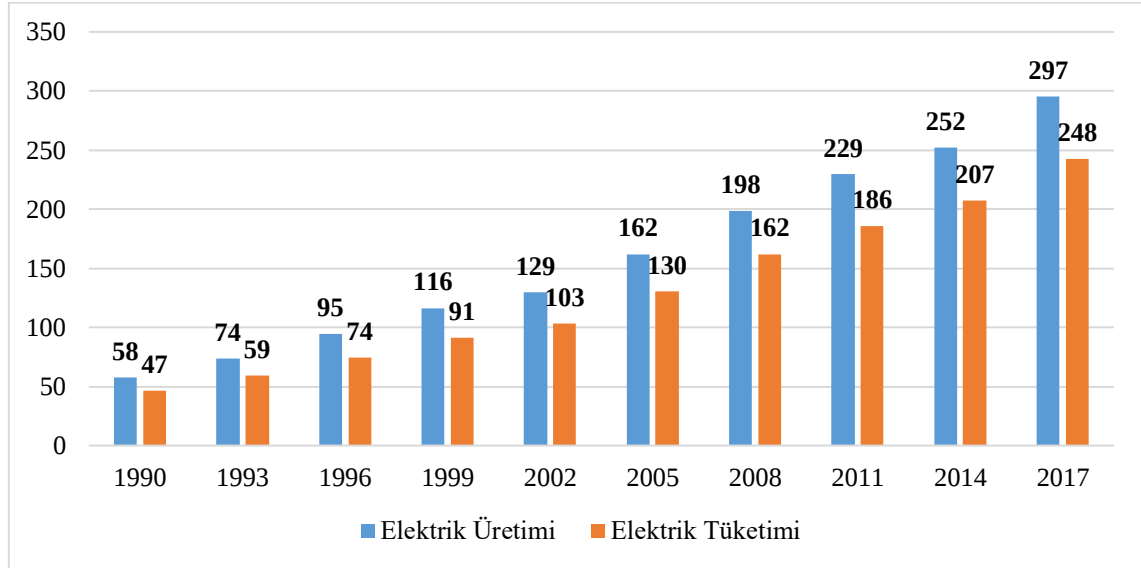


Kaynak: BP, 2018, electricity generation by fuel verilerinden derlenmiştir.

Şekil 2.13. Kaynaklarına göre elektrik üretimi (2017)

Türkiye’de elektrik üretiminde en yüksek paya sahip olan kaynaklar sırasıyla; %37 ile doğal gaz, %33 ile kömür, %29.6 ile yenilenebilir kaynaklar, %0.4 ile petrol olup, nükleer enerji kaynaklı üretim yapılmamaktadır. Dünyada ise elektrik üretiminde en yüksek paya sahip olan kaynaklar sırasıyla; %38 ile kömür, %25 ile yenilenebilir

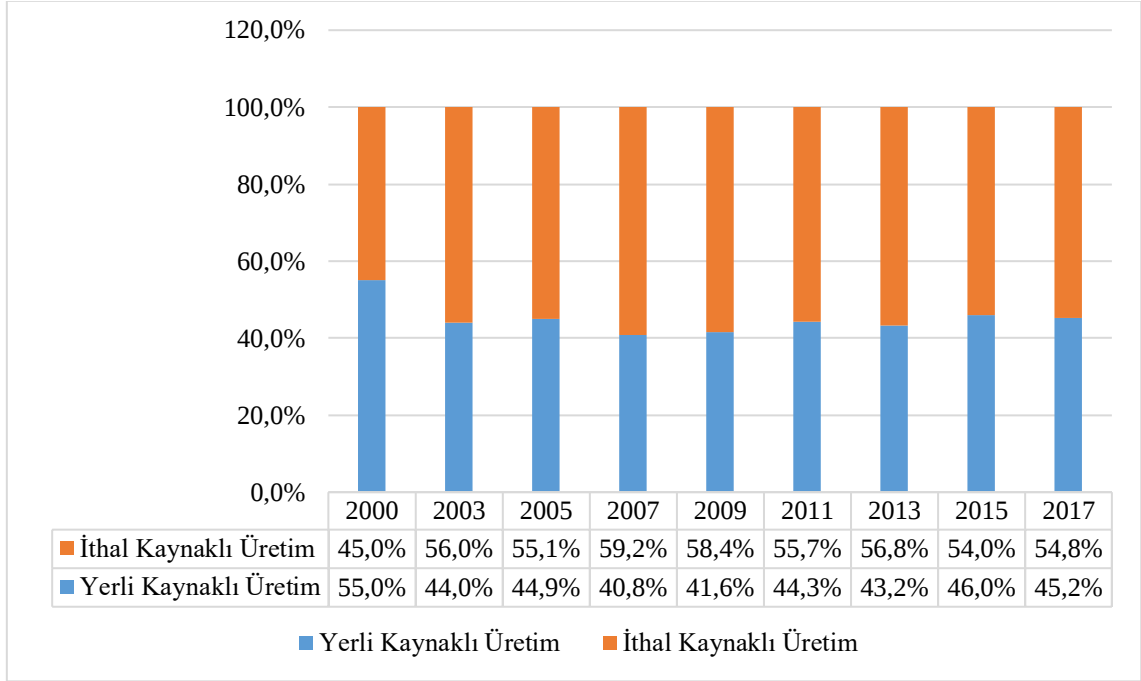
kaynaklar, %23 ile doğal gaz, %10 ile nükleer ve %4 ile petroldür. Türkiye kömür, petrol ve nükleer kaynaklı elektrik üretiminde dünya ortalamasının altında; doğal gaz ve yenilenebilir kaynaklı elektrik üretiminde ise dünya ortalamasının üzerinde yer almaktadır.



Kaynak: Enerdata, 2019, electricity production (TWh) ve electricity domestic consumption (TWh).

Şekil 2.14. Türkiye’de elektrik üretim ve tüketimin yıllar itibariyle değişimi (TWh) (1990-2017)

1990 yılında Türkiye’de 58 TWh elektrik üretilmiş iken; 47 TWh elektrik tüketilmiştir. 1990 yılından 2017 yılına kadar elektrik üretiminde %412; elektrik tüketiminde ise %428 oranında artış yaşanmıştır. 1990 yılında 11 TWh olan elektrik üretimi ve tüketimi arasındaki fark, 2017 yılında 49 TWh’ye yükselmiştir. Yıllar itibariyle bakıldığında elektrik üretiminin sürekli olarak elektrik tüketimi üzerinde bir seyir izlediği görülmektedir. Ancak burada elektrik üretimindeki yerli ve ithal kaynak paylarına bakılarak elektrik enerjisinde dışa bağımlılığın açıklanması daha yararlı olabilmektedir. Bkz. Şekil 2.15.



Kaynak: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi [TEİAŞ], 2017, yerli ve ithal kaynaklı elektrik enerjisi üretiminin toplam Türkiye üretimi içindeki payı.

Şekil 2.15. Türkiye’de elektrik üretimindeki yerli ve ithal kaynaklar (2000-2017)

Türkiye’de 2000 yılında üretilen toplam elektrik enerjisinin %55’i yerli kaynakların, %45’i ise ithal kaynakların kullanımı ile elde edilmiştir. 2000 yılı sonrası döneme bakıldığında ise ithal kaynakların kullanımı yerli kaynakların kullanımının üzerinde olup, 2017 yılında toplam elektrik üretiminin %45.2’si yerli kaynakların, %54.8’i ise ithal kaynakların kullanımı ile elde edilmiştir. 2000 yılı elektrik enerjisi yapısı %45 oranında; 2017 yılı elektrik enerjisi yapısı ise %54.8 oranında dışa bağımlıdır.

Tablo 2.17. Türkiye’de elektrik enerjisi görünümünün yıllar itibariyle değişimi (GWh) (1990-2017)

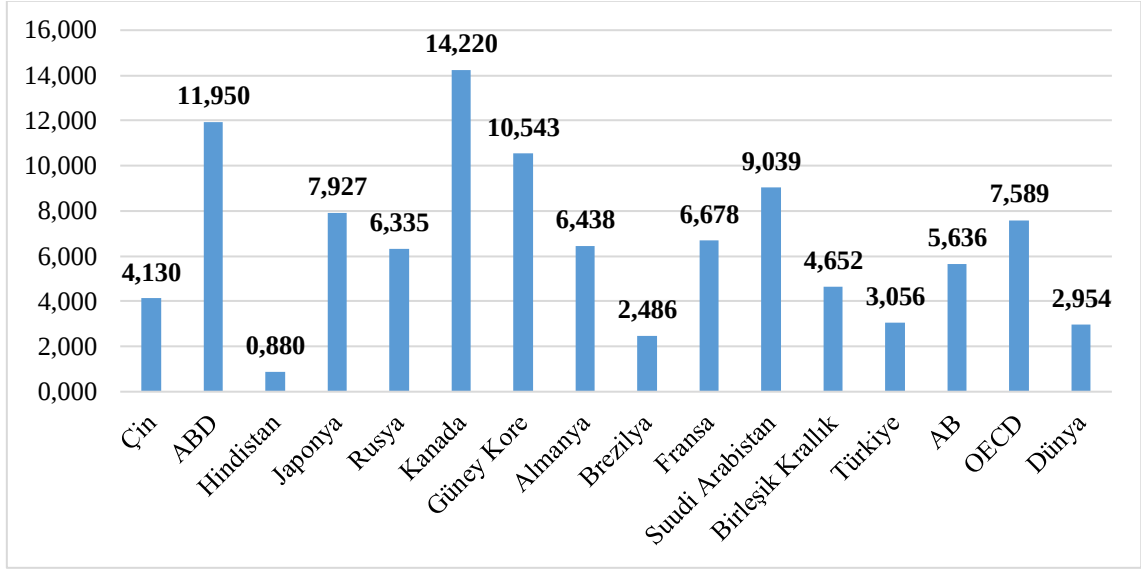
Yıllar	Brüt Üretim	İthalat	İhracat	Brüt Talep*
1990	57.543	176	907	56.812
1993	73.808	213	589	73.432
1996	94.862	270	343	94.789
1999	116.440	2.330	285	118.485
2002	129.400	3.588	435	132.553
2005	161.956	636	1.798	160.794
2008	198.418	789	1.122	198.085
2011	229.395	4.556	3.645	230.306
2014	251.963	7.953	2.696	257.220
2017	297.278	2.728	3.304	296.702

Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye brüt elektrik enerjisi üretim-ithalat-ihracat ve talebinin yıllar itibariyle gelişimi.

*Brüt Talep=Brüt Üretim+İthalat-İhracat

1990-2017 yılları arasında elektrik enerjisi ihtiyacına paralel olarak brüt elektrik üretimi (%417) ve brüt elektrik talebi (%422) sürekli olarak artmıştır. Elektrik enerjisinde dışa bağımlı bir konumda bulunan Türkiye’de, yıllar itibariyle elektrik ithalatı artmış, bununla birlikte elektrik ihracatında da artış yaşanmıştır. 1990 yılında elektrik ithalatı 176 GWh iken, 2017 yılında %1450 artarak 2.728 GWh’ye yükselmiş; elektrik ihracatı ise 1990 yılında 907 GWh iken, 2017 yılında %264 artarak 3.304 GWh’ye yükselmiştir. Bu yıllar arasında elektrik ithalatının elektrik ihracatından daha yüksek oranda artması, elektrik enerjisinde dışa bağımlılık sorununun giderek derinleşmesine neden olmuştur.

Bir ülkede kişi başına elektrik tüketimi, o ülkenin gelişimini gösteren en önemli parametrelerden biridir. Kişi başına elektrik tüketimi ve GSYİH arasındaki ilişki, enerjinin ekonomik faaliyetlerdeki rolü hakkında fikir vermektedir (Rumeli, 2007, s.314). Türkiye’de elektrik ihtiyacının sürekli olarak artmasına karşın, kişi başına elektrik tüketiminde gelişmiş ülkelerin altında yer almaktadır. Bkz. Şekil 2.16.



Kaynak: Enerdata, 2019, electricity domestic consumption (TWh); World bank, 2017, population, total verilerinden derlenmiştir.

Şekil 2.16. Seçilmiş ülkelerde kişi başına elektrik tüketimi (kWh) (2017)

2017 yılı Türkiye kişi başına elektrik tüketimi 3.056 kWh olup, dünya ortalamasına yakın bir seviyededir. Bu değer, Kanada (14.220 kWh), ABD (11.950 kWh), Güney Kore (10.543 kWh) gibi gelişmiş ülkelerin oldukça altında yer alırken; gelişmekte olan ülkelerden Hindistan (0.880 kWh) ve Brezilya (2.486 kWh)'nın üzerinde yer almaktadır.

Türkiye'nin bir diğer önemli sorunu da elektrik enerjisindeki kayıp-kaçak oranlarının yüksek olması ve yıllar itibariyle bu sorunun giderilememesidir. Tablo 2.18.'de Türkiye'deki şebekeye verilen elektrik miktarındaki kayıp-kaçak oranları verilmiştir.

Tablo 2.18. Türkiye’de elektrik enerjisindeki kayıp-kaçak oranlarının yıllar itibariyle değişimi (1990-2017)

Yıllar	Şebekeye Verilen* (GWh)	Kayıp-Kaçak	
		GWh	%
1990	54.407	6.680	12.3
1993	70.077	10.252	14.6
1996	90.355	15.855	17.5
1999	113.032	21.545	19.1
2002	127.315	23.932	18.8
2005	156.105	24.044	15.4
2008	190.551	27.482	14.4
2011	222.114	32.369	14.6
2014	247.402	37.331	15.1
2017	286.986	34.659	12.1

Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye elektrik enerjisi üretim tüketim ve kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi.

*Şebekeye Verilen=Net Üretim+İthalat

1990 yılında şebekeye 54.407 GWh elektrik verilmiş ancak bu miktarın 6.680 GWh (%12.3)’yi kayıp-kaçak olarak belirtilmiştir. 1990-2017 yılları arası şebekeye verilen elektrik miktarı sürekli olarak artarken, kayıp-kaçak miktarında da artış yaşanmıştır. 1990 yılına kıyasla 2017 yılında şebekeye verilen elektrik miktarı %427 artarak, 286.986 GWh’ye; kayıp-kaçak miktarı ise %419 artarak 34.659 GWh’ye yükselmiş, kayıp-kaçak oranı ise neredeyse aynı kalmıştır.

Türkiye’nin sahip olduğu bu sorunların çözümü için yapılması gerekenler şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi,
- Yeni rezervlerin bulunması,
- Bilinen rezervlerin geliştirilmesi,
- Yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması,
- Yerli üretimin artırılarak, enerji ithalatının azaltılması,
- Enerjide dışa bağımlılık sorununun giderilmesi,
- Cari dengenin sağlanması,
- Enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması,
- Sahip olunan enerji potansiyellerinin kullanımına yönelik Ar-Ge harcamalarının desteklenmesi,

- Yenilenebilir kaynak teknolojilerinin geliştirilmesi ve yatırımların artırılması,
- Yatırımcıları teşvik edecek plan, program ve mevzuat değişikliklerinin yapılmasıdır (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.28; Güner ve Turan, 2017, s.51; Kılıç ve Urgan, 2016, s.157).

Türkiye’de hem enerji hem de elektrik üretiminde yüksek oranda fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Başta elektrik olmak üzere enerji ihtiyacının sürekli artması buna karşın fosil kaynak rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle Türkiye’nin sahip olduğu yerli kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanımı büyük önem taşımaktadır. Türkiye, yenilenebilir kaynakların potansiyelleri bakımından avantajlı bir konumda bulunmaktadır. Fosil kaynakların çok fazla geliştirilmesinin mümkün olmaması, yenilenebilir kaynakların yerli, kesintisiz, ekonomik, güvenilir, bulunabilirliği yüksek, temiz ve çevreci özelliklere sahip olması nedeniyle enerji üretimi ve tüketiminde bu kaynakların kullanımı stratejik bir öneme sahiptir. Yenilenebilir kaynakların kullanımı yaygınlaştırılarak, Türkiye’nin sahip olduğu potansiyellerden daha fazla faydalanılması sağlanmalı, yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımında enerji verimliliği artırılmalı, bu amaçlar doğrultusunda siyasi ve iktisadi kararlar alınarak plan, program ve politikalarda öncelikli olarak yer almalıdır. Bu sayede enerjide arz güvenliği, uluslararası rekabet gücü, cari denge, sürdürülebilir kalkınma sağlanarak ekonomik ve sosyal alanlarda refah seviyesi yükselecektir (Çukurçayır ve Sağır, 2008, s.271; Kılıç ve Urgan, 2016, s.148-149).

2.2.2. Türkiye’de yenilenebilir enerjinin genel görünümü

Türkiye, coğrafi konumu ve jeopolitik yapısı nedeniyle tüm yenilenebilir kaynaklardan faydalanma imkânına sahip bir ülkedir. Yer şekil özellikleri nedeniyle önemli bir hidrolik enerji potansiyeline, birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerji potansiyeline, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline ve iklim özellikleri nedeniyle önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. Ancak bu kaynakların kullanımı düşük bir seviyede gerçekleşmektedir (Koç ve Kaya, 2015, s.40; Ertürk ve Erdinç Ertürk, 2018, s.105).

Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımından bahsetmeden önce bu kaynakların potansiyellerinden bahsedelim:

- **Güneş enerjisi:** Güneş dünyaya saniyede yaklaşık 170 milyon MW enerji göndermektedir (http-18). Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [GEPA]’na göre Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin yıllık ortalama 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4.18 kWh/m².gün) ve güneşlenme süresinin yıllık ortalama 2.741 saat (günlük ortalama 7.5 saat) olduğu tespit edilmiştir (http-19). 2017 yılında işletmede olan güneş enerji santral [GES]’lerinin toplam kurulu gücü 3.421 MW (%4) olup, 2.889 GWh (%1) elektrik üretilmiştir (TEİAŞ, 2017).
- **Rüzgâr enerjisi:** Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2’si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası [REPA]’na göre Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirtilmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1.30’una denk gelmektedir (http-1). 2017 yılında işletmede olan RES’lerin toplam kurulu gücü 6.516 MW (%7.7.) olup, 17.904 GWh (%6) elektrik üretilmiştir (TEİAŞ, 2017).
- **Jeotermal enerji:** 35.500 MW’lık jeotermal ısı kapasitesine (görünür ısı miktarı) sahip olan Türkiye, dünyanın en yüksek jeotermal potansiyele sahip 7. ülkesi konumundadır. Jeotermal kaynaklı elektrik üretiminde ise 4. sırada yer almaktadır (http-20). 2017 yılı toplam kurulu gücü 1.064 MW (%1.3) olup, jeotermal kaynaklı 6.128 GWh (%2) elektrik üretilmiştir (TEİAŞ, 2017).
- **Hidrolik enerji:** Türkiye teorik hidrolik potansiyeli, dünya teorik hidrolik potansiyelinin %1’ine (433 milyar kWh); ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16’sına (140 milyar kWh/yıl) denk gelmektedir (http-21). 2017 yılında işletmede olan HES’lerin toplam kurulu gücü 27.273 MW (%32) olup, 58.219 GWh (%20) elektrik üretilmiştir (TEİAŞ, 2017).
- **Biyokütle enerjisi:** Türkiye’nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8.6 mtoe ve üretilebilecek biyogaz miktarının 1.5-2 mtoe olduğu belirtilmiştir (http-22). 2017 yılında toplam kurulu gücü 642 MW (%0.8) olup, biyokütle kaynaklı 2.972 GWh (%1) elektrik üretilmiştir (TEİAŞ, 2017).
- **Deniz kökenli enerji:** Türkiye’nin gel-git enerji potansiyeli bulunmamakta, deniz kökenli enerji grubu içerisinde deniz dalga enerjisi ve boğazlardaki deniz akıntı enerjisinden faydalanma imkânı bulunmaktadır. Dalga enerjisi üretmek için en

elverişli yerler; Batı Karadeniz, Ege ve Akdeniz bölgeleridir. Bu bölgelerde rüzgâr potansiyelinin yüksek olmasından dolayı yıllık ortalama 4.17 kWh/m² gelişmiş dalga potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyele sahip bölgelerde yıllık ortalama 10 TWh elektrik üretilebilmektedir (Ürün ve Soyu, 2016, s.40-41; Sülükçüler, 2018, s.62).

- **Hidrojen enerjisi:** Dünyadaki üç hidrojen rezervinden biri Türkiye’de Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu bu bölgede 100-180 yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek seviyede H₂S’nin mevcut olduğu belirtilmiştir (Sülükçüler, 2018, s.63).

Tablo 2.19.’da enerji kaynaklarının potansiyelleri, kurulu güçleri ve elektrik üretimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

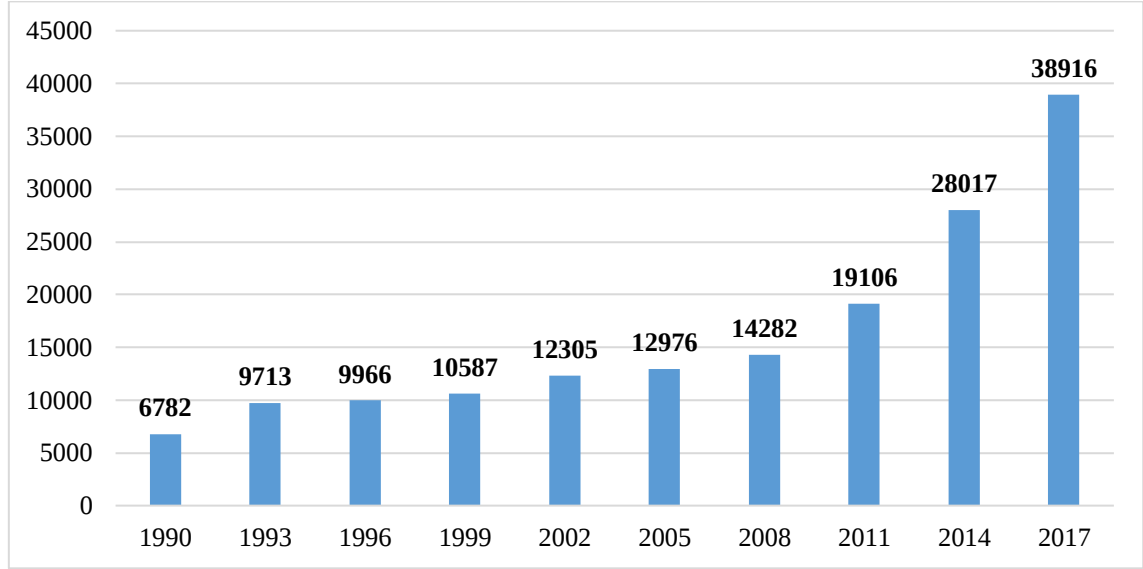
Tablo 2.19. *Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının genel görünümü (2017)*

Kaynaklar	Potansiyel (Yıllık Ortalama)	Kurulu Güç (MW)	Elektrik Üretimi (GWh)
Güneş	1.527 kWh/m ²	3.421	2.889
Rüzgâr	48.000 MW	6.516	17.904
Jeotermal	35.500 MW	1.064	6.128
Hidrolik	433 milyar kWh (teorik) 140 milyar kWh (ekonomik)	27.273	58.219
Biyokütle	8.6 mtoe	642	2.972
Toplam	-	38.916	88.112

Kaynak: [http-23](#); TEİAŞ, 2017, Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi ve Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

Tablo 2.19’a baktığımızda önemli ölçüde yenilenebilir kaynak potansiyellerine sahip olan Türkiye’nin bu potansiyellerden yeterince faydalanmadığını söyleyebiliriz. 2017 yılında yenilenebilir kaynakların toplam kurulu gücü 38.916 MW olup, en yüksek kurulu güce sahip enerji kaynakları sırasıyla; hidrolik (27.273 MW), rüzgâr (6.516 MW), güneş (3.421 MW), jeotermal (1.064 MW) ve biyokütle (642 MW)’dir. 2017 yılı yenilenebilir kaynaklı toplam elektrik üretimi 88.112 GWh olup, elektrik üretiminde en yüksek paya sahip enerji kaynakları ise sırayla; hidrolik (58.219 GWh), rüzgâr (17.904 GWh), jeotermal (6.128 GWh), biyokütle (2.972 GWh) ve güneş (2.889 GWh)’dir.

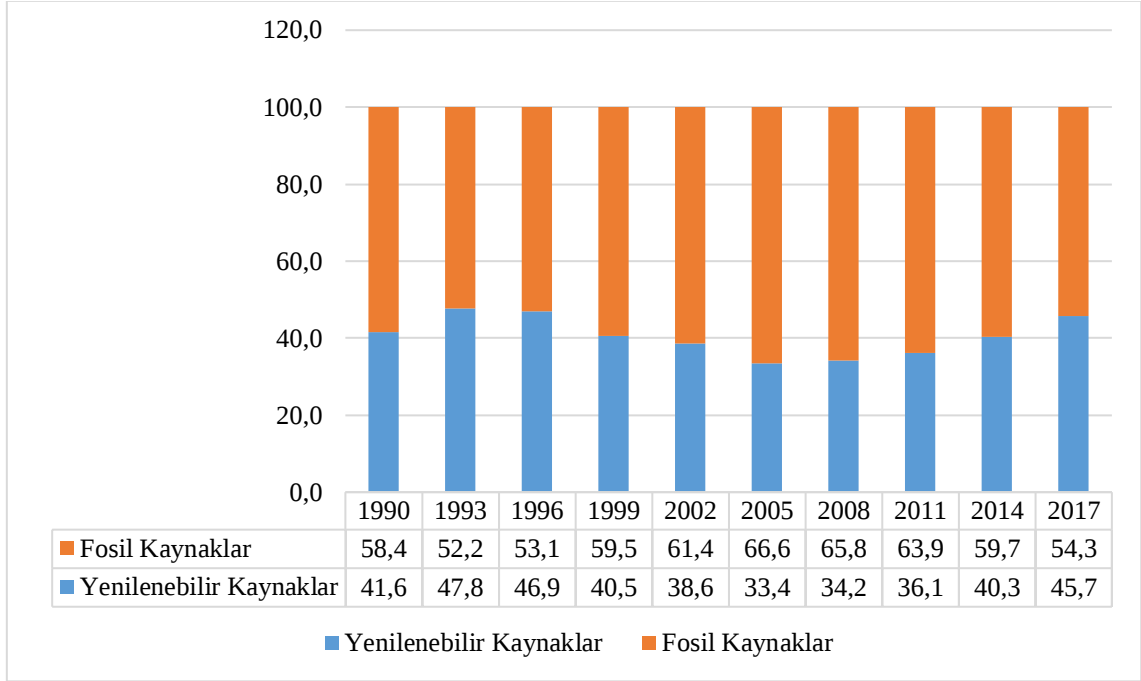
Türkiye, yenilenebilir kaynak potansiyellerinden yeterince faydalanmamakta ancak bu kaynakların kurulu güç kapasitelerinin artırılması enerji politikalarının en önemli konuları arasında yer almaktadır.



Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre yıllar itibariyle gelişimi.

Şekil 2.17. Türkiye’de yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasitesinin yıllar itibariyle değişimi (MW) (1990-2017)

Şekil 2.17.’de görüldüğü üzere 1990-2017 yılları arasında yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasitesi sürekli olarak artış göstermiştir. 1990 yılında 6.782 MW iken; 2017 yılında %474 oranında artış göstererek 38.916 MW’a yükselmiştir. Kurulu güç kapasitesinin sürekli olarak artış göstermesiyle birlikte bu kaynakların Türkiye’deki durumunu incelerken toplam kurulu güç kapasitesi içerisindeki yenilenebilir kaynakların payına bakmamız daha yararlı olabilmektedir. Bkz. Şekil 2.18.



Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre yıllar itibariyle gelişimi.

Şekil 2.18. Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç kapasitesinin yıllar itibariyle değişimi (%) (1990-2017)

1990 yılında toplam kurulu güç kapasitesi 16.318 MW olup, yenilenebilir kaynakların payı %41.6 (6.782 MW); fosil kaynakların payı ise %58.4 (9.536 MW)’tür. 1993 yılından 2005 yılına kadar yenilenebilir kaynaklar azalma eğiliminde iken; fosil kaynaklar artma eğilimindedir. 2005 yılı sonrası dönemde ise yenilenebilir kaynaklar artma eğilimine girerken; fosil kaynaklar azalma eğilimine girmiştir. 2017 yılına gelindiğinde toplam kurulu güç kapasitesi 85.200 MW’a yükselmiştir. Bunun içerisindeki yenilenebilir kaynakların payı %45.7 (38.916 MW); fosil kaynakların payı ise %54.3 (46.284 MW)’tür. 1990-2017 yılları arasında toplam kurulu güç kapasitesi %422; yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasitesi %474; fosil kaynakların kurulu güç kapasitesi %385 oranında artmıştır. Böylelikle yıllar itibariyle yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasitelerinde, fosil kaynaklara kıyasla daha fazla artış yaşandığını söyleyebiliriz.

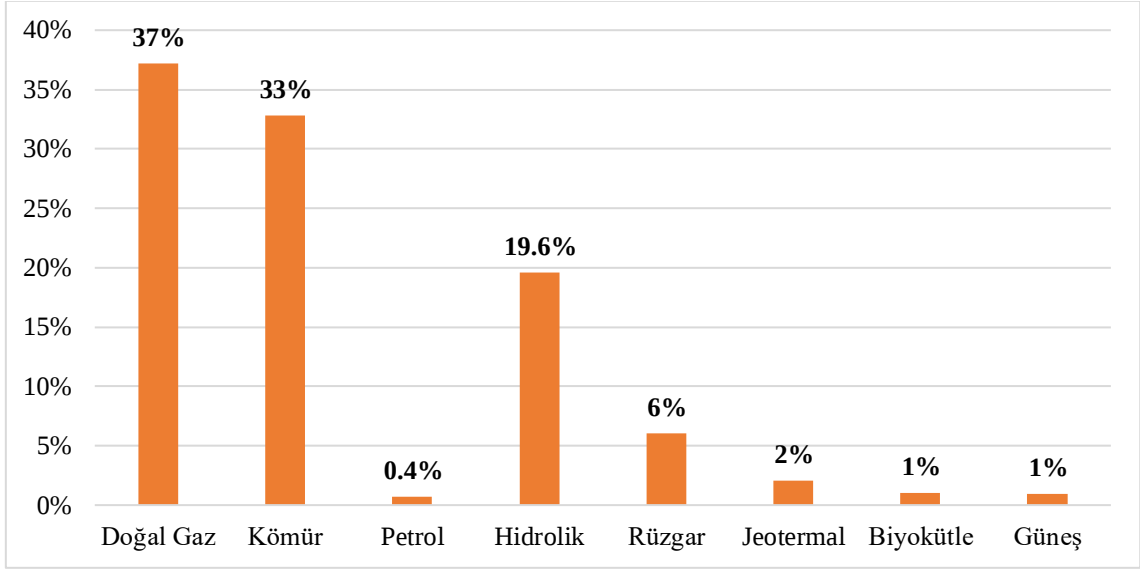
Tablo 2.20. *Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç kapasitesi (2005-2017)*

Kaynaklar	2005		2017	
	MW	%	MW	%
Fosil	25.902	67	46.285	54
Güneş	0	0	3.421	4
Rüzgâr	20	0	6.516	8
Jeotermal	15	0	1.064	1
Hidrolik	12.906	33	27.273	32
Biyokütle	35	0	642	1
Toplam	38.879	100	85.200	100

Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre yıllar itibariyle gelişimi.

Toplam kurulu güç kapasitesi 2005 yılında 38.879 MW iken; 2017 yılında %119 oranında artarak 85.200 MW’a yükselmiştir. Kaynaklara göre baktığımızda ise 2005 yılında neredeyse kullanımı bulunmayan güneş (0 MW), rüzgâr (20 MW), jeotermal (15 MW) ve biyokütle (35 MW) enerjisinin kurulu güç kapasiteleri sırayla 3.421 MW, 6.516 MW, 1.064 MW ve 642 MW’a yükselmiştir. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde en yüksek paya sahip olan hidrolik enerjinin kurulu güç kapasitesi 12.906 MW’dan 27.273 MW’a yükselmiştir. Fosil kaynakların kurulu güç kapasitesi ise 25.902 MW’dan 46.285 MW’a yükselmiştir. Kaynakların toplam kurulu güç kapasitesindeki paylarına bakıldığında yenilenebilir kaynaklarda artma, fosil kaynaklarda ise azalma yaşandığı görülmektedir. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde en büyük artış sırasıyla rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütlerde olup, hidrolik enerjide neredeyse değişiklik yaşanmamıştır. Fosil kaynaklarda ise %67’den %54’e azalma yaşanmıştır.

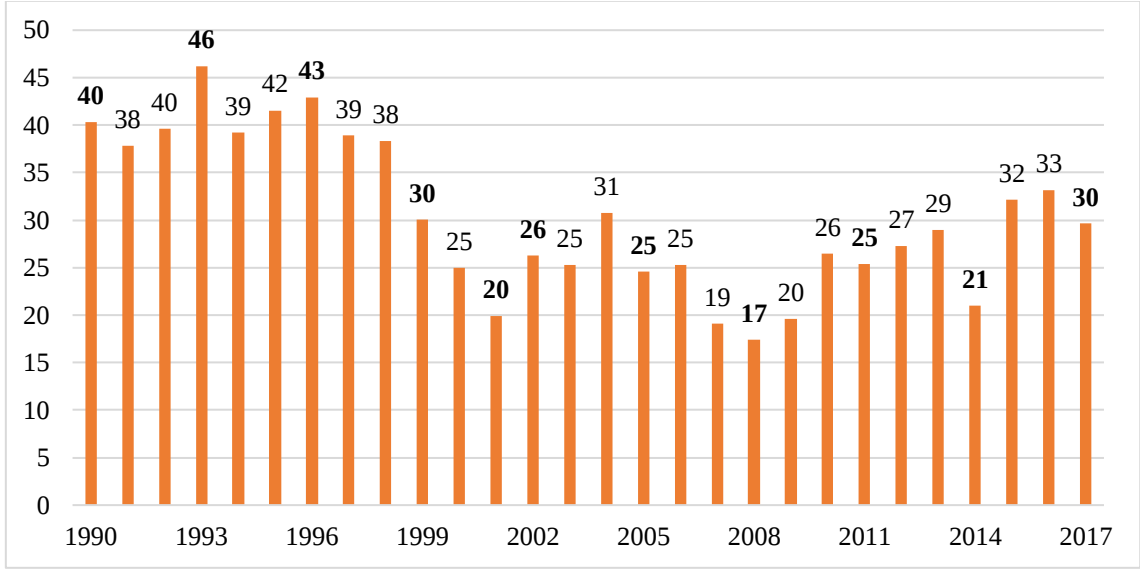
Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde ağırlıklı olarak (%70) fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Bu durum Türkiye’de ekonomik, sosyal, siyasi ve çevresel alanda birçok olumsuzluğa neden olan fosil kaynakların, yenilenebilir kaynaklara kıyasla üretim sürecinde daha fazla tercih edildiğini göstermektedir (Altun ve İşleyen, 2018, s.1580).



Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

Şekil 2.19. Türkiye’de kaynaklarına göre elektrik üretimi (2017)

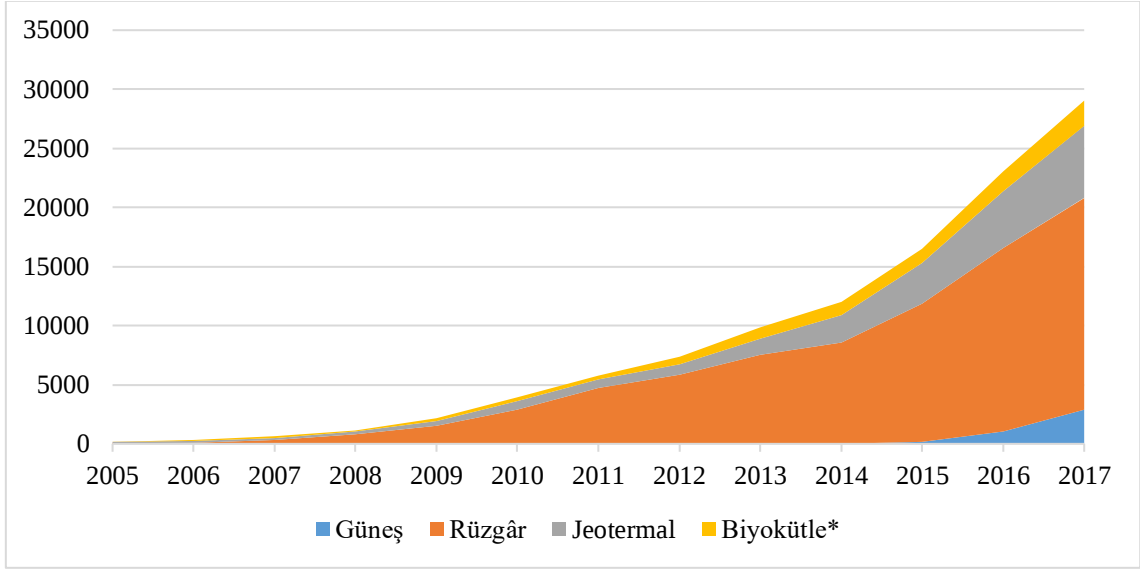
2017 yılı toplam elektrik üretimi 297.278 GWh’dır. Elektrik üretiminde fosil kaynakların payı %70.4 (209.166 GWh), yenilenebilir kaynakların payı ise %29.6 (88.111 GWh)’dır. Elektrik üretiminde en büyük pay %37 (110.490 GWh) ile doğal gaza aittir. Diğer fosil kaynaklara bakıldığında elektrik üretiminde kömürün payı %33 (97.476 GWh), petrolün payı %0.4 (1.200 GWh)’tür. Elektrik üretiminde en büyük paya sahip olan yenilenebilir enerji kaynağı %19.6 (58.219 GWh) ile hidrolik enerjidir. Bunu %6 (17.904 GWh) ile rüzgâr, %2 (6.128 GWh) ile jeotermal, %1 (2.972 GWh) ile biyokütle ve %1 (2.889 GWh) ile güneş enerjisi izlemektedir.



Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre yıllar itibariyle gelişimi.

Şekil 2.20. Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin toplam üretim içerisindeki payının yıllar itibariyle değişimi (%) (1990-2017)

Şekil 2.20’de görüldüğü üzere yenilenebilir kaynakların toplam elektrik üretimi içerisindeki payı sürekli olarak dalgalanma eğilimi göstermektedir. 1990 yılında yenilenebilir kaynakların payı %40 iken; 2017 yılına gelindiğinde bu oran %30’a düşmüştür. 1990-2017 yılları arasında bu kaynakların en büyük paya sahip olduğu yıl %46 ile 1993; en küçük paya sahip olduğu yıl ise %17 ile 2008 yılıdır. Yenilenebilir kaynakların payı 2008 yılından itibaren genel olarak artma eğilimi göstermektedir.

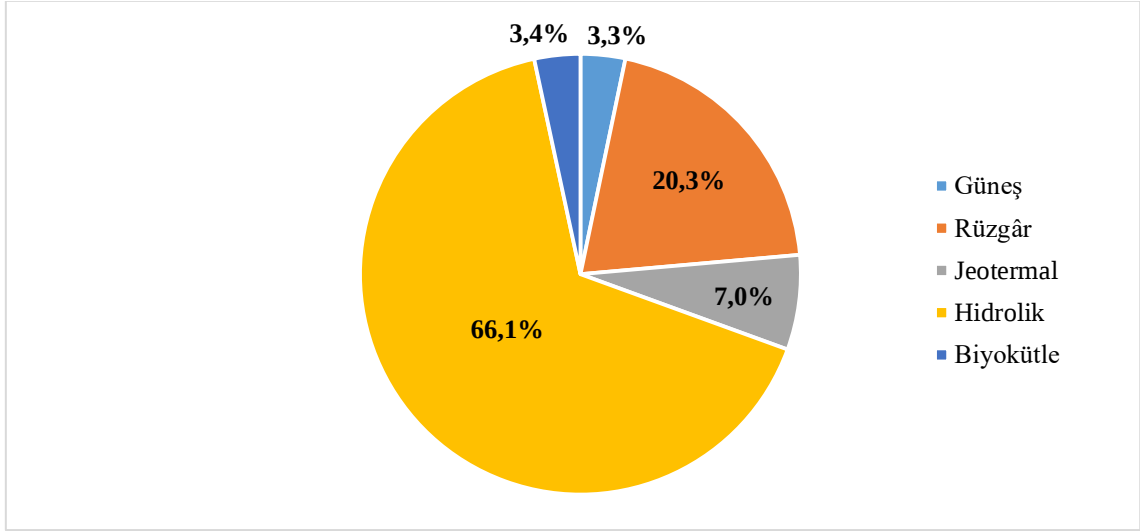


Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin toplam üretim içindeki payının yıllar itibariyle gelişimi.

*Endüstriyel atık dâhil.

Şekil 2.21. Türkiye'de kaynaklarına göre elektrik üretiminin yıllar itibariyle değişimi (GWh) (2005-2017)

Şekil 2.21.'de elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların yıllar itibariyle değişimi verilmiş olup, hidrolik enerji bu kaynaklara dâhil edilmemiştir. Bunun nedeni hidrolik enerjinin diğer yenilenebilir kaynaklarla karşılaştırıldığında elektrik üretiminde yüksek bir paya sahip olması ve uzun yıllar kullanım geçmişinin bulunmasıdır. Şekile bakıldığında 2005 yılında neredeyse kullanımı bulunmayan güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjisinin yıllar itibariyle elektrik üretimindeki paylarının giderek arttığı görülmektedir. 2017 yılına kadar bu kaynaklar içerisinde en büyük artış sırasıyla rüzgâr, jeotermal, güneş ve biyokütle enerjisinde gerçekleşmiştir.



Kaynak: TEİAŞ, 2017, Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin toplam üretim içindeki payının yıllar itibariyle gelişimi.

Şekil 2.22 Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklar (2017)

2017 yılında elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynaklar içerisinde rüzgâr enerjisinin payı %20.3 (17.904 GWh), jeotermal enerjinin payı %7 (6.128 GWh), güneş enerjisinin payı %3.3 (2.889 GWh) ve biyokütle enerjisinin payı %3.4 (2.972 GWh)’tür. Hidrolik enerjinin ise elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynaklar içerisindeki payı %66.1 (58.219 GWh)’dir.

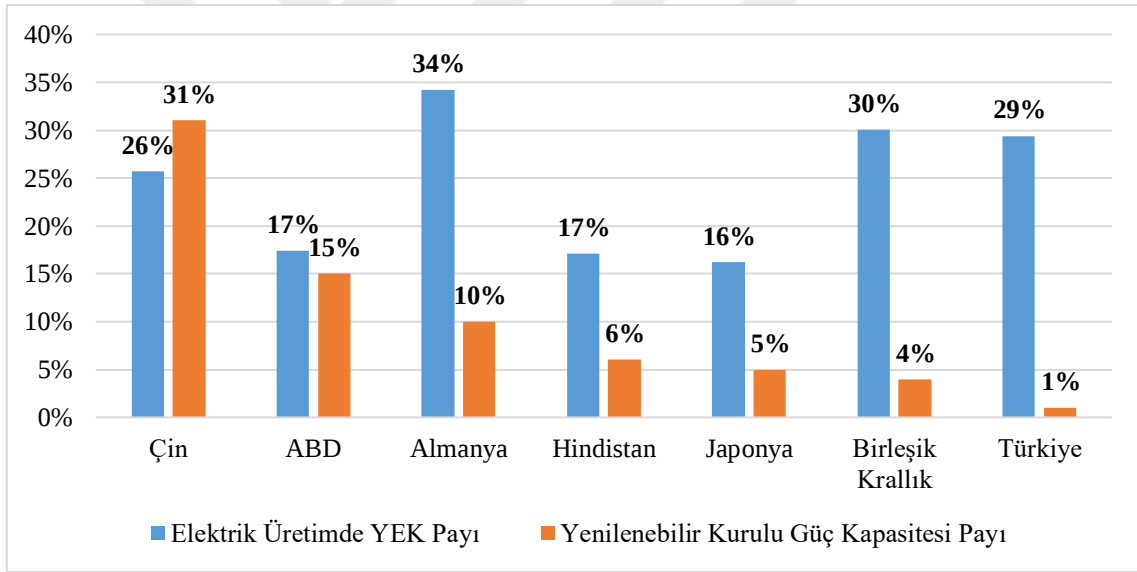
Tablo 2.21. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasiteleri (GWh) (2017)

Kaynaklar	Çin	ABD	Almanya	Hindistan	Japonya	Birleşik Krallık	Türkiye	Dünya
Güneş	131	53	42	19	49	13	3	407
Rüzgâr	188	89	56	33	3	19	7	539
Jeotermal	0	3	0	0	1	0	1	13
Hidrolik	313	80	6	45	23	2	27	1.114
Biyokütle	15	17	8	10	4	6	1	122
Deniz Kökenli	0	0	0	0	0	0	0	1
Toplam*	334	161	106	61	57	38	12	1.081
Toplam	647	241	112	106	80	40	39	2.195

Kaynak: Koç vd., 2018, s.99.

*Hidrolik enerji dâhil değildir.

Tablo 2.21.'de 2017 yılı yenilenebilir kaynakların kurulu güç kapasitelerinin (hidrolik hariç) en yüksek olduğu ülkeler ve Türkiye verilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan en çok faydalanan ülkeler sırasıyla Çin (334 GWh), ABD (161 GWh), Almanya (106 GWh), Hindistan (61 GWh), Japonya (57 GWh), Birleşik Krallık (38 GWh)'dir. Kaynaklara göre bakıldığında güneş (131 GWh), rüzgâr (188 GWh) ve hidrolik (313 GWh) enerjinin en yüksek kurulu güç kapasitesi Çin'de bulunmakta; jeotermal (3 GWh) ve biyokütle (17 GWh) enerjinin en yüksek kurulu güç kapasitesi ABD'de bulunmaktadır. Dünya geneline bakıldığında ise en yüksek kurulu güç kapasitesine sahip enerji kaynaklarının sırasıyla; hidrolik (1.114 GWh), rüzgâr (539 GWh), güneş (407 GWh), biyokütle (122 GWh), jeotermal (13 GWh) ve deniz kökenli (1 GWh) enerji olduğu görülmektedir.



Kaynak: Enerdata, 2019, share of renewables in electricity production (%); Koç vd., 2018, s.99.

Şekil 2.23. Seçilmiş ülkelerde yenilenebilir kaynakların genel görünümü (2017)

Şekil 2.23.'te 2017 yenilenebilir kurulu güç kapasitelerinin en yüksek olduğu ülkeler ve Türkiye'ye ait elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların payı ve ülkelerin toplam yenilenebilir kurulu güç kapasitesindeki payları verilmiştir. Toplam yenilenebilir kurulu güç kapasitesinin %31'i Çin'de, %15'i ABD'de, %10'u Almanya'da, %6'sı Hindistan'da, %5'i Japonya'da, %4'ü Birleşik Krallık'ta, %1'i Türkiye'de ve

%28'i diğer ülkelerde bulunmaktadır. Bu ülkeler arasında elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların payının en yüksek olduğu ülke %34 ile Almanya'dır. Birleşik Krallık hariç diğer ülkelerde ise elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların payları %30 paya sahip olan Türkiye'nin altında bulunmaktadır.

Türkiye güneş, rüzgâr, jeotermal ve hidrolik enerji potansiyelleri bakımından elverişli bir konumda yer almaktadır. Yüksek potansiyellere sahip olan bu kaynakların kullanımı değerlendirildiğinde; en yaygın kullanılan yenilenebilir kaynağın hidrolik olduğu ve dünyada yaygın bir şekilde kullanılan güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklardan yeterince faydalanılmadığı görülmektedir (Koç ve Kaya, 2015, s.45). Maliyet, kanuni prosedür, bürokratik engeller, Ar-Ge çalışmalarındaki yetersizlik, yetersiz piyasa şartları, yüksek vergiler, finansal ve teknolojik yetersizlik gibi unsurlar bu kaynakların potansiyellerinden yeterince faydalanılmamasının temel nedenlerini oluşturmaktadır (Sülükçüler, 2018, s.53-68; Dertli ve Yinaç, 2018, s.592; Karagöl ve Kavaz, 2017, s.18).

Türkiye'de enerjide arz güvenliği sorununun yaşanmaması, çevre ve canlılar üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılarak uluslararası alanda rekabet gücünün artırılması, refah seviyesinin yükseltilmesi gibi amaçlar doğrultusunda enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların potansiyellerinin kullanıma kazandırılması, Türkiye açısından büyük bir önem arz etmektedir.

2.2.3. Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları

Enerji, toplumsal hayatın en temel ve vazgeçilmez gereksinimi olması nedeniyle ülkelerin ekonomik, sosyal, siyasi ve çevresel alanlardaki gelişimlerini etkileyen en önemli konuyu oluşturmaktadır. Bu nedenle ülkelerin enerjiyi güvenilir, kesintisiz, zamanında, ekonomik ve temiz kaynaklardan elde etmesi bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu hususta yenilenebilir kaynakların kullanımının önemli bir yeri bulunmaktadır (Pamir, 2003, s.9).

Küresel ölçekte yenilenebilir kaynakların geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması önünde bazı engeller bulunmaktadır. Burada maliyete bağlı engeller, yasal ve düzenleyici engeller, piyasa performansına yönelik engeller, toplumsal engeller

gibi çeşitli engel gruplarından söz edilebilir. Ülkeler, çeşitli politikalar uygulayarak bu engellerin önüne geçmeye çalışmaktadır (Berksoy ve Akdoğan, 2018, s.21).

Yenilenebilir kaynakların kullanımını destekleyici politikaların küresel ölçekte yaygınlaştırılmasında üç temel neden bulunmaktadır. Bunlar;

- Enerji arz güvenliğini sağlamak,
- Fosil kaynak kullanımının yarattığı olumsuz etkilerden korunmak,
- Sürdürülebilir kalkınma ve büyümeyi sağlamak olarak ifade edilmektedir (Yurdadoğ ve Tosunoğlu, 2017, s.5).

Türkiye’de yenilenebilir enerji, önemli gündem maddelerinden birini oluşturmaktadır. Sürekli artan enerji talebi, enerji üretiminin yeterli miktarda gerçekleşmemesi, enerjide dışa bağımlılığın yüksek olması, enerji fiyatları, iklim değişikliği gibi unsurlar bu kaynakların kullanımını gündemde tutmaktadır (Yurdadoğ ve Tosunoğlu, 2017, s.11).

Tablo 2.22. *Türkiye’de yenilenebilir enerji düzenleme ve politikaların genel görünümü*

2004	Türkiye BMİDÇS’ye taraf
2005	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun
2006	Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun
2007	Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013
	Enerji Verimliliği Kanunu
	İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi
2008	Enerji Verimliliği Yılı
2009	Türkiye KP’ye taraf
	Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi
2010	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun
	Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023
2011	Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik
2012	Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023
	İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023
2013	Elektrik Piyasası Kanunu
	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik
2014	Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı 2013-2023
	Onuncu Kalkınma Planı 2013-2018
2015	Stratejik Planı 2015-2019
2016	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği
2017	Milli Enerji ve Maden Politikası
	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023

Kaynak: Yazar tarafından derlenmiştir.

1994 yılında yürürlüğe girmiş olan BMİDÇS'ye taraf olmayan Türkiye, 2001 yılında gerçekleştirilen **7. Taraflar Konferansı**'nda Türkiye'ye özgün şartların tanınması yönünde kararların alınmasının ardından 2004 yılında 189. ülke olarak **BMİDÇS**'ye, 2009 yılında ise **KP**'ye taraf olmuştur. Sözleşmenin ve protokolün temel amaçları; sera gazı emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, sürdürülebilir kalkınma modelinin oluşturulması ve enerji verimliliğinin yaygınlaştırılmasıdır (http-2).

Türkiye'de 2005 yılından itibaren yenilenebilir kaynakların kullanımını teşvik edici politikalar uygulamaya konulmuştur. Bu yılda yenilenebilir kaynaklarının teşvikine yönelik ilk adım 5346 sayılı **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun** ile atılmıştır. **Yenilenebilir Enerji Kanunu [YEK]** olarak da adlandırılan bu kanun, Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikasına yönelik hazırlanmış olan, ilk yasal mevzuat olma özelliğine sahiptir (Yurdadoğ ve Tosunoğlu, 2017, s.12; Berksoy ve Akdoğan, 2018, s.24). Kanunun amacı: elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların ekonomik, güvenilir ve kaliteli olarak ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, çevrenin korunması, atıkların değerlendirilmesi ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde gereksinim duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir (T.C. ETKB, 2005, s.9385). Bu kanun ile yenilenebilir kaynakların tanımı yapılmış, sabit fiyat garantisi gibi teşvik mekanizmaları getirilmiş, yenilenebilir enerji üretimi amaçlı arazi kullanımı desteklenmiş, bu kaynaklara olan talep ve yatırımlar büyük oranda artmıştır (Yılmaz, 2012, s.42; Berksoy ve Akdoğan, 2018, s.24).

2006 yılında 5491 sayılı **Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun** yayınlanmıştır. Buna göre, kendi atık arıtma tesisini kuran endüstriyel tesislerin elektrik faturalarında %50'ye varan indirim uygulanması kararlaştırılmıştır (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006).

2007 yılında 2007-2013 yıllarını kapsayan **Dokuzuncu Kalkınma Planı** yayınlanmıştır. Bu planda enerji ihtiyacının karşılanmasında çevresel etkilerin en alt düzeyde tutulması, enerjinin üretimden tüketime kadar olan her safhada etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı [T.C. Başbakanlık DPT], 2007). Aynı yıl 5627 sayılı **Enerji**

Verimliliği Kanunu yayınlanmıştır. Kanunun amacı: enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, çevrenin korunması için enerji kaynaklarında ve kullanımında verimliliğin artırılmasıdır (T.C. ETKB, 2007, s.10059). Bu kanun ile sabit fiyat garantisi teşvik mekanizmasının uygulama süresi geliştirilmiş ve arazi kullanımı için destek oranı artırılmıştır (Berksoy ve Akdoğan, 2018, s.24). Ayrıca bu yılda Türkiye, iklim değişikliği ile ilgili ilk **Ulusal Bildirimi** yapmış ve BMİDÇS kapsamındaki yükümlülüğünü yerine getirmiştir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2007).

2008 yılı resmi olarak **Enerji Verimliliği Yılı** olarak belirlenmiştir. Toplumsal bilincin artırılması amacıyla **Enerji Verimliliği Programı [ENVER]** başlatılmış ve verimliliğin artırılması için yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması gerektiği belirtilmiştir (T.C. ETKB, 2014, s.11).

2009 yılında **Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi** yayınlanmıştır. Belgenin amacı: enerji piyasasının arz güvenliğini temin edecek şekilde oluşturulması ve sürdürülmesi, iklim değişikliği ve çevresel etkilerinin her alandaki faaliyetlerde göz önünde bulundurulması, israfın önlenmesi, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması ve yeni teknolojilerin özendirilmesidir (T.C. Başbakanlık DPT, 2009, s.2).

2010 yılında 6094 sayılı **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun** yayınlanmıştır. Bu kanun ile 5346 sayılı kanunda düzenlemeler yapılmış, teşvik mekanizmaları çeşitlendirilmiş, kaynak kullanımında yeni teknolojilerin geliştirilmesi için teşvikler verilmiştir (T.C. ETKB, 2010, s.9385). Yine aynı yılda 2010-2023 yıllarını kapsayan **Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi** yayınlanmıştır. Stratejinin amacı: iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik küresel ölçekteki çabalara, Türkiye'nin kendi özel şartları ve imkânları çerçevesinde katkıda bulunmaktır. Strateji, kısa vadede (1 yıl) hayata geçirilmesi planlanan amaçlarla birlikte orta vadeli (1-3 yıl) ve uzun vadeli (10 yıl) amaçları da kapsamaktadır. Bu strateji ile Türkiye, BMİDÇS'nin temel ilkelerinden biri olan **ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar** çerçevesinde küresel iklim değişikliği ile mücadeleye katkıda bulunmayı hedef olarak belirlemekte, emisyon azaltımı, kapasite, teknoloji, uyum ve finansman oluşturma politikalarını ortaya koymaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı [T.C. ÇŞB], 2010, s.1)

2011 yılında **Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik** yayınlanmıştır. Yönetmeliğin amacı: yalnızca kendi ihtiyacını karşılamak amacıyla yenilenebilir kaynakları kullanacak olan gerçek ve tüzel kişileri şirket kurma ve lisans alma yükümlülüğünden muaf tutarak, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını artırmaktır (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu [EPDK], 2011).

2012 yılında 2012-2023 yıllarını kapsayan **Enerji Verimliliği Strateji Belgesi** yayınlanmıştır. Belgenin amacı: enerjide arz güvenliğinin sağlanması, enerji maliyetlerinin azaltılması, enerjide dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması, iklim değişikliği ile mücadelede etkinliğin artırılması ve çevrenin korunmasıdır. Bu çerçevede enerjinin verimliliğinin artırılması, israfın ve bilinçsiz kullanımın önlenmesi, enerji yoğunluğunun azaltılması en önemli hedefleri arasında yer almaktadır (T.C. ETKB, 2012). Aynı yılda 2011-2023 yıllarını kapsayan **T.C. İklim Değişikliği Eylem Planı** yayınlanmıştır. Bu planın amaçları; enerji yoğunluğunun azaltılması, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması, temiz fosil kaynak teknolojilerinin geliştirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve elektrik üretiminde kayıp-kaçak oranlarının azaltılmasıdır (T.C. ÇŞB, 2012, s.15).

2013 yılında 6446 sayılı yeni **Elektrik Piyasası Kanunu** yayınlanmıştır. Kanunun amacı: Elektriğin yeterli miktarda, sürekli, ekonomik, kaliteli ve çevreye uyumlu bir şekilde tüketiciye sunulması için güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik piyasasının oluşturulması ve bağımsız bir denetim ve düzenlemenin yapılmasının sağlanmasıdır. Bu kanun ile yenilenebilir enerji alanında faaliyette bulunanlara damga vergisi, kurumlar vergisi, katma değer vergisi ve lisans ücretinden muaf tutulma gibi avantajlar verilmiş, lisanssız üreticiler için enerji tesisinin kurulu gücü 500 kWh'den 1 MW'a yükseltilmiştir (T.C. ETKB, 2013b). Yine bu yılda **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik** yayınlanması ile **Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması [YEKDEM]** kurulmasına ve işletilmesine ilişkin esaslar düzenlenmiştir. YEKDEM kapsamında yenilenebilir kaynakların kullanımına ilişkin teşvikler gerçekleştirilmektedir (T.C. ETKB, 2013a; Berksoy ve Akdoğan, 2018, s.24). Aynı yıl 2014-2018 yıllarını kapsayan **Onuncu Kalkınma Planı** ile enerjide arz güvenliğinin sağlanması, enerji verimliliğinin artırılması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması gerektiği belirtilmiştir. Enerji alanında Ar-Ge harcamalarının

artırılması, yenilenebilir teknolojilerin geliştirilmesi, enerji yoğunluğunun azaltılması, israfın ve çevresel etkilerin en alt düzeye indirilmesi temel amaçları arasında yer almaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2013, s.27).

Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi'nin 2009/28/EC sayılı direktifi ile 2014 yılında 2013-2023 yıllarını kapsayan **Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı** yayınlanmıştır. Planın amacı: Türkiye'de yenilenebilir kaynakların kullanımının geliştirilmesine yönelik stratejilerin oluşturulmasıdır (T.C. ETKB, 2014, s.14).

2015 yılında 2015-2019 yıllarını kapsayan **Stratejik Planı** hazırlanmıştır. Bu planda; Türkiye'nin sahip olduğu kaynaklar ve ihtiyaçlar tanımlanarak, ihtiyaçların karşılanabilmesi için ulaşılmaması gereken hedefler belirlenmiştir. Güçlü ve güvenilir enerji altyapısı, optimum kaynak çeşitliliği, etkin talep yöntemi, enerji verimliliği ve tasarrufuna yönelik gelişmiş kapasite, bilgi teknolojilerinin etkin kullanımı, bölgesel enerji piyasalarına entegre olunması, uluslararası rekabet gücünün artırılması, yenilenebilir kaynakların kullanımının teşvik edilmesi, Ar-Ge harcamalarının artırılması, enerjide güven ortamının oluşturulması amaçları arasında yer almaktadır (T.C. ETKB, 2015, s.27).

2016 yılında **Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları [YEKA] Yönetmeliği** yayınlanmıştır. Yönetmeliğin amacı: büyük ölçekli yenilenebilir enerji kaynak alanlarının oluşturulması, oluşturulan alanların yatırımcılara tahsis edilerek yatırımların hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi ve yenilenebilir kaynakların kullanımına dayalı olan elektrik üretim tesislerinde kullanılan ileri teknoloji içeren parçaların yurt içinde üretilmesi ya da temin edilmesi ve teknoloji transferlerinin geliştirilmesidir (T.C. ETKB, 2016). Bu yönetmelik ile teşvik mekanizmaları çeşitlendirilerek, ihale yöntemi ile teşvik mekanizması uygulamaya konulmuştur ve 2017 yılından itibaren YEKA kullanım hakkı yarışmaları başlamıştır (Berksoy ve Akdoğan, 2018, s.39-40).

T.C. ETKB tarafından 2017 yılında **Milli Enerji ve Maden Politikası** hazırlanmıştır. Politikanın amacı: arz güvenliğinin sağlanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yerli üretimin teşvik edilmesi ve ekonomik gücün artırılmasıdır. Bu amaçlara ulaşabilme noktasında yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması ve kullanımının yaygınlaştırılması büyük önem arz etmektedir (Karagöl vd., 2017, s.7). 2017-2023 yıllarını kapsayan **Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı** ile enerji ve doğal kaynakların verimli ve çevreye duyarlı bir şekilde

değerlendirilerek, refahının en yüksek seviyeye çıkarılması hedeflenmektedir (T.C. ETKB, 2017b, s.1).

Enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, çevreye duyarlı yenilenebilir kaynak kullanımının yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması gibi konuları temel alan bu politikaların etkin, verimli, istikrarlı ve toplumsal bilinci uyarıcı bir nitelik taşıması gerekmektedir. Enerji politikalarının etkin, verimli ve istikrarlı olmaması, enerji kaynaklarının seçiminde yapılan yanlışlıklar, planlama hataları, bilimsel olmadan yapılan talep tahminleri gibi olumsuzluklar ülkeleri, enerji alanında yaşanan karmaşa ve bunalım ile karşı karşıya getirmektedir. Bu nedenle politikalar iyi analiz edilerek, doğru zamanda uygulanmalı ve tutarlı olmalıdır (Pamir, 2003, s.9). Türkiye'nin bu konuda yapması gereken, uzun vadeli, tutarlı, kararlı, güvenilir, istikrarlı, sürekli ve şeffaf politikalar üretmektir. Sürdürülebilir ve toplumsal çıkarları gözetken, çevreye duyarlı, güvenilir, ekonomik ve temiz olan yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaştırılmasına dayanan bir enerji politikasının oluşturulması Türkiye'nin temel önceliği olmalıdır (Çalışkan, 2009, s.306).

2.2.4. Türkiye'nin yenilenebilir enerji hedefleri

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin potansiyele ve çeşitliliğe sahip bir ülkedir. Politika yapıcılar tarafından bu kaynakların etkin ve verimli kullanımı için politikalar belirlenmekte, hedefler saptanmakta ve bu hedeflere ulaşabilmek için yasal düzenlemeler ve teşvik mekanizmaları uygulanmaktadır (Yurdadoğ ve Tosunoğlu, 2017, s.2-3). Türkiye'de, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması amacıyla hazırlanan birçok çalışmada 2023 yılı için hedefler tanımlanmıştır. Bu nedenle bu bölümde 2023 hedefleri detaylı olarak açıklanacaktır.

Enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve çevrenin korunması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması konusunda tanımlanmış olan 2023 hedefleri şu şekilde belirtilebilmektedir:

- Arz ve talebin artırılması ile enerji piyasasının güçlendirilmesi,

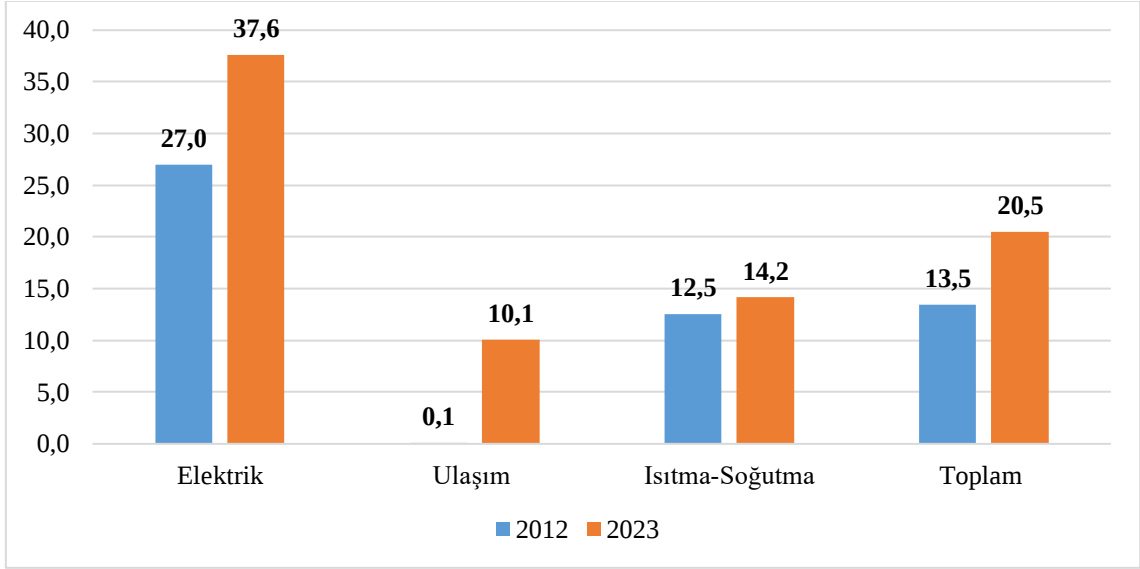
Tablo 2.23. *Türkiye’de enerji piyasasının genel görünümü (2001-2023)*

Yıllar	Enerji Arzı (mtoe)	Enerji Talebi (mtoe)	Elektrik Arzı (TWh)	Elektrik Talebi (TWh)	Elektrik Kurulu Gücü (GWh)
2001	80	78	127	127	28
2023	320	330	480	675	100

Kaynak: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu [TÜBİTAK], 2003, s.9 ve 33.

2001 yılında 80 mtoe olan toplam enerji arzının, 2023 yılında 320 mtoe’ye; toplam enerji talebinin ise 78 mtoe’den 330 mtoe’e çıkarılması hedeflenmektedir. Elektrik enerjisinin genel görünümüne bakıldığında ise 2001 yılında 127 TWh olan elektrik arzının, 2023 yılında 480 TWh’ye, elektrik talebinin 127 TWh’den 675 TWh’ye, kurulu güç kapasitesinin ise 28 GWh’den 100 GWh’ye çıkarılması hedeflenmektedir.

- Toplam enerji tüketimi için beklenen 1.2 trilyon MWh’nin 252 milyar MWh’lik kısmının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.11).
- 2012-2023 yılları arasında beklenen %75.4’lük elektrik talep artışının karşılanabilmesi amacıyla 125 bin MW’lık ilave üretim kapasitesinin devreye sokulması (T.C. ETKB, 2014, s.22),
- Elektrik tüketiminin yıllık ortalama %4.8 artışla 385 TWh’ye çıkarılması (http-25),
- İklim değişikliği göz önünde bulundurularak yenilenebilir kaynakların kullanımının planlanması (T.C. ETKB, 2014, s.14),
- Enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil kaynakların kullanımının azaltılarak yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması,



Kaynak: T.C. ETKB, 2014, s.23.

Şekil 2.24. Sektörlere göre yenilenebilir kaynakların kullanımı (%) (2012-2023)

2012 yılında %13.5 olan toplam enerji tüketimindeki yenilenebilir kaynakların payının 2023 yılında %20.5'e çıkarılması hedeflenmektedir. Sektörlere göre bakıldığında ise elektrik sektöründe %37.6'ya, ulaşım sektöründe %10.1'e, ısıtma-soğutma sektöründe %14.2'ye çıkarılması hedeflenmektedir.

- Yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması amacıyla yenilenebilir teknolojilerin geliştirilmesi,
- Elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların payının en az %30'a çıkarılması,
- Yenilenebilir enerji toplam kurulu güç kapasitesinin artırılması,

Tablo 2.24. Kaynaklarına göre toplam kurulu güç kapasite hedefleri (MW) (2012-2023)

Kaynaklar	2012	2023
Güneş	0	5.000
Rüzgâr	2.261	20.000
Jeotermal	162	1.000
Hidrolik	19.620	34.000
Biyokütle	159	1.000
Toplam	22.202	61.000

Kaynak: T.C. ETKB, 2014, s.51.

2012 yılında 22.202 MW olan yenilenebilir enerji toplam kurulu güç kapasitesinin, 2023 yılına kadar 61.000 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir. Kaynaklarına göre bakıldığında ise güneş enerjisinin 5.000 MW'a, rüzgâr enerjisinin 20.000 MW'a, jeotermal enerjinin 1.000 MW'a, hidrolik enerjinin 34.000 MW'a, biyokütle enerjisinin ise 1.000 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir.

- Yenilenebilir enerji toplam kurulu güç kapasitesinin artırılması ile endüstriyel ve teknolojik kalkınmanın sağlanması (T.C. ETKB, 2014, s.14),
- Hidrolik enerjinin tamamının elektrik üretiminde kullanılması,
- Tarım sektörü potansiyelinin tamamı kullanılarak biyokütle enerji sektörünün geliştirilmesi (T.C. ETKB, 2014, s.22-23),
- Enerji üretiminden kullanımına kadar olan süreçte enerji verimliliğinin artırılarak enerji yoğunluğunun (GSYİH başına tüketilen enerji miktarı) azaltılması (T.C. Başbakanlık DPT, 2009, s.10),
- 2012 yılı 0.28 olan enerji yoğunluğunun, 2019 yılına kadar en az %20 oranında azaltılması (T.C. ETKB, 2015, s.52),
- Her bir sanayi alt sektöründeki enerji yoğunluklarının, her bir alt sektör için %10'dan az olmamak kaydıyla sektör işbirlikleri ile belirlenecek oranlarda azaltılması (T.C. ETKB, 2012),
- Enerji yoğunluğunun düşürülmesi amacıyla enerji verimliliğine yönelik Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi (T.C. ÇŞB, 2012, s.15-16),
- Yıllık ortalama 21 milyar m³ doğal gaz ithalatının önüne geçilmesi ile 4 milyar \$ tasarruf sağlanması (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.28),
- 2017-2023 yılları arasında birincil enerji tüketiminin %14 (23.9 mtoe) azaltılarak, %14 oranında tasarruf sağlanması,
- Bu tasarruflar için 10.9 milyar \$ yatırım yapılması,
- 2016 yılında 278.3 milyar kWh olan brüt elektrik tüketiminin; düşük talep senaryosuna göre 367.9 milyar kWh'ye, yüksek talep senaryosuna göre 407.9 milyar kWh'ye yükseltilmesi (T.C. ETKB, 2017a, s.10),
- Elektrik üretim, iletim ve dağıtım aşamasında teknik kayıpların en düşük düzeye indirilmesi (T.C. Başbakanlık DPT, 2009, s.10),
- Elektrik iletim şebekelerinde enerji verimliliğinin artırılması,
- 60.717 km'lik iletim hattı ve 158.460 MW'lık elektrik dağıtım ünitesi kapasitesi yapılarak, iletim şebekesi altyapısının iyileştirilmesi,

- İsrafın önlenmesi amacıyla elektrik kayıp-kaçak oranının %5 oranında azaltılması (T.C. ETKB, 2014, s.22-23),
- 2010 yılındaki yapı stokunun en az dörtte birinin sürdürülebilir yapıya dönüştürülmesi (T.C. ETKB, 2012),
- Sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasına yönelik mali, teknik ve bilgi altyapısının geliştirilmesi,
- Kömür kaynaklı emisyonların sınırlandırılması amacıyla kömürle çalışan termik santrallerin ortalama çevrim verimlerinin %45'in üzerine çıkarılması (T.C. ÇŞB, 2012, s.15-16),
- 2020 yılına kadar enerji sektöründe %7 oranında CO2 emisyonlarının sınırlandırılması (T.C. ÇŞB, 2010, s.20),
- CO2 emisyonlarının 47 milyon ton azaltılması (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.28),
- Elektrik enerjisi maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün azaltılmasıdır (T.C. Başbakanlık DPT, 2009, s.10).

Enerji alanında bölgesel ve küresel etkinliğin artırılması, enerji kaynaklarının zaman, miktar ve maliyet yönünden erişilebilir olması, bu kaynakların en iyi şekilde değerlendirilmesi, yatırımların teşvik edilerek özel sektör imkânlarının harekete geçirilmesi, fosil kaynak kullanımının neden olduğu olumsuzlukların en aza indirilmesi Türkiye'nin enerji politikalarının öncelikli unsurlarını oluşturmaktadır. Bu unsurlara bağlı olarak yenilenebilir kaynak kullanımının artırılması konusu büyük önem taşımaktadır. Bu kaynakların kullanımının artırılması ile Türkiye'de;

- Enerji alanındaki gelişmelere paralel olarak milli gelir artacak,
- Donanım ve hizmet temini ile işgücü ve sanayi sektöründe olumlu gelişmeler yaşanacak,
- Yatırımların artması ile istihdam artacak,
- Bu alandaki eğitim ve çeşitli düzenlemeler ile nitelikli işgücü oluşturulması desteklenecek,
- Çevre ve canlılara verilen zararın önüne geçilecektir (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.28).

Türkiye'nin fosil kaynak rezervleri açısından yetersiz bir ülke olması, buna karşın enerji ihtiyacının karşılanmasında yüksek oranda bu kaynaklardan yararlanması nedeniyle Türkiye'de enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu yaşanmaktadır. Bu durum, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması konusunun önemini vurgulamaktadır. Bu kaynakların kullanımının artırılması, enerjide güven ortamı sağlayacak ve enerjide sağlanan güven ortamı ile bölgesel ve küresel alanda refah artacaktır (Bayraktar ve Kaya, 2016, s.422).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Bu bölümde; öncelikle yenilenebilir kaynakların kullanımını etkileyen faktörler ve bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin belirleyicilerine yönelik yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Akabinde, Türkiye için zaman serisi analizi yardımıyla ekonometrik bir çalışma yapılmıştır. Bunun için veri seti ve metodoloji tanıttıldıktan sonra uygulama kısmına geçilmiş ve elde edilen bulgular sunulmuştur.

3.1. Literatür Taraması

Elektrik üretiminde kullanılacak kaynakların belirlenmesinde ekonomik, sosyal, siyasal ve çevresel unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu alanlarda gelişimin sağlanması ve bu gelişimin sürdürülebilir olması açısından elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı, üzerinde önemle durulması gereken bir konuyu oluşturmaktadır. *Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı, hangi değişkenler tarafından etkilenir* sorusu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bu konu hakkında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, yenilenebilir kaynakların kullanımını hangi değişkenlerin yönlendirdiği ve bu değişkenlerden hangilerinin etkisinin daha büyük olduğunu göstermektedir. Ancak literatürde elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının belirleyicileri ile ilgili ekonometrik çalışma sayısı sınırlı kalmakta olup, aşağıda konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir.

Sadorsky (2009) tarafından ekonomisi en büyük 7 ülke [G7] için yenilenebilir enerji tüketimi belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1980-2005 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, kişi başına reel GSYİH, kişi başına CO₂ emisyonları, reel petrol fiyatları kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada kişi başına yenilenebilir enerji tüketimine uzun dönemde CO₂ emisyonları ve kişi başına GSYİH değişkenlerinin pozitif ve güçlü; petrol fiyatları değişkeninin ise

negatif ve güçsüz bir etkisi olduğu, kısa dönemde ise değişkenlerin etkisinin önemsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada yenilenebilir enerji talebinin düşük olduğu durumlarda dahi artan ekonomik büyümenin, bu kaynakların talebinin artmasında etkili olduğu; uzun dönemde kişi başına GSYİH'deki %1'lik artışın kişi başına yenilenebilir enerji tüketimini %3.5 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Yenilenebilir kaynakların tüketiminin artırılması için politika yapıcılar tarafından uzun dönemli kararların alınması gerektiği belirtilmiştir.

Chang, Huang ve Lee (2009) tarafından 30 Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü [OECD] ülkesi için GSYİH ve Tüketici Fiyat Endeksi [TÜFE] (enerji)'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada 1997-2006 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerjinin, enerji arzına katkısı bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Çalışmada yenilenebilir kaynakların gelişimi üzerinde ekonomik büyümenin etkisiz; TÜFE'nin ise düşük büyüme rejimlerinde negatif bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik büyüme oranı %4.13'ten az olan ülkelerde yaşanan fiyat artışlarının, bu ülkelerde ekonomik fazlalıkların bulunmaması nedeniyle yenilenebilir kaynakların gelişimini olumsuz etkilediği ve bu kaynaklara yatırım yapılmasına karar verilmeden önce ülkelerinin büyüme oranlarını planlamaları gerektiği belirtilmiştir.

Marques, Fuinhas ve Pires Manso (2010) tarafından 24 AB üyesi ülkeler için yenilenebilir enerji kullanımının belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1990-2006 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerjinin, birincil enerji arzına katkısının bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde açıklayıcı değişkenler; siyasi, sosyo-ekonomik ve ülkeye özgü faktörler olarak üç grupta incelenmiştir. Kişi başına CO2 emisyonları, kişi başına enerji tüketimi, enerji ithalatına bağımlılık, elektrik üretimine fosil kaynakların katkısı (petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer), ülkelerin yüzey alanı, reel fosil kaynak fiyatları (petrol, kömür, doğal gaz), reel GSYİH kullanılan açıklayıcı değişkenler olup, toplam birincil enerji arzında yenilenebilir enerji payının %10'dan büyük olan ülkeler ve AB üye sayısı (2001) kukla değişken olarak modele eklenmiştir. Çalışmada tüm ülkelerde yenilenebilir enerji kullanımı üzerinde CO2 emisyonlarının negatif; enerji tüketimi, enerji ithalatına bağımlılık, fosil kaynakların kullanımı, enerji kaynaklarının fiyatları, AB üyeliği ve coğrafi konumun pozitif etkisi olduğu, bununla birlikte gelir etkisinin AB'ye üye ülkeler

için pozitif, üye olmayan ülkeler için negatif etkisi olduğu tespit edilerek, enerji bağımlılığını azaltmaya yönelik tutumların yenilenebilir kaynakların kullanımını teşvik ettiği belirtilmiştir.

Apergis ve Payne (2010) tarafından 20 OECD ülkeleri için yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada 1985-2005 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Reel GSYİH'nin bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, yenilenebilir enerji tüketimi, reel brüt sabit sermaye oluşumu, işgücü kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYİH arasında hem kısa hem de uzun dönemde çift yönlü nedensellik ve yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYİH, brüt sabit sermaye ve işgücü arasında uzun dönemli pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi, reel brüt sabit sermaye oluşumu ve işgücünde meydana gelen yüzdelik artışın reel GSYİH'yi sırasıyla %0.76, %0.70 ve %0.24 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

Menyah ve Wolde Rufael (2010) tarafından ABD için CO2 emisyonları, yenilenebilir enerji tüketimi, nükleer enerji tüketimi ve GSYİH arasındaki nedensel ilişki incelenmiştir. Çalışmada 1960-2007 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada nükleer enerji tüketiminden CO2 emisyonlarına tek yönlü ve reel GSYİH'den yenilenebilir enerji tüketimine tek yönlü nedensel ilişki tespit edilerek, CO2 emisyonları üzerinde nükleer enerji tüketiminin, yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde ise ekonomik büyümenin etkili olduğu belirtilmiştir.

Popp, Hascic ve Medhi (2011) tarafından 26 OECD ülkesi için teknolojik gelişimin yenilenebilir enerji yatırımları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada 1991-2004 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji yatırımının bağımlı değişken olduğu modelde teknoloji, kişi başına reel GSYİH, elektrik tüketiminde büyüme, hidrolik ve nükleer kaynaklardan elektrik üretimi, kişi başına fosil kaynakların üretimi (petrol, kömür, doğal gaz), enerji ithalatı kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Ülkenin KP'yi onaylayıp onaylamaması, yenilenebilir enerji sertifikasının gerektirdiği yenilenebilir enerji üretimi, diğer politikaların varlığı gibi değişkenler kukla değişken olarak modele eklenmiştir. Çalışmada başta KP olmak üzere çevre politikalarının yenilenebilir enerji yatırımları

üzerinde teknolojiden daha etkili olduğu, yatırımların arkasındaki itici gücün CO2 emisyonlarının azaltılması olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji fiyatlarının fosil enerji fiyatlarına oranla yüksek olması ve enerji kaynaklarının çevresel maliyetlerinin firmalar tarafından içselleştirilememesi nedeniyle kamu politikalarının yatırımları önemli ölçüde teşvik ettiği belirtilmiştir.

Salim ve Rafiq (2012) tarafından Brezilya, Çin, Hindistan, Endonezya, Filipinler ve Türkiye'nin yer aldığı 6 büyük gelişmekte olan ülke için yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1980-2006 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Reel GSYİH, CO2 emisyonları, reel petrol fiyatları kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Fosil kaynakların neden olduğu çevresel ve ekonomik olumsuzlukların giderilmesi için yenilenebilir kaynakların kullanılmasının gerekli olduğu savunulan çalışmada hem uzun hem de kısa dönemde yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde GSYİH ve CO2 emisyonlarının etkili, GSYİH'de meydana gelen %1'lik artışın yenilenebilir enerji tüketimini %1.22; CO2 emisyonlarında meydana gelen %1'lik artışın yenilenebilir enerji tüketimini %0.03 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte kısa dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYİH ve CO2 emisyonları arasında çift yönlü nedensel ilişki belirlenmiştir.

Payne (2012) tarafından ABD'de yenilenebilir enerji tüketimi, reel GSYİH, CO2 emisyonları ve reel petrol fiyatları arasındaki uzun dönemli nedensel ilişkiler incelenmiştir. Çalışmada 1949-2009 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ile reel GSYİH, CO2 emisyonları ve reel petrol fiyatları arasında nedensel bir ilişki olmadığı tespit edilmiş ancak GSYİH'de beklenmeyen şokların ve CO2 emisyonlarının zaman içerisinde yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde pozitif etki yarattığı belirtilmiştir. 1978 yılında yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden **ABD Ulusal Enerji Yasası**'nın bir parçası olarak kabul edilen **Kamu Hizmeti Düzenleme Politikaları Yasası**'nın yürürlüğe girmesi ile yenilenebilir enerji politika ve mevzuatlarının yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde pozitif ve güçlü bir etki oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yenice ve Bejleri (2013) tarafından ABD için yenilenebilir enerji tüketimi, GSYİH, CO2 emisyonları ve fosil kaynak fiyatları arasındaki nedensel ilişkiler incelenmiştir. Çalışmada 1949-2011 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uzun dönemde fosil kaynak fiyatlarının CO2 emisyonları

ve yenilenebilir enerji tüketimi ile ilişkisi olduğu belirtilmiştir. Kısa dönemde ise fosil kaynak fiyatları ile CO2 emisyonları arasında çift yönlü; yenilenebilir enerji tüketiminden ve GSYİH'den fosil kaynak fiyatlarına tek yönlü nedensel ilişki tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi ile CO2 emisyonları arasında herhangi bir nedensellik ilişkisi bulunamamıştır.

Romano ve Scandurra (2014) tarafından 6 Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü [OPEC] ülkesi için yenilenebilir enerji yatırımını etkileyen faktörler incelenmiştir. Çalışmada 1980-2009 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Kişi başına GSYİH, enerji yoğunluğu, enerji tüketimi, kişi başına elektrik tüketimi, petrol arzı, kişi başına CO2 emisyonları kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada kullanılan değişkenlerin yatırımlar üzerinde güçlü etkilerinin olduğu, bununla birlikte hibe ve teşviklerin de yatırımları pozitif yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Aguirre ve Ibikunle (2014) tarafından Marques vd. (2010)'e benzer bir çalışma 1990-2010 yılları arası baz alınarak 38 ülke için yapılmıştır. Yenilenebilir enerjinin, enerji arzına katkısının bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, kişi başına CO2 emisyonları, net enerji ithalatı, kişi başına enerji tüketimi, nüfus artışı, kişi başına reel GSYİH, elektrik üretimine fosil kaynakların katkısı (petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer), fosil kaynakların fiyatları (petrol, kömür, doğal gaz), sanayi sektöründe kullanılan elektrik oranları, yenilenebilir kaynakların potansiyeli (güneş, rüzgâr, biyokütle) ve kamu politikaları kullanılan açıklayıcı değişkenler olup, elektrik piyasasının serbestleşme yılı, sürekli taahhüt, KP'nin onaylanması kukla değişken olarak modele eklenmiştir. Çalışmada CO2 emisyonları, belirsizlik ve istikrarsızlık içermeyen kamu politikalarının, rüzgâr hariç yenilenebilir kaynak potansiyellerinin pozitif ve güçlü; nükleer başta olmak üzere fosil enerji kullanımının negatif etkisi olduğu tespit edilmiştir. Enerji tüketimindeki artışın fosil kaynak kullanımını artırdığı bununla birlikte fosil kaynak fiyatları, enerji ithalatı, kişi başına GSYİH ve serbestleşmenin yenilenebilir enerji yatırımlarına etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar yenilenebilir enerji yatırımlarının arkasındaki itici gücün çevresel faktörler ve kamu politikaları olduğunu, enerji güvenliğinin ise etkisiz olduğunu göstermektedir.

Apergis ve Payne (2014) tarafından 7 Orta Amerika ülkesi için kişi başına yenilenebilir elektrik tüketiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1980-2010 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Kişi başına reel GSYİH, kişi başına CO2 emisyonları, reel fosil kaynak fiyatları (petrol, kömür) kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada kişi başına yenilenebilir elektrik tüketimi üzerinde kişi başına gelir, kişi başına CO2 emisyonları ve fosil kaynak fiyatlarının pozitif etkisi olduğu tespit edilmiştir. 2002 yılında yapılan **Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi** sonrası dönemde yenilenebilir elektrik tüketiminin bu değişkenlere karşı duyarlılığının arttığı; kamu politikaları, mali teşvikler ve teknolojik gelişimin de yenilenebilir elektrik tüketimini etkileyen önemli değişkenler olduğu belirtilmiştir.

Salim ve Shafiei (2014) tarafından 29 OECD ülkesi için yenilenebilir ve fosil enerji tüketimine demografik etkenlerin etkisi incelenmiştir. Çalışmada 1980-2011 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Toplam nüfus, kişi başına reel GSYİH, sanayi ve hizmet sektörünün GSYİH içindeki payı, nüfus yoğunluğu, kentleşme kullanılan açıklayıcı değişkenler olup, fosil ve yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olduğu iki ayrı modelde tahmin edilmiştir. Kentleşme üzerine odaklanılan çalışmada kentleşme olgusuyla birlikte ekonomik gelişim ve artan gelirin enerji tüketimini artırdığı, artan enerji tüketiminin de fosil kaynaklara yönelimi artırarak fosil enerji tüketimini artırdığı tespit edilmiştir. Fosil enerji tüketimi üzerinde toplam nüfus ve kentleşmenin pozitif ve güçlü; nüfus yoğunluğunun ise negatif etkisi olduğu belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi ile herhangi bir demografik etken arasında nedensel ilişki tespit edilememiştir.

Omri ve Nguyen (2014) tarafından 64 ülke için kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1990-2011 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiş, ülkelerin gelir seviyelerine göre düşük, orta ve yüksek gelirli olarak üç alt panel oluşturulmuştur. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olduğu modelde, kişi başına CO2 emisyonları, petrol fiyatları, kişi başına reel GSYİH, ticaret açıklığı kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada kişi başına yenilenebilir enerji tüketiminin temel belirleyicilerin kişi başına CO2 emisyonları ve ticaret açıklığı olduğu belirtmiştir. Bununla birlikte ekonomik büyümenin enerji tüketimini ve beraberinde CO2 emisyonlarını artırarak pozitif; petrol fiyatlarının ise negatif ve güçsüz bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Schaffer ve Bernauer (2014) tarafından IEA üyesi olan KP Ek I’de yer alan 26 gelişmiş ülke için yenilenebilir enerji politikalarının belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1990-2010 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerji politika türü (tarife ve yeşil sertifika)’nın bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, kişi başına reel GSYİH, kişi başına CO2 emisyonları, fosil ve nükleer kaynaklardan elektrik üretimi, CO2 yoğunluğu, GSYİH büyümesi, sektörlere göre CO2 emisyonları büyümesi, güneş ve rüzgâr enerji kapasitelerindeki büyüme kullanılan açıklayıcı değişkenler olup, AB üyeliği, politik sistemin yapısı, siyasi partilerin tutumu gibi değişkenler kukla değişken olarak modele dâhil edilmiştir. Çalışmada mevcut enerji tedarik sisteminin özellikleri, politik sistemin yapısı ve AB üyeliğinin yenilenebilir enerji politikalarının en önemli belirleyicileri olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte CO2 yoğunluğu, fosil ve nükleer kaynaklardan elektrik üretiminin politikalar üzerinde pozitif ancak beklenenin aksine güçlü bir etki göstermediği; ekonomik büyüme, güneş ve rüzgâr enerji kapasitelerindeki büyümenin ise yenilenebilir enerjiye yönelik siyasi isteği azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çınar ve Yılmaz (2015) tarafından Brezilya, Hindistan, Çin, Meksika, Güney Afrika, Şile, Endonezya ve Türkiye’nin yer aldığı gelişmekte olan 8 ülke için yenilenebilir-yenilenemez enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki ve yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin belirleyicileri arz yönlü ve talep yönlü olmak üzere iki farklı modelle incelenmiştir. Çalışmada 1990-2013 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin bağımlı değişken olduğu modelde, kişi başına reel GSYİH, CO2 emisyonları, fosil kaynaklardan elektrik üretimi, kişi başına enerji tüketimi, kentsel nüfus büyüme oranı, net enerji ithalatı kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada kişi başına reel GSYİH, CO2 emisyonları, kişi başına enerji tüketimi ve net enerji ithalatının pozitif; fosil kaynaklardan elektrik üretimi ve kentsel nüfus büyüme oranının negatif etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Doğan (2015) tarafından Türkiye için yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi ile GSYİH arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada 1990-2012 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılan modelde kişi başına reel GSYİH bağımlı değişken olup, kişi başına reel brüt sermaye oluşumu, kişi başına işgücü, kişi başına yenilenebilir

kaynaklardan elektrik üretimi, kişi başına fosil kaynaklardan elektrik üretimi kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada uzun dönemde tüm değişkenler arasında ilişki bulunmuştur. Ekonomik büyüme üzerinde kısa dönemde yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi etkisiz; uzun dönemde ise fosil kaynaklardan elektrik üretiminin etkili, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin etkisiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanabilmesi için politika yapıcılarının elektrik tüketiminde yenilenebilir kaynakların payını azaltarak fosil kaynakların payını artırması, ancak Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı bir konumda bulunması nedeniyle fosil kaynak tüketiminin artmasının ülke ekonomisini olumsuz etkilememesi için enerjide verimliliği artırması gerektiği belirtilmiştir.

Kılınç Ata (2016) tarafından 27 AB ülkesi ve 50 ABD eyaleti için yenilenebilir enerji politika araçları incelenmiştir. Çalışmada 1990-2008 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir elektrik kurulu gücünün bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, enerji politika araçları (kota, vergi vd.), GSYİH büyümesi, kişi başına elektrik tüketimi, fosil kaynak fiyatları (kömür, doğal gaz), kişi başına CO2 emisyonları, enerji tüketimi (termal ve nükleer), ithalat (enerji ve elektrik) kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada yenilenebilir politika araçlarının bu kaynakların kurulu güç kapasitelerinin artırılmasında önemli bir etkisinin olduğu, ancak etkinliklerin politika araçlarının türüne göre değişiklik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yenilenebilir kaynakların elektrik üretim kapasitelerinin artırılmasında tarife garantisi, ihale teklifleri ve vergi teşviklerinin güçlü ve pozitif, kotanın ise etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Ekonomik büyüme, fosil kaynak fiyatları ve enerji tüketiminin de yenilenebilir elektrik kurulu güç kapasitesi üzerinde etkisi olduğu belirtilmiştir.

Lin, Omoju ve Okonkwo (2016) tarafından Çin için yenilenebilir kaynaklardan elektrik tüketiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1980-2011 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Kişi başına reel GSYİH, özel sektör kredisi, doğrudan yabancı yatırım, ticaret açıklığı, fosil kaynaklardan enerji tüketimi kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada tüm değişkenler arasında uzun dönemli ilişki olduğu, yenilenebilir elektrik tüketimi üzerinde ekonomik büyümenin pozitif ve güçlü; özel sektör kredisinin pozitif ve güçsüz; doğrudan yabancı yatırım, ticaret açıklığı ve fosil enerji tüketiminin negatif ve güçlü etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kısa dönemde ise özel sektör kredisinden yenilenebilir elektrik tüketimine ve

yenilenebilir elektrik tüketiminden ticaret açıklığına tek yönlü nedensel ilişki tespit edilmiştir.

Marques, Fuinhas ve Menegaki (2016) tarafından Yunanistan için ekonomik büyüme, yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada 2004-2014 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi (hidrolik ve hidrolik hariç diğer kaynaklar), fosil kaynaklardan elektrik üretimi (petrol, linyit, doğal gaz), GSYİH büyümesi, elektrik ihracatının ithalatı karşılama oranı, elektrik dengesi, sanayi üretim endeksi, elektrik tüketimi (su pompalama) kullanılan değişkenler olup üç ayrı bağımlı değişkenin yer aldığı, üç farklı model tahmin edilmiştir. Çalışmada ekonomik büyüme, yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi arasında uzun dönemli bir ilişki bulunamamıştır. Kısa dönemde ise yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi arasında ikame ilişkisi tespit edilerek, fosil kaynakların yenilenebilir kaynakların geliştirilmesine katkıda bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bekhet ve Harun (2017) tarafından Malezya için yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1982-2015 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılan modelde emek, sermaye, reel GSYİH ve özel sektör kredisi kullanılan değişkenlerdir. Çalışmada değişkenler arasında dinamik bir ilişki tespit edilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine emek ve sermayenin uzun dönemli ve pozitif; ekonomik büyüme ve finansal gelişimin ise negatif etkisi olduğu tespit edilmiş, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılmasının kamu politikaları ile desteklenmesinin gerekliliği açıklanmıştır.

Koengkan (2017) tarafından 13 Latin Amerika ülkesi için yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitelerinin artırılmasında mali teşvik politikaların kısa ve uzun dönemli etkileri incelenmiştir. Çalışmada 1980-2014 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Latin Amerika ülkeleri ve Çin'e ait kişi başına GSYİH ve mali teşvik politikaları kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada mali teşvik politikalarının kısa dönemde etkisiz; uzun dönemde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Latin Amerika ülkelerinde ve Çin'deki ekonomik büyümenin yenilenebilir enerji kurulu kapasitelerini sırasıyla kısa dönemde %3.1 ve %5.3; uzun dönemde %2.5 ve %1.1 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

Sülükçüler (2018) tarafından 34 OECD ülkesi için birincil enerji arzında yenilenebilir enerji payını etkileyen değişkenler incelenmiştir. Çalışmada 1995-2014 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerjinin birincil enerji arzına katkısının bağımlı değişken olarak kullanılan modelde, kamu harcamaları, doğal kaynaklardan elde edilen kira bedeli, enerji ithalatı, fosil kaynaklardan elektrik üretimi (petrol, kömür, doğal gaz), TÜFE (enerji), kişi başına GSYİH, yenilenebilir enerji tüketimi, CO2 emisyonları, uygulanan yenilenebilir enerji politika sayısı kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada yenilenebilir enerjinin birincil enerji arzına katkısı üzerinde en güçlü etkiye sahip olan değişkenlerin sırasıyla birincil kaynaklardan elektrik üretimi, enerji ithalatı, kamu harcamaları, TÜFE, CO2 emisyonları, kişi başına GSYİH, yenilenebilir enerji tüketimi, doğal kaynaklardan elde edilen kira bedeli, uygulanan yenilenebilir enerji politika sayısı olduğu tespit edilmiştir.

Bulut ve Muratoğlu (2018) tarafından Türkiye için yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYİH arasındaki ilişki ve yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1990-2015 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılan modelde reel GSYİH, Ar-Ge harcamaları, sabit sermaye oluşumu, emek, demokrasi, fosil enerji tüketimi, yenilenebilir enerji tüketimi kullanılan değişkenlerdir. Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ile GSYİH arasında herhangi bir nedensel ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicileri ise (i) enerji gereksinimlerini karşılamak, (ii) çevresel sorunları azaltmak, (iii) enerjide dışa bağımlılığı ve cari işlemler dengesini sağlamak olarak üç grupta incelenerek, enerji politikaları ve teşvik mekanizmaları ile yenilenebilir enerji tüketiminin teşvik edileceği belirtilmiştir.

Pata (2018) tarafından Türkiye için kişi başına CO2 emisyonlarını etkileyen faktörler incelenmiştir. Çalışmada 1974-2014 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Kişi başına yenilenebilir enerji tüketimi (hidrolik ve hidrolik hariç diğer kaynaklar), kentleşme, özel sektör kredisi, kişi başına GSYİH kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada tüm değişkenler arasında uzun dönemli ilişki olduğu, CO2 emisyonları üzerinde ekonomik büyüme, kentleşme ve özel sektör kredilerinin pozitif; yenilenebilir elektrik tüketiminin ise negatif etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ekonomik büyüme ve CO2 emisyonları arasında ters U şeklinde ilişki kuran **Çevresel Kuznets Eğrisi** hipotezinin Türkiye’de geçerli olduğu; Türkiye’nin çevre

kirliliğini azaltacak kişi başına GSYİH'ye ulaşamadığını, çevre kirliliğinin azaltılmasında yenilenebilir kaynak tüketiminin yeterli seviyede olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Özcan (2019) tarafından Türkiye'de yaşayan insanların elektrik üretim tercihlerinin belirleyicileri haziran 2014-2015 dönemini kapsayan bir yıllık anket çalışması ile incelenmiştir. Elektrik üretiminde hangi tür enerji kaynakları kullanılmalı sorusuna verilen cevaplar cinsiyet, yaş, eğitim durumu ve gelir düzeyine göre gruplaştırılarak incelenmiştir. Çalışmada küresel ısınma, iklim değişikliği ve enerjide dışa bağımlılık sorununun elektrik üretim tercihlerini etkileyen önemli faktörler olduğu belirtilmiştir. Elektrik üretiminde kullanılan rüzgâr ve güneş enerjisinin en çok tercih edilen enerji türü olduğu, buna karşın çevresel etkilerinden dolayı hidrolik ve güvenlik riskinden dolayı nükleer enerjinin tercih edilmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Kang, Islam ve Tiwari (2019) tarafından Hindistan için yenilenebilir ve fosil kaynak tüketimi, CO2 emisyonları, reel GSYİH arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada 1965-2015 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Modelde yenilenebilir kaynak tüketimi için hidrolik, fosil kaynak tüketimi için kömür verileri kullanılmış, hidrolik ve kömür tüketiminin bağımlı değişken olduğu iki ayrı model tahmin edilmiştir. Çalışmada hidrolik ve kömür tüketimi ile reel GSYİH ve CO2 emisyonları arasında herhangi bir nedensel ilişki bulunamamıştır. Ekonomik büyümenin enerji tüketiminden ziyade CO2 emisyonları üzerinde pozitif yönlü etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Olanrewaju vd. (2019) tarafından Afrika'nın 5 ayrı bölgesinde bulunan nüfus ve ekonomik alanda en gelişmiş olan Mısır (kuzey), Güney Afrika (güney), Etiyopya (doğu), Nijerya (batı), Demokratik Kongo Cumhuriyeti (orta) için yenilenebilir enerji tüketiminin belirleyicileri incelenmiştir. Çalışmada 1990-2015 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketiminin bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, reel enerji yoğunluğu, fosil kaynaklardan elde edilen kira bedeli (kömür, petrol, doğal gaz), CO2 yoğunluğu kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ile enerji yoğunluğu, CO2 yoğunluğu, petrol ve kömürden elde edilen kira bedeli ile arasında negatif; doğal gazdan elde edilen kira bedeli arasında ise pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu ülkelerde çevresel ve ekonomik olumsuzluklara neden olan fosil kaynakların tüketimi için yüksek vergilerin talep

edilmesi, enerji kaynaklarındaki fiyat risklerinin önlenmesi için enerji kaynaklarının çeşitlendirilerek yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Andini, Cabral ve Santos (2019) tarafından Portekiz için yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim projelerinin makroekonomik etkileri incelenmiştir. Çalışmada 1977-2015 yılları arası baz alınarak zaman serisi veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının bağımlı değişken olarak kullanıldığı modelde, reel GSYİH (Portekiz), reel özel tüketim, reel kamu tüketimi, reel brüt yatırım, reel ithalat, reel ihracat, net enerji ithalatı, reel GSYİH (İspanya), enflasyon, işsizlik oranı, işgücü, reel emeğin verimliliği, elektrik tüketimi, petrol fiyatları, nominal döviz kuru, devlet tahvili nominal faiz oranı kullanılan açıklayıcı değişkenler olup, değişkenlerin büyüme oranları dikkate alınmıştır. Çalışmada yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin fosil kaynaklardan elektrik üretimine uygulanabilir bir alternatif olduğu, yenilenebilir projelerinin fayda-maliyet gibi mikroekonomik değişkenlerden ziyade makroekonomik değişkenler üzerinde de pozitif etkisi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu projelerin geliştirilmesindeki itici güçlerin yenilenebilir enerji hedefleri, KP'nin gerektirdiği fiyat düzenlemeleri, CO2 vergileri, yenilenebilir enerji teşvikleri olduğu belirtilmiştir.

Hdom (2019) tarafından Brezilya, Bolivya, Kolombiya, Şili, Peru, Ekvador, Venezuela ve Uruguay'ın yer aldığı 8 Latin Amerika ülkesi için CO2 emisyonlarını etkileyen faktörler incelenmiştir. Çalışmada 1980-2010 yılları arası baz alınarak panel veri seti yöntemiyle analiz gerçekleştirilmiştir. Yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi ve kişi başına GSYİH kullanılan açıklayıcı değişkenlerdir. Çalışmada CO2 emisyonları üzerinde ekonomik büyüme ve fosil elektrik üretiminin pozitif; yenilenebilir elektrik üretiminin ise negatif etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalara detaylı olarak literatür tablosunda yer verilmiştir. Bkz. Tablo 3.1.

Tablo 3.1. Literatür tablosu

Yazar	Yıl	Çalışma Aralığı	Ülke	Bağımlı Değişken	Açıklayıcı Değişkenler
Sadorsky	2009	1980-2005	G7 Ülkeleri	Yenilenebilir enerji tüketimi (kb)	Reel GSYİH ((kb), ABD \$, 1990), CO2 emisyonları (kb), reel petrol fiyatları.
Chang, Huang ve Lee	2009	1997-2006	30 OECD Ülkesi	Yenilenebilir enerjinin, enerji arzına katkısı (%)	GSYİH (%), TÜFE.
Marques, Fuinhas ve Pires Manso	2010	1990-2006	24 AB Ülkesi	Yenilenebilir enerjinin, birincil enerji arzına katkısı (%)	CO2 emisyonları (kb), enerji tüketimi (kb), enerji ithalatına bağımlılık (%), elektrik üretimine fosil kaynakların katkısı (%), ülkelerin yüzey alanı (km ²), reel fosil kaynak fiyatları (ABD \$, 2008), reel GSYİH (ABD \$, 2005).
Apergis ve Payne	2010	1985-2005	20 OECD Ülkesi	Reel GSYİH (ABD \$, 2005)	Yenilenebilir enerji tüketimi, reel brüt sabit sermaye (ABD \$, 2005), işgücü.
Menyah ve Wolde Rufael	2010	1960-2007	ABD	-	CO2 emisyonları, yenilenebilir enerji tüketimi, nükleer enerji tüketimi, reel GSYİH (ABD \$, 2000).
Popp, Hascic ve Medhi	2011	1991-2004	26 OECD Ülkesi	Yenilenebilir enerji yatırımı (kb)	Teknoloji, reel GSYİH ((kb), ABD \$, 2005), elektrik tüketiminde büyüme (%), hidrolik ve nükleer kaynaklardan elektrik üretimi (%), fosil kaynakların üretimi (kb), enerji ithalatı (%).
Salim ve Rafiq	2012	1980-2006	6 Gelişmekte Olan Ülke	Yenilenebilir enerji tüketimi	Reel GSYİH (ABD \$, 2005), CO2 emisyonları, reel petrol fiyatları.
Payne	2012	1949-2009	ABD	-	Yenilenebilir enerji tüketimi, reel GSYİH (ABD \$, 2005), CO2 emisyonları ve reel petrol fiyatları.
Yenice ve Bejleri	2013	1949-2011	ABD	-	Yenilenebilir enerji tüketimi, GSYİH (ABD \$), CO2 emisyonları, fosil kaynak fiyatları.
Romano ve Scandurra	2014	1980-2009	6 OPEC Ülkesi	Yenilenebilir enerji yatırımı	GSYİH (kb), enerji yoğunluğu, enerji tüketimi, elektrik tüketimi (kb), petrol arzı, CO2 emisyonları (kb).
Aguirre ve Ibikunle	2014	1990-2010	38 Ülke	Yenilenebilir enerjinin, enerji arzına katkısı (%)	CO2 emisyonları (kb), net enerji ithalatı (%), enerji tüketimi (kb), nüfus artışı (%), reel GSYİH ((kb) ABD \$,2010), elektrik üretimine fosil kaynakların katkısı (%), fosil kaynak fiyatları (ABD \$), sanayi sektöründe kullanılan elektrik oranları, yenilenebilir kaynakların potansiyeli, kamu politikaları.
Apergis ve Payne	2014	1980-2010	7 Orta Amerika Ülkesi	Yenilenebilir elektrik tüketimi (kb)	Reel GSYİH ((kb), ABD \$, 2000), CO2 emisyonları (kb), reel fosil kaynak fiyatları.

[Tablo 3.1. (Devam) *Literatür tablosu*].

Salim ve Shafiei	2014	1980-2011	29 OECD Ülkesi	1.Fosil enerji tüketimi 2.Yenilenebilir enerji tüketimi	Toplam nüfus, reel GSYİH ((kb), ABD \$, 2000), sanayi ve hizmet sektörünün GSYİH içindeki payı (%), nüfus yoğunluğu, kentleşme (%).
Omri ve Nguyen	2014	1990-2011	64 Ülke	Yenilenebilir enerji tüketimi (kb)	CO2 emisyonları (kb), petrol fiyatları, reel GSYİH ((kb), ABD \$, 2005), ticaret açıklığı.
Schaffer ve Bernauer	2014	1990-2010	26 Gelişmiş Ülke	Yenilenebilir enerji politika türü	Reel GSYİH ((kb), ABD \$, 2000), CO2 emisyonları (kb), fosil ve nükleer kaynaklardan elektrik üretimi (%), CO2 yoğunluğu, GSYİH büyümesi (%), sektörler göre CO2 emisyonları büyümesi (%), güneş ve rüzgâr enerji kapasitelerindeki büyüme (MWh).
Çınar ve Yılmaz	2015	1990-2013	8 Gelişmekte Olan Ülke	Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi	Reel GSYİH ((kb), ABD \$, 2005), CO2 emisyonları, fosil kaynaklardan elektrik üretimi, enerji tüketimi (kb), kentsel nüfus büyüme oranı (%), net enerji ithalatı.
Doğan	2015	1990-2012	Türkiye	Reel GSYİH (kb)	Reel brüt sermaye (kb), işgücü (kb), yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi (kb), fosil kaynaklardan elektrik üretimi (kb).
Kılınç Ata	2016	1990-2008	27 AB Ülkesi ve 50 ABD Eyaleti	Yenilenebilir elektrik kurulu gücü	Enerji politika araçları, GSYİH büyümesi (%), elektrik tüketimi (kb), fosil kaynak fiyatları, CO2 emisyonları (kb), enerji tüketimi, enerji ithalatı, elektrik ithalatı.
Lin, Omoju ve Okonkwo	2016	1980-2011	Çin	Yenilenebilir kaynaklardan elektrik tüketimi (%)	Reel GSYİH (kb), özel sektör kredisi (GSYİH %), doğrudan yabancı yatırım (GSYİH %), ticaret açıklığı (GSYİH %), fosil kaynaklardan enerji tüketimi (%).
Marques, Fuinhas ve Menegaki	2016	2004-2014	Yunanistan	1.Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi 2.Fosil kaynaklardan elektrik üretimi 3.GSYİH (%)	Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi, fosil kaynaklardan elektrik üretimi, GSYİH (%), elektrik ihracatının ithalatı karşılama oranı (%), elektrik dengesi, sanayi üretim endeksi, elektrik tüketimi.
Bekhet ve Harun	2017	1982-2015	Malezya	Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi	Emek, sermaye, reel GSYİH (ABD \$, 2005), özel sektör kredisi (GSYİH %).
Koengkan	2017	1980-2014	13 Latin Amerika Ülkesi	Yenilenebilir enerji kurulu gücü	Latin Amerika ülkeleri ve Çin'e ait GSYİH (kb), mali teşvik politikaları.
Sülükçüler	2018	1995-2014	34 OECD Ülkesi	Yenilenebilir enerjinin birincil enerji arzına katkısı (%)	Kamu harcamaları, doğal kaynaklardan elde edilen kira bedeli, enerji ithalatı, fosil kaynaklardan elektrik üretimi, TÜFE, GSYİH (kb), yenilenebilir enerji tüketimi, CO2 emisyonları, uygulanan yenilenebilir enerji politika sayısı.

[Tablo 3.1. (Devam) *Literatür tablosu*].

Bulut ve Muratoğlu	2018	1990-2015	Türkiye	Yenilenebilir enerji tüketimi	Reel GSYİH (ABD \$, 2010), Ar-Ge harcamaları (ABD \$), sermaye (ABD \$, 2010), emek, demokrasi (medeni özgürlük derecelendirmesi (1-7)), fosil enerji tüketimi.
Pata	2018	1974-2014	Türkiye	CO2 emisyonları	Yenilenebilir enerji tüketimi (kb), kentleşme, özel sektör kredisi, GSYİH (kb).
Özcan	2019	2014-2015	Türkiye (1340 Kişi)	Elektrik üretiminde hangi tür enerji kaynakları kullanılmalı?	Cinsiyet, yaş, eğitim durumu, gelir düzeyi.
Kang, Islam ve Tiwari	2019	1965-2015	Hindistan	1.Hidrolik enerji tüketimi 2.Kömür tüketimi	CO2 emisyonları, reel GSYİH (ABD \$, 2000).
Olanrewaju vd.	2019	1990-2015	5 Afrika Ülkesi	Yenilenebilir enerji tüketimi	Reel enerji yoğunluğu (ABD \$, 2011), fosil kaynaklardan elde edilen kira bedeli (%), CO2 yoğunluğu.
Andini, Cabral ve Santos	2019	1977-2015	Portekiz	Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payı	Reel GSYİH, reel özel tüketim, reel kamu tüketimi, reel brüt yatırım, reel ithalat, reel ihracat, net enerji ithalatı, reel GSYİH (İspanya), enflasyon, işsizlik oranı, işgücü, reel emeğin verimliliği, elektrik tüketimi, petrol fiyatları, nominal döviz kuru, devlet tahvili nominal faiz oranı.
Hdom	2019	1980-2010	8 Latin Amerika Ülkesi	CO2 emisyonları	Yenilenebilir ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi, GSYİH (kb).

3.2. Veri Seti

Bu çalışmada, 1990-2017 arası yıllık verilerle Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin belirleyicilerinin ekonometrik olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. Belirleyicilerin incelenmesinde zaman serisi analizlerinden yararlanılmıştır. Zaman serisi analizi, değişkenlerin zamana göre değişimini gözlemlemeye olanak tanımasından dolayı önem taşımaktadır.

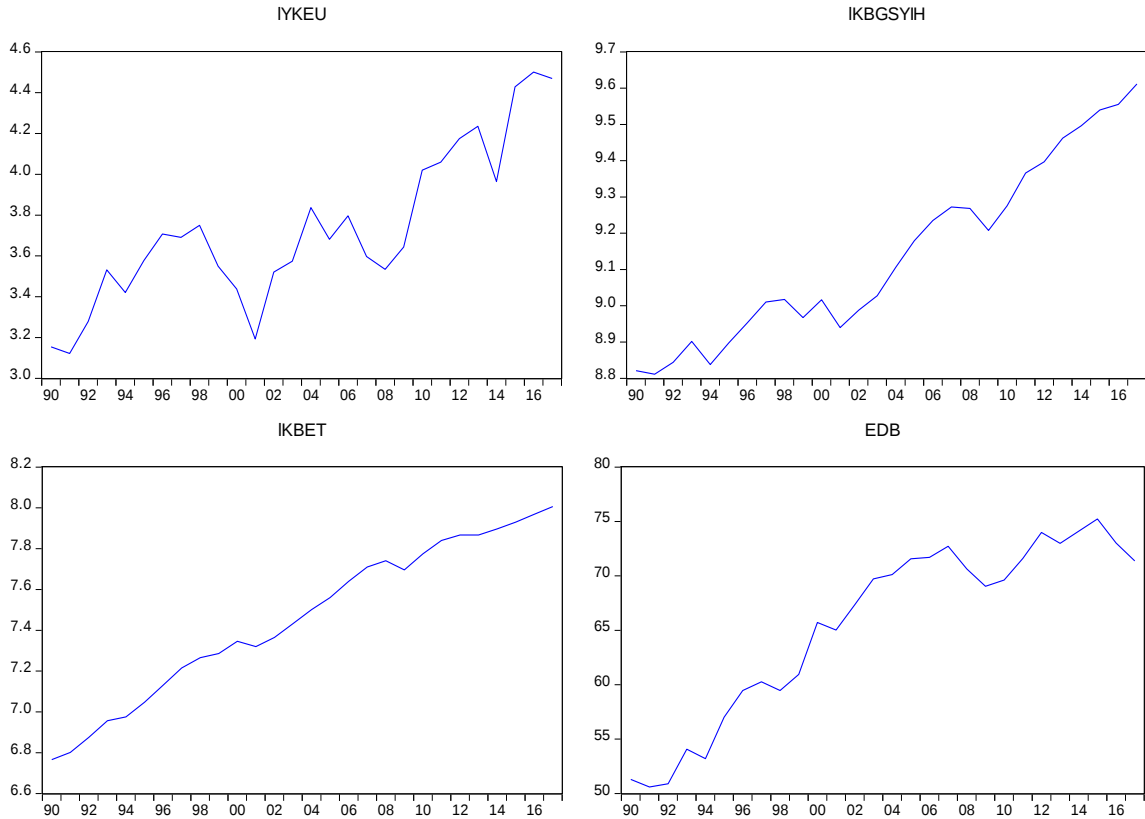
Ekonometrik bulgular EViews 10 SV programı yardımıyla incelenmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini etkileyen tüm değişkenler modelde yer almamıştır. Bunun nedeni tüm değişkenler ile tahmin edilen modellerin anlamlı olmamasıdır (Güriş, Çağlayan Akay ve Güriş, 2017, s.151). Tahmin edilen modellerde değişkenlerin düzey değerlerinin çarpık bir dağılım ve değişen varyans sorunlarını

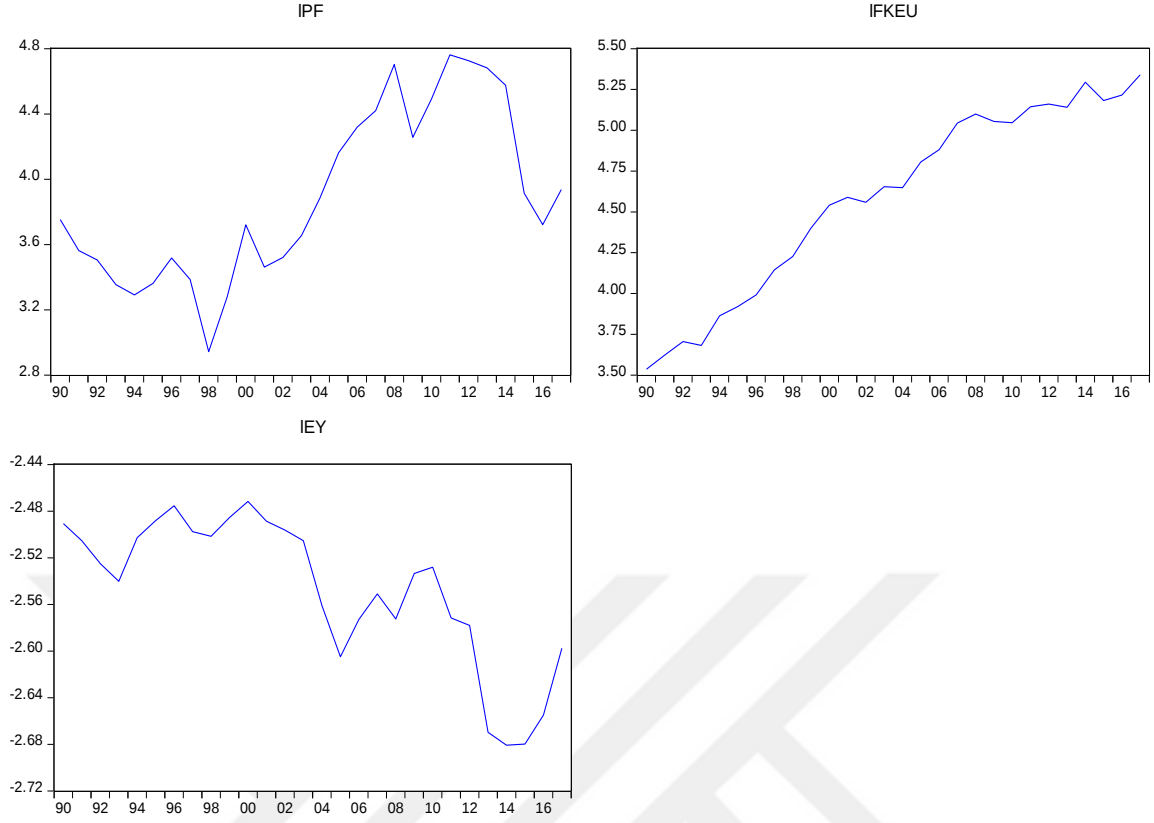
barındırması olasılığına karşı doğal logaritmaları kullanılmış, böylelikle değişkenlerin varyanslarındaki değişim yavaşlarken, çarpıklığın azalması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlar, kısaltmalar, veri kaynakları ve birimler Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. *Ekonometrik analizde kullanılan değişkenlerin özet gösterimi*

Veri Adı	Veri Kısaltması	Veri Kaynağı	Birim
Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Üretimi	LYKEU	Enerdata	TWh
Kişi Başına Reel Gayri Safi Yurt İçi Hasıla	LKBGSYİH	Worldbank	ABD \$, 2010
Kişi Başına Elektrik Tüketimi	LKBET	Enerdata ve Worldbank	kWh
Enerjiye Dışa Bağımlılık	EDB	Enerdata	%
Reel Petrol Fiyatları	LPF	EİA	ABD \$, 2019
Fosil Kaynaklardan Elektrik Üretimi	LFKEU	Enerdata	TWh
Enerji Yoğunluğu	LEY	Enerdata	koe / ABD \$, 2015

Aşağıda çalışmada kullanılan değişkenlere ait zaman serisi grafikleri gösterilmiştir.





Not: **L**: Serilerin logaritmik değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 3.1. Zaman serisi grafikleri

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi, kişi başına gelir, kişi başına elektrik tüketimi, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi değişkenleri pozitif; enerji yoğunluğu değişkeni ise negatif trende sahiptir.

Aşağıda ekonometrik analizde kullanılan değişkenlerin, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi ile olan muhtemel ilişkileri ve her bir değişkene ait hipotez ile ilişki işaret beklentilerine yer verilmiştir:

LKBSYİH: Kişi başına gelirden meydana gelen bir artış yenilenebilir kaynakların talebini artırarak elektrik üretiminde bu kaynakların kullanımını artırıcı bir etki yaratır. Bu durumda LKBSYİH ile LYKEU arasında beklenen ilişki işareti pozitifdir.

LKBET: Birçok değişkene bağlı olarak kişi başına elektrik tüketimi sürekli olarak artma eğilimindedir. Türkiye gibi enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkelerde elektrik tüketiminde meydana gelen bir artış enerjide arz güvenliği sorununun derinleşmemesi

amacıyla yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini artırıcı bir etki yaratır. Bu durumda LKBET ile LYKEU arasında beklenen ilişki işareti pozitifdir.

EDB: Enerji ithalatının toplam enerji tüketimine bölünmesi ile hesaplanan enerjide dışa bağımlılık oranında meydana gelen bir artış fosil kaynakların talebini artırarak elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını azaltıcı bir etki yaratır. Bu durumda EDB ile LYKEU arasında beklenen ilişki işareti negatiftir.

LPF: Petrol fiyatlarında meydana gelen bir artış fosil kaynakların talebini azaltarak elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımını artırıcı bir etki yaratır. Bu durumda LPF ile LYKEU arasında beklenen ilişki işareti pozitifdir.

LFKEU: Elektrik talebinin karşılanmasında fosil kaynakların kullanımında meydana gelen bir artış yenilenebilir kaynakların kullanımını azaltıcı bir etki yaratır. Bu durumda LFKEU ile LYKEU arasında beklenen ilişki işareti negatiftir.

LEY: Toplam enerji tüketiminin GSYİH'ye bölünmesi ile hesaplanan enerji yoğunluğu, bir birim GSYİH üretmek için gereken toplam enerji miktarını ifade etmektedir. Enerji yoğunluğunda meydana gelen bir artış enerji tüketimini artırarak yenilenebilir kaynakların kullanımını artırıcı bir etki yaratır. Bu durumda LEY ile LYKEU arasında beklenen ilişki işareti pozitifdir.

Aşağıda yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin bağımlı değişken olduğu fonksiyon ve modele yer verilmiştir:

$$LYKEU_t = f(LKBGSYİH_t, LKBET_t, EDB_t, LPF_t, LFKEU_t, LEY_t) \quad (3.1)$$

$$LYKEU_t = \alpha_0 + \alpha_1 LKBGSYİH_t + \alpha_2 LKBET_t - \alpha_3 EDB_t + \alpha_4 LPF_t - \alpha_5 LFKEU_t + \alpha_6 LEY_t + \varepsilon_t \quad (3.2)$$

α : Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin ilgili açıklayıcı değişkenlere göre esneklik değerini ifade etmektedir.

ε : Hata katsayısını ifade etmektedir.

3.3. Metodoloji

Uygulama kısmında Vector Autoregression [VAR] modeli için yapılacak analizler bu başlık altında tanıtılmıştır. VAR modellerin ekonometride kullanım alanı değişkenler arasında etkileşimi ortaya koymak ve geleceğe dair bilgiler sunmaktır.

Çalışmada serilerin durağanlığı Augmented Dickey-Fuller [ADF] testi ve Phillips-Peron [PP] testi ile analiz edildi. Seçilen modelin teorik sorunları incelendi. VAR modeli için uygun gecikme uzunluğu tespit edildi. Eşbütünleşme ilişkisi Johansen testi ile incelendi. Elde edilen sonuçlara göre Vector Error Correction [VECM] modeli tahmin edildi. Varyans ayrıştırması, etki-tepki analizi ve Granger nedensellik testi ile modelle ilgili bulgular elde edildi ve sonuçlar yorumlandı.

Durağanlık analizi: Zaman serisi verilerine dayanan ekonometrik çalışmalarda serilerin durağan olduğu varsayılmaktadır. **Durağanlık**, “...ortalamasıyla varyansı zaman içinde değişmeyen ve iki dönem arasındaki ortak varyansı bu ortak varyansın hesaplandığı döneme değil de yalnızca iki dönem arasındaki uzaklığa ya da açıklığa yahut gecikmeye bağlı olan olasılıklı bir süreç...” olarak tanımlanmaktadır. Ancak uygulamada zaman serilerinin çoğu, düzeyde durağan değildir. Dolayısıyla durağan olmayan bu serilerin ortalaması, varyansı ve ortak varyansı zaman içerisinde değişiklik göstermektedir (Gujarati ve Porter, 2012, s.740-741).

Durağan olmayan zaman serileri kullanılarak tahmin edilen modellerde gerçekte aralarında ilişki olmaması gereken değişkenler arasında anlamlı bir istatistiksel ilişki olduğu sonucuna ulaşılabilen ve bu durum **düzmece regresyon** olarak adlandırılmaktadır (Gujarati ve Porter, 2012, s.748). Bu nedenle zaman serisi verilerine dayanan analizlerde ilk olarak modelde kullanılan değişkenlerin durağanlık sınaması yapılmalıdır. Durağanlığın sağlanması için serilerin logaritmaları, farkları ve logaritmaların farklarını alma işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Durağanlık, genellikle birim kök testi ile incelenmekte ve hipotezler şöyle ifade edilmektedir:

$H_0 : \delta = 0 \rightarrow$ Birim kök vardır ya da seri durağan değildir.

$H_1 : \delta < 0 \rightarrow$ Birim kök yoktur ya da seri durağandır (Gujarati ve Porter, 2012, s.756).

Model sorunlarının tespiti: Regrasyon modelinin yapısı, katsayılarının işaretleri ve büyüklükleri uygun olup istatistiksel olarak anlamlı olsalar da, çoklu doğrusal bağıllık, normallik, sıfır ortalama, otokorelasyon ve değişen varyansın yer aldığı hata terimleri varsayımlarına uygunluğunun tespit edilmesi gerekmektedir (Güriş, Çağlayan Akay ve Güriş, 2017, s.185). Bu varsayımlar şu şekilde özetlenebilir:

- **Çoklu doğrusal bağıllık varsayımı:** Çoklu regresyon modellerinde yer alan açıklayıcı değişkenler arasında doğrusal ilişki olmadığını varsaymaktadır.
- **Normallik varsayımı:** Anakütle hata teriminin normal dağılıma sahip olduğunu varsaymaktadır.
- **Sıfır ortalama varsayımı:** Artıkların ortalamasının sıfır olduğunu varsaymaktadır.
- **Otokorelasyon varsayımı:** Hata terimlerinin birbirini izleyen değerleri arasındaki ilişkinin olmadığını varsaymakta ve hipotezler şöyle ifade edilmektedir:

$H_0 : p_1 = p_2 = \dots = p_p = 0 \rightarrow$ Otokorelasyon yoktur.

$H_1 : p_1 \neq p_2 \neq \dots \neq p_p \neq 0 \rightarrow$ Otokorelasyon vardır (Gujarati ve Porter, 2012, s.439).

p_p : p'inci dereceden otokorelasyonu ifade etmektedir.

- **Değişen varyans:** Gözlemlerin varyansının değişmediğini bir diğer ifade ile sabit olduğunu varsaymakta ve hipotezler şöyle ifade edilmektedir:

$H_0 : \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_p = 0 \rightarrow$ Sabit varyans varsayımı geçerlidir.

$H_1 : \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \dots \neq \alpha_p \neq 0 \rightarrow$ Sabit varyans varsayımı geçerli değildir (Güriş, Çağlayan Akay ve Güriş, 2017, s.241).

α : Hata terimi varyansını ifade etmektedir.

Eşbütünleşme testi: Düzmece regresyonun oluşmaması için yapılan bir ön sınamadır (Gujarati ve Porter, 2012, s.762). Ancak bu testten önce uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Gecikme uzunluğunun belirlenmesinde Ardışık Modifiye Edilmiş Test İstatistiği [LR], Son Kestirim Hatası [FPE], Akaike Bilgi Kriteri [AIC], Schwarz Bilgi Kriteri [SIC] ve Hannan-Quinn Bilgi Kriteri [HQ] değerlerinden

yararlanılmakta, kritik değerleri en küçük yapan değer uygun gecikme uzunluğu olarak belirlenmektedir.

Değişkenler uzun dönemli ya da denge ilişkisi içinde ise eşbütünleşik olmaktadır. Çalışmada kullanılan tüm değişkenlerin birinci farklarında durağan olması nedeniyle bu değişkenler ile yapılacak olan uygulamalar öncesinde, değişkenler arasındaki uzun dönemli denge ilişkisinin varlığının sınaması eşbütünleşme testi ile belirlenmelidir (Özata, 2010, s.105). Ancak durağanlık için yapılan fark alma işlemi, değişkenin geçmiş dönemlerde maruz kaldığı kalıcı şokların etkisini yok ederken, uzun dönemli ilişkileri de ortadan kaldırmaktadır. Bu şekilde uzun dönemli bilgilerin yok edilmesi sebebiyle değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisi oluşmaz (Sülükçüler, 2018, s.144). Bu nedenle eşbütünleşme testi durağan olmayan değişkenler ile yapılmalıdır.

Eşbütünleşme testinde eşbütünleşme vektörlerinin sayısını bulabilmek amacıyla iz (trace) ve maksimum özdeğer (max-eigen) testlerinden yararlanılmaktadır. **İz testi**, değişkenlerin düzeylerine ilişkin parametre matrisinin rankının, eşbütünleşik vektör sayısına eşit ya da eşbütünleşik vektör sayısından daha küçük olduğunu ifade eden sıfır hipotezi test etmektedir. **Maksimum özdeğer testi** ise değişkenlerin düzeylerine ilişkin parametre matrisinin rankının, eşbütünleşik olan vektör sayısına eşit olduğunu kabul eden sıfır hipotezi test etmektedir.

Vektör hata düzeltme modeli: Değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisinin varlığı, durağan olmayan seriler ile belirlenmek isteniyorsa, bu seriler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu durumda analiz gerçeği yansıtmaktadır. Durağan seriler ile belirlenmek isteniyorsa vektör hata düzeltme modeli ile analiz yapılmaktadır. Çalışmada kullanılan değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkileri tespit edilmişse, tahmin için vektör hata düzeltme modeli oluşturulur. Bu model, hem uzun ve hem de kısa dönemli nedensel ilişkileri ortaya koymakta, eşbütünleşme ile uzun dönem bilgisinde oluşan kayıpları ve bu kayıpların oluşturduğu kısa dönem dengesizlikleri belirleyerek düzeltilmesini sağlamaktadır (Özata, 2010, s.104).

Vektör hata düzeltme modeli, kısıt modele durağan seriler ve durağan olmayan serilerin birinci farkları alınarak uzun dönemli ilişkiyi yansıtan bir hata düzeltme teriminin modele dâhil edilmesi ile tahmin edilmektedir. Aşağıda hata düzeltme terimine yer verilmiştir:

$$ECM = e_{t-1} = LYKEU_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 LKBGSYIH_{t-1} - \alpha_2 LKBET_{t-1} + \alpha_3 EDB_{t-1} - \alpha_4 LPF_{t-1} + \alpha_5 LFKEU_{t-1} - \alpha_6 LEY_{t-1} \quad (3.3)$$

ECM ve **e** : Hata düzeltme terimini ifade etmektedir.

Vektör hata düzeltme modeli ise şu şekilde gösterilmektedir:

$$\begin{aligned} \Delta LYKEU_t = & \alpha_0 + \alpha_1 \Delta LKBGSYIH_t + \alpha_2 \Delta LKBET_t - \alpha_3 \Delta EDB_t + \alpha_4 \Delta LPF_t \\ & - \alpha_5 \Delta LFKEU_t + \alpha_6 \Delta LEY_t - \alpha_7 (LYKEU_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 LKBGSYIH_{t-1} \\ & - \alpha_2 LKBET_{t-1} + \alpha_3 EDB_{t-1} - \alpha_4 LPF_{t-1} + \alpha_5 LFKEU_{t-1} - \alpha_6 LEY_{t-1}) \\ & + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (3.4)$$

$-\alpha_7$: Hata düzeltme parametresini ifade etmektedir.

Elde edilen hata düzeltme parametresi negatif olmalıdır. Parametrenin pozitif olması kısa dönemdeki dengesizliklerin uzun dönemde düzelmeyeceği anlamına gelmektedir (Gujarati ve Porter, 2012, s.764-765).

Vektör hata düzeltme modeli ile varyans ayrıştırması, etki-tepki fonksiyonları ve Granger nedensellik testleri yapılarak kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları, fosil kaynaklardan elektrik üretimi ve enerji yoğunluğunun yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine olan etkisi incelenmektedir.

Varyans ayrıştırması: Çalışmada kullanılan değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisinin derecesi konusunda bilgi vermektedir. Değişkenlerin kendi ya da diğer değişkenler üzerinde meydana getirdiği şokların kaynaklarının yüzdelik olarak tespit edilmesiyle şoklar üzerinde etkisi en yüksek olan kaynağı belirlemek amacı ile kullanılmaktadır (Enders, 2015, s.311).

Etki-tepki analizi: Çalışmada kullanılan değişkenlerden herhangi birinin hata terimindeki bir standart sapmalık şokun, diğer değişkenlerin şimdiki ve gelecekteki değerlerine olan etkisi konusunda bilgi vermektedir. Şoklar sonucunda değişkenlerdeki dinamik tepkileri görmek ve şoklara uyum sürecini incelemek amacı ile kullanılmaktadır (Özata, 2010, s.110).

Granger nedensellik testi: Değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü istatistiksel açıdan belirlemek amacı ile kullanılmaktadır. Nedensellik testi ile üç durum analiz edilebilmektedir:

- **Tek yönlü nedensellik:** Değişkenlerden birinin gecikmeli değerlerinin tahmin edilen katsayılarının bir bütün olarak sıfırdan istatistiki olarak farklı olması ve diğer değişkenin gecikmeli değerlerinin tahmin edilen katsayılarının bir bütün olarak sıfırdan farklı olmaması durumunda geçerli olmaktadır.
- **Çift yönlü nedensellik:** Her iki değişkenin gecikmeli değerlerinin tahmin edilen katsayılarının bir bütün olarak sıfırdan farklı olması durumunda geçerli olmaktadır.
- **Bağımsızlık:** Her iki değişkenin gecikmeli değerlerinin tahmin edilen katsayılarının bir bütün olarak sıfırdan farklı olmaması durumunda geçerli olmaktadır.

Çalışmada kullanılan değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi tespit edildiği için Granger nedensellik testinde kullanılan modellere hata düzeltme terimini de içerecek biçimde aşağıda yer verilmiştir:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \alpha_0 \Delta X_t + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^m \beta_j \Delta Y_{t-j} + \lambda_1 ECM_{t-1} + u_t \quad (3.5)$$

$$\Delta X_t = \gamma_0 + \delta_0 \Delta Y_t + \sum_{i=1}^m \gamma_i \Delta X_{t-i} + \sum_{j=1}^m \delta_j \Delta Y_{t-j} + \lambda_2 ECM_{t-1} + v_t \quad (3.6)$$

ECM_{t-1} : Hata düzeltme teriminin bir dönem gecikmeli değeridir.

λ : Değişkenlerin uzun dönem denge ilişkisine geri dönme hızıdır.

α_i ve β_j : Y ve X değişkenlerin m tane cari ve geçmiş değerinin Y üzerindeki etkisidir.

γ_i ve δ_j : Y ve X değişkenlerin m tane cari ve geçmiş değerinin X üzerindeki etkisidir.

u_t ve v_t : Birbiriyle ilişkisiz, beyaz gürültü hata terimleridir.

Eşbütünleşme söz konusu olduğunda Granger nedensellik testleri, α_i ve δ_j ve hata düzeltme terimlerinin katsayıları olan λ_1 ve λ_2 'nin anlamlı olup olmadığının sınanması ile yapılmaktadır (Özata, 2010, s.109).

3.4. Uygulama ve Bulgular

Çalışmada kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler ve değerleri Tablo 3.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. *Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler*

İstatistikler	LYKEU	LKBGSYİH	LKBET	EDB	LPF	LFKEU	LEY
Ortalama	3.7303	9.1431	7.4565	65.4549	3.8881	4.5890	-2.5475
St. Hata	0.0723	0.0469	0.0726	1.5274	0.0999	0.1099	0.0120
St. Sapma	0.3827	0.2482	0.3839	8.0822	0.5287	0.5814	0.0637
Basıklık	-0.3158	-1.0787	-1.1513	-0.9905	-1.1154	-1.1767	-0.1695
Çarpıklık	0.5225	0.4188	-0.2796	-0.6784	0.3087	-0.4729	-0.9072
Maksimum	4.5014	9.6116	8.0064	75.2390	4.7617	5.3397	-2.4716
Minimum	3.1215	8.8112	6.7662	50.6030	2.9434	3.5356	-2.6808
Toplam	104.4476	256.0055	208.7833	1832.7370	108.8675	128.4914	-71.3299

Basıklık ve çarpıklık katsayısının %5 anlam düzeyinde -1.96 ve 1.96 arasında olması normal dağıldığını göstermektedir. Basıklık katsayısı pozitif ise, eğri normale göre daha dik; negatif ise normale göre daha basık bir görünüm oluşmaktadır. Çarpıklık katsayısı pozitif ise sağa çarpık; negatif ise sola çarpık olduğunu göstermektedir. Jarque-Bera sonucuna göre tüm değişkenlerin basıklık değerleri 5'ten küçük olduğundan normal dağılım göstermektedir.

Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesi ve yönü konusunda bilgi vermek üzere korelasyon matrisi oluşturulmuş ve Tablo 3.4.'te sunulmuştur.

Tablo 3.4. *Değişkenler arasındaki korelasyon matrisi*

Değişkenler	LYKEU	LKBGSYİH	LKBET	EDB	LPF	LFKEU	LEY
LYKEU	1						
LKBGSYİH	0.8973	1					
LKBET	0.8288	0.9587	1				
EDB	0.7120	0.8644	0.9537	1			
LPF	0.4406	0.6927	0.7219	0.7095	1		
LFKEU	0.7407	0.9163	0.9884	0.9665	0.7346	1	
LEY	-0.7526	-0.8527	-0.7453	-0.6727	-0.6016	-0.6910	1

Bağımlı değişken ve açıklayıcı değişkenler arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözlemlenmektedir. Söz konusu dönem için yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi üzerinde kişi başına gelir, kişi başına elektrik tüketimi, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve fosil kaynaklardan elektrik üretiminin pozitif; enerji yoğunluğunun ise negatif etkisi olduğu görülmektedir.

3.4.1. Durağanlık analizi

Durağanlık, çeşitli olası durumları hesaba katmak için model sürüklenmeli bir rassal yürüyüş (sabit), kesin bir eğilim dolayında bir rassal yürüyüş (sabit + trend) ve bir rassal yürüyüş (sabitless trendsiz) olmak üzere üç değişik biçimde, değişkenlerin önce düzey değerleriyle sonra birinci farkları alındıktan sonraki değerleriyle incelenmiştir. Değişkenlerin durağanlık sınaması ADF ve PP birim kök testi ile incelenmiş ve sonuçlar Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'da sunulmuştur.

Tablo 3.5. ADF birim kök testi sonuçları

Değişkenler	Model	Düzey*		Birinci Fark**	
		Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
LYKEU	Sabit	-1.0123	0.73	-6.0732	0.00
	Sabit + Trend	-2.4242	0.36	-5.9521	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	1.2333	0.94	-5.6749	0.00
LKBGSYİH	Sabit	0.5951	0.99	-5.1946	0.00
	Sabit + Trend	-2.0719	0.54	-4.3296	0.01
	Sabitsiz Trendsiz	3.3547	1.00	-3.7150	0.00
LKBET	Sabit	-1.7179	0.41	-4.4905	0.00
	Sabit + Trend	-1.5887	0.77	-4.9080	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	6.9839	1.00	-2.1169	0.04
EDB	Sabit	-1.7719	0.39	-4.7085	0.00
	Sabit + Trend	-0.6968	0.96	-5.3567	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	1.8687	0.98	-4.0777	0.00
LPF	Sabit	-1.2753	0.63	-4.5703	0.00
	Sabit + Trend	-1.7800	0.69	-4.4984	0.01
	Sabitsiz Trendsiz	-0.0373	0.66	-4.6587	0.00
LFKEU	Sabit	-1.6557	0.44	-5.5740	0.00
	Sabit + Trend	-1.2875	0.87	-6.0222	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	4.1319	1.00	-3.4152	0.00
LEY	Sabit	-1.3251	0.60	-3.7253	0.01
	Sabit + Trend	-2.8623	0.19	-3.6084	0.05
	Sabitsiz Trendsiz	0.6112	0.84	-3.8005	0.00

Not: Gecikme uzunluğunu belirlemek için Schwarz Bilgi Kriteri (SIC) kullanılmıştır.

* MacKinnon kritik değerlerine göre %1 anlamlılık düzeyinde durağan olmadığını ifade etmektedir.

** MacKinnon kritik değerlerine göre %5 anlamlılık düzeyinde durağan olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 3.5.'teki ADF birim kök test sonuçlarına göre tüm seriler için hesaplanan test istatistiğinin mutlak değeri MacKinnon kritik değerinin mutlak değerinden küçük ve olasılık değeri 0.01'den büyük olduğundan serinin birim köke sahip olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilememiştir. Dolayısıyla serilerin hiçbirisi düzeyde yani $I(0)$ durumunda durağan değildir. Ancak serilerin birinci farklarının alınmasıyla tüm değişkenlerin hesaplanan test istatistiğinin mutlak değeri MacKinnon kritik değerinin mutlak değerinden büyük ve olasılık değeri 0.05'ten küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilmiştir. Dolayısıyla tüm seriler birinci farkında yani $I(1)$ durumunda durağandır.

Tablo 3.6. PP birim kök testi sonuçları

Değişkenler	Model	Düzye*		Birinci Fark**	
		Test İstatistiği	Olasılık Değeri	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
LYKEU	Sabit	-1.0123	0.73	-6.0732	0.00
	Sabit + Trend	-2.4318	0.36	-5.9521	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	1.4200	0.96	-5.6702	0.00
LKBGSYİH	Sabit	0.6628	0.99	-5.1946	0.00
	Sabit + Trend	-2.1124	0.52	-5.2557	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	3.3547	1.00	-3.7581	0.00
LKBET	Sabit	-2.8032	0.07	-4.4726	0.00
	Sabit + Trend	-1.4804	0.81	-5.2365	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	6.5788	1.00	-1.9512	0.05
EDB	Sabit	-1.8806	0.34	-4.7069	0.00
	Sabit + Trend	-0.4593	0.98	-5.7684	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	1.8253	0.98	-4.0718	0.00
LPF	Sabit	-1.2907	0.62	-4.5402	0.00
	Sabit + Trend	-1.9383	0.61	-4.4585	0.01
	Sabitsiz Trendsiz	-0.0255	0.67	-4.6376	0.00
LFKEU	Sabit	-2.0724	0.26	-5.5740	0.00
	Sabit + Trend	-1.1760	0.90	-6.1554	0.00
	Sabitsiz Trendsiz	4.2843	1.00	-3.3893	0.00
LEY	Sabit	-1.4513	0.54	-3.7335	0.01
	Sabit + Trend	-2.3004	0.42	-3.6178	0.05
	Sabitsiz Trendsiz	0.6112	0.84	-3.8046	0.00

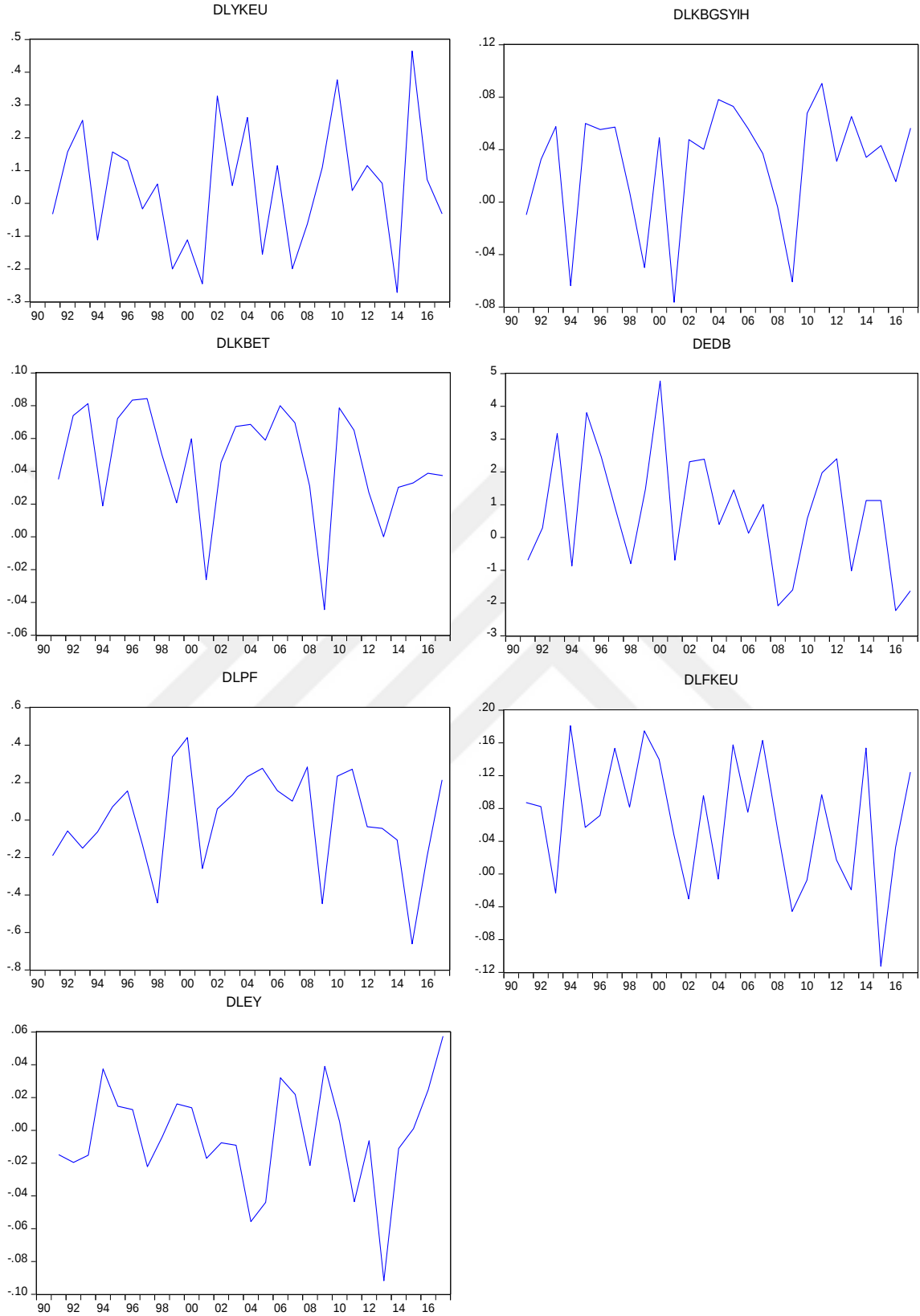
Not: Bant genişlik değerini belirlemek için Newey-West Bandwidth kullanılmıştır.

* MacKinnon kritik değerlerine göre %1 anlamlılık düzeyinde durağan olmadığını ifade etmektedir.

** MacKinnon kritik değerlerine göre %5 anlamlılık düzeyinde durağan olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 3.6.'daki PP birim kök test sonuçlarına göre tüm seriler için hesaplanan test istatistiğinin mutlak değeri MacKinnon kritik değerinin mutlak değerinden küçük ve olasılık değeri 0.01'den büyük olduğundan sıfır hipotezi reddedilememiştir. Dolayısıyla serilerin hiçbirisi $I(0)$ durumunda durağan değildir. Serilerin birinci farkları alındığında ise tüm seriler için hesaplanan test istatistiğinin mutlak değeri MacKinnon kritik değerinin mutlak değerinden büyük ve olasılık değeri 0.05'ten küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilmiştir. Dolayısıyla tüm seriler $I(1)$ durumunda durağandır.

Çalışmada kullanılan durağan serilere ait zaman serisi grafikleri Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Not: **D:** Serilerin birinci farklarında durağan olduğunu ifade etmektedir.

Şekil 3.2. Değişkenlerin logaritmik değerlerine ilişkin birinci farklarının grafiği

3.4.2. Model sorunlarının tespiti

- Çoklu doğrusal bağıllık varsayımı, Variance Inflation Faktör [VIF] yardımı ile incelenmiştir.

Tablo 3.7. *Değişkenlere ait VIF değerleri*

Değişkenler	VIF Değeri
DLKBGSYİH	3.551744
DLKBET	3.145271
DEDB	1.407365
DLPF	1.718626
DLFKEU	1.725263
DLEY	1.296164

Çalışmada kullanılan tüm açıklayıcı değişkenlerin VIF değerleri 5'ten küçük olduğundan modelde çoklu doğrusal bağıllık yoktur.

- Normallik varsayımı, Jarque-Bera testi ile incelenmiştir.

Tablo 3.8. *Jarque-Bera testi sonuçları*

İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
0.324332	0.8503

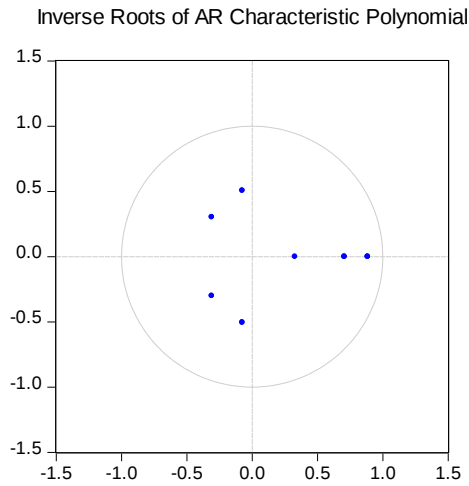
Olasılık değeri 0.05'ten büyük olduğundan artıklar normal dağılıma sahiptir.

- Sıfır ortalama varsayımı incelenerek artıkların ortalamasının 0 olduğu tespit edilmiştir.
- Otokorelasyon varsayımı, Lagrange Multiplier [LM] diğer bir adıyla Breusch-Godfrey testi ile 12 gecikmeye kadar incelenmiştir.

Tablo 3.9. *LM otokorelasyon testi sonuçları*

Gecikme Uzunluğu	LM Test İstatistiği	Olasılık Değeri
1	0.618947	0.4314
2	0.681068	0.7114
3	2.536348	0.4688
4	4.350331	0.3607
5	4.508816	0.4787
6	4.528775	0.6055
7	4.647689	0.7029
8	7.811971	0.4520
9	8.006556	0.5335
10	8.185361	0.6107
11	8.216651	0.6938
12	8.217761	0.7679

Tüm gecikmeler için olasılık değeri 0.05'ten büyük olduğundan hata terimleri arasında otokorelasyon olmadığını ifade eden sıfır hipotezi reddedilememiştir. Dolayısıyla hata terimleri arasında herhangi bir otokorelasyon yoktur. Bununla birlikte AR karakteristik polinomun ters köklerinin birim çember içerisindeki konumu modelin istikrar koşulunu sağlayıp sağlamaması açısından incelenmiştir.



Şekil 3.3. *Ters köklerin birim çember konumu*

AR karakteristik polinomun ters kökleri birim çember içerisinde yer aldığından otokorelasyon yoktur.

- Değişen varyans varsayımı, Breusch-Pagan-Godfrey testi ile incelenmiştir.

Tablo 3.10. *Breusch-Pagan-Godfrey değişen varyans testi sonuçları*

İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
9.417351	0.1514

Olasılık değeri 0.05'ten büyük olduğundan sabit varyans varsayımının geçerli olduğunu ifade eden sıfır hipotezi reddedilememiştir. Dolayısıyla değişen varyans sorunu yoktur.

3.4.3. Eşbütünleşme testi

Değişkenler arasındaki uzun dönemli denge ilişkisi sınaması öncesinde, uygun gecikme uzunluğunun tespiti LR, FPE, AIC, SIC ve HQ bilgi kriterlerinden yararlanılarak yapılmış, değerler Tablo 3.11.'de sunulmuştur.

Tablo 3.11. *Uygun gecikme uzunluğunun tespiti*

Gecikme Uzunluğu	LR	FPE	AIC	SIC	HQ
0	NA	3.02e-12	-6.661473	-6.322755	-6.563934
1	232.5041*	3.71e-16	-15.80914	-13.09939*	-15.02883
2	56.82392	2.47e-16*	-17.20572*	-12.12494	-15.74264

*Uygun gecikme uzunluğunu sağlayan en küçük kritik değer.

Kritik değerleri en küçük yapan gecikme uzunluğu 1 olarak belirlenmiştir. 1 gecikme uzunluğunda otokorelasyon sınaması LM testi, değişen varyans sınaması ise Autoregressive Conditional Heteroskedasticity [ARCH] testi yardımı ile incelenmiştir.

Tablo 3.12. *LM ve ARCH testi sonuçları*

İstatistiksel Testler	İstatistik Değeri	Olasılık Değeri
LM(1)	0.618947	0.4314
ARCH(1)	0.315689	0.5742

Not: Parantez içindeki değer gecikme uzunluğunu ifade etmektedir.

Tablo 3.12’de görüldüğü üzere 1 gecikme uzunluğunda LM ve ARCH testlerinin olasılık değerleri 0.05’ten büyük olduğundan otokorelasyon ve değişen varyans sorunu yoktur.

Değişkenler arasındaki uzun dönemli denge ilişkisi, Johansen eşbütünleşme testi ile incelenmiş, sonuçlar Tablo 3.13’te sunulmuştur.

Tablo 3.13. *Johansen eşbütünleşme testi sonuçları*

H0 Hipotezi	İz İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık Değeri	Maksimum Özdeğer İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık Değeri
$r = 0^*$	216.6940	139.2753	0.0000	69.2391	49.5863	0.0002
$r \leq 1^*$	147.4549	107.3466	0.0000	47.5656	43.4198	0.0168
$r \leq 2^*$	99.8893	79.3415	0.0006	38.2057	37.1636	0.0378
$r \leq 3^*$	61.6837	55.2458	0.0122	34.1574	30.8151	0.0188
$r \leq 4$	27.5262	35.0109	0.2512	16.2453	24.2520	0.3937
$r \leq 5$	11.2809	18.3977	0.3655	11.2808	17.1477	0.2902
$r \leq 6$	0.0001	3.8415	0.9926	0.0001	3.8415	0.9926

*Eşbütünleşik vektör sayısını ifade etmektedir.

İz istatistik ve maksimum özdeğer istatistik değerlerinin kritik değer ile karşılaştırılması %5 anlamlılık düzeyinde 4 adet eşbütünleşik vektörün mevcut olduğunu göstermektedir. İz istatistik ve maksimum özdeğer istatistik değerleri, %5 anlamlılık düzeyi kritik değerlerinden büyük ve olasılık değerleri 0.05’ten küçük olduğundan herhangi bir eşbütünleşik vektör bulunmadığını ileri süren sıfır hipotezi reddedilmiştir. Dolayısıyla değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisi vardır.

Uzun dönemde açıklayıcı değişkenlerin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla Tablo 3.14.’te normalize edilmiş eşbütünleşme vektörü sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 3.14. *Normalize edilmiş eşbütünleşme vektörü*

LYKEU	LKBGSYİH	LKBET	EDB	LPF	LFKEU	LEY
1.000000	-0.322031	-2.229871	0.001810	0.087786	1.238482	-0.454368
	(0.28447)	(0.28946)	(0.00402)	(0.01843)	(0.13262)	(0.27880)

Not: Parantez içindeki değerler standart hatayı göstermektedir.

Aşağıda değişkenler arasındaki uzun dönemli denge ilişkisini yansıtan modele yer verilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{LYKEU}_t = & 0.32\text{LKBGSYİH}_t + 2.22\text{LKBET}_t - 0.001\text{EDB}_t - 0.08\text{LPF}_t - 1.23\text{LFKEU}_t \\ & + 0.45\text{LEY}_t \end{aligned} \quad (3.7)$$

Normalize edilmiş eşbütünleşme testinde katsayı işaretlerinin tersi yorumlanmaktadır (Tugal, 2014, s.78). Uzun dönemde yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi ile kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi ve enerji yoğunluğu arasında pozitif yönlü; enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve fosil kaynaklardan elektrik üretimi arasında negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi ve enerji yoğunluğunda meydana gelecek %1’lik artış yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini sırasıyla %0.32, %2.22, %0.45 artırırken; enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve fosil kaynaklardan elektrik üretiminde meydana gelecek %1’lik artış yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini sırası ile %0.001, %0.08, %1.23 azaltmaktadır.

3.4.4. Vektör hata düzeltme modeli

Eşbütünleşme testinin sonucunda, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin tespit edilmesi değişkenler arasında kısa dönemli ilişki sınamasını da gerekli kılmaktadır. Değişkenler arasındaki kısa dönemli ilişki VAR modeli yerine VECM modeli kullanılarak tahmin edilmiştir.

Tablo 3.15. Vektör hata düzeltme modeli

Değişkenler	Katsayı	St. Hata	T İstatistik
ECM(-1)	-0.605265	0.326780	-1.852213
DLKBGSYİH	0.538492	0.622022	0.865713
DLKBET	2.685029	0.723572	3.710800
DEDB	0.007515	0.010201	0.736744
DLPF	-0.050522	0.069339	-0.728630
DLFKEU	-2.140924	0.239549	-8.937300
DLEY	0.501886	0.500023	1.003725
C	0.048285	0.030026	1.608137

Not: ECM: Hata düzeltme terimini ifade etmektedir.

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi açısından yapılan sınamaya göre hata düzeltme teriminin katsayısı negatiftir. Bu durum uzun dönemde ortaya çıkacak dengesizliklerin %60 kadarının yaklaşık 2 ayda düzeleceği anlamına gelmektedir.

3.4.4.1. Varyans ayrıştırması

Çalışmada kullanılan değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisinin derecesi konusunda bilgi vermek üzere 10 yıllık dönem için varyans ayrıştırması yapılmıştır.

Tablo 3.16. Varyans ayrıştırması

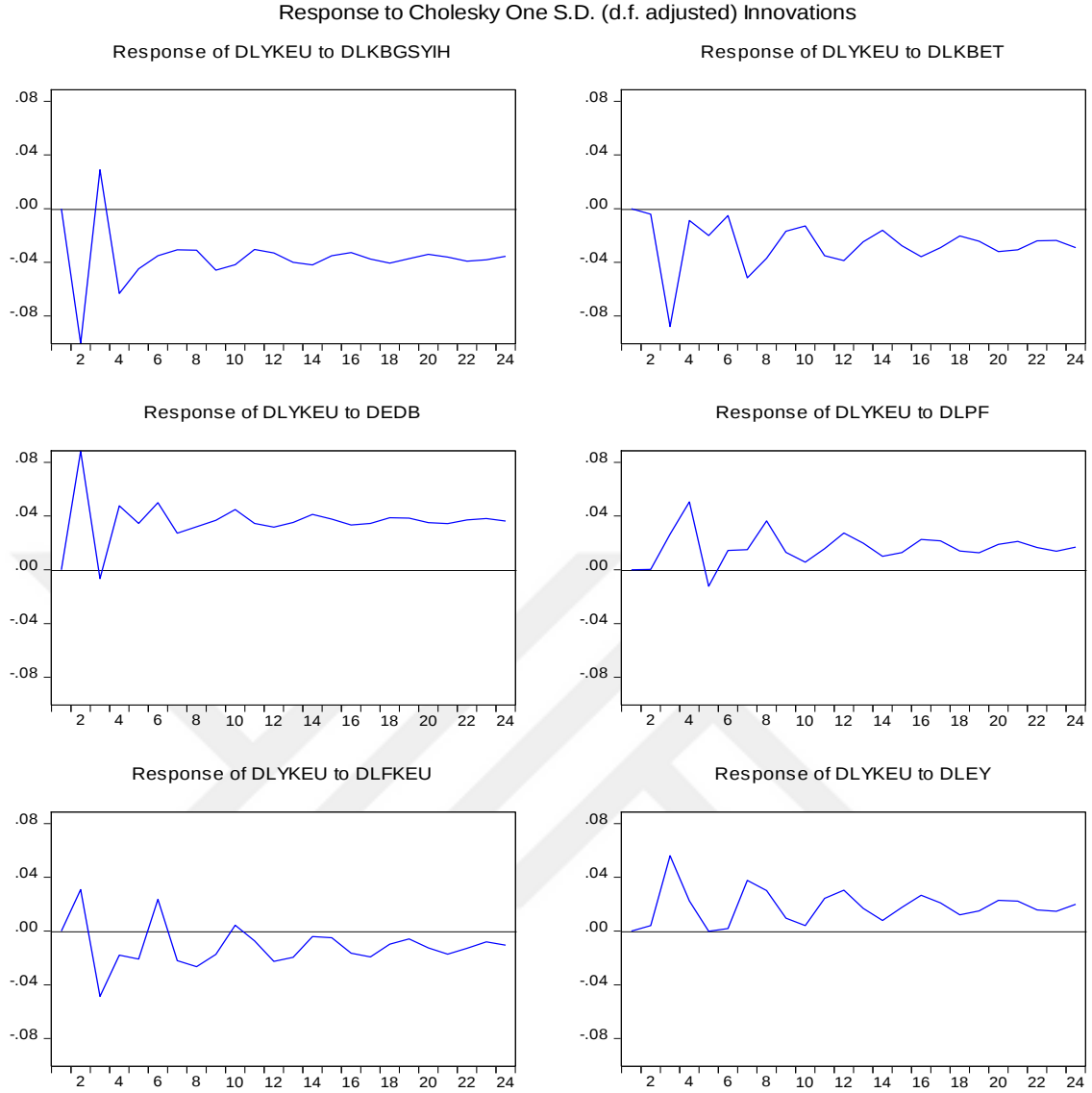
Periyod	DLYKEU	DLKBGSYİH	DLKBET	DEDB	DLPF	DLFKEU	DLEY
1	100	0	0	0	0	0	0
2	73.0612	14.3695	0.0249	11.1543	0.0001	1.3659	0.0241
3	69.7410	9.7861	6.9528	7.0516	0.6339	2.9896	2.8450
4	67.8905	11.0158	5.7823	7.4861	2.4127	2.6972	2.7153
5	69.7582	10.7362	5.2222	7.1908	2.1668	2.5934	2.3324
6	70.8476	10.1385	4.6120	7.7303	2.0230	2.5934	2.0553
7	71.6893	9.2103	5.2672	7.0377	1.8570	2.4734	2.4651
8	71.8134	8.6970	5.3266	6.7745	2.2454	2.5306	2.6124
9	72.5292	8.7842	4.9806	6.7302	2.1197	2.4316	2.4245
10*	73.2065	8.7394	4.6546	6.9416	1.9664	2.2496	2.2420

*Değerlerin dengeye gelmeye başladıkları periyod.

Varyans ayrıştırmasında değerlerin dengeye gelmeye başladıkları periyoddaki değerler yorumlanır. Burada 10. Periyoddan sonra değerler dengeye geldiği için bu periyoddaki değerler yorumlanmıştır. DLYKEU'daki değişmelerin; %73.2'si kendisi, %8.7'si DLKBGSYİH, %4.6'sı DLKBET, %6.9'u DEDB, %1.9'u DLPF, %2.2'si DLFKEU ve %2.2'si DLEY tarafından açıklanmaktadır. Varyans ayrıştırması sonuçlarından, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi üzerindeki gelişmeleri açıklama gücü bakımından en yüksek değere sahip olan değişken, kendisi (DLYKEU)'dir. Söz konusu değişkeni DLKBGSYİH, DEDB, DLKBET, DLFKEU, DLEY ve DLPF değişkenleri takip etmektedir.

3.4.4.2. Etki-tepki analizi

Açıklayıcı değişkenlere verilen bir standart sapmalılık şokun yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi değişkeninin şimdiki ve gelecekteki değerlerine olan etkisini göstermek amacıyla 24 periyod boyunca etki-tepki analizi yapılmıştır.



Not: Dikey eksen, ilgili düzenleme değişkenine verilen bir standart sapmalık şoka, DLYKEU'nun verdiği tepkinin yönünü ve büyüklüğünü göstermektedir. Yatay eksen ise, şokun meydana gelmesinden sonra geçen 24 aylık süreyi göstermektedir.

Şekil 3.4. Bir standart şoka tepkiler

Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi; enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve enerji yoğunluğu değişkenlerine verilen bir standart sapmalık şoka pozitif, kişi başına gelir ve kişi başına elektrik tüketimi değişkenlerine negatif, fosil kaynaklardan elektrik üretimi değişkenine ise 24 ay boyunca dalgalanmakla beraber çoğunlukla negatif yönde tepki göstermiştir. 24 ayın sonunda açıklayıcı değişkenlerde meydana gelen

şokların yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi üzerindeki etkisi azalarak, önceki değerlerine yaklaşmıştır.

3.4.4.3. Granger nedensellik testi

İki değişken arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek amacıyla Granger nedensellik testi yapılmıştır.

Tablo 3.17. Granger nedensellik testi sonuçları

Hipotezler (H0)	Nedenselliğin Yönü	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
DLKBGSYİH, DLYKEU'nun nedeni değildir.	DLKBGSYİH	9.641208	0.0019
DLYKEU, DLKBGSYİH'nin nedeni değildir.	↔ DLYKEU	4.748476	0.0293
DLKBET, DLYKEU'nun nedeni değildir.	DLKBET	4.141200	0.0419
DLYKEU, DLKBET'nin nedeni değildir.	↔ DLYKEU	4.606767	0.0318
DEDB, DLYKEU'nun nedeni değildir.	DEDB	6.837079	0.0089
DLYKEU, DEDB'nin nedeni değildir.	↔ DLYKEU	3.424075	0.0643
DLPF, DLYKEU'nun nedeni değildir.	DLPF	3.994177	0.0457
DLYKEU, DLPF'nin nedeni değildir.	→ DLYKEU	0.127549	0.7210
DLFKEU, DLYKEU'nun nedeni değildir.	DLFKEU	4.065284	0.0438
DLYKEU, DLFKEU'nun nedeni değildir.	→ DLYKEU	1.076308	0.2995
DLEY, DLYKEU'nun nedeni değildir.	DLEY	5.737602	0.0166
DLYKEU, DLEY'nin nedeni değildir.	→ DLYKEU	1.054200	0.3045

%5 anlam düzeyinde DLPF, DLFKEU ve DLEY'den DLYKEU'ya doğru tek yönlü nedensellik; %10 anlam düzeyinde DLYKEU ile DLKBGSYİH, DLKBET ve DEDB arasında çift yönlü nedensellik bulunmaktadır. Dolayısıyla tüm açıklayıcı değişkenler, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi değişkenine etki etmekte, bununla birlikte yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi değişkeni de kişi başına gelir, kişi başına elektrik tüketimi ve enerjide dışa bağımlılık değişkenlerine etki etmektedir.

SONUÇ

İktisat biliminin temel çıkış noktası, kıt kaynakların en yüksek tatmini sağlayacak şekilde kullanımı ve dağılımının sağlanması olup bu konu, çalışmanın da temel dayanağını oluşturmaktadır. Tüm kaynaklarda olduğu gibi fosil kaynaklar da coğrafi olarak eşit bir dağılım göstermemekte, bu nedenle kıt olan fosil kaynakların dağılımı konusu yalnızca bölgesel değil, küresel bir nitelik taşımaktadır. Bu temel problemin çözümü ise yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminden geçmektedir. Gerek finansal gerek politik gerekse sosyolojik nedenlerden ötürü yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi küresel ölçekte beklenen seviyede gerçekleşmemektedir. Bölgelere göre farklılık olmasıyla beraber bu durum çoğu ülkede benzerlik göstermektedir. Bu nedenle üretim sürecinde kullanılan yenilenebilir kaynakların belirleyicileri merak edilmiştir. Bu çalışma da, Türkiye özelinde küresel değerler göz önünde bulundurularak bölgesel bir açıklama yapma girişimindedir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelleri bakımından zengin; fosil enerji kaynaklarının rezervleri bakımından fakir bir coğrafyada bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji bakımından avantajlı; fosil enerji bakımından avantajsız bir konumda bulun Türkiye’de, enerji üretiminde yüksek oranda fosil kaynakların kullanımı tercih edilmektedir. Bu durum, Türkiye’nin yüksek oranda enerji ithalatına bağımlı olarak enerjide dışa bağımlı ülkeler içerisinde yer almasına ve enerji arz güvenliği sorunu yaşamasına neden olarak ekonomik, sosyal ve siyasi alanlarda problemlere ve ulusal ve uluslararası huzursuzluk ortamı oluşmasına neden olmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir kaynaklarının potansiyellerinin yüksek olmasına karşın bu kaynaklardan yeterince faydalanılamaması, bu kaynakların kullanımını etkileyen faktörlerin araştırılması için teşvik niteliğindedir.

Bu çalışmada; Türkiye’de elektrik üretiminde fosil kaynaklara oranla düşük bir seviyede yer alan yenilenebilir kaynakların kullanımını etkileyen faktörler ampirik bir çalışma ile desteklenerek açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi, kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları, fosil kaynaklardan elektrik üretimi ve enerji yoğunluğu değişkenleri arasındaki etkileşimi ortaya koymak ve geleceğe dair bilgiler sunmak amacıyla yapılan testler sonucunda:

- Değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkisi tespit edilmiştir. Uzun dönemde yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini, kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi ve enerji yoğunluğunda meydana gelecek artışın pozitif yönde; enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve fosil kaynaklardan elektrik üretiminde meydana gelecek artışın negatif yönde etkilediği saptanmıştır.
- Değişkenler arasında kısa dönemde de ilişki tespit edilmiştir. Bu durum, uzun dönemde ortaya çıkacak olan dengesizliklerin kısa dönemde düzeleceği anlamına gelmektedir.
- Değişkenler arasındaki nedensel ilişkinin yönü belirlenerek, çalışmada kullanılan tüm değişkenlerin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimin de kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, kişi başına elektrik tüketimi ve enerjide dışa bağımlılık üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Değişkenler arasındaki nedensel ilişkinin derecesi belirlenerek, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde meydana gelen değişimleri açıklama gücü bakımından en yüksek etkiye sahip değişkenler sırasıyla; kendisi, kişi başına gayri safi yurt içi hasıla, enerjide dışa bağımlılık, kişi başına elektrik tüketimi, fosil kaynaklardan elektrik üretimi, enerji yoğunluğu ve petrol fiyatlarıdır.
- Açıklayıcı değişkenlere verilen bir standart sapmalık şokun yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi değişkeninin şimdiki ve gelecekteki değerlerine olan etkisi belirlenerek yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin, enerjide dışa bağımlılık, petrol fiyatları ve enerji yoğunluğu değişkenlerine pozitif; kişi başına gayri safi yurt içi hasıla ve kişi başına elektrik tüketimi değişkenlerine negatif; fosil kaynaklardan elektrik üretimi değişkenine ise dalgalı olmakla beraber çoğunlukla negatif yönde tepki verdiği tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini artırması ve fosil kaynaklardan elektrik üretimini azaltması gerektiği açıktır. Çalışmanın plan ve yaklaşımı, üretim sürecindeki olumlu ve olumsuz değişkenlerin etki gücü yüksek olanlarını Türkiye için bir teste tâbi tutmak idi. Çalışmada kullanılan değişkenler, daha önce yapılmış olan çalışmalar ve durum değerlendirmesi sonucunda seçilmiş olup, araştırma sorusunu (*elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanımı, hangi değişkenler tarafından etkilenir?*) destekleyecek nitelik taşımaktadır. Bu soru çerçevesinde yapılan çalışma sonucunda Türkiye'nin yapması gerekenler şu şekilde

özetlenebilmektedir: milli gelirde meydana gelen artışın Ar-Ge'ye dayalı ve yüksek teknolojiye yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi için kullanılması gerekmektedir. Teknolojik gelişim ile enerjinin etkin ve verimli kullanımı sağlanacak, birim hasıla başına enerji tüketimi ve enerji maliyetleri azalacaktır. Ekonomik büyüme, sanayileşme, kentleşme, küreselleşme, nüfus ve yaşam standartlarındaki artış gibi unsurlara bağlı olarak enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Artan enerji ihtiyacının karşılanmasında ithal kaynaklı enerji üretimi azaltılarak, yerli ve yenilenebilir kaynaklı enerji üretimi artırılmalıdır. Yenilenebilir kaynaklı enerji üretimi ile enerjide dışa bağımlılık sorunu azalacak, Türkiye için oldukça büyük bir problem olan ödemeler dengesi açıklarının iyileştirilmesi sağlanacaktır. Enerjide dışa bağımlılık sorunu azalan ülkelerde fosil kaynak fiyatlarına olan hassasiyet azalacaktır. Yenilenebilir kaynakların kullanımı ile enerji fiyatlarında istikrar sağlanacak, enerji ihtiyacının karşılanması için yapılacak olan üretimde aksaklık, kesinti gibi durumlar oluşmayacaktır. Bu durum enerji arz güvenliği sağlayarak enerjide güven ortamı oluşturacaktır.

Gerek bölgesel gerekse küresel ölçekte birçok probleme neden olan enerji güvenliği sorunu Türkiye'nin enerji politikalarında önemle üzerinde durulması gereken bir konuyu oluşturmali ve güvenliğin sağlanmasında yenilenebilir kaynakların kullanımı teşvik edilmelidir. Uygulanan politikalar, teşvik mekanizmaları ve enerjide oluşturulan güven ortamı ile yatırımcı desteklenecek, ilk yatırım maliyetleri konusunda dezavantajlı bir konumda bulunan yenilenebilir kaynakların bu dezavantajı kırılacaktır. Tüm bunlarla birlikte iklim değişikliği gibi küresel ölçekli çevre problemlerinin önlenmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gereklilik arz etmektedir. Türkiye'de ve dünyada yaşanılabilir bir hayat ve küresel bir mutluluk için enerji kaynaklarının kullanımının olumlu ve olumsuz etkileri hakkında tüm toplumları bilinçlendirecek kamuoyu oluşturulmalı ve bu kaynakların kullanımını etkileyen faktörler araştırılarak ülke politikalarında yer almaları sağlanmalıdır.

Bölgesel çapta yapılan çalışmaların artırılması sonucu politika, toplum ve akademinin küresel dünyada temiz, sürdürülebilir ve ucuz enerji üretme konusunda mutabakata varmaları, geleceğin dünyası için elzem bir ihtiyaçtır.

KAYNAKÇA

- Acaravcı, A. ve Erdoğan, S. (2018). Yenilenebilir enerji, çevre ve ekonomik büyüme ilişkisi: seçilmiş ülkeler için ampirik bir analiz. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 13(1), 56-64.
- Adıyaman, Ç. (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Niğde: Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Aguirre, M. ve Ibikunle, G. (2014). Determinants of renewable energy growth: a global sample analysis. *Energy Policy*, 69, 374-384.
- Akbaş, F. ve Ürün, E. (2016). Enerji güvenliği: bölgesel enerji merkezi Türkiye. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (ICEBSS özel sayısı), 103-113.
- Akın, G. (2006). Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46(2), 29-43.
- Aksu, C. (2011). *Sürdürülebilir kalkınma ve çevre*. Türkiye Cumhuriyeti Güney Ege Kalkınma Ajansı, 2-31, Düzce.
- Altun, Y. ve İşleyen, Ş. (2018). Bazı OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine yönelim üzerine ampirik bir çalışma. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1577-1590.
- Andini, C., Cabral, R. ve Santos, J.E. (2019). The macroeconomic impact of renewable electricity power generation projects. *Renewable Energy*, 131, 1047-1059.
- Apergis, N. ve Payne, J.E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656-660.
- Apergis, N. ve Payne, J.E. (2014). Renewable energy, output, CO2 emissions, and fossil fuel prices in Central America: evidence from a nonlinear panel smooth transition vector error correction model. *Energy Economics*, 42, 226-232.
- Arıkan, Y. (2006). *İklim değişikliği görüşmelerinde müzakerecinin el kitabı*. Ankara: Bölgesel Çevre Merkezi REC Türkiye.

- Ataman, A. R. (2007). *Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Aydın, M. (2016). Enerji verimliliğinin sürdürülebilir kalkınmadaki rolü: Türkiye değerlendirmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 409-441.
- Bacak, S., Külcü, R. ve Ekinci, K. (2009). Türkiye ve AB ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynakları politikaları ve hedefler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 5(1), 9-14.
- Başar, S. ve Akyol, H. (2018). Enerji tüketimi ve karbon emisyonu ile iktisadi büyüme arasındaki ilişkinin tespit edilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 9(23), 332-347.
- Bayraç, H. N. (2009). Küresel enerji politikaları ve Türkiye: petrol ve doğal gaz kaynakları açısından bir karşılaştırma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 115-142.
- Bayraktar, Y. ve Kaya, H. İ. (2016). Kamu teşviklerinin yenilenebilir enerji yatırımları üzerine etkisi: Türkiye örneği. *International Congress on Political, Economic and Social Studies*, (1), 421-445.
- Bekhet, H.A. ve Harun, N.H. (2017). Elasticity and causality among electricity generation from renewable energy and its determinants in Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(2), 202-216.
- Berksoy, T. ve Akdoğan, D. (2018). Yenilenebilir enerjide kamu politikaları ve Türkiye. *Journal Of Life Economics*, 5(3), 19-42.
- British Petrol. (2018). *Statistical review of world energy*.
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> (Erişim tarihi: 16.07.2019).
- Brown, L. R. (2008). *Plan B 3.0 uygarlığı kurtarmak için harekete geçmek*. İstanbul: TEMA Vakfı.
- Bulut, Ü. ve Muratoğlu, G. (2018). Renewable energy in Turkey: great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus. *Energy Policy*, 123, 240-250.

- Chang, T.H., Huang, C.M. ve Lee, M.C. (2009). Threshold effect of the economic growth rate on the renewable energy development from a change in energy price: evidence from OECD countries. *Energy Policy*, 37(12), 5796-5802.
- Çalışkan, Ş. (2009). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (25), 297-310.
- Çınar, S. ve Yılmaz, M. (2015). Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirleyicileri ve ekonomik büyüme ilişkisi: gelişmekte olan ülkeler örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi*, 30(1), 55-78.
- Çukurçayır, M. A. ve Sağır, H. (2008). Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (20), 257-278.
- Demir, M. (2013). Enerji ithalatı cari açık ilişkisi, VAR analizi ile Türkiye üzerine bir inceleme. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 5(9), 2-27.
- Dertli, G. ve Yınacı, P. (2018). Yenilenebilir enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu, enerji ithalatı ve ekonomik büyüme: Türkiye örneği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 583-606.
- Dinçer, F. (2011). Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli—ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 8-17.
- Doğan, E. (2015). The relationship between economic growth and electricity consumption from renewable and non-renewable sources: a study of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 534-546.
- Enders, W. (2015). *Applied econometric time series*. US: Wiley.
- Enerdata. (2019). *Global energy statistical yearbook*. <https://yearbook.enerdata.net/> (Erişim tarihi: 09.07.2019).
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2011). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik. *T.C. Resmi Gazete*, (28001), 21 Temmuz 2011.
- Erdal, L. ve Karakaya, E. (2012). Enerji arz güvenliğini etkileyen ekonomik, siyasi ve coğrafi faktörler. *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 31(1), 107-136.

- Erdener, H., Erkan, S., Eroğlu, E., Gür, N., Şengül, E., Baç, N. (2013). *Sürdürülebilir enerji ve hidrojen*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayıncılık.
- Ertürk, O. ve Erdiñ Ertürk, A. (2018). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi ve cari açık üzerine etkisi. *Uşak Üniversitesi, 4th SCF International Conference on “Economic and Social Impacts of Globalization” and “Future Turkey-European Union Relations”*, Nevşehir: 26-28 Nisan, 103-113.
- Eser, L. Y. ve Polat, S. (2015). Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teşvikler: Türkiye ve İskandinav ülkeleri uygulamaları. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*, (12), 201-226.
- Göçer, İ. (2013). Türkiye’de cari açığın nedenleri, finansman kalitesi ve sürdürülebilirliği: ekonometrik bir analiz. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 8(1), 213-242.
- Gujarati, D. N. ve Porter, D. C. (2012). *Temel ekonometri*. (Çev: Ü. Şenesen ve G. Günlük Şenesen). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Güner, E. D. ve Turan, E. S. (2017). Yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel iklim değişikliği üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 48-55.
- Güngör, Ö. (2016). *Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: VAR analizi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Gürak, H. (2006). *Ekonomik büyüme ve küresel ekonomi*. Bursa: Ekin Kitabevi.
- Güriş, S., Çağlayan Akay, E. ve Güriş, B. (2017). *EViews ile temel ekonometri*. İstanbul: DER Yayınları.
- Gürsoy, U. (2004). *Enerjide toplumsal maliyet ve temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları*. Ankara: Türk Tabipleri Birliği Yayınları.
- Hdom, H.A.D. (2019). Examining carbon dioxide emissions, fossil & renewable electricity generation and economic growth: evidence from a panel of South American countries. *Renewable Energy*, 139, 186-197.

- Kang, S.H., Islam, F. ve Tiwari, A.K. (2019). The dynamic relationships among CO2 emissions, renewable and non-renewable energy sources, and economic growth in India: evidence from time-varying Bayesian VAR model. *Structural Change and Economic Dynamics*, 50, 90-101.
- Kara, S. (2013). *Türkiye’de yenilenebilir enerjiye iktisadi bakış*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ. (2017). Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerji. Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, *Analiz Dergisi*, (197), 7-28.
- Karagöl, E. T., Kavaz, İ., Kaya, S., Özdemir, B.Z. (2017). Türkiye’nin milli enerji ve maden politikası. Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, *Analiz Dergisi*, (203), 7-22.
- Karahan, M. (2014). *Enerji tüketimi ve ekonomik büyüme için Türkiye üzerine bir modelleme*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bursa: Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Karalı, Ş. (2017). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ve dünya ekonomisine katkısı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Kurt, R. (2011). Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 63-75.
- Kılıç, R. ve Urgan, N. (2016). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ülke ekonomisine etkileri ve Türkiye’nin enerjideki dışa bağımlılığının azaltılmasına yönelik katkıları. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (47), 148-166.
- Kılınç Ata, N. (2016). The evaluation of renewable energy policies across EU countries and US states: an econometric approach. *Energy for Sustainable Development*, 31, 83-90.

- Koç, A., Yağlı, H., Koç,Y., Uğurlu, İ. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 59(692), 86-114.
- Koç, E. ve Kaya K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56(668), 36-47.
- Koengkan, M. (2017). Do fiscal incentive policies impact the installed capacity of renewable energy? An empirical evidence from Latin American countries. *Revista de Estudos Sociais*, 19(39), 66-87.
- Lin, B., Omoju, O.E. ve Okonkwo, J.U. (2016). Factors influencing renewable electricity consumption in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 687-696.
- Marques, A.C., Fuinhas, J.A. ve Menegaki, A.N. (2016). Renewable vs non-renewable electricity and the industrial production nexus: evidence from an ARDL bounds test approach for Greece. *Renewable Energy*, 96, 645-655.
- Marques, A.C., Fuinhas, J.A. ve Pires Manso, J.R. (2010). Motivations driving renewable energy in European countries: a panel data approach. *Energy Policy*, 38(11), 6877-6885.
- Menyah, K. ve Wolde Rufael, Y. (2010). CO2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911-2915.
- Montgomery, S. L. (2014). *Küresel enerjiye yön veren güçler 21. yüzyıl ve sonrası*. (Çev: E.G. Şenol). Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları.
- Narin, M. (2008). Türkiye enerji yapısı ve izleyeceği öncelikli politikalar. *Asodosya Ankara Sanayi Odası Dergisi*, (Ağustos-Eylül), 50-68.
- Olanrewaju, B.T., Olubusoye, O.E., Adenikinju, A., Akintande, O.J. (2019). A panel data analysis of renewable energy consumption in Africa. *Renewable Energy*, 140, 668-679.
- Omri, A. ve Nguyen, D.K. (2014). On the determinants of renewable energy consumption: international evidence. *Energy*, 72, 554-560.

- Onat, N. (2018). Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi: mevcut durum ve gelecek beklentileri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 1-18.
- Önal, E. ve Yarbay, R. Z. (2010). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (18), 77-96.
- Özata, E. (2010). Türkiye’de enerji üretimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkilerin ekonometrik incelemesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (26), 101-113.
- Özcan, M. (2019). Factors influencing the electricity generation preferences of Turkish citizens: citizens’ attitudes and policy recommendations in the context of climate change and environmental impact. *Renewable Energy*, 132, 381-393.
- Özşahin, Ş., Mucuk, M. ve Gerçeker, M. (2016). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: BRICS-T ülkeleri üzerine panel ARDL analizi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 4(4), 111-130.
- Öztürk, H.H. (2013). *Yenilenebilir enerji kaynakları*. İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Pamir, A. N. (2003). Dünya’da ve Türkiye’de enerji, Türkiye’nin enerji kaynakları ve enerji politikaları. *Metalurji Dergisi*, (134), 1-39.
- Pata, U.K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production*, 187, 770-779.
- Payne, J.E. (2012). The causal dynamics between US renewable energy consumption, output, emissions, and oil price. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 7(4), 323-330.
- Peker, H. S. (2015). Türkiye’nin enerji arz güvenliği ve ölçülmesi: Türkiye’nin enerji arz güvenliği endeksine yönelik bir uygulama. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi*, 5(2), 763-783.
- Popp, D., Hascic, I. ve Medhi, N. (2011). Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics*, 33(4), 648-662.

- Romano, A. ve Scandurra, G. (2014). Investments in renewable energy sources in OPEC members: a dynamic panel approach. *Metodoloski Zvezki*, 11(2), 93-106.
- Rumeli, A. (2007). Elektrik enerjisi ve Türkiye. *Perşembe Konferansları Yayınları*, 311-333.
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456-462.
- Salim, R.A. ve Rafiq, S. (2012). Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy?. *Energy Economics*, 34(4), 1051-1057.
- Salim, R.A. ve Shafiei, S. (2014). Urbanization and renewable and non-renewable energy consumption in OECD countries: an empirical analysis. *Economic Modelling*, 38, 581-591.
- Schaffer, L.M. ve Bernauer, T. (2014). Explaining government choices for promoting renewable energy. *Energy Policy*, 68, 15-27.
- Seydioğulları, H. S. (2013). Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji. *TMMOB Şehir Plancıları Odası Planlama Dergisi*, 23(1), 19-25.
- Sülükçüler, S. (2018). *Yenilenebilir enerji potansiyelinin ortaya çıkmasında kamu teşviklerinin etkisi: OECD ülkeleri ve Türkiye karşılaştırması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Şengelen, H. E. (2016). *Yenilenebilir enerji kaynakları ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin panel veri analizi ile incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Şenses, F. (2017). *İktisada (farklı bir) giriş*. İstanbul: İletişim Yayıncılık.
- Teke, O. (2013). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji Ar-Ge stratejilerinin değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(640), 54-62.
- Tugal, N. (2014). *Enerji talebi ve enerji talebini belirleyen faktörler: Türkiye uygulaması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. (2003). *Vizyon 2023 Teknoloji öngörü projesi enerji ve doğal kaynaklar paneli raporu*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2019). *Ödemeler dengesi istatistikleri*. <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/609ef884-3b3c-4bc3-84fe-9254244c3490/odemelerdengesi.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-609ef884-3b3c-4bc3-84fe-9254244c3490-mEbczI6> (Erişim tarihi: 03.06.2019).
- Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı. (2007). *Dokuzuncu kalkınma planı (2007-2013)*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı. (2009). *Elektrik enerjisi piyasası ve arz güvenliği strateji belgesi*. Karar No: 2009/11, 18 Mayıs 2009.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı. (2006). 5491 Sayılı Çevre Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. *T.C. Resmi Gazete*, 90(26167), 26 Nisan 2006.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı. (2007). *İklim değişikliği birinci ulusal bildirimi*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2010). *Türkiye iklim değişikliği stratejisi (2010-2023)*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2012). *Türkiye Cumhuriyeti iklim değişikliği eylem planı (2011-2023)*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2005). 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. *T.C. Resmi Gazete*, 44(25819), 10 Mayıs 2005.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2007). 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu. *T.C. Resmi Gazete*, 46(26510), 18 Nisan 2007.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2010). 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. *T.C. Resmi Gazete*, (27809), 29 Aralık 2010.

- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2012). Enerji verimliliği strateji belgesi (2012-2023). *T.C. Resmi Gazete*, (28215), Karar No: 2012/1, 20 Şubat 2012.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2013a). 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, *T.C. Resmi Gazete*, (28603), 14 Mart 2013.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2013b). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik. *T.C. Resmi Gazete*, (28782), 01 Ekim 2013.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2014). *Türkiye ulusal yenilenebilir enerji eylem planı (2013-2023)*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2015). *Stratejik planı (2015-2019)*. Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği. *T.C. Resmi Gazete*, (29852), 09 Ekim 2016.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017a). *Dünya ve Türkiye enerji ve tabii kaynaklar görünümü*. (15), Ankara.
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017b). Ulusal enerji verimliliği eylem planı (2017-2023). *T.C. Resmi Gazete*, (30289), 29 Aralık 2017.
- Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı. (2013). *Onuncu kalkınma planı (2014-2018)*. Ankara.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2017). *Türkiye elektrik üretim-iletim istatistikleri*. <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim tarihi: 29.05.2019).
- Uluslararası Enerji Ajansı. (2014). *Energy supply security emergency response of IEA countries*. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ENERGYSUPPLYSECURITY2014.pdf> (Erişim tarihi: 22.04.2019).
- Uluslararası Enerji Ajansı. (2017). *Statistics global energy data at your fingertips*. <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy>

%20supply&indicator=TPEsbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES
(Erişim tarihi: 08.05.2019).

- Uysal, D., Yılmaz, K. Ç. ve Taş, T. (2015). Enerji ithalatı ve cari açık ilişkisi: Türkiye örneği. *Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 63-78.
- Ünver, Ü., Bilgin, H. ve Güven, A. (2015). Pompaj depolamalı hidroelektrik sistemler. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56(663), s.57-64.
- Ürün, E. ve Soyu, E. (2016). Türkiye'nin enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları üzerine bir değerlendirme. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (ICEBSS özel sayısı), 31-45.
- Varınca, K. B. ve Gönüllü M. T. (2006). *I. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi*. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi, 270-275.
- World Bank. (2017). *Open data*. <https://data.worldbank.org/> (Erişim tarihi: 14.05.2019).
- Yalkı, İ. (2014). *Toplam enerji arzı içerisinde yenilenebilir enerjinin payı ve OECD ülkeleri üzerine bir uygulama*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Yenice, M.Y. ve Bejleri, V. (2013). Testing for Granger causality between renewable energy consumption, GDP, CO2 emission, and fossil fuel prices in the USA. <https://pdfs.semanticscholar.org/8586/e59fe85555dbc57fa3ad888d4b74ca108aff.pdf> (Erişim tarihi: 10.06.2019).
- Yıldırım, C. ve Dağdemir, Ö. (2018). Türkiye'de ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi ilişkisi. *Sakarya İktisat Dergisi*, 7(4), 57-76.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.
- Yılmaz, S. ve Kalkan, D. K. (2017). Enerji güvenliği kavramı: 1973 Petrol Krizi ışığında bir tartışma. *Uluslararası Kriz ve Siyaset Araştırmaları Dergisi*, 1(3), 169-199.
- Yılmazer, Ö. (2016). *Enerji ekonomi politiğinde yenilenebilir enerjinin değişen rolü ve Türkiye açısından önemi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Yurdadoğ, V. ve Tosunoğlu, Ş. (2017). Türkiye’de yenilenebilir enerji destek politikaları. *Avrasya Bilimler Akademisi İşletme ve İktisat Dergisi*, 9, 1-21.

http-1: <https://yearbook.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (Erişim tarihi: 09.07.2019).

http-2: http://www.yegm.gov.tr/iklim_deg/i_deg_nedir.aspx (Erişim tarihi:22.02.2019).

http-3: <https://www.eia.gov/beta/international/> (Erişim tarihi: 21.06.2019).

http-4: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Verimlilik> (Erişim tarihi: 15.03.2019).

http-5: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol> (Erişim tarihi: 18.03.2019).

http-6: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz> (Erişim tarihi: 09.03.2019).

http-7: <https://www.dunyaenerji.org.tr/yenilenebilir-enerjiler-2018-kuresel-durum-raporu/> (Erişim tarihi: 24.03.2019).

http-8:

http://global.chinadaily.com.cn/a/201805/09/WS5af2286ca3105cdcf651cbc5_1.html (Erişim tarihi: 09.04.2019).

http-9: <http://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler-cevre-programi.tr.mfa> (Erişim tarihi: 15.04.2019).

http-10: <http://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa> (Erişim tarihi: 15.04.2019).

http-11: http://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/iklim_degisikligi_cerceve_sozlesmesi_ve_turkiye.pdf?sfvrsn=2 (Erişim tarihi: 16.04.2019).

http-12: <http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> (Erişim tarihi: 16.04.2019).

http-13: <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (Erişim tarihi: 17.04.2019).

http-14: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-production.html> (Erişim tarihi: 09.07.2019).

http-15: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
(Erişim tarihi: 09.07.2019).

http-16: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html> (Erişim tarihi: 09.07.2019).

http-17: <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html> (Erişim tarihi: 09.07.2019).

http-18: <http://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-potansiyeli/> (Erişim tarihi: 17.04.2019).

http-19: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim tarihi: 17.04.2019).

http-20: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (Erişim tarihi: 17.04.2019).

http-21: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik> (Erişim tarihi: 17.04.2019).

http-22: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> (Erişim tarihi: 18.04.2019).

http-23: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa> (Erişim tarihi: 18.04.2019).

http-24: <https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376> (Erişim tarihi: 16.04.2019).

http-25: <https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/elektrik> (Erişim tarihi: 20.05.2019).

http-26: <https://ourworldindata.org/grapher/surface-temperature-anomaly-gistemp>
(Erişim tarihi: 29.03.2019).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İlknur ALTUN
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Ankara / 15.08.1994
E-Posta : ilknuraltun.3@gmail.com

Eğitim:

Yüksek Lisans : 2019, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı
Lisans : 2016, Giresun Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Anabilim Dalı
Lise : 2012, Öğretmen Necla Kızılbağ Anadolu Lisesi