

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MALİYE ANABİLİM DALI
MALİ İKTİSAT BİLİM DALI

SOSYAL FAYDA ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİLER

Doktora Tezi

Halil KETE

İstanbul, 2019

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MALİYE ANABİLİM DALI
MALİ İKTİSAT BİLİM DALI

SOSYAL FAYDA ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİLER

Doktora Tezi

Halil KETE

Danışman: Prof. Dr. M. Mustafa ERDOĞDU

İstanbul, 2019

GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Halil KETE
Anabilim Dalı : Maliye
Programı : Mali İktisat
Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Mustafa ERDOĞDU
Tez Türü ve Tarihi : Doktora- Ağustos 2019
Anahtar Kelimeler : Sosyal Fayda, Yenilenebilir Enerji, Dışsallıklar

ÖZET

SOSYAL FAYDA ÇERÇEVESİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİLER

Sosyal fayda maliye biliminin temel konularından birisidir. Ancak bu konu çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Enerji üretimi sosyal fayda kavramı ile yakından ilişkili bir konudur. Türkiye’de enerji üretiminin temelini fosil yakıtlar oluşturmaya rağmen Türkiye fosil yakıtlar bakımından oldukça fakir bir ülkedir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ülkemiz avantajlı bir durumdadır. Negatif dışsallıklarından dolayı, enerji üretiminde fosil yakıtları kullanmanın uzun vadede ekonomi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının meydana getireceği pozitif dışsallıklar ise Türkiye’ye birçok sosyo-ekonomik yarar sağlayacaktır. Bu çalışmada dışsallıklar perspektifinden Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtların etkileri ele alınmıştır. Ayrıca, çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden COPRAS metodu kullanılarak, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımlara yol göstermesi bakımından sosyo-ekonomik fayda kriterleri dikkate alınarak, bu kaynakların puan bazlı sıralaması yapılmıştır. Analize göre Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarının sıralamasının ve yatırım ağırlıklarının; Rüzgar Enerjisi (% 33,73), Hidrolik Enerji (% 28, 81), Güneş Enerjisi (% 18,81), Jeotermal Enerji (% 11,39) ve Biyokütle Enerjisi (% 7,83) şeklinde yapılması sosyo-ekonomik açıdan en optimal sonucu vereceğini göstermiştir.

GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname : Halil KETE
Field : Public Finance
Programme : Fiscal Economics
Thesis Advisor : Prof. Dr. M. Mustafa ERDOĞDU
Degree Awarded and Date : Ph.D. – August, 2019
Keywords : Social Benefit, Renewable Energy, Externalities.

ABSTRACT

RENEWABLE ENERGIES WITHIN THE FRAMEWORK OF SOCIAL BENEFIT

Social benefit is one of the main subjects of public finance. However, this issue is often ignored. Energy production is closely related to the concept of social benefit. Although, fossil fuels constitute the main source for energy production in Turkey, Turkey is relatively poor in terms of fossil fuels. Turkey has an advantageous position in terms of renewable energy sources. Using fossil fuels for energy production has negative effects on economy in the long term, due to the negative externalities stemmed from energy production. On the other hand, positive externalities of renewable energy have socioeconomic benefits for Turkey. In this study, renewable energy sources and fossil fuels for Turkey will be discussed from the perspective of externalities. Besides, in this study, to guide the renewable energy investments in Turkey, by performing CORPAS method which is one of the multi-criteria decision making methods, renewable energy sources will be sorted in a descending order based on socioeconomic benefit criteria. According to analysis, the ordering of renewable energy investments and the weight of these investments are determined as wind energy (33.73%), hydraulic energy (28.81%), solar energy (18.81%), geothermal energy (11.39%) and biomass energy (7.83%). It is shown that, taking into consideration these results while making investments on renewable energy will yield to socio-economic optimum.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, şekillenmesinde ve tamamlanmasında değerli katkıları bulunan, benden yardım ve desteğini esirgemeyen en başta danışman hocam Prof. Dr. M. Mustafa Erdoğan'ya, tez izleme sürecinde bana verdikleri destek ve gösterdikleri yakınlık için hocalarım Prof. Dr. Nazan Susam'a ve Doç. Dr. Mehmet Ali Özbudun'a, tez savunma jürisinde yer alıp sürece kıymetli katkıları olan Prof. Dr. Rengin Ak'a ve Dr. Öğr. Üy. Özkan Zülfüoğlu'na, tezin analiz kısmında önerilerinden dolayı Doç. Dr. Coşkun Karaca'ya, bu doktora programı süresince kendilerinden ders aldığım ve pek çok şey öğrendiğim hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Tezimi yazdığım süre içerisinde, gerek önerileri ile gerekse son aşamadaki yazıma ilişkin düzeltmelerde, bana desteğini esirgemeyen değerli arkadaş ve meslektaşlarıma ve son olarak bugünlere ulaşmamda maddi ve manevi her türlü fedakârlıkla bulunan anneme, babama ve tüm aileme en sıcak teşekkürlerimi sunuyorum.

Halil KETE

İstanbul, 2019

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİYE OLAN ZORUNLU İHTİYAÇ VE KAMUSAL POLİTİKALAR

1.1. Fosil Yakıtların Geleceği Sorunu ve Yenilenebilir Enerjiler.....	6
1.1.1. Rezerv Sorunları Bakımından Fosil Kaynaklar.....	8
1.1.1.1. Kömür.....	10
1.1.1.2. Doğal gaz.....	11
1.1.1.3. Petrol.....	12
1.1.1.4. Kaya Gazı	14
1.1.2. Çevre Dostu Yenilenebilir Enerjiler.....	15
1.1.2.1. Rüzgâr Enerjisi	16
1.1.2.2. Güneş Enerjisi.....	22
1.1.2.3. Hidrolik Enerji	24
1.1.2.4. Jeotermal Enerji	25
1.1.2.5. Biyokütle Enerjisi	28
1.1.2.6. Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları	29
1.2. Yenilenebilir Enerjinin Üretimine Olan İhtiyaç ve Devlet Müdahalesinin Gerekliliği	30
1.2.1. Fosil Yakıtların Neden Olduğu Çevresel Sorunlar.....	31
1.2.1.1. Hava Kirliliği	31
1.2.1.2. Su Kirliliği	33
1.2.1.3. Toprak Kaybı ve Kirliliği	34
1.2.1.4. Diğer Çevre Sorunları.....	35
1.2.1.5. Çevre Sorunlarının Nedenleri ve Sonuçları.....	36

1.2.2. Yenilenebilir Enerjide Devlet Faaliyetlerinin Bir Gerekçesi Olarak Piyasa Aksaklıkları.....	38
1.2.2.1. Dışsallıklar.....	39
1.2.2.1.1. Sosyal Fayda Çerçevesinde Enerji Üretim Dışsallıkları.....	39
1.2.2.2. Aksak Rekabet.....	42
1.2.2.3. Kamu Malları.....	42
1.2.3. Enerji Üretiminde Ortaya Çıkan Dışsallıklara Kamusal Çözümler	44
1.2.3.1. Pigoucu Düzeltici Vergileme ve Karbon Vergisi	44
1.2.3.2. Düzenlemeler.....	45
1.2.3.3. Sübvansiyonlar	45
1.2.3.4. Kirletme Sertifikaları.....	46

İKİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE’DE ENERJİ YATIRIMLARI İÇİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIMLARININ ORTAYA ÇIKARACAĞI SOSYO-EKONOMİK FAYDA VE ZARARLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. Türkiye’de Temel Çevresel Problemler	47
2.2. Türkiye’de Enerji Üretim Kaynakları ve Yatırımları.....	51
2.2.1. Fosil Yakıtlı Enerji Üretimi.....	52
2.2.2. Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Potansiyeli	54
2.2.2.1. Rüzgâr Enerjisi	55
2.2.2.2. Hidrolik Enerji.....	57
2.2.2.3. Güneş Enerjisi.....	59
2.2.2.4. Jeotermal Enerji.....	61
2.2.2.5. Biyokütle Enerjisi	64
2.3. Fosil Temelli Enerji Üretiminin Dışsal Maliyetleri	65
2.3.1. Halk Sağlığı ve Çevresel Etkiler	66
2.3.1.1. Hava Kirliliği Kaynaklı Erken Ölümler	66
2.3.1.2. Kömür Kullanımının Sağlık Harcamalarına Etkisi	69
2.3.1.3. Türkiye’de Akciğer Kanseri Tedavisi İçin Bir Maliyet Hesaplaması .	73
2.3.1.4. Kömür Kaynaklı Enerji Üretiminin Bir Sosyal Maliyeti Olarak Maden Kazaları.....	76

2.3.1.5. Fosil Yakıt Teşvik Mekanizması ve Sağlık Maliyetleri İlişkisi	77
2.3.2. Enerji Açığının İthalatla Karşılanmasının Yol Açtığı Bir Maliyet: Cari İşlemler Açığı	79
2.3.2.1. Türkiye'nin Cari Açık Problemi.....	79
2.3.2.2. Enerji İthalatının Cari Açık Üzerindeki Etkisi	80
2.3.3. Enerji İthalatı ve Ulusal Güvenlik.....	84
2.3.3.1. İthal Enerji Bağımlılığı ve Güvenlik Problemi.....	85
2.3.3.2. Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığı ve Enerji Arz Güvenliği Sorunu	86
2.4. Yenilenebilir Enerji Üretiminin Pozitif Bir Dışsallığı: İstihdam Artışı.....	89
2.4.1. Türkiye'de İşsizliğin Boyutları ve Önemi.....	91
2.4.2. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Meydana Getireceği İlave İstihdam....	93
2.5. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji İle İlgili Kamu Yatırımları ve Teşvikler.....	95
2.5.1. 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanununun Arz Güvenliğinin Sağlanmasına Yönelik Düzenlemeler	97
2.5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun (5346 sayılı Kanun).....	99
2.5.3. 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun	102
2.6. Türkiye'de Enerji Üretimi Kaynaklı Negatif Dışsallıkların Azaltılması ve Sosyal Yararın Artırılması İçin Uygulanabilecek Kamu Maliyesi Politikaları.....	102
2.6.1. Çevreye Duyarlı Bütçeleme Anlayışı.....	103
2.6.2. Çevre Eğitiminin Uygulanması	103
2.6.3. Geri Dönüşüm Faaliyetlerinin Artırılması	104
2.6.4. Fosil Yakıt Teşviklerinin Azaltılması ve Yeşil Bina Teşviklerinin Artırılması	105
2.6.5. Enerji Verimliliğinin Artırılması ve İsrafının Önlenmesi	106

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE İÇİN EN İDEAL YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ KARMAŞIK ORANSAL DEĞERLENDİRME (COPRAS) YÖNTEMİ İLE TESPİTİ

3.1. COPRAS Yöntemi	108
3.1.1. Yöntemin Avantajları	109
3.1.2. COPRAS Yönteminin Kullanım Alanları	110
3.1.3. COPRAS Yöntemi İşlem Adımları	110
3.2. Türkiye İçin İdeal Yenilenebilir Enerji Kaynağının Tespiti	113
3.2.1. Teknik Kriterler	113
3.2.2. Ekonomik Kriterler.....	115
3.2.3. Sosyal ve Çevresel Kriterler.....	117
3.2.4. Faydalı ve Faydasız Kriter Ayırımı	119
3.2.5. COPRAS Uygulaması ve Sonuçları	122
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	126
KAYNAKÇA.....	134

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Dünyadaki En Büyük Petrol Rezervleri	14
Tablo 2. Dünya Kaya Gazı Rezervleri TcF	15
Tablo 3. Rüzgâr Enerjisi İle İlgili Çeşitli Senaryolar	18
Tablo 4. Dünyada Kara Tipi ve Deniz Tipi Rüzgâr Enerjisi Toplam Kapasitesi (MW)	19
Tablo 5. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Fosil Yakıt, Nükleer ve Rüzgâr Santralleri İçin Kuş Ölümlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi.....	20
Tablo 6. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları	21
Tablo 7. Güneş Enerjisi Toplam Kapasite ve İlave Yatırımlarda İlk On Ülke.....	23
Tablo 8. Enerjide Pozitif ve Negatif Dışsallıklar.....	40
Tablo 9. İllere Göre Birinci Öncelikli Çevresel Problem (2016 Yılı)	48
Tablo 10. Birincil Fosil Kaynaklara Göre Kurulu Güç Miktarları	52
Tablo 11. Sektörlere Göre Doğal Gaz Tüketim Miktarları.....	53
Tablo 12. Türkiye HES Potansiyel Durumu	58
Tablo 13. Türkiye Temel Biyokütle Enerji Bilgileri	64
Tablo 14. OECD ve Türkiye’de Hava Kirliliği Kaynaklı Ölüm (Milyonda Birlik Yıllık Değer)	67
Tablo 15. Türkiye Termik Santral Bölgelerindeki PM10 Ölçümleri.....	68
Tablo 16. Türkiye’de Kirlenmeye Bağlı Ölüm Oranları	68
Tablo 17. Birincil Kaynaklara Göre Santral Sayıları ve Kurulu Güç MW (Mart 2019)	70
Tablo 18. Kömürlü Termik Santrallerden Kaynaklanan Başlıca Sağlık Problemleri.....	71
Tablo 19. Türkiye’deki Kömür İle Çalışan Termik Santrallerin Sağlık Etkileri ve Maliyetleri.....	72
Tablo 20. Türkiye Akciğer Kanseri Ekonomik Yüğü (TL)	75
Tablo 21. 1900 Sonrası 200’den Fazla Can Kaybına Sebep Olan Maden Kazaları	76
Tablo 22. 2017 Yılı Dünyada En Çok Cari Açık Veren 10 Ülke	80
Tablo 23. İthal Enerji Girdilerinin Maliyeti (Bin \$)	82
Tablo 24. Yerli Enerji Kaynaklarına Ait Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi (mw).....	87
Tablo 25. 2018-2027 Yılları Brüt Elektrik Tüketim Tahmini (GWh).....	88

Tablo 26. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kurulu Güçleri ve 2023 Hedefleri	93
Tablo 27. Kurulu Güç Büyüklüğü 50 MW Olan Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Çalışabilecek İstihdam Miktarı	94
Tablo 28. İlave Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının İstihdam Etkisi	94
Tablo 29. Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Teknik Kriterler	114
Tablo 30. Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Ekonomik Kriterler	116
Tablo 31. Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Sosyal ve Çevresel Kriterler	117
Tablo 32. COPRAS Analizi Faydalı- Faydasız Kriter Ayrımı	120
Tablo 33. COPRAS Uygulama Sonuçları.....	124

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Dünya Kömür Tüketimi 1980-2040 (Katrilyon Btu)	6
Şekil 2. Sıvı yakıt tüketiminden kaynaklanan CO ₂ Emisyonları (kt).....	7
Şekil 3. Dünyada Toplam Birincil Enerji Arzı Kaynakları	9
Şekil 4. Yakıt Yanmasından Kaynaklı CO ₂ Emisyon Payları.....	9
Şekil 5. Geleceğe Yönelik Fosil Yakıt Rezerv Tahminleri	10
Şekil 6. Dünya Doğal Gaz Tüketimindeki Paylar.....	12
Şekil 7. Dünya Petrol Tüketimindeki Paylar (%)	13
Şekil 8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	16
Şekil 9. Kurulu Rüzgâr Gücüne Göre İlk On Ülke (2017)	17
Şekil 10. Yıllar İtibariyle Dünya Güneş Enerjisi Kapasitesi	23
Şekil 11. Hidroelektrik Santralleri Küresel Kapasite İlk On Ülke (%)	25
Şekil 12. 2017 Dünya Geneli İlave Jeotermal Enerji Yatırımları (%).....	26
Şekil 13. 2016 Yılında Ülkelere Göre Net Kurulu Jeotermal Enerji Kapasitesi	27
Şekil 14. Dünyada 1960'tan beri Sıvı, Katı ve Gaz Halindeki Yakıt Tüketiminden Kaynaklanan CO ₂ Emisyonları (Kt)	30
Şekil 15. Bölgelere Göre Kükürt Dioksit Emisyonları (SO ₂ Milyon Ton).....	32
Şekil 16. 1960 Sonrası Dünya Nüfusu ve sera Gazı Salınım Artışı	37
Şekil 17. 1927-2016 Yılları Arası Türkiye’de Köy ve Kent Nüfusu Oranları İle Toplam Enerji Üretimi	37
Şekil 18. 1960 Sonrası Dünyada ve Türkiye’de Kişi Başı CO ₂ Salınımları (Metrik Ton)	38
Şekil 19. Ekonomik Faaliyetlere Göre Hava Salınım Hesapları- Sera Gazı Salınımları (CO ₂ eşdeğeri).....	50
Şekil 20. Kurulu Gücün Birincil Kaynaklara Göre Dağılımı (MW) 2017	51
Şekil 21. Doğalgaz İthalatının Kaynak Ülkelere Göre Dağılımı % (Sm ³)	53
Şekil 22. Türkiye’deki Rüzgâr Enerjisi İçin Kümülatif ve Yıllık Kurulum Büyüklükleri	55
Şekil 23. İşletmedeki Rüzgâr Enerji Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı.....	57
Şekil 24. Türkiye Toplam Güneş Radyasyonu KWh/m ² -yıl	59
Şekil 25. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)	60

Şekil 26. Güneş Enerjisinde Kurulu Gücün Yıllar İtibariyle Gelişimi (MW).....	61
Şekil 27. Yıllar İtibariyle Türkiye'nin Jeotermal Enerji Kurulu Gücü (MW).....	62
Şekil 28. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Haritası.....	63
Şekil 29. Erkeklerde En Sık Görülen 10 Kanserin Yaşa Göre Standardize Edilmiş Hızları (Dünya Standart Nüfusu, 100.000 Kişide)	73
Şekil 30. Kadınlarda En Sık Görülen 10 Kanserin Yaşa Göre Standardize Edilmiş Hızları (Dünya Standart Nüfusu, 100.000 Kişide)	74
Şekil 31. Son On Yılda Cari Açık ve Enerji İthalatı (Milyon Dolar)	81
Şekil 32. Enerji İthalatı ve Brent Petrol Fiyatları	83
Şekil 33. Dünyada Teknolojilere Göre Yenilenebilir Enerji İstihdamı	90
Şekil 34. 2005 Yılından Günümüze İşsizlik Oranı ve İşsiz Sayısı	92
Şekil 35. 2019 Yılı Türkiye'de Elektrik Üretiminin Kuruluşlara Göre Dağılımı.....	96
Şekil 36. Yıllar İtibariyle Kurulu Gücün Kamu ve Özel Sektöre Göre Dağılımı.....	96

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CO₂	Karbondioksit
COPRAS	Complex Proportional Assessment
DSİ	Devlet Su İşleri
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GWEC	Global Wind Energy Council (Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi)
GWh	Gigawatt Saat
HES	Hidroelektrik Santrali
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IRENA	International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
JEDI	Jobs and Economic Development Impact
kW	Kilovat
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MW	Megavat
NREL	National Renewable Energy Laboratory
TcF	Trilyon Kübik Feet
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İşletmeleri Anonim Şirketi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Örgütü)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

GİRİŞ

İnsanlık yerleşik düzene geçtikten sonra, yeryüzünde kıt olan kaynakları keşfetmeye başlamıştır. Yaşamın devamı için “enerji” hayati bir ihtiyaç haline dönüşmüştür. Enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil kaynaklar her zaman ilk sırada yer almıştır. İlk keşfedilen fosil kaynak kömür olmuştur. Artan dünya nüfusu belli bölgelerde yoğunlaşmış ve o bölgelerde çevre sorunları çıkmaya başlamıştır. Çeşitli madenlerin işlenmesinde kullanılan kömür bir takım sektörlerin gelişmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler nüfus yoğunluğunu daha fazla artırmıştır. Ancak tarihte hiçbir dönem içinde bulunduğumuz son yüzyıl kadar ciddi çevre sorunları yaşanmamıştır.

Elektriğin, buhar makinesinin ve içten yanmalı motorların keşfi insanlık tarihinin dönüm noktalarındandır. Bu gelişmeler özellikle 1960 sonrası büyük kentlerde sanayi faaliyetlerini artırmıştır. Artan sanayi faaliyetleri kır nüfusunu kentlere göç etmeye teşvik etmiştir. Kentlerde biriken nüfus çarpık kentleşmeden hava kirliliğine birçok problemin artmasına neden olmuştur.

Günümüzde dünyadaki birincil enerji arzının yüzde 80’inden fazlası fosil kaynaklar ile elde edilmektedir. Kaynak bakımından kıt olan fosil kaynakların bu kadar yoğun kullanılmasında bir takım sakıncalar bulunmaktadır. Petrol, kömür ve doğalgazın mevcut rezervlerinin en fazla bir asır içinde tükeneyeceği beklenmektedir. Bu yönüyle fosil yakıtları ekonomik anlamda sürdürülebilir bir kaynak olarak ele almak mümkün görünmemektedir. Diğer taraftan fosil kaynakların çıkarılması için gerekli işlemler ile enerjinin elde edilmesi için bu kaynakların yakılması işlemlerine kadar tüm süreçler insan ve doğa için son derece zararlı sonuçlara neden olabilmektedir.

Devletlerin en önemli varlık nedenlerinden biri vatandaşlarının sosyal faydalarını maksimize edecek faaliyetleri yapmak veya teşvik etmek, sosyal faydalarını azaltacak faaliyetleri ise bertaraf etmektir. Enerji konusunda devletin faaliyet alanının bilimsel gerekçesinin temelini dışsallıklar ve sosyal fayda ilkesi oluşturmaktadır. Fosil kaynak temelli enerji üretim süreçleri negatif dışsallıkları yüksek olan alanlardır. Hükümetler ellerindeki politika araçları ile enerji üretim süreçlerinin içinde olmak zorundadırlar.

Fosil kaynakların yakılması ile elde edilen enerjinin piyasa fiyatlarına yansıtılmayan kısmı bu kaynakların “ucuz” olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Ancak dışsallıklar perspektifinden konuya bakıldığında fosil kaynakların hava, su, toprak üzerinde bıraktığı kalıcı zararlar insan ve diğer tüm canlılar için önemli bir sosyal maliyet olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerjinin insan hayatının bu kadar merkezinde olduğu günümüzde fosil kaynakların zararlarının üstesinden gelebilmek adına ekonomiler için “büyümeme”, “küçülme” tartışmaları hâlihazırda sorunu hızla çözebilecek adımlar değildir. Enerjiyi elde etme biçimimiz burada kilit noktadadır. İnsana ve doğaya verilen bu zararı yok etmek için çevre dostu doğal kaynaklara başvurmak en mantıklı yol olarak gözükmektedir. İşte tamda burada yenilenebilir enerjiler karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal, biyokütle, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynakların kullanılması sonucu çevreye verilen zararı önlemek için önemli bir alternatiftir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyada mevcut potansiyelinin çok altında kullanılmasının nedenleri arasında pahalı teknolojiler olması ve verimliliklerinin düşük olması gibi nedenler bulunmaktaydı. Ancak günümüzde yenilenebilir enerji teknolojilerinde elde edilen önemli gelişmeler gerek maliyetleri düşürmüş gerekse verimliliği artırmıştır. Hepsinden önemlisi bu konuya yenilenebilir enerjilerin neden olacağı sosyo ekonomik faydalar çerçevesinde bakıldığında yenilenebilir enerjiler hükümetler için sosyal faydası yüksek politika alanlarıdır.

Çalışmanın çıkış noktası ve cevap aradığı sorular fosil yakıtların neden olduğu negatif dışsallıklar ve yenilenebilir enerjilerin bunlar üzerinde düzeltici etkisi ile elde edilecek sosyo ekonomik faydalardır. Özellikle ülkemiz açısından enerji konusu önem arz etmektedir. Türkiye’de enerji politikası fosil yakıt temelli ilerlemektedir. Ancak Türkiye, fosil yakıtlar bakımından kaynakları oldukça sınırlı bir ülke durumundadır. Bununla birlikte, fosil yakıtların alternatifi olarak yenilenebilir enerjiler bakımından ise avantajlı bir durumdadır. Türkiye’nin fosil temelli enerji üretimi yüksek düzeyde negatif dışsallığa sahip iken, buna karşın yenilenebilir enerjiler de daha fazla pozitif dışsallıklar sağlamaktadır.

Çalışmada, fosil yakıtların neden olduğu ekonomik, çevresel, sosyal problemlerin yanı sıra yenilenebilir enerjilerin sağlayacağı sosyal yararlar ele alınmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımları teşvik edilirken hangi enerji kaynağının öncelikli olarak sosyo ekonomik faydayı artıracığı ve yatırım ağırlıklarının ne olacağı muğlak kalmaktadır. Bu soruya çalışmanın ampirik kısmında cevap aranmaktadır. Tüm bu soru ve sorunlar çerçevesinde çalışma üç ana bölümden oluşmaktadır;

Birinci bölümde; Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına neden ihtiyaç duyulmaktadır ve kamu politikaları bu konuyla hangi bakımdan ilgilidir sorularına cevap aranmaktadır. Bu kapsamda öncelikle dünyada rezervleri tükenmekte olan fosil kaynaklar ele alınacak, sıkıntılı yönleri ortaya konularak, alternatif olarak önerilen yenilenebilir enerjilerin teknolojik, ekonomik ve çevresel yönleri irdelenecektir. Dünyada fosil kaynaklar ve yenilenebilir enerjilerin mevcut kapasiteleri verilerle ortaya konulacaktır. Devletin enerji üretim süreçlerinde aktif rol almasına dayanak olarak gösterebileceğimiz ilk konu olan dışsallıklar bu bölümde genel olarak ele alınacak ve fosil kaynakların günümüzde hava, toprak ve su gibi doğal kaynaklara verdiği tahribat anlatılmaya çalışılacaktır. Hükümetlerin bu anlamda kullanabileceği vergi, düzenleme, sübvansiyon, sertifika gibi araçlar teorik olarak ele alınıp bunların enerji politikalarındaki önemine değinilecektir.

İkinci bölümde; enerjide dışsallık konusu Türkiye özelinde değerlendirilecektir. Bu kapsamda öncelikle Türkiye’nin temel çevresel problemleri ele alınacak ve enerji üretim kaynaklarımız fosil kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak güncel verilerle incelenecektir. Özellikle Türkiye’nin zengin yenilenebilir enerji kaynakları bakımından mevcut potansiyeli ve bu alandaki yatırımları incelenmiştir. Çalışmaya çıkış noktası teşkil eden dışsallıklar konusu bu bölümde detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ülkemizde fosil yakıtların kullanılması sonucu hava kirliliğinin insan hayatı üzerindeki etkileri, kömür kullanımının sağlık harcamalarını ne düzeyde artırdığı, fosil yakıtları teşvik ederek artan kullanımın dışsal maliyetlerle bize geri dönüşü uluslararası kuruluşlardan alınan verilerle incelenmiş ve Türkiye için akciğer kanserinde maliyet gibi bir takım hesaplamalar yapılmaya çalışılmıştır.

Türkiye için önemli bir ekonomik problem olan cari açık ile Türkiye'nin enerji politikası arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu anlamda ithal edilen kaynaklar içerisinde büyük oranda yer alan fosil yakıt ithalatının, üretim faaliyetlerinden enflasyona kadar birçok sorunu tetikleyen cari açık üzerindeki etkileri 2009 yılı ve sonrası verileri ile incelenmektedir. Enerji ihtiyacımızı ithal yolla elde etmenin bir ulusal güvenlik konusu olan enerji arz güvenliğimiz üzerindeki önemi açıklanmıştır.

Tüm bu negatif dışsallıklar beraber incelendiğinde Türkiye açısından büyük bir sosyal maliyet ortaya çıkması, enerji politikalarımızı sosyal faydası yüksek olan yenilenebilir enerjiler kapsamında şekillendirmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmanın yukarıda sayılan birçok negatif dışsallığı ortadan kaldıracak incelenirken, istihdam oluşturma gibi etkileri ile ekonomiye önemli yararlar sağlayacağı ele alınmıştır. Bu çerçevede yenilenebilir enerji yatırımlarında Türkiye'nin belirlediği 2023 hedeflerine ulaşılması halinde ne kadar istihdam artışı elde edeceği JEDI programı ile hesaplanmıştır. Bölümün sonunda yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmanın yanında ne gibi kamu politikalarının Türkiye'de enerji kaynaklı ve diğer çevre sorunlarını azaltacağı önerilerinde bulunulmuştur.

Son bölümde; Türkiye için yenilenebilir enerji yatırımları yapılırken, hangi yenilenebilir enerji kaynağına öncelik verilmesi gerektiği ampirik bir çalışmayla ele alınmıştır. Ülkeler enerji politikalarını belirlerken enerji alternatifleri arasındaki öncelik sırası önem arz etmektedir. Bu kapsamda literatürde Türkiye için yapılmış çalışmaların sayısı ve kapsamı oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalar sonucunda çok kriterli karar verme yöntemlerinin çalışmamız için en uygun yöntem olduğuna karar verilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemleri alternatifleri arasında diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha anlaşılır, kullanımı kolay, hesaplama süreci pratik, hem olumlu hem de olumsuz değerlendirme kriterlerini hesaba katabilen orijinal adı Complex Proportional Assesment (COPRAS) olan Karmaşık Oransal Değerlendirme metodu yöntem olarak seçilmiştir. Bu kapsamda rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal, biyokütle enerjileri için 49 ayrı kriterle, 250'ye yakın veri ile analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda Türkiye için optimum yenilenebilir enerji yatırım sıralaması ve yatırım büyüklüklerinin ne kadar olması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Tezin sonuç bölümünde analiz bulguları üzerine değerlendirmeler yapılmış, evre dostu ve sürdürülebilir bir enerji politikasına sahip olabilmek için bazı öneriler sunulup bu çalışmanın bir zeti verilmeye çalışılarak çalışma tamamlanmıştır.

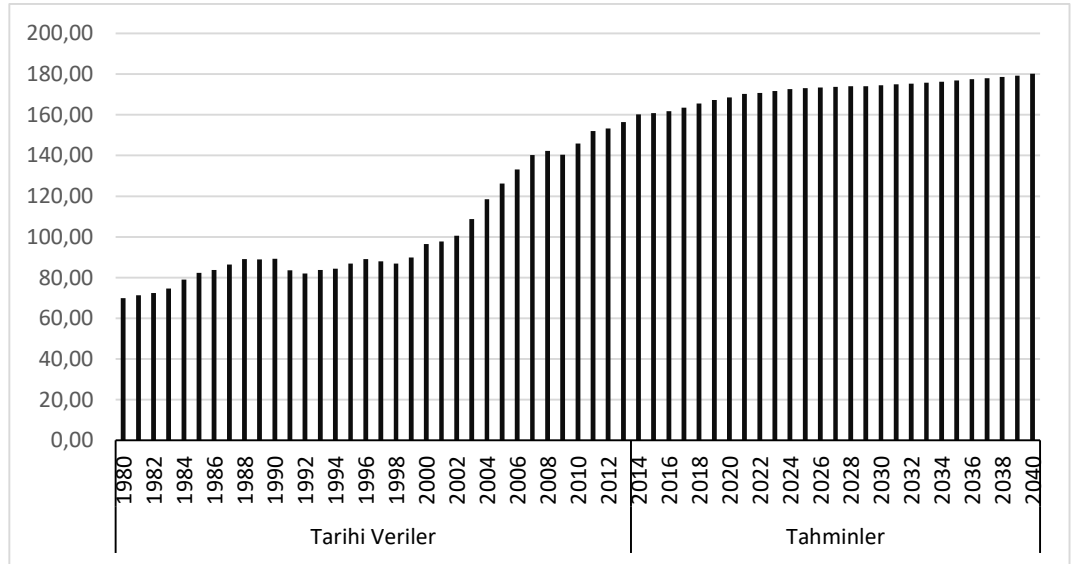


BİRİNCİ BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİYE OLAN ZORUNLU İHTİYAÇ VE KAMUSAL POLİTİKALAR

1.1. Fosil Yakıtların Geleceği Sorunu ve Yenilenebilir Enerjiler

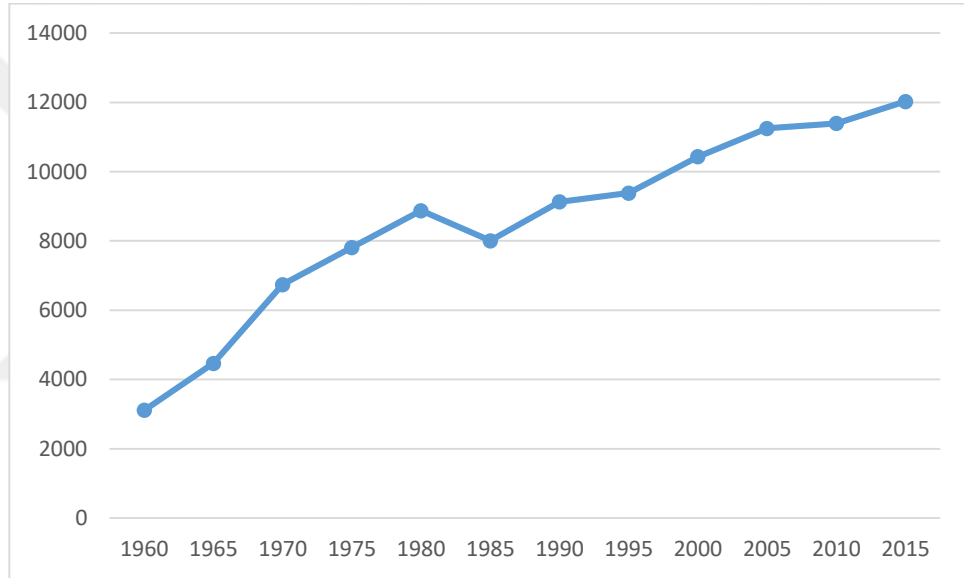
İnsanlığın yeryüzünde yerleşik tarıma geçmesi sınırlı kaynaklara yönelik artacak talebin ilk işareti olmuştur. 18. yüzyılda sanayi devrimi ile beraber geri dönülemez değişiklikler başlamıştır. Buhar makinesinin icadı, yenilenemeyen fosil kaynakların birincil enerji kaynağı olmasına sebep olmuştur. 1900’lerde kullanılan buhar makineleri yüz yıl öncesine göre otuz kat daha güçlüydü. 19. yüzyılın sonlarında içten yanmalı motorların üretilmesi elektriğin ve toplu taşıma araçlarının üretilmesine olanak sağlamıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısında sağlıkta yaşanan önemli başarılar, tarımsal verimlilikte ciddi artışlar, maddi refah ve yaşam süresi gibi birçok alanda eşi görülmemiş ilerlemeler kaydedilmiştir. Sanayi çağında gerçekleştirilen birçok keşif ve icatlar, çoğunlukla ucuz ve bol fosil enerji kaynakları ile sağlanmıştır. 1800’lerde dünyada yaklaşık 10 milyon ton kömür çıkarılırken, bu miktarın günümüzde ortalama olarak 8 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir (Renner, 2015, s. 7-8).



Şekil 1. Dünya Kömür Tüketimi 1980-2040 (Katrilyon Btu)

Kaynak: EIA (2017), International Energy Outlook 2017 (Erişim: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/coal.php>)

Şekil 1’de görüldüğü gibi karbondioksit salınımının başlıca nedenlerinden olan kömürün kullanımı dünyada yıllar itibarıyla artmaktadır. ABD Enerji Bilgi İdaresinin yayınladığı 2017 yılı enerji raporuna göre 2040 yılına kadar dünyada kömür tüketiminin artacağı tahmin edilmektedir. Kömür madenciliği, bir ekonominin gelişmesini sağlayan çekirdek endüstrilerden birisidir. Ülkelerin enerji talebi karşılanırken genellikle, kömür birincil enerji kaynağı olmaktadır. Fakat kömürün elde edilmesi süreci çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin kömür madenciliği üzerine yapılan çalışmalar kömür madenlerinin çevredeki su kaynaklarını önemli ölçüde zarar verdiğini göstermektedir (Tiwary, 2001, s. 185).



Şekil 2. Sıvı yakıt tüketiminden kaynaklanan CO2 Emisyonları (kt)

Kaynak: World Bank (2019a), CO₂ Emissions From Liquid Fuel Consumption (kt), (Erişim: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.LF.KT>).

2017 yılında dünyada enerji ihtiyacının karşılanmasında kömürden önce birinci enerji kaynağı yüzde 32’ lik oranla petroldür. Kömür yüzde 28 ile ikinci ve doğalgaz yüzde 22 ile üçüncü sıradadır (IEA, 2017a, s.6). Şekil 2’de görüldüğü gibi 1960’tan günümüze sıvı yakıt tüketiminden kaynaklı CO₂ salınımı artış eğilimindedir. 1960’tan günümüze yaklaşık 4 kat bir artış söz konusudur. Dolayısıyla petrol tüketimi kaynaklı önemli bir karbondioksit salınımı söz konusudur.

Dünyada enerji üretimi yoğun bir şekilde fosil yakıtlara bağlıyken, fosil yakıtların insan ve doğa için güvenilirliği bir takım sorunları beraberinde getirmektedir.

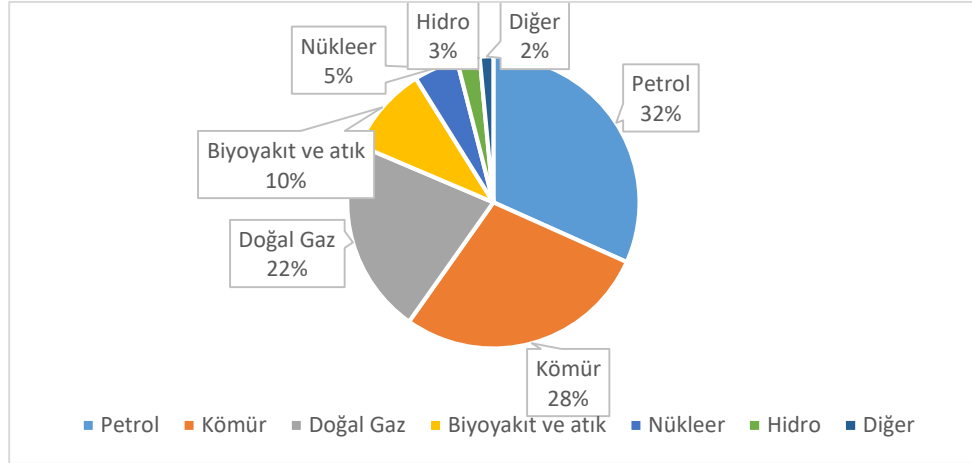
Enerji üretimlerini en ucuz ve en kolay bir yöntem olarak fosil yakıtlarda gören ülkeler kısa vadede bir refah artışı sağlarken, uzun vadede büyük sosyo ekonomik sorunlar yaşamaktadırlar.

Dünyada fosil kaynaklara çok az ülke sahiptir. Geri kalan ülkeler bu ülkelerden petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtları ithal etmek zorundadır. Enerji ihtiyacının dışarıdan sağlanma süreci ise basit bir ticari alış veriş şeklinde değil, milyonlarca masum insanın öldüğü arka planında enerji kaynaklarını ele geçirmek olan savaşımlara sebep olmaktadır. Elde edilen kaynakların işlenmesi ise dünyada her yıl milyonlarca insanda kalıcı sağlık sorunları meydana getirmekte veya ölümlere neden olmaktadır. Ayrıca uğruna savaşların yapıldığı bu fosil kaynakların ortalama olarak son yüz yıllık bir rezervi bulunduğu tahmin edilmektedir.

Dünyada her ülkenin sahip olduğu dolayısıyla uğruna savaşmaya gerek olmayan, fosil yakıtlara göre insan sağlığına ve çevreye neredeyse zararı olmayan, sürekli kendini yenileyen bir enerji kaynağı arayışı insanlığın geleceği için vazgeçilmez bir durumdur. İşte burada yenilenebilir enerji kaynakları karşımıza çıkıyor. Her ülke rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal, biokütle, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından birinde, bir kaçında veya tamamı noktasında avantajlı konumda olabilir. Bu kaynaklarla enerji üretimi sağlanırken, insana ve çevreye en az zarar verilmektedir.

1.1.1. Rezerv Sorunları Bakımından Fosil Kaynaklar

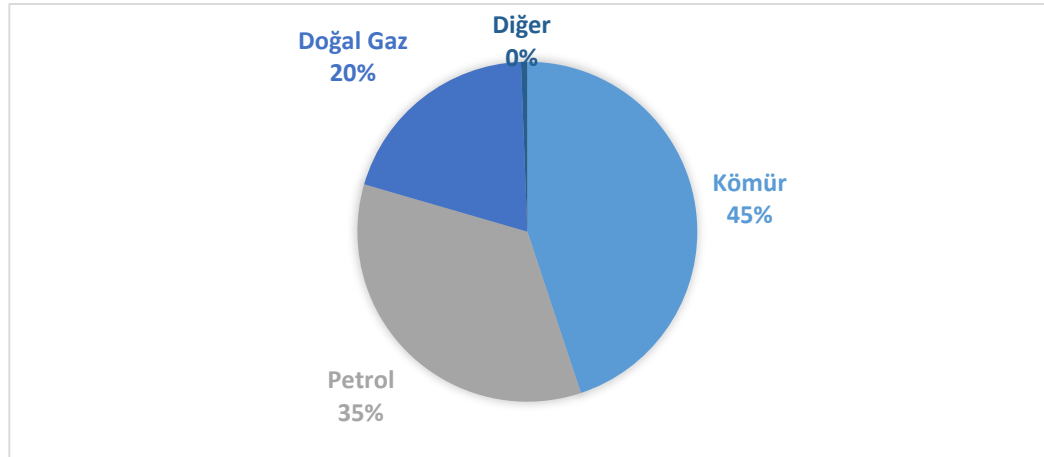
Dünyada birincil enerji arzının yüzde 82'si petrol, kömür ve doğal gaz olmak üzere üç temel fosil kaynaktan elde edilmektedir. Bu durum şekil 3'te gösterilmiştir. Dünyada birincil enerji arzının yüzde 32'si petrolden, yüzde 28'i kömürden yüzde 22'si doğalgazdan elde edilmektedir. Yüksek oranda fosil temelli enerji üretiminin tercih edilmesinde kısa vadede uygun fiyatlar önemli etkenler arasında gelmektedir. Ancak konu incelendiğinde uzun vadede daha büyük ve ciddi maliyetler karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3. Dünyada Toplam Birincil Enerji Arzı Kaynakları

Kaynak: IEA, Key World Energy Statistics 2017, s. 6.

Dünya birincil enerji üretimini üç temel kaynağa endekslemişken, şu soruyu sormak yerinde olacaktır “Bu kaynaklar sürdürülebilir mi?”. Fosil yakıtların rezervleri sınırlı olduğundan ve yenilenme süreci milyonlarca yıl sürdüğü için bu yakıt türleri kıt kaynaklardır. Fosil yakıtların kalan rezerv ömürleri ile ilgili literatürde çeşitli zaman dilimleri belirtilmektedir. Fakat genel olarak bakıldığında ortalama 100-150 yıl içerisinde yukarıda saydığımız üç fosil kaynağında dünyada tükenmiş olacağı tahmin edilmektedir.

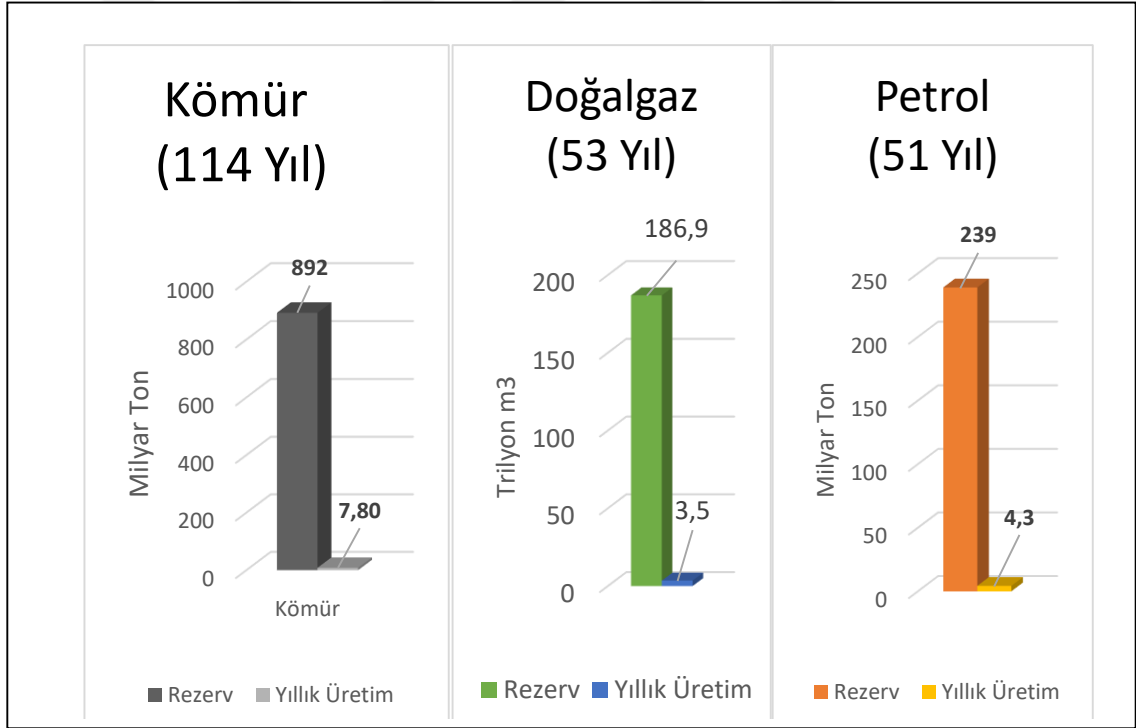


Şekil 4. Yakıt Yanmasından Kaynaklı CO₂ Emisyon Payları

Kaynak: IEA, Key World Energy Statistics 2017, s. 40.

Şekil 4’te görüldüğü gibi dünyada karbondioksit salınımının başlıca sebebi üç temel fosil yakıttır. Kömür, petrol ve doğal gaz ile elde ettiğimiz enerjinin yüzde 82’si

karşılanmaktadır, ancak karbondioksitin ekonomik, çevresel, sosyal etkileri incelendiğinde göz ardı edilemeyecek bir maliyet karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıtların yıllık üretim miktarlarının ve kalan rezervlerinin karşılaştırıldığı Şekil 5'te görüldüğü üzere, kömür 114 yıl, doğalgaz 53 yıl, petrol 51 yıl içinde tükenecektir. Konunun sadece bu yönü bile yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacın önemini ortaya koymaktadır. Dünyada 892 milyar ton tahmin edilen kömür rezervine karşın yıllık ortalama tüketim hali hazırda 7,8 milyar tondur. Bu rakam hiç artmasa bile yaklaşık 100 yıl içinde yoğun bir şekilde kullanılan kömür tükenecektir. Diğer fosil yakıtlara bakıldığında onları da aynı geleceğin beklediği görülmektedir.



Şekil 5. Geleceğe Yönelik Fosil Yakıt Rezerv Tahminleri

Kaynak: ETKB (2017), Dünya ve Türkiye; Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı Yayınları, Ankara.

1.1.1.1. Kömür

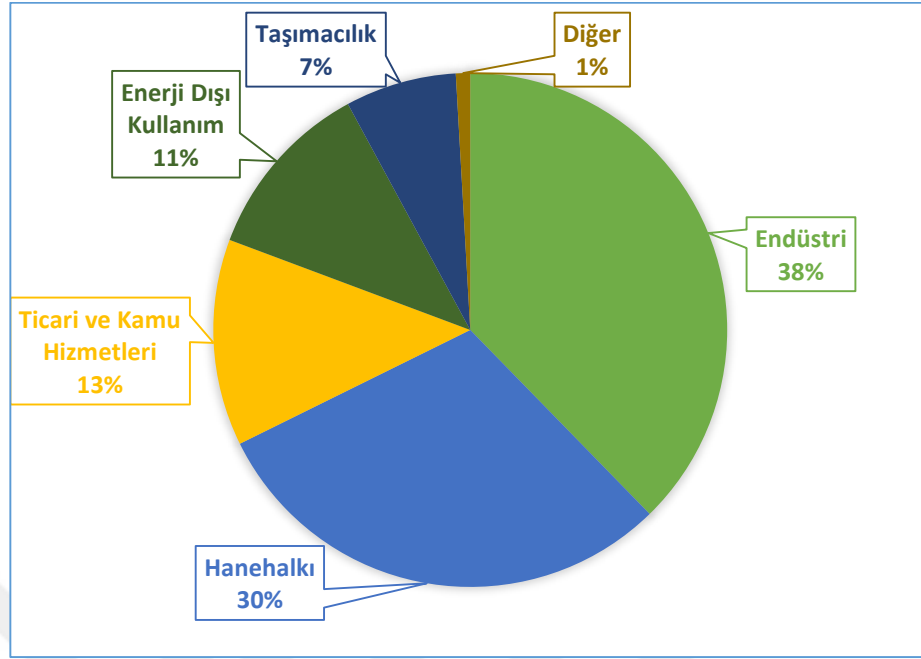
1960'larda petrol tarafından geçilinceye kadar kömür, dünyanın en büyük birincil enerji kaynağı olmuştur. Günümüzde kömür, dünya enerjisinin dörtte birinden fazlasını karşılamaktadır. Ancak bununla birlikte petrolden bile fazla olarak en büyük

karbon emisyonu kaynağıdır. En bol fosil yakıt olmasına rağmen, gerek enerji güvenliği gerekse çevresel risklerden dolayı yakın gelecekte kömür üzerine inşa edilen enerji politikaları terkedilebilir. Yeni kömür rezervlerinin bulunması beklenmediğinden, mevcut rezervlerin bir asır içinde tükenmesi beklenmektedir (Teske, 2015, s. 219)

Günümüzde kömür sağladığı ekonomik faydalardan dolayı bu kadar yüksek düzeyde tercih edilirken insan ve doğaya verdiği zararlar bu faydalardan daha yüksek gözükmektedir. Dünyada şu an en büyük karbondioksit kaynağı kömürdür. Kömürü sadece yakmak değil, kömürün çıkarılması ve işlenmesi süreçleri de oldukça çevresel riskler içermektedir. İlk akla gelen iklim üzerindeki olumsuz etkileri olsa da, kömür madenciliği en zor ve en tehlikeli çalışma koşullarının olduğu madencilik kollarından birisidir. Kömür temelli enerji üretiminden yenilenebilir enerji sistemlerine geçişin ekonomik ve toplumsal birçok faydası vardır (Brakel, 2017, s. 6).

1.1.1.2. Doğal gaz

Doğal gaz, ağırlıklı olarak metandan oluşan, sıvılaştırılmış veya gazlı olmak üzere tortularda oluşan gazları içerir. Sadece gaz halindeki hidrokarbonları üreten alanlardan kaynaklanan “konvansiyonel” gaz ile ham petrol ve kömür madenlerinden geri kazanılan metan ile birlikte üretilen “konvansiyonel olmayan” gazı içerir (IEA, 2018a, s. 19). Şekil 6’da görüldüğü gibi dünyada doğal gaz en çok endüstri ve hane halkı sektörleri tarafından kullanılmaktadır. Doğal gaz diğer fosil kaynaklara göre insan sağlığına ve çevreye daha az zarar verdiği düşünülmektedir. Önümüzdeki yüzyılın içerisinde tükenecek fosil kaynaklardan biri de doğalgaz olduğu düşünüldüğünde, doğal gaz üzerine enerji politikaları inşa etmek uzun vadede önemli ekonomik ve sosyal problemler yaşanmasına neden olabilecektir.



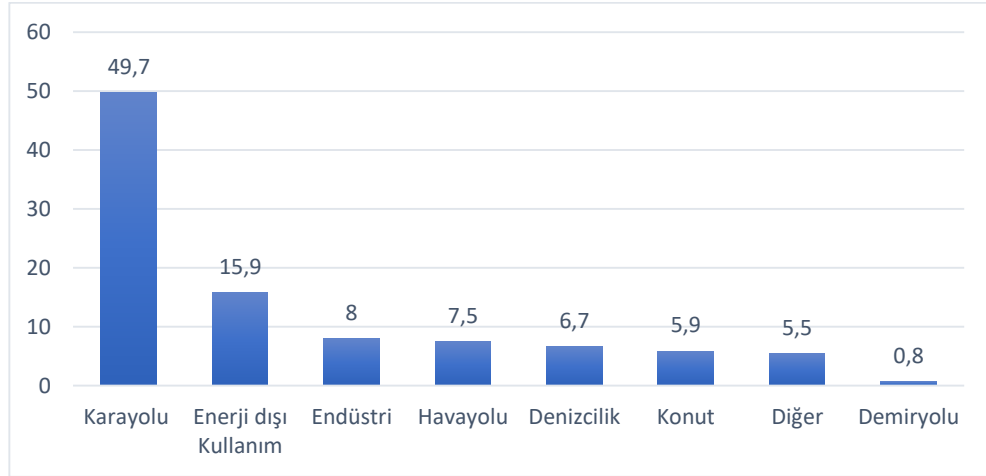
Şekil 6. Dünya Doğal Gaz Tüketimindeki Paylar

Kaynak: IEA, Key World Energy Statistics 2017, s. 40.

Kömür ve petrolün rezervlerindeki azalma tüm dünyada doğalgaz kaynaklı enerji üretimine kaymaya neden olmuştur. Doğalgaz aktarımında farklı yöntemlerin geliştirilmesiyle, kaynağa uzak ülkelerde doğalgazı rahatlıkla ithal eder hale gelmiştir (Speight, 2018, s. 5-6). Ancak kaynaklar doğal gaza da en fazla bir asır ömür biçmektedir. Yatırımların bu yöne kaydırılması sürdürülebilir olmayacaktır.

1.1.1.3. Petrol

Yirminci yüzyılda kömür yerine petrolün bir enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla, devletlerarası ilişkilerde şekillendirici bir rolü olmuştur. Petrolün gerek sanayi tüketiminde gerekse hem sivil hem askeri açıdan yakıt olarak kullanılması petrol bakımından zengin rezervlere sahip ülkelere dikkatlerin yoğunlaşmasına neden olmuştur (Acar, 2013, s. 3).



Şekil 7. Dünya Petrol Tüketimindeki Paylar (%)

Kaynak: IEA, Key World Energy Statistics 2017, s. 39.

Şekil 7’de gösterildiği üzere dünya petrol tüketimindeki paylar incelendiğinde, petrol kullanımının çoğunlukla karayolu taşımacılığında kullanıldığı gözükmemektedir. Yapılan araştırmalar ortalama 50 yıl içinde dünyadaki mevcut rezervlerin bu tüketim hızıyla biteceğini göstermektedir. Bu durum elektrikli araçların yaygınlaşmasının ve zamanla ihtiyaç duyulacak fazladan elektrik enerjisi için fosil olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin önemini göstermektedir.

Tablo 1 incelendiğinde dünyadaki toplam petrol rezervlerinin yüzde 95’inin sadece yirmi ülkenin sınırları içinde olduğu görülmektedir. BP Statistical Review of World Energy (2018) raporuna göre dünyadaki toplam rezerv 1696,6 milyar varil ve bunun eşdeğeri 239,3 milyar ton olarak ifade edilmektedir. Dünyada yıllık petrol tüketimi ise Şekil 5’te gösterildiği gibi 4,3 milyar tondur. Bu şartlar altında ortalama elli yıl içinde tükenen ve karbondioksit salınımının yüzde 35’inden sorumlu bir enerji kaynağını sürdürülebilir bir kaynak olarak değerlendirebilmek mümkün değildir. Ayrıca söz konusu kaynağın az sayıda ülkenin elinde bulunması bu kaynağa ihtiyaç duyan büyük ekonomik ve askeri güçleri bu ülkelerle farklı bahanelerle savaşa girmesine neden olmaktadır. Özellikle son 20-30 yılda Ortadoğu’da ve Afrika’daki çatışmaların temelinde petrole ulaşma çabasının olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Dünyadaki En Büyük Petrol Rezervleri

Sıra	Ülke	Milyar Varil	Sıra	Ülke	Milyar Varil
1	Venezuela	303,2	11	Nijerya	37,5
2	Suudi Arabistan	266,2	12	Kazakistan	30
3	Kanada	168,9	13	Çin	25,7
4	İran	157,2	14	Katar	25,2
5	Irak	148,8	15	Brezilya	12,8
6	Rusya	106,2	16	Cezayir	12,2
7	Kuveyt	101,5	17	Angola	9,5
8	Birleşik Arap Emirlikleri	97,8	18	Ekvador	8,3
9	ABD	50	19	Norveç	7,9
10	Libya	48,4	20	Meksika	7,2

Kaynak: BP Statistical Review of World Energy, 2018, s. 12.

1.1.1.4. Kaya Gazı

Fosil yakıt kaynaklarının 50-100 yıl içinde tükenmesinin beklenmesi dünyada yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmuştur. Organik kaya tabakaları arasında sıkışmış gazın sondaj ve çatlatma yöntemi ile yeryüzüne çıkarılması ile elde edilen kaya gazı dünyanın önemli enerji gündem maddelerinden birisi olmuştur. Kaya gazının enerji dengelerini değiştirmesi beklenmektedir. Örneğin, ABD dünyanın en büyük doğal gaz ithalatçısıyken Tablo 2’de görüleceği üzere rezerv zenginliğine sahip olduğundan dolayı, kaya gazı çalışmaları sonrası dünyanın en büyük doğalgaz ihracatçısı konumuna gelmesi tahmin edilmektedir (Ahışhalı, 2013, s. 28).

Tablo 2. Dünya Kaya Gazı Rezervleri TcF

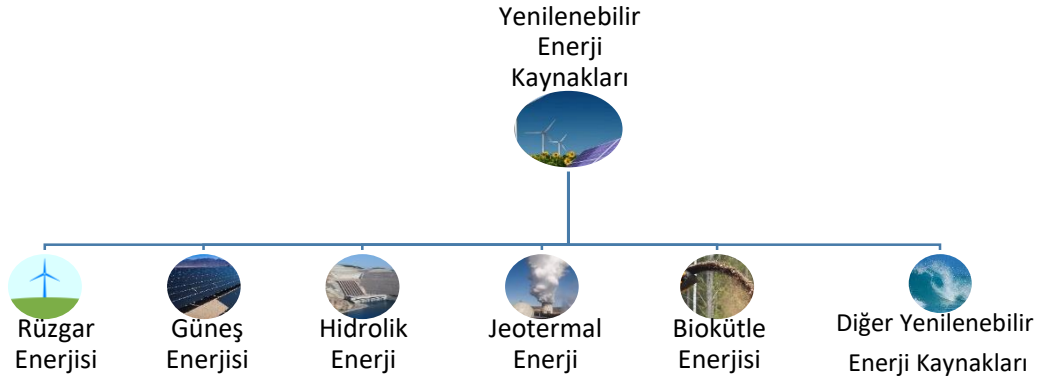
Sıra	ÜLKE	Rezerv	Sıra	ÜLKE	Rezerv
1	ABD	1161	7	Avustralya	437
2	Çin	1115	8	Güney Afrika	390
3	Arjantin	802	9	Rusya	285
4	Cezayir	707	10	Brezilya	245
5	Kanada	573	11	Diğer	1535
6	Meksika	545		Toplam	7795

Kaynak: EIA 2013, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, U.S. Energy Information Administration, Washington June 2013.

Kaya gazı çıkarılması için kullanılan hidrolik çatlatma işleminde kimyasallar kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasallar yeraltı sularını ciddi oranda kirletmektedirler. Yerin 1500-3000 metre derinliğinde çok yüksek basınçla uygulanan suyun içindeki kimyasalların içme sularına da karışması, sağlık açısından ciddi riskler oluşturmaktadır (Özsoy, 2016, s. 213). Ayrıca hidrolik çatlatma yöntemi kullanan şirketler kullandıkları kimyasalları kamuoyundan gizlemektedirler. Ortalama bir kaya gazı kaynağında 10.000m³ ile 20.000m³ su kullanılmaktadır. Eğer o bölgede su kaynakları kısıtlı ise su kaynağının yoğun kullanımına neden olmaktadır. Bu tarz çevresel risklerden dolayı Fransa, Hollanda, Bulgaristan gibi ülkelerde kaya gazı sondajı yasaklanmıştır (Sevim, 2014, s. 53).

1.1.2. Çevre Dostu Yenilenebilir Enerjiler

Temel enerji kaynakları olan petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kaynaklar hızla tükenirken, dünya nüfusu da hızla artmaktadır. Artan bu nüfusun enerjiye olan bağımlılığı da hızla artmaktadır. Hızla tükenen bu enerji kaynakları insanlığı daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları; sürdürülebilir olmaları, çevresel açıdan temiz olmaları, kaynakların dışa bağımlı olmaması gibi sebeplerden dolayı önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerjinin en temel tanımı; enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi ile tanımlanır (Üçgül ve Elibüyük, 2016a, s. 222).



Şekil 8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

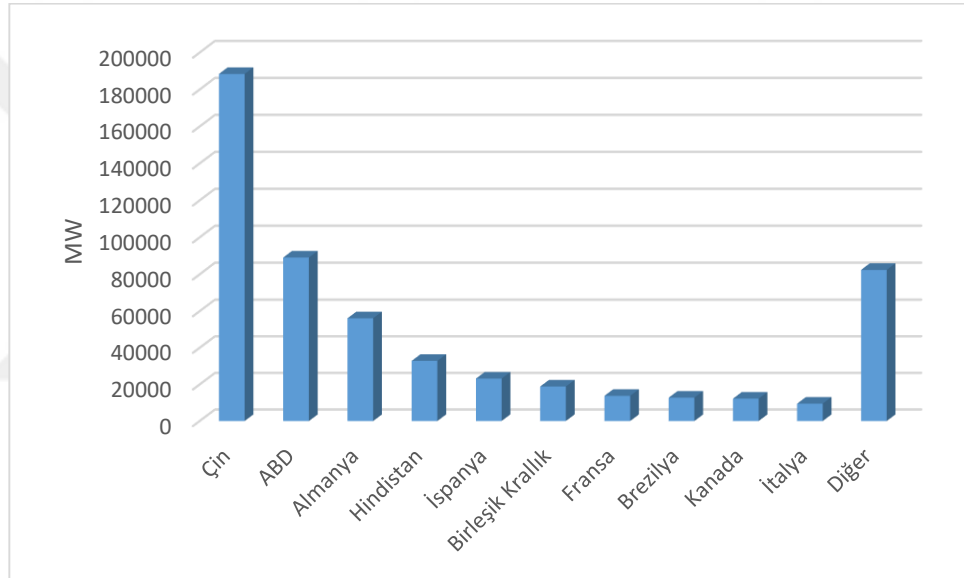
Yenilenebilir enerji kaynaklarını Şekil 8’de görüldüğü üzere rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biokütle enerjisi şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Bunun yanında özellikle denizler ve okyanuslardan elde edilen çeşitli enerji çeşitleri vardır. Örneğin; dalga enerjisi, gelgit enerjisi, akıntı enerjisi gibi.

1.1.2.1. Rüzgâr Enerjisi

M.Ö. 2000 yıllarında Eski Mısır’da, İran’da, Çin’de ve Japonya’da rüzgâr gücü ile çalışan yel değirmenlerinin tahıl öğütme işinde kullanıldığı bilinmektedir. Yüzyıllarca rüzgâr gücünün tarım ürünlerinin öğütülmesi ve deniz taşımacılığında kullanılmasına karşın 19. yüzyıl ve 20. yüzyıl başlarında elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaya başlanmıştır (Üçgül ve Elibüyük, 2016a, s. 236).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisinin çeşitli avantajlarından dolayı dünyada kullanımı hızla artmaktadır. Ayrıca günümüzde rüzgâr türbin teknolojilerinde yaşanan gelişmeler bu süreci hızlandırmaktadır. Gerek türbinlerde kullanılan materyallerin geliştirilmesi gerekse mekanik yapılarının değiştirilmesi gürültü ve manyetik kirlilik gibi sorunları en az seviyeye indirdiği için her geçen gün daha yüksek kapasiteli türbinler kurulmaktadır. Bunun sonucunda da rüzgâr gücü ile üretilen elektrik enerjisinde birim maliyet düşmektedir (Çolak ve Demirtaş, 2008, s. 56) .

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlara alternatif olarak, bol, yenilenebilir, yaygın olarak dağıtılan, enerji üretimi sırasında herhangi bir sera gazı emisyonuna neden olmayan ve az arazi kullanarak verimli tarım alanlarını çok işgal etmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisinin yıldan yıla çok tutarlı olmakla beraber kısa zaman dilimlerinde önemli değişiklikleri vardır. Sistemde rüzgâr temelli enerji üretimi yüzde 20 dolaylarında olduğunda rüzgâr kesintileri nadiren sorun oluşturur. Bunun üzerinde yapılan üretimlerde ise, aşırı kapasite depolama, yük dağıtımına destek kaynakları, komşu bölgelere güç ihracat ve ithalatı veya rüzgâr üretimi azaldığında talebi azaltmak gibi güç yönetimi teknikleri büyük ölçüde bu sorunları azaltabilir (Aydın, 2016, s. 193).



Şekil 9. Kurulu Rüzgâr Gücüne Göre İlk On Ülke (2017)

Kaynak: GWEC, 2017, s. 18.

Şekil 9’da dünyada kurulu rüzgâr enerjisi gücü bakımından ilk on ülke gösterilmiştir. GWEC (2017) raporuna göre dünyada 2017 yılında toplam 539.123 MW elektrik gücü üretilirken bunun yüzde 85’lik kısmına denk gelen 456.732 MW’lık kısmı bu on ülke tarafından üretilmiştir. Dünyanın büyük çoğunluğunda rüzgâr enerjisi ile enerji elde etmek mümkünken bunun sadece on ülkede yaygın olarak kullanılması problemlidir.

Kurulumu, Ekonomik Ömrü, Maliyeti

Bir rüzgâr türbini, rüzgârın kuvvetini, pervaneleri etkileyen dönme kuvvetine (tork) dönüştürerek güç elde eder. Rüzgârın kanatlara aktardığı enerji miktarı, havanın yoğunluğuna, kanat alanına ve rüzgâr hızına bağlıdır. Tipik bir 1 MW gücünde rüzgâr türbini, 54 metrelik bir kanat çapına dolayısıyla 2300m²'lik bir alana sahiptir. Kanat alanı bir rüzgâr türbininin rüzgârdan ne kadar enerji toplayabileceğini belirleyen önemli bir unsurdur. Bunun gibi birçok faktör rüzgâr türbininden elde edilen enerjinin verimliliğini etkilemektedir (Wagner ve Mathur, 2018, s. 18).

Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerine göre yatay eksenli veya düşey eksenli olarak üretilirler. Bu tiplerden en fazla kullanılanı yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Rüzgârın hızı ancak belli aralıklarda olduğu vakitlerde türbinler enerji üretebilir. Rüzgâr türbinleri devreye sokma (cut-in*) ve devreden çıkarma (cut-out*) rüzgâr hızları arasında enerji üretirler. Modern rüzgâr türbinlerinin cut-in hızları 2-4 m/s, nominal hızları 10-15 m/s ve cut out hızları ise 25-35 m/s arasındadır. Burada cut-out hızları, rüzgâr türbinlerinin zarar görmemesi için kapalı konuma getirildikleri maksimum hızı göstermektedir (ETKB, 2019).

Yenilenebilir enerji tesislerinin çoğunun ömrü 20 ile 30 yıl arasında öngörülmektedir. Rüzgâr enerjisi santralleri için yapılan çoğu analiz ekonomik ömürlerinin 30 yıla kadar çıkabileceğini göstermektedir (Tidball vd., 2010, s. 15).

Tablo 3. Rüzgâr Enerjisi İle İlgili Çeşitli Senaryolar

	2013	2015	2020	2030	2040	2050
Yıllık Kurulum MW	35.787	63.350	103.423	144.165	196.748	207.879
Maliyet €/kW	1.592	1.571	1.452	1.379	1.328	1.321
Yatırım Milyar €/yıl	57	100	150	199	261	275
Yıllık İstihdam	606.076	1.029.681	1.634.721	2.426.331	3.588.875	4.202.612

Kaynak: GWEC (2016), Global Wind Energy Outlook 2016, Global Wind Energy Council, (<https://gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2016/>)

* Rüzgâr türbinleri, elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgâr hızında başlayabilmektedir. Bu hız düzeyine “cut- in” adı verilmektedir. Sistemin hasar görmemesi için belirli bir rüzgâr hızından sonra rüzgâr türbinlerinin stop konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanır. Bu maksimum hız, sistemin “cut- out” hızı adı verilmektedir.

Tablo 3'teki rüzgâr enerjisi ile ilgili bir takım varsayımlar “Global Wind Energy Council” tarafından yapılmıştır. Hâlihazırda kW başına rüzgâr enerjisi üretiminin maliyeti 1500 Euro civarındadır. 2050 yılına kadar bu rakamın 1300 Euro seviyelerine düşmesi beklenmektedir. Ayrıca 2050 yılına kadar istihdam, yatırım ve yıllık kurulacak MW gücü bağlamında önemli artışların yaşanması beklenmektedir.

Kara Tipi ve Deniz Tipi Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr türbinleri, esasen rotor milinin hizalanmasına bağlı olarak iki tipte sınıflandırılabilir. Bunlar; dikey eksenli rüzgâr türbinleri (VAWT) ve bugün en yaygın olarak kullanılan yatay eksenli rüzgâr türbinleridir (HAWT) olm (Coyle ve Simmons, 2014, s.95).

Rüzgâr türbinleri kuruldukları alana göre kara tipi (onshore) ve deniz tipi (offshore) olmak üzere iki çeşittir. Kara tipi rüzgâr santralleri on metre yükseklikte rüzgârın saniyedeki hızının ortalama altı metreden fazla olduğu açık kara alanları için uygundur. Offshore dediğimiz deniz tipi rüzgâr türbinleri yüksek motor hızlarına izin vermektedir. Ancak offshore rüzgâr çiftlikleri donanım ve montaj maliyetleri kıyıda uzaklık ve su derinliği dolayısıyla pahalı olma eğilimindedir. Offshore rüzgâr çiftlikleri inşaat sürecinin zor olmasının yanı sıra, şebekeyle bağlantısının yapılması ve işletme sürecinde bakım yapılması açısından da bir takım zorluklar barındırmaktadır. Bununla birlikte bu tipte enerji üretme kara tipi rüzgâr çiftliklerine göre yüzde elliye varan oranlarda daha verimlidir (Coyle ve Simmons, 2014, s. 97).

Tablo 4. Dünyada Kara Tipi ve Deniz Tipi Rüzgâr Enerjisi Toplam Kapasitesi (MW)

(MW)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Kara Tipi	113.357	147.967	177.663	216.238	264.308	294.380	340.696	405.081	452.875	494.664
Deniz Tipi	1.442	2.134	3.056	3.776	5.335	7.171	8.492	11.717	14.352	19.275

Kaynak: IRENA, Renewable Capacity Statistics 2018.

Tablo 4'te görüldüğü gibi dünyada rüzgâr enerjisi kapasitesi her yıl artmaktadır. Deniz tipi rüzgâr santralleri her ne kadar daha az kapasite ile devam etse de bu santrallerin

artış hızı yüksektir. Örneğin 2008 yılından beri klasik kara tipi santrallerin kapasitesi yaklaşık 4 kat artarken deniz tipi rüzgâr santrallerinin kapasitesi 13 kat artmıştır.

Avantajları ve Dezavantajları

Tablo 6’da temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisinin avantajları ve dezavantajları sıralanmıştır. Bizim için rüzgâr enerjisinin en önemli artışı temiz bir enerji kaynağı olup, insan ve çevreye zararı yok denecek kadar az olmasıdır. Her yıl dünyada milyonlarca insan fosil yakıt kaynaklı çevre kirliliğinden ölmekte, bitkiler ve hayvanlar da bu süreçten büyük ölçüde zarar görmektedir. Enerji üretmek için hammadde maliyeti sıfır ve işletme maliyetleri çok düşük olmasından dolayı, birçok ülkenin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı buradan karşılanabilir. En önemli fosil yakıtlardan birisi olan petrolün dünyadaki toplam rezervinin %95’i sadece 20 ülke sınırları içinde bulunduğu düşünüldüğünde, yenilenebilir enerjiler ve özellikle rüzgâr enerjisi tüm dünya için umut verici bir enerji kaynağıdır.

Rüzgâr enerjisinin dezavantajlarına baktığımızda genellikle finansal unsurlar göze çarpmaktadır. Yukarıda da belirttiğimiz gibi insan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi rüzgâr enerjinin çok büyük bir sosyal faydasıdır. Fosil yakıtların uzun vadede sağlık harcamaları, kirlenen doğanın temizleme maliyetleri gibi harcama kalemleri daha büyük maliyetler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 5. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Fosil Yakıt, Nükleer ve Rüzgâr Santralleri İçin Kuş Ölümlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi.

Enerji Türü	Kuş Ölümleri (Yıllık Toplam)	Kuş Ölümleri (GWh başına ölümler)
Rüzgâr Enerjisi	7.193	0,269
Fosil Yakıtlar	14.5 Milyon	5,18
Nükleer Enerji	327.483	0,416

Kaynak: Sovacool, B. (2009), Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity, Energy Policy 37(2009)2241–2248.

Rüzgâr enerji santrallerinin en önemli çevresel zararı olarak öne sürülen kuş ölümlerine sebep olması ise bu canlılara diğer faaliyetler tarafından verilen zarar yanında çok düşüktür. Hollanda’da yapılan bir çalışmaya göre, aynı zaman birimi içerisinde 1000 MW büyüklüğünde bir rüzgâr enerji santralinde 5 bin kuş ölümü gerçekleşme ihtimaline karşın, motorlu taşıt trafiği nedeniyle 2 milyon kuş, avcılık faaliyetleri ile 1,5 milyon kuş

ve yüksek gerilim hatlarına bağılı olarak 1 milyon kuş ölmektedir (Gürsoy, 2004, s. 119). Yapılan başka bir araştırmaya göre Mart 2014 itibariyle 48.976 kıyı türbinlerinin toplam sayısına dayanarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık 151.630 kuşun rüzgar enerjisinden etkilendiğini tahmin edilmektedir (Miao vd., 2019, s. 364). Amerika'da yapılan bir araştırmaya yönelik sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir. Rüzgâr enerjisine yöneltlen eleştirilerin başında gelen kuş ölümlerinin, bu konuda fosil yakıtların neden olduğu yıllık ölüm sayılarıyla karşılaştırıldığında türbinlerin neden olduğu ölüm sayılarının çok daha düşük olduğu görülmektedir. Fosil yakıtlar ve nükleer santraller yıllık 15 Milyon kuş ölümüne sebep olurken rüzgâr santralleri ise yıllık ortalama 7.193 kuş ölümüne neden olmaktadır.

Görüldüğü gibi yapılan farklı araştırmalarda elde edilen bulgulara göre net kuş ölümleri sayını ve oranını belirlemek güçtür. Yapılan çalışmalar birbirinden farklı sonuçları ortaya koymaktadır. Ancak fosil yakıtlarla rüzgâr enerjisinin kuşlara verdiği zarar karşılıklı olarak tahmin edildiğinde ortaya oldukça büyük bir fark ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı kuş ölümlerini sürekli gündemde tutup, rüzgâr enerjisinden elde edilecek sosyal yararı göz ardı etmek gerçekçi bir bakış açısı değildir. Fosil temelli enerji üretimi yerine rüzgâr santralleri kurmak belli sayıda kuş ölümüne neden olma ihtimali ile beraber, fosil yakıtların neden olduğu milyonlarca kuş ölümünü de önleyecektir.

Tablo 6. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
➤ Rüzgâr enerji sistemleri çevre dostu temiz bir enerji kaynağıdır. ➤ Rüzgâr enerjisi, dünyanın birçok ülkesinde yerel bir enerji kaynağı olarak mevcuttur. ➤ Yakıt olarak herhangi bir hammaddeye ihtiyaç duymamaktadır. ➤ İşletme masrafları çok azdır. ➤ Rüzgâr enerjisi, günümüzde mevcut en düşük fiyatlı yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. ➤ Rüzgâr türbinleri uygun rüzgâr hızının olduğu her yere kurulabilir. Böylelikle kırsal alanlara da ekonomik olarak faydası olabilir.	➤ Rüzgâr enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetleri fosil yakıt temelli enerji santrallerine göre daha yüksektir. ➤ Rüzgârın bir güç kaynağı olarak kullanılmasındaki en büyük zorluk, rüzgârın aralıklı olması ve elektrik üretimi gerektiğinde rüzgâr hızının gerekli seviyelerde olmayabilmesidir. ➤ Şehir merkezi ve türbin sahası arasındaki mesafe arttıkça iletim maliyeti artmaktadır. ➤ Gürültü ve görüntü kirliliği gibi sorunları bulunmaktadır.

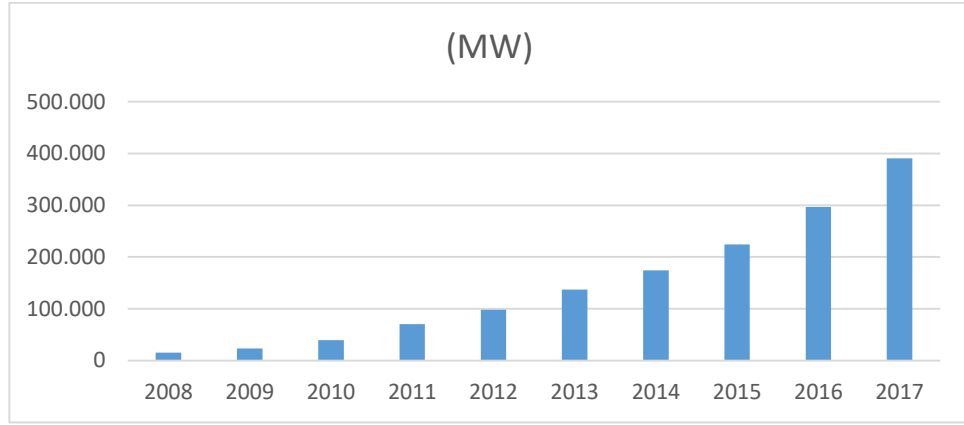
➤ Rüzgâr türbinlerinin üretime geçmesi, inşaatının başlamasından itibaren 4-5 ay gibi kısa sürede gerçekleşirken, bu süreç nükleer santrallerde 7 yıl, hidrolik santrallerde 2-10 yıl olabilmektedir. ➤ 20 adet türbinden oluşan tipik bir rüzgâr çiftliği 1 km² alan kaplarken, bu alanın yaklaşık %1'i türbin kurulum yeri olarak kullanılmaktadır. Geri kalan yerler çiftçilik veya hayvancılık için kullanılabilir. ➤ Rüzgâr enerjisi sektörü dünyada önemli istihdam alanları oluşturan alanların başında gelmektedir.	➤ Kuş ölümlerine sebep olabilmektedir. ➤ Arı sürülerine zarar verebilmektedirler.
--	--

Kaynak: Wagner ve Mathur(2018), Savrul (2016), Üçgül ve Elibüyük (2016a)

1.1.2.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir yenilenebilir enerji türüdür. Güneşin yaydığı ve dünyamıza ulaşan enerji, güneşin çekirdeğindeki füzyon süreci ile açığa çıkan ısıyı enerji olarak kullanır. Bu enerjinin dünyamıza ulaşan küçük bir bölümü bile insanlığın mevcut enerji tüketiminden fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar 1970'lerden sonra hız kazanmış ve maliyetler çok yüksek oranda düşüş göstermiştir. Güneş ışığından yararlanmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan bir kısmı ışık ve ısı kaynağı olarak kullanırken, bir kısmı da güneş enerjisinden elektrik elde etme şeklinde kullanılmaktadır (Aydın, 2016, s. 198).

Güneş enerjisi dünyada her yere dağılmış, bol ve devamlı bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlar gibi sera gazı salınımına neden olmamaktadır. İhtiyaç duyulan her yerde uygulanabilir, yerel uygulamalar için oldukça elverişlidir. Kurulan sistemlerin bakım maliyetleri çok azdır. Ancak bununla birlikte güneş enerji sistemlerinin kurulabilmesi için geniş arazi kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş ışığının sürekliliği olmadığı için enerji üretimi de kesintili olmaktadır. Rüzgâr enerjisinde olduğu gibi güneş enerjisinde de üretilen enerjiyi depolamak zor ve pahalıdır. Güneş panelleri bulut, toz, duman gibi atmosferik olaylardan çabuk etkilenir. Güneş enerji santrallerinin yatırım maliyetleri günümüzde geçmişe göre düşüş göstermiştir. (Corkish, Lipi'nski ve Patterson, 2016, s. 7).



Şekil 10. Yıllar İtibariyle Dünya Güneş Enerjisi Kapasitesi

Kaynak: IRENA (2018c), Renewable Capacity Statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.

Şekil 10’da görüldüğü üzere son on yılda güneş enerjisi yatırımları oldukça hızlı bir şekilde artmaktadır. 2008 yılından bu güne toplam kapasite 25 kat artmıştır. Güneş teknolojisinde meydana gelen gelişmelerle birlikte maliyetlerin düşmesi sonucu bu rakamların daha hızlı bir şekilde artması beklenmektedir. Güneş enerjisinde seviyelendirilmiş elektrik enerjisi maliyetleri 2010-2016 yılları arasında %69 oranında azalmakla beraber, fosil yakıtların maliyet aralığına yaklaşmıştır. Güneş enerjisi PV sistemleri maliyetleri yaklaşık dörtte bir oranında düşerken konutlarda güneş PV sistemlerinin maliyetleri de 2010 yılına göre üçte iki oranında azaldığı belirtilmektedir (IRENA, 2018d).

Tablo 7. Güneş Enerjisi Toplam Kapasite ve İlave Yatırımlarda İlk On Ülke

2017 İlave Yatırımlar			2017 Toplam Kapasite		
1	Çin	53,0 GW	1	Çin	131,0 GW
2	ABD	10,6 GW	2	ABD	51,0 GW
3	Hindistan	9,1 GW	3	Japonya	49,0 GW
4	Japonya	7,0 GW	4	Almanya	42,0 GW
5	Türkiye	2,6 GW	5	İtalya	19,7 GW
6	Almanya	1,8 GW	6	Hindistan	18,3 GW
7	Avustralya	1,3 GW	7	İngiltere	12,7 GW
8	Güney Kore	1,2 GW	8	Fransa	8,0 GW
9	İngiltere	0,9 GW	9	Avustralya	7,2 GW
10	Brezilya	0,9 GW	10	İspanya	5,6 GW

Kaynak: IEA (2018b), *Snapshot of Global Photovoltaic Markets*, Report IEA PVPS T1-33:2018

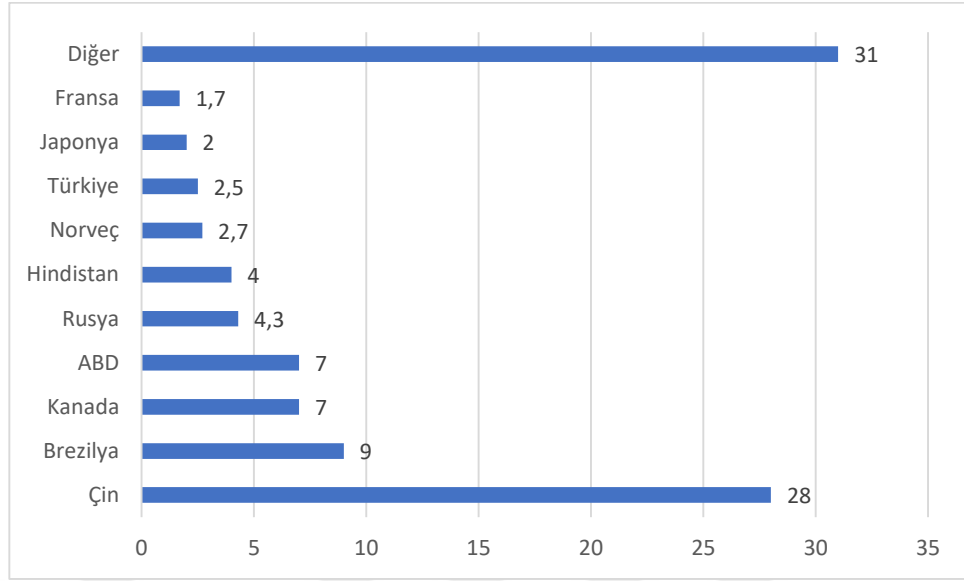
Rüzgâr enerjisinde olduğu gibi dünya toplam güneş enerjisi kapasitesinde Çin başı çekmektedir. 2017 yılında ABD'nin toplam kapasitesi kadar ilave yatırım yapmıştır. Ancak Tablo 7'de görüleceği üzere güneş enerjisine önemli yatırımlar devam etmektedir. Türkiye 2,6 GW'lık ilave yatırım ile dünyada en çok yatırım yapan beşinci ülke olmuştur. Ancak henüz toplam kapasite açısından ilk 10 ülke arasında bile bulunmamaktadır.

1.1.2.3. Hidrolik Enerji

Elektrik üretmek için suyun hareket halinde olması gerekir. Akan su bir türbindeki çarkları döndürdüğünde mekanik enerji elde edilir. Türbin daha sonra bu mekanik enerjiyi başka bir enerji formuna dönüştüren jeneratöre iletir. Nehirler ve akarsularda bu güç elde edilebilmekle beraber güvenilir su temini için barajlara ihtiyaç vardır. Barajlar su depolarken bunu sadece elektrik üretmek için değil, ihtiyaç halinde evsel ve endüstriyel kullanım gibi amaçlar için de suyu tutarlar. Hazırda bekletilen devasa su kütlesi ise bir batarya vazifesi görmektedir. Elektrik üretmek için kullanılan su daha sonra diğer ihtiyaçlara hizmet etmek için akışına devam eder (USBR, 2005, s. 4).

Hidroelektrik santralleri, enerji kaynağının yenilenebilir olmaları, iletme ve bakım giderlerinin düşük olması, kullanım ömürlerinin uzun olması, çok düşük seviyelerde çevreye olumsuz etkide bulunmaları ve ani talep değişimlerine cevap verebilmeleri dolayısıyla önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidrolik enerji yerli imkânlarla elde edilen bir enerji türüdür. Yatırım başladığı anda gerek ülkeye gerekse yöre halkına önemli sosyal faydalar sağlamaktadır (Savrul, 2016, s. 60).

Hidroelektrik santralleri su temelli bir enerji üretim kaynağı olduğundan dolayı iklim olaylarından etkilenmektedirler. Özellikle kuraklık dönemlerinde yağmurların azalması ve sıcaklığın etkisiyle buharlaşmanın fazla olması barajlardaki su seviyelerinin düşmesine, hatta bazen barajların kuruyacak seviyede su kaybetmelerine sebep olup enerji üretimini azaltacak veya tamamen durdurabilmektedir.



Şekil 11. Hidroelektrik Santralleri Küresel Kapasite İlk On Ülke (%)

Kaynak: REN21 (2018), Renewables 2018 Global Status Report.

Şekil 11’de görüldüğü gibi Çin hidroelektrik santral kurulu güç oranında dünyada lider durumundadır. 2017 yılında dünyada yapılan ilave yatırımların yüzde 40’ını tek başına yapmıştır. Ayrıca dünya genelinde de Dünya Bankası hidrolik enerji yatırımlarını desteklemektedir. Dünya bankasına göre; hidroelektrik santrallerin, sosyal, finansal ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde uygulanması halinde etkileyici kalkınma faydaları sağlama potansiyelleri vardır. Dolayısıyla hidroelektrik santralleri enerji üretmenin ötesinde önemli sosyal faydalar içermektedir (REN21, 2018, s. 86).

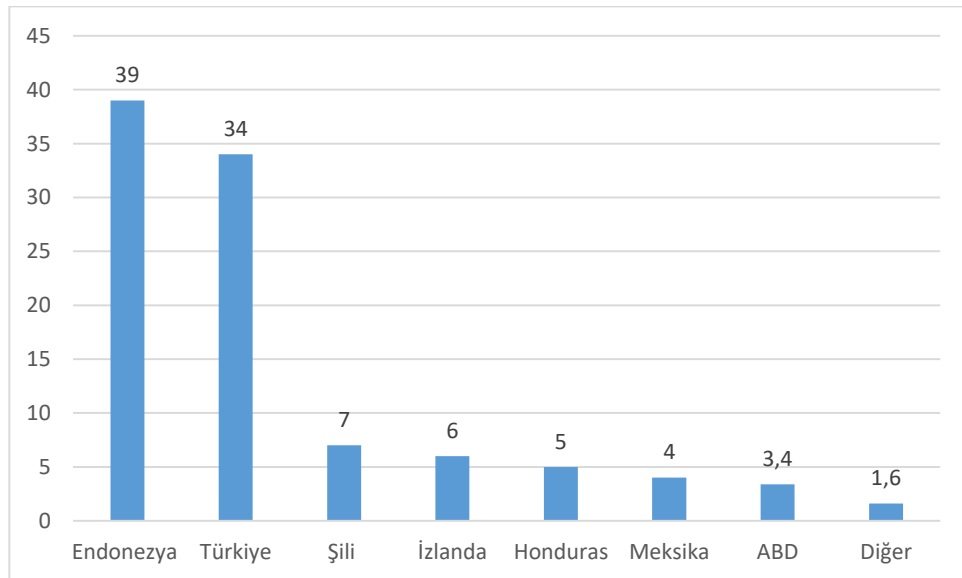
Hidrolik enerji elde etmek için yapılan barajların çok çeşitli faydaları vardır. Barajlar, hidroelektrik enerji üretir, tarım, endüstri ve içme suyu için zamanında sulama imkânı sağlar, su taşkınlarından korur, su ürünleri üretimi sağlar, mesire yerleri sağlar, milli güvenlik üzerinde olumlu etki yapar, istihdam meydana getirir, ulaşım imkânı sağlar. Bununla birlikte barajlar yapılırken doğal dengein bozulmamasına, göl sahası içinde tarım alanlarının ve doğal kaynaklarının kullanılmamasına dikkat edilmesi gerekir (Berkün, 2007, s. 15).

1.1.2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynak yer ısısı olup, yerkürenin derinliklerinde biriken ısınin meydana getirdiği sıcak su, buhar ve gazlardır. Bu akışkanlar yerküredeki ısıyı yeryüzüne

taşıyarak ısı enerjisi elde etmemize olanak verir. Jeotermal kaynaklar daha çok volkanik bölgelerde bulunur. Fosil yakıtlara göre yenilenebilir, sürdürülebilir, ucuz, çevre dostu ve yerli bir enerji türüdür. Jeotermal alanlar düşük, orta ve yüksek sıcaklıklı alanlar olarak ayırma tabi tutulur. Her bir türün kendine göre kullanım alanları vardır. Endüstri, kimyasal madde üretimi, ısıtma, turizm ve elektrik üretimi gibi birçok alanda kullanılabilen bir enerji türüdür (Kılıç ve Kılıç, 2013, s. 46).

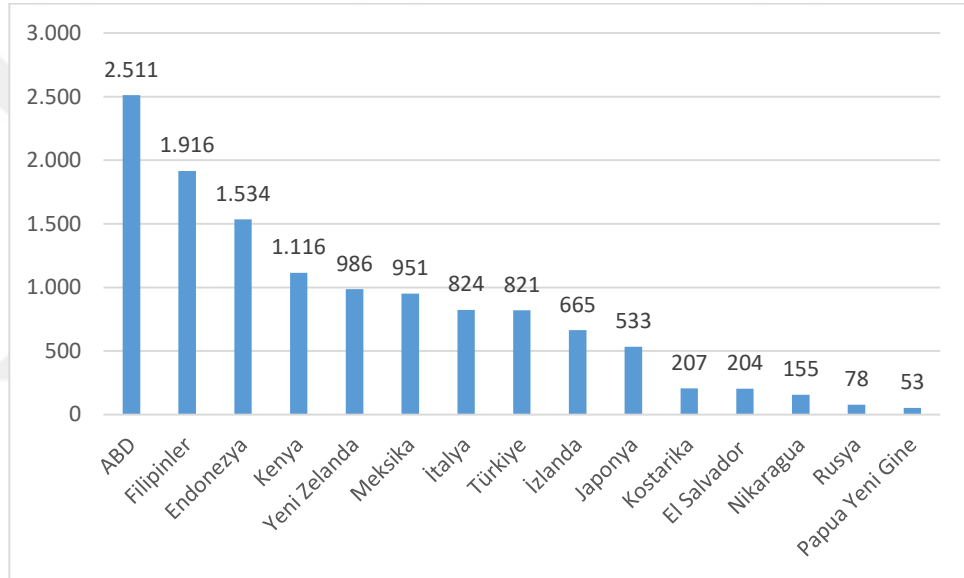
Jeotermal enerji dünyanın merkezinde üretilen ve doğrudan ısıtma için veya elektriğe dönüştürmek için kullanılabilen bir tür yenilenebilir enerji türüdür. Jeotermal enerjinin diğer bazı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre avantajı, yıl boyunca mevcut olması ve dünya genelinde bulunabilmesidir. Örneğin rüzgâr ve güneş enerjisi yıl içerisinde daha yüksek değişkenlik ve aralık gösterir. Bununla birlikte jeotermal enerji ile elektrik üretmek için volkanik olarak aktif bölgelere yakın olan orta veya yüksek sıcaklık kaynaklarına ihtiyaç vardır. Jeotermal enerjinin ekonomik olarak da bir takım avantajları bulunmaktadır. Jeotermal enerji büyüme için önemli bir potansiyele sahip olmakla beraber üretim maliyetleri de giderek düşmektedir. Jeotermal enerji fosil yakıtlar gibi tükenen bir özelliğe sahip değildir. Dünyada jeotermal enerjinin tüm potansiyelinin kullanılması ulusal ve uluslararası birçok sosyal fayda sağlayacaktır (IRENA, 2017a, s.2).



Şekil 12. 2017 Dünya Geneli İlave Jeotermal Enerji Yatırımları (%)

Kaynak: REN21 (2018), Renewables 2018 Global Status Report.

Dünya genelinde 2017 yılında jeotermal enerjiye yapılan ilave yatırımlar Şekil 12’de gösterilmiştir. Özellikle Endonezya ve Türkiye’nin yüzde 39 ve yüzde 34’lük ilave yatırımları hayli yüksektir. Ancak toplam yedi ülke ilave yatırımların yüzde 98’ini yapmıştır. Fosil yakıtlara göre dünyada daha yaygın bulunan ve daha temiz bir enerji üretme türü olan jeotermal enerjinin yaygınlaştırılması önem arz etmektedir. Şekil 13’te dünyada jeotermal enerji kapasitesi bakımından ilk 15 ülke gösterilmiştir. Dünyada en büyük jeotermal güce sahip ülke Amerika’dır. Türkiye ilave yatırımlar bakımından dünyada ikinci sırada yer almasına karşın, dünyada jeotermal enerji kapasitesi bakımından sekizinci ülkedir.



Şekil 13. 2016 Yılında Ükelere Göre Net Kurulu Jeotermal Enerji Kapasitesi

Kaynak: REN21 (2018), Renewables 2018 Global Status Report.

Jeotermal enerji santrali kurulumu için sondaj maliyetlerinden dolayı önemli sermaye gereksinimleri olmakla beraber banka kredisi almak bir takım zorluklar içermektedir. Jeotermal aramalar yüksek riskli kabul edildiğinden özel finansman bulmak zorlaşmaktadır (IRENA, 2017a, s. 19). Yukarıda işaret edildiği gibi sosyal faydası bu kadar yüksek bir yenilenebilir enerji kaynağı için kamusal finansman veya kamusal girişim seçenekleri her zaman düşünülmesi gerekir. Gerek kamusal girişimler gerekse kamu-özel ortak girişimleri bu yatırımlardaki riskleri azaltabilir veya riski paylaştırarak yatırım hızlarını artırabilir.

1.1.2.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, yüz yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvansal atıklar, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren, biyolojik kökenli fosil olmayan tüm organik madde kitlesi olarak tanımlanmaktadır. Bitkisel kaynaklar, tarımsal ve hayvansal atıklar, organik kökenli şehir ve endüstri atıkları gibi biokütle kaynaklarından elde edilen enerji ise biokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Biokütle enerjisinin temeli bitkilerin fotosentez olayına dayandığı için, biokütle enerjisi, güneş enerjisinin kimyasal enerji halinde depolandığı organik maddelerin enerjisi olarak da ifade edilebilmektedir (Üçgül ve Elibüyük, 2016a, s. 278).

Biyoyakıtlar kısa süre önce yaşamış organizmalar ya da onların metabolik çıktılarından elde edilir. Biyoyakıtların içerisindeki karbon bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalaması sonucu elde edildiği için, bunların yakılması, dünya atmosferinde net karbondioksit artışına neden olmaz. Sadece bu özelliği dahi fosil yakıtların yerine düşünülmesi gereken bir yenilenebilir enerji türü olduğunu gösterebilir. Organik yağların baz ve alkolle karıştırılarak bir dizel yakıt türü olan biyodizel elde edilerek motorlu taşıtların dizel yakmasıyla oluşan çevresel tahrip azaltılabilir. İlk olarak 1900'lü yıllarda Rudolf Diesel, yer fıstığı yağı gibi bitkisel ve temiz yakıtlarla motorların çalıştırılabileceğini ortaya koymuş ancak petrolün revaçta olması nedeni ile bitkisel yakıtlar pek ilgi görmemiştir (Aydın, 2016, s.210).

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biokütle enerjisinin diğer yenilenebilir enerji türlerine göre biraz daha karmaşık türleri vardır. Katı biyoyakıtlar, ısı ve elektrik üretimi için yakıt olarak kullanılabilecek biyolojik kökenli organik, fosil olmayan materyalleri kapsar. Biyogazlar, biokütlenin oksijensiz mayalanması ve katı biokütlenin gazlaştırılmasından (atıklardaki biokütle dahil) kaynaklanan gazlardır. Sıvı biyoyakıtlar, benzin ve gaz / mazot ve diğer sıvı biyoyakıtlar ile harmanlanan veya doğrudan taşımacılık sektöründe kullanılan sıvı biyoyakıtları içerir. Yenilenebilir belediye atığı, ısı ve / veya elektrik üretmek için doğrudan yakılan belediye atık ürünlerinin biyolojik olarak parçalanabilen kısmından oluşur (IEA, 2018c, s. 23).

Biyokütle enerjisi aynı zamanda dünyada toplam birincil enerji arzının yüzde 10'unu sağlayan önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ancak bu kullanımın büyük bir kısmı ticari değildir ve gelişmekte olan ülkelerdeki nüfusun daha yoksul kesimleri tarafından kullanılan miktarı göstermektedir. Modern biyokütle enerji kullanımı (sanayi, enerji üretimi, motorlu taşıtlar için yakıt) ise günümüzde artmaktadır. Biyoenerji sanayileşmiş ülkelerde birincil enerjinin sadece yüzde 3'ünü temsil ederken, daha çok ısınma ve mutfak için kullanıldığı gelişmekte olan ülkelerde enerji toplamının yüzde 22'sini oluşturmaktadır (Mielke, 2019, s. 302).

1.1.2.6. Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları temel olarak rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak dünyada enerjiye olan yoğun ihtiyaç yeni kaynakları elde etme çabalarını artırmıştır. Zaman içinde teknolojiye yaşanan önemli gelişmeler yeni yenilenebilir enerji kaynaklarının keşfedilip kullanılmasını sağlamıştır.

Dalga enerjisi, okyanus ve deniz gibi büyük su kütlelerinde meydana gelen dalgalardan enerji elde etmektir. Sahillerinde güçlü rüzgârlara maruz kalan ülkeler enerji ihtiyaçlarının yaklaşık yüzde 5'ini dalga enerjisinden elde edebilmektedirler (Savrul, 2016, s.26). Dalga enerjisi konusunda önemli bilimsel gelişmeler özellikle 90'lı yıllarda yaşanan petrol krizleri sonrası artış göstermiş olmasına karşın ekonomik olarak henüz önemli bir büyüklüğü ifade etmemektedir (Çukurçayır ve Sağır, s.268).

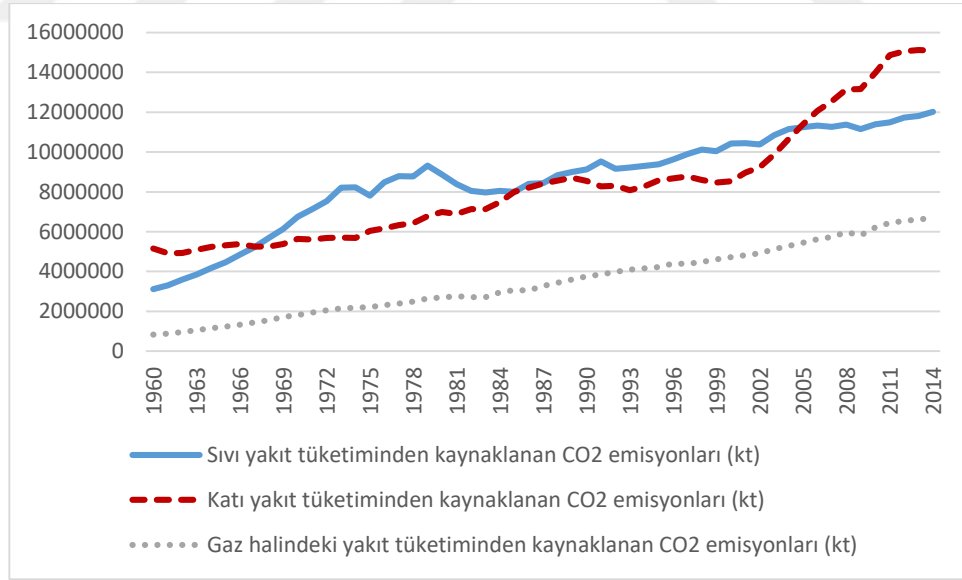
Akıntı ya da gel-git sebebiyle yer değiştiren su kütlelerinin sahip olduğu kinetik ya da potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi suretiyle elde edilen enerjiye gel-git enerjisi denir. Gel-git enerjisi elde edilmesi için Dünya'nın Ay'a ve Güneş'e göre konumu sonucu su seviyelerindeki değişimlerden faydalanılır (Üçgül ve Elibüyük, 2016a, s.265).

Bir diğer yenilenebilir enerji türü okyanus enerjisidir. Okyanusların derin ve sığ suları arasındaki sıcaklık farkından yararlanarak enerji elde edilen sistemlerde, bu sıcaklık farkından yararlanarak çalışan bir ısı makinesi yardımıyla elektrik üretilir. Sıcaklık farkına bağlı olarak elde edilen verim ve güç artar. Diğer yenilenebilir enerji

türlerine göre daha az yaygınlaşmasının sebebi, sadece oğlak ve yengeç dönenceleri arasında kalan bölgelerin bu tip enerji üretimi için uygun olması ve bu enerji türünün diğer yenilenebilir enerji türlerine göre oldukça maliyetli olmasıdır (Üçgül ve Elibüyük, 2016b, s.87).

1.2. Yenilenebilir Enerjinin Üretimine Olan İhtiyaç ve Devlet Müdahalesinin Gerekliği

Küresel ısınma dünyada önemli çevre sorunları arasındadır. Şekil 14'te 1960'tan sonra dünyada sıvı, katı ve gaz yakıtların kullanılmasından kaynaklanan, küresel ısınmanın başlıca aktörü olan karbondioksit salınımı gözükmemektedir. Bunun en büyük sebebi enerji üretim ve tüketimindeki artıştır. Enerji üretmede dışsallıkların göze alınmadığı piyasa fiyatlaması açısından ucuz ve kolay üretim koşullarından dolayı ilk olarak tercih edilen enerji türü genellikle fosil yakıt temelli enerji kaynakları olmuştur. Ancak fosil kaynaklarla enerji üretmek kendi bünyesinde birçok sosyal maliyet içermektedir. Şekil 14'te gösterilen karbondioksit emisyonu küresel ısınma gibi tüm dünyayı etkileyen önemli bir sosyal maliyettir.



Şekil 14. Dünyada 1960'tan beri Sıvı, Katı ve Gaz Halindeki Yakıt Tüketiminden Kaynaklanan CO₂ Emisyonları (Kt)

Kaynak: World Bank (2019b), Climate Change (Erişim: <https://data.worldbank.org/topic/climate-change>).

Bir taraftan enerjiye olan ihtiyacın hayati derecede önemli oluşu, diğer taraftan fosil yakıt temelli enerji üretim kaynaklarının birçok olumsuz yönleri dünyada yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi artırmıştır. Gelecek nesillerin bizlere emaneten verdiği dünyamızı temiz, sürdürülebilir bir şekilde miras bırakmak her bireyin olduğu kadar hükümetlerin de öncelikli görevidir.

Yenilenebilir enerji yatırımları yüksek teknoloji isteyen ve bazen ilk yatırım maliyetleri yüksek olan enerji üretim türüdür. Ancak kamunun piyasaya müdahale etme sebeplerinden biri olan dışsallıklar konusu yenilenebilir enerjinin merkezinde olan bir konudur. Bu yönüyle yenilenebilir enerji kaynakları yüksek sosyal faydaya sahip, pozitif dışsallıkları yüksek enerji türleri olduğundan politika yapıcıların enerji politikalarını dizayn ederken yenilenebilir enerjiyi temel hedeflerden birisi olarak belirlemelerinin olumlu yönleri olacaktır.

1.2.1. Fosil Yakıtların Neden Olduğu Çevresel Sorunlar

1940'ların sonlarından günümüze sanayi işlemlerinde ve sanayi faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirlilik türlerinde değişimler yaşanmıştır. Son elli yıldaki temel değişiklik, zehirli ve doğada parçalanamayan sentetik maddeler daha sık kullanılmaya başlamıştır. 1930'da bir milyon ton olan organik kimyasal üretimi, yirminci yüzyılın sonunda bir milyar tona çıkmıştır. Modern sanayi üretimi sabun, doğal lifler ve organik gübreler gibi daha az kirlletici ürünlerden, plastikler, deterjanlar, sentetik lifler, suni gübreler ve böcek zehirleri gibi daha kirlletici ürünlere doğru bir geçiş süreci yaşamıştır (Ponting, 2012, s. 443).

Doğaya bırakılan katı, sıvı ve gaz atıkların, doğaya geri dönüş süreleri oldukça uzundur. Bazı maddeler yüzlerce yılda çözünürken, kimilerinin doğada çözünme süreleri binlerce yıl sürmektedir. Yaşam alanları etrafına bırakılan bu atıklar toprak, su, hava gibi temel yaşam alanlarındaki dengeyi bozmaktadır. Aşağıda bu kirlilik türlerine kısaca değinilecektir.

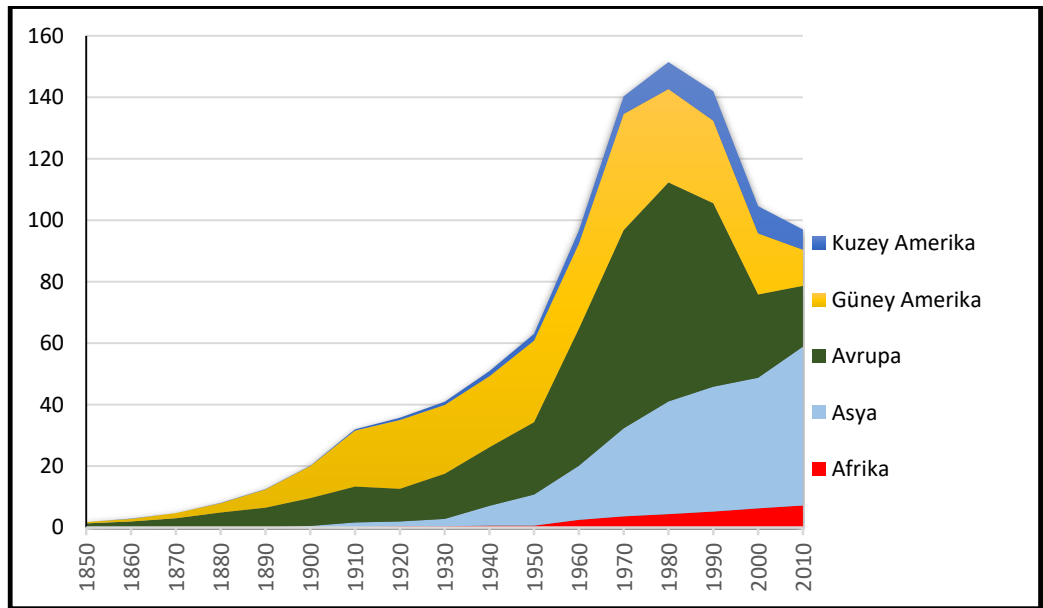
1.2.1.1. Hava Kirliliği

Mevcut verilere göre, Eski Yunan ve Roma İmparatorluğu'nda gerek metal üretimi gerekse odun yakılmasından dolayı ciddi hava kirliliği sorunu olduğu ileri

sürülmektedir. 1200’lerde üretimde deniz kömürü kullanılmaya başlanmasıyla hava kirliliği daha da artmıştır. Londra’da deniz kömürü yakılmasıyla oluşan kirliliği önlemek amacıyla Kral I. Edward 1306 yılında kireç fırınlarında deniz kömürü yakılmasını yasaklamıştır. 18. yüzyılda yakıt olarak kömür kullanan buhar makinesinin keşfi ile kömür kullanımı artmış ve bu durum İngiltere’de hava kalitesinin düşmesine neden olmuştur. 19. yüzyılda buhar makinesi artık sadece İngiltere için değil diğer birçok ülke için enerjinin ve kirliliğin kaynağı olmuştur (Jacobson, 2012, ss. 73-76).

Görüldüğü gibi ekolojik dengede çevre aleyhine olan bozukluk tarihte her dönem bir problem olmuştur. Fakat son yüzyılda yaşanan gelişmeler hava kalitesinde önceki zamanlara nazaran daha tehlikeli boyutlarda düşüşlere neden olmuştur.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılan tanıma göre; hava kirliliği, iç veya dış mekânda hava kalitesinin, atmosferin doğal özelliklerini değiştiren kimyasal, fiziksel veya biyolojik etkenlerle bozulmasıdır. Ev ısıtma aletleri, motorlu cihazlar, endüstriyel tesisler, orman yangınları gibi etmenler hava kirliliğinin yaygın sebepleri arasındadır. WHO’ya göre açık ve kapalı hava kirliliği ölümle sonuçlanabilen solunum yolu ve diğer hastalıklara sebep olmaktadır. Partiküller madde, karbon monoksit, ozon, azot dioksit ve kükürt dioksit temel hava kirleticileri arasındadır.



Şekil 15. Bölgelere Göre Kükürt Dioksit Emisyonları (SO₂ Milyon Ton)

Kaynak: Hannah Ritchie and Max Roser (2017) ‘Air Pollution’.

İşlem görmemiş fosil yakıtların yakılması sonucu havaya salınan kükürt dioksit asit yağmurlarına sebep olmakla beraber, solunum yollarına kalıcı hasar vermektedir. Şekil 15'te gösterildiği gibi Amerika ve Avrupa'da önemli oranlarda havaya salınan bu gaz, kirlетici sanayi faaliyetlerinin bu kıtalardan Asya'da gelişmekte olan ekonomilere kaydırılmasıyla, buralarda artmaya başlamıştır.

1.2.1.2. Su Kirliliği

Hayatın sürdürülebilmesi için en önemli maddelerden biri olan su, yeryüzünde çok sınırlı miktarda bulunmaktadır. Yeryüzünün yüzde 75'i sularla kaplı olmasına rağmen bunun yaklaşık yüzde 3 gibi küçük bir kısmı insanlar, hayvanlar ve bitkiler için kullanılabilir. Son yıllarda deniz suları da çeşitli işlemlerden geçirilerek kullanılabilir hale getirilmekle beraber, bu çok pahalı ve zahmetli bir iştir.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayınlanan verilere göre (WHO, 2017, s. 3); 2015 yılında dünya nüfusunun yüzde 71'i temiz, ihtiyaç halinde kullanılabilen ve bir mekân içinde konumlanmış güvenli içme suyu kullanabildi. Bu suyu kullanan her üç kişiden biri kırsal alanlarda yaşamaktaydı. Dünyada hala yaklaşık 844 milyon insan temel bir içme suyu hizmetine sahip değildir.

Sanayileşme ve kentleşme dünyada su kalitesini bozan ve tüm toplumları etkileyen başlıca etmenlerdendir. Özellikle 1945'ten sonra yeni kimyasalların kullanılmasıyla su kirlilik düzeyleri artmıştır. 1800'lerden önce bölgesel bir problem olarak karşılaşılabilen su kirliliği, yirminci yüzyıldaki gelişmelerle küresel bir problem haline gelmiştir (McNeill, 2000, s. 102). Özellikle kâğıt, kimya, petrol, plastik ve demir-çelik gibi sanayi dalları ile enerji santrallerinin üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkardıkları atıklar, su kirliliğinin oluşmasında önemli bir yere sahiptir. Enerji üretim santrallerinde soğutma amacıyla kullanılan sular ısıl kirlenmeye sebep olmaktadır (Bozkurt, 2016, s. 34).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayınlanan "Termik Santral Su, Atık Su ve Atık İstatistikleri Anketi" sonuçlarına göre 2016 yılında termik santraller tarafından %98,4'ü denizden olmak üzere 8,6 milyar m³ su çekildi ve toplam suyun

%98,3'ü soğutma suyu olarak kullanıldı. Termik santraller tarafından 2016 yılında deşarj edilen 8,5 milyar m³ atık suyun %99,7'si denize deşarj edildi.

1.2.1.3. Toprak Kaybı ve Kirliliği

Toprak kaybı, toprakta bulunun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin telafi edilemeyecek seviyede kaybedilmesidir. Toprağın kirlenmesi ise bu özelliklerin bozulmasıdır. Tarım ve sanayi sektörlerinde kullanılan atık ve artıkların yoğun bir şekilde doğaya bırakılması hem toprak kaybı hem de toprak kirliliğine neden olmaktadır. Termik santraller enerji üretiminde kullanılan suyu ısıtmak için bol miktarda fosil yakıt kullanılmaktadır. Türkiye'de yerel olarak en bol fosil yakıtlardan birisi linyittir. Linyitin yakılması sonucu kükürt dioksit, azot oksit, karbon monoksit gibi birçok partikül ortaya çıkmaktadır. Bunlar asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Toprağa partikül olarak veya asit yağmurlarıyla ulaşan bu maddeler, toprağın temel özelliklerini bozmaktadır. Toprak üzerinde üretilen tarımsal ürünlere ve yeraltı sularına ulaşan bu maddeler diğer tüm canlılar için zararlı hale gelmektedir. Ayrıca enerji üretimi sırasında toprağa radyoaktif atıklar da ulaşabilmekte ve radyasyon kirliliği meydana gelmektedir (Karaca ve Turgay, 2012, s. 16).

Benzin, mazot, fueloil gibi petrol ürünleri genellikle yeraltı tanklarında depolanmaktadır. Buralardan zaman içinde gerçekleşen sızıntılar birikerek ciddi kirliliklere yol açmaktadır. Tek cidarlı diye adlandırılan tankların en fazla on yıl sızdırmadan dayandığı bilinmektedir (Ünal vd., 2001, s. 208).

Özellikle termal güç santralleri çevredeki yoğun metal kirliliğin ana kaynakları arasında görülmektedir. Çevre kirleticilerin son birikme alanı olan toprak, termik santrallerin kirleticisi etkisinin yoğun olarak görüldüğü bir alandır. Özkul (2016) bu konuyu Türkiye'de 1956 yılından beri aktif olan Kütahya- Tunçbilek Termik Santrali için ele almıştır. Santrali çevreleyen topraklarda ağır metal kirliliği çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarda göre; arsenik, krom, cıva ve nikelin topraktaki miktarları dünya toprak değerlerinin ortalamalarının üzerindeyken, kadmiyum, bakır, kurşun ve çinko dünya ortalamalarının altındadır.

Ekosistemin önemli unsurlarından olan toprağın yapısı binlerce yıllık süreçler sonucu bizlere sunulmuştur. Her bölgenin kendi yağış, iklim gibi özelliklerinden dolayı kendine has bir yapısı vardır. Kirleticilerin topraklar üzerindeki etkileri de farklı olabilmektedir (Saha vd, 2017, s. 11). Toprakta binlerce yılda oluşmuş fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin enerji üretim süreçlerinde bozulması ve böylece milyonlarca insanın sağlığını tehdit etmesi, binlerce canlı türünü yok etmesi alternatif enerji üretim kaynaklarının kullanımının düşünülmesini zorunlu kılmaktadır.

1.2.1.4. Diğer Çevre Sorunları

Yukarıda bahsedilen hava, su ve toprak kirliliği temel çevre sorunlarıdır. Bu sorunlar çok geniş alanları etkilemekte ve birçok canlı türünün yaşamını tehdit etmektedir. Bu çevre sorunlarına ek olarak literatürde farklı çevre sorunları ele alınmaktadır. Örneğin; gürültü kirliliği, katı atıklar, radyoaktif kirlilik, orman tahribi gibi sorunlar tartışılmaktadır.

Günümüzde özellikle büyük şehirlerdeki yaşam biçimi ve düzensizlikler, gürültüyü rahatsız edici boyutlara ulaştırmıştır. Bu yönüyle insan sağlığını ve huzurunu etkileyen bir kirlenme biçimi olarak gürültünün önemi artmaktadır (Ertürk, 2012, s. 124).

Türkiye’de katı atıkların sadece üçte birinin bertaraf edilme teknikleri ile değerlendirildiği bilinmektedir. Bu rakam katı atıklarla ilgili girişimlerin olduğu, ancak bunların henüz yeterli seviyeye ulaşmadığını göstermektedir (Bozkurt, 2016, s. 70).

1945’ten beri keşfedilen yeni teknolojilerden en tehlikelilerinden birisi olan nükleer güç sonucu ortaya çıkan radyoaktif kirliliğin güvenli bir dozu yoktur. Nükleer silahların atmosferde test edilmesi sonucu radyasyon miktarı artmıştır. Teorik hesaplara göre nükleer kaza ihtimali uzak olmasına rağmen, uygulamada nükleer enerji üretimi sırasında ciddi kazalar meydana gelmiştir. En ciddi kazalardan birisi 1986 yılında Ukrayna’daki Çernobil’de yaşandı. Reaktörlerden birinde meydana gelen bir patlama dev bir radyoaktif bulut oluşturdu. Kazaya müdahale eden 30 kişi öldü, 220 köy boşaltıldı, 600 kasaba ve köy temizlenmeye çalışıldı, 640.000 hektarlık alanın insan yerleşimi açısından son derece tehlikeli olduğu açıklandı, 32.500 kişi patlamanın doğrudan bir sonucu olarak hayatını kaybetti. Bununla beraber yirminci yüzyılda nükleer reaktörlerin

yakıtı olan uranyum madeninde çalışan işçilerin yarısının akciğer kanserinden öldüğü tahmin edilmektedir (Ponting, 2012, s. 454).

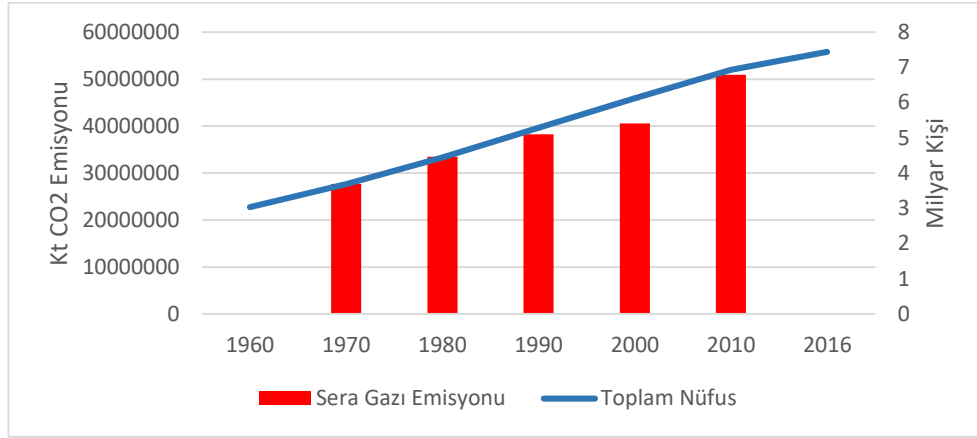
1.2.1.5. Çevre Sorunlarının Nedenleri ve Sonuçları

Dünyada çevre sorunlarına neden olan olaylar zamana, bölgeye, sosyoekonomik yapıya göre farklılıklar göstermektedir. Gelişmiş bir ekonomide çevre sorunları olarak nükleer faaliyetler, sanayi faaliyetleri sonucu oluşan hava, toprak ve su kirliliği, enerji üretim faaliyetlerinde fosil yakıt kullanılması gibi problemler başta gelmektedir. Gelişmekte olan bir ekonomide içme suyu temininde yaşanan sorunlar, orman kayıpları, tarımsal arazilerin hatalı kullanımı, kuraklıklar gibi etmenler çevre sorunu olarak ele alınabilmektedir. Ancak bu sorunlar ve birçok eklenebilecek problemler aynı anda aynı bölgede görülebilmektedir.

Çevresel sorunlara küresel anlamda yol açan faktörler genel olarak nüfus artışı, sanayileşme ve ekonomik büyüme ve kentleşme olarak üç başlık olarak ele alınmaktadır (Kete vd, 2017, s. 169).

Nüfus artışının farklı alanlara göç edilmesi ile daha fazla arttığı ileri sürülmektedir. Milattan önce 9000 yıllarına gelindiğinde birçok hayvan evcilleştirilmişti ve insanlar hububat üretebiliyordu. Artan nüfus ve bölünen gruplar yeni alanlar keşfetmeye başlayınca batıda İspanya doğuda Pakistan'a kadar yayılmışlardı. Gruplar koptukça yeni ekonomik ve sosyal yapılar oluşturuyor ve her defasında nüfus artışı yaşanıyor (Klein ve Edgar, 2002, s. 267).

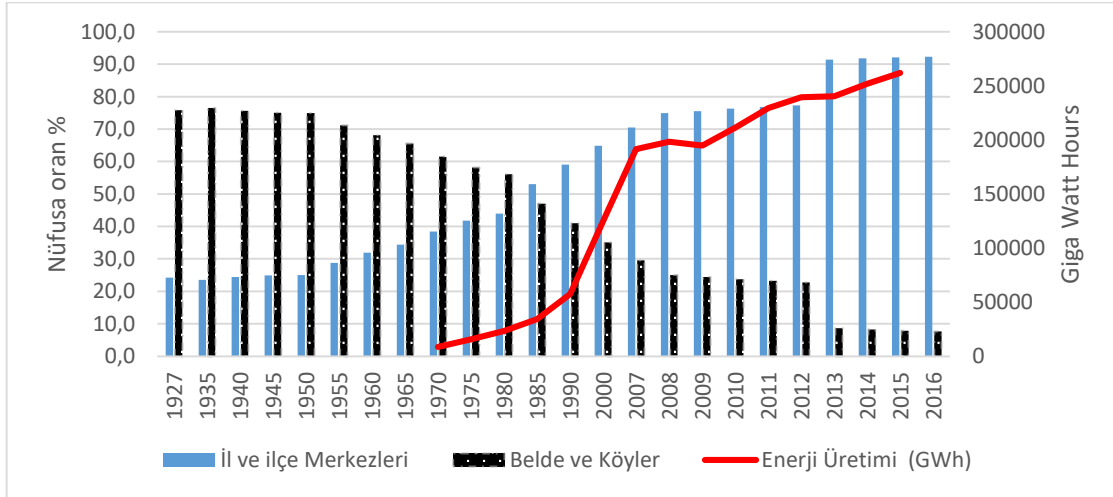
Dünya bankası nüfus verileri incelendiğinde ülke ve bölge olarak sıralanan 250'den fazla alanın yüzde doksanında nüfus artma eğilimindedir. 2000-2016 yılları arasında dünyada yıllık ortalama nüfus artışı yüzde 1.2 olarak gerçekleşmiştir. Artan nüfus beraberinde hızlı kentleşme, sanayileşme gibi çevresel sorunlara neden olmuştur. Şekil 16'da görüldüğü gibi nüfus artışı ile beraber sera gazı salınımları artış göstermiştir.



Şekil 16. 1960 Sonrası Dünya Nüfusu ve sera Gazı Salınım Artışı

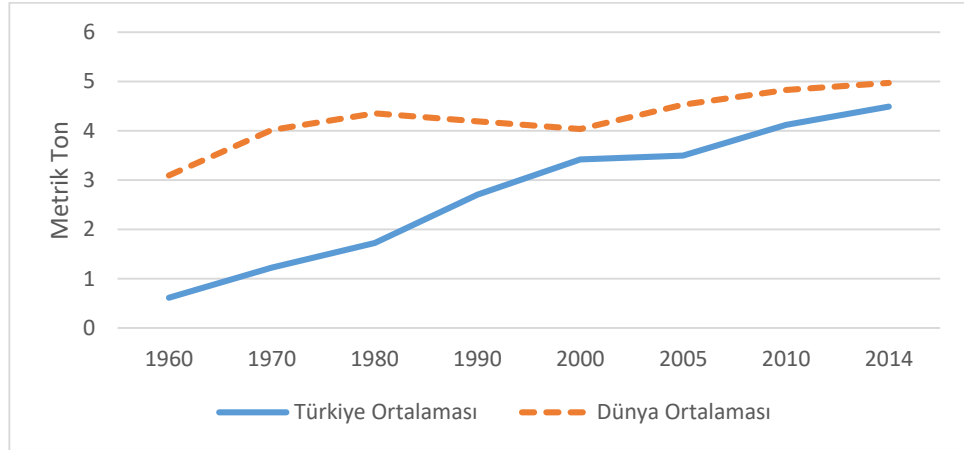
Kaynak: World Bank (2019d), World Development Indicators, The World Bank, (Erişim: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>).

Köy ve kent nüfusu arasındaki denge yıllar içerisinde değişmiştir. Sanayileşme ile beraber kentlerdeki sanayi faaliyetleri arttığından dolayı göçler kentlere doğru olmuştur. Artan kentleşme oranı enerji ihtiyacını artırmıştır. Şekil 17 ve 18’de görüldüğü gibi özellikle 1980 sonrası artan kent nüfusu ile beraber sanayi ve hane halkı tarafından kullanılan enerji ihtiyacı artmıştır. Enerji üretiminin yaklaşık % 70’i fosil yakıtlarla elde edildiğinden CO₂ salınımları hızla artış göstermiştir. Şekil 18’de görüldüğü gibi 1960’larda Dünya ortalamasının oldukça altında kişi başına düşen karbondioksit salınımı 2000’li yıllardan sonra dünya ortalamasına yaklaşmıştır.



Şekil 17. 1927-2016 Yılları Arası Türkiye’de Köy ve Kent Nüfusu Oranları İle Toplam Enerji Üretimi

Kaynak: TÜİK, 2018 (<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>)



Şekil 18. 1960 Sonrası Dünyada ve Türkiye’de Kişi Başı CO₂ Salınimleri (Metrik Ton)

Kaynak: World Bank (2019b), Climate Change, (Erişim: <https://data.worldbank.org/topic/climate-change>)

1.2.2. Yenilenebilir Enerjide Devlet Faaliyetlerinin Bir Gerekçesi Olarak Piyasa Aksaklıkları

Piyasada sunulamayacak hizmetlerin devlet tarafından sunulması gerekmektedir. Bu mal ve hizmetlerin türleri ve miktarlarının serbest piyasada belirlenmesi beklenemez. Bunların tür ve miktarlarını siyasal otoriteler kararlaştırır ve kamunun yararına sunarlar. Vatandaşlar referandumlarla bazı kamu hizmetlerinin karar verme süreçlerine katılabilirler, bu hizmetlerin ve maliyetinin karşılanma yollarına karar verecek olanları(milletvekillerini) seçebilirler” (Bulutoğlu, 2003, s. 5).

Ekonomide piyasalar her zaman etkin olarak işlemez. Dışsallıklar, aksak rekabet, kamu malları ve asimetrik bilgi sorunları piyasa aksaklıkları olarak adlandırılır ve bunlar devlet faaliyetleri için gerekçe kümesi oluştururlar (Stiglitz, 1994, s. 88).

Enerji ve çevre problemi tüm dünyayı etkileyen ve çözülme bekleyen önemli bir sorundur. Peki, dünyada enerji üretimi için her şey piyasanın kendi işleyişine bırakılırsa sorun çözülebilir mi? Bu soruya şu açıdan bakmak gerekir; piyasada ve devlette temel amaç nedir? Piyasa “kar” temelli çalışırken, devlet “sosyal yarar” temeline dayalı olarak çalışır veya çalışmalıdır. Piyasa dinamiklerinde enerji üretmenin en ucuz ve kolay yolu hali hazırdaki fosil kaynaklarla enerji üretmektir. Yukarıda da anlatıldığı gibi fosil yakıtların dünyamız için sürdürülebilir bir kaynak olmayacağı açıktır ve bu tarz enerji üretiminin sonucunda çevresel, sosyal ve ekonomik sorunların yaşanması kaçınılmazdır.

Yenilenebilir enerjiler fosil kaynaklara göre hammadde yönünden neredeyse sıfır maliyetli, çevre dostu enerjilerdir. Tamamen ekonomik nedenler bu yatırımların piyasa tarafından yapılmasını güçleştirmektedir. Gerek yenilenebilir enerji üretimi için gerekse fosil temelli enerji üretiminin azaltılması için devlete büyük bir görev düşmektedir.

1.2.2.1. Dışsallıklar

Devletin ekonomiye müdahalesini gerekli kılan piyasa aksaklıkların başında dışsallıklar gelmektedir. Dışsallık, bir birey ya da firmanın gerçekleştirdiği iktisadi faaliyetin, o faaliyet dışında bulunan bireyleri olumlu ya da olumsuz etkilemesi durumudur. Dışsallık oluşturan faaliyetin fayda ve maliyetleri, herhangi bir mal ve hizmetin piyasada oluşan fiyatları içinde yer almaz. Dolayısıyla dışsallık, fayda ve maliyetlerde, özel olanın yanında bir de topluma yayılan fayda ve maliyetlerin bulunduğu durumudur. Genellikle üçüncü kişilere yayılan faydalar pozitif dışsallık, maliyetler ise negatif dışsallık olarak adlandırılır (Susam, 2016, s. 95).

Piyanın kendi dinamiklerinden olan kar elde etme güdüsü fosil yakıtları kısa vadede tercih edilebilir göstermektedir. Ancak kamu maliyesinin önemli konularından birisi olan dışsallıklar çerçevesinde duruma bakıldığında, yenilenebilir enerjilerin yüksek pozitif dışsallıkları ve fosil yakıtların yüksek negatif dışsallıklarının olduğu görülmektedir. Ancak sosyal yararın yüksek olduğu durumlarda piyasadaki üretim miktarı toplumun yararına olacak üretim miktarının altında olmaktadır. Bu durumda devlet çeşitli müdahale araçları ile optimum toplumsal faydayı sağlayan üretim düzeyine ulaşmak için faaliyette bulunabilir.

1.2.2.1.1. Sosyal Fayda Çerçevesinde Enerji Üretim Dışsallıkları

Bireylere sağladığı özel fayda yanında topluma önemli ölçüde dışsal fayda yayan mallara yarı kamusal mallar denir ve bu mallar piyasa tarafından üretilmediği zaman devlet tarafından üretilirler (Susam, 2016, s.76). Enerji kavramı kendi içerisinde birçok pozitif ve negatif dışsallıkları barındırmaktadır. Tablo 8’de enerji üretimi için önümüzdeki iki alternatif olan yenilenebilir enerji üretimi ve fosil yakıtlarla enerji üretiminin pozitif ve negatif dışsallıkları özetlenmiştir.

Tablo 8. Enerjide Pozitif ve Negatif Dışsallıklar

Yenilenebilir Enerji Üretiminin Pozitif Dışsallıkları	Fosil Yakıt Kullanımının Negatif Dışsallıkları
*Yenilenebilir enerji kaynakları tamamen yerli kaynaklardır. *Güneş ve rüzgâr enerjisinde karbondioksit salınımları sıfırdır. Jeotermal ve hidrolik enerjide MWh başına sırasıyla 214 ve 17 kg'dır. (c) *Yakıt maliyeti güneş, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerjide sıfırdır. Biokütle enerjide 12,63 dolardır (\$/MMBtu).(b) *Kirliliğin ve iklim etkisinin 2030 yılına kadar hızla yenilenebilir enerji kullanımı yoluyla azaltılması, dünya genelinde yılda 4.2 trilyon ABD dolarına kadar tasarruf sağlayabilir, bu da yenilenebilir enerjinin payını iki katına çıkarmanın maliyetinin 15 katıdır. (a) *Yenilenebilir enerji seviyesi iki katına çıkarılarak, insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olan partiküler madde salınımları günümüz seviyesine göre yüzde 33 azaltılabilir, 2030 yılına kadar 4 milyon hayat kurtarılabilir. (a) *Yenilenebilir enerji arzı önümüzdeki 15 yılda %46 arttırılırsa, en büyük hava kirleticileri olan kömür, petrol ve doğalgazın arzı sırasıyla, %22, % 11 ve %11 oranında azaltılabilir. (a) *Enerji verimliliğindeki artışlar ve yenilenebilir enerji payının iki katına çıkarılması 2030 yılına kadar CO₂ salınımını 42 tondan 20 tona düşürebilir. (a)	*Karbondiyoksit başta olmak üzere sera gazı salınımları önümüzdeki yüzyılda dünyanın ortalama sıcaklığını 2-3 derece arttıracaktır. Karbondiyoksit salınımının baş sorumlusu fosil yakıtların yanması ile enerji elde edilmesidir. (d-e) *Yakıt maliyeti (\$/MMBtu) kömürde 10,67 dolar, petrolde 36,02 dolar ve doğalgazda 13,24 dolardır. (b) *Hava kirliliği dışsallıkları (CO₂ hariç), 1.8 trilyon dolar ile 6 trilyon dolar arasında hesaplanmakla birlikte iç hava kirliliği (geleneksel biyoenerji kullanımı) 0.8 trilyon dolar ile 2.1 trilyon dolar arasındadır. Bu rakamlar küresel GSYİH'nın % 3.8-13.4'üne denk gelmektedir. (a) *G20 ülkelerinde 2014'te özel sektör fosil kuruluşlarına yaklaşık 450 milyar dolar teşvikler verilmiştir. Bunun yanında fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sağlık maliyetleri 2.76 trilyon dolar olmuştur. Verilen teşvikler ile katlanılan sağlık maliyetleri arasındaki fark altı kattan daha fazladır. (f)

Kaynak: (a) IRENA (2016), The True Cost of Fossil Fuels: Saving on the Externalities of Air Pollution and Climate Change, The International Renewable Energy Agency.

(b) Stein E. (2013), A Comprehensive Multi-Criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies, Aoife M. Foley (Ed.), Renewable & Sustainable Energy Reviews içinde (640-654), National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden.

(c) NETL (2013), Power Generation Technology Comparison from a Life Cycle Perspective, National Energy Technology Laboratory.

(d) Ehrlich R. and Harold A. Geller (2018), Renewable Energy, A First Course Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group.

(e) IRENA (2018b), Global Energy Transformation: A roadmap to 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

(f) HEAL (2017), Gizli Maliyet "Fosil Yakıt Teşviklerini Sonlandırmanın Sağlık Faydaları, (http://env-health.org/IMG/pdf/heal_fosil_yakit_tesvikleri_ve_saglik_web.pdf)

Özel sektörün amacı toplum yararı değil kişisel çıkardır. Piyasa sonuçları, negatif dışsallıklar durumunda pozitif dışsallıklar gerektiren mal veya hizmetlerin yetersiz üretimini veya aşırı dışsal üretimi içerir. Aşırı üretim veya yetersiz üretim, sosyal fayda açısından optimal piyasadan daha düşük sonuçları yansıtmaktadır. Bu, serbest piyasaya devletin müdahalesinin bir gerekçesini sağlar. Devlet, toplumun tüm üyelerinin refahını teşvik edebilir, sosyal getirileri en üst düzeye çıkarabilir ve sosyal maliyetleri en aza indirebilir. Çevrenin korunmasından eğitim ve halk sağlığına kadar çeşitli konularda toplu faydayı arttırmak için, hükümetlerin düzenleme, vergi ve yasal cezalar getirmesi veya tam tersi şekilde vergi indirimleri ve sübvansiyonlar getirmesi gerekmektedir. Başka bir deyişle, hükümetin kıt kaynakların sosyal olarak etkin bir şekilde tahsis edilmesini sağlamak için pozitif dışsallıkları teşvik ederken olumsuz dışsallıkları teşvik etmemesi gerekmektedir. Elbette, hükümetler başarısız olabilir, ancak özel sektörden farklı olarak, kolektif fayda sağlama konusunda çok büyük potansiyele sahipler. Bu nedenle, etkili bir kurum inşası, onları ortak ihtiyaçları karşılayacak hale getirme anahtarıdır (Erdoğan vd., 2017, s.40).

Dışsallıkla ilgili maliyetler tam olarak hesaplanır ve yatırımlarda göz önünde bulundurulursa, yenilenebilir enerji yatırımlarının fosil yakıtlara göre daha avantajlı olduğu uzun vadede gözükcektir. Fosil yakıtların maliyeti sadece faturalarımızda gördüğümüz rakamlardan ibaret değildir. Fosil yakıtların üretimi, işlenmesi, madencilik faaliyetleri sırasında hava, su ve toprak üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Tablo 8’de gösterilen hiçbir pozitif veya negatif dışsallık fosil yakıt temelli enerji üretiminde göz önünde bulundurulmamaktadır. Tüm maliyetler toplumlar tarafından farkında olmadan karşılanmaktadır. Maden kazalarından hava kirliliği kaynaklı akciğer hastalıklarına kadar tüm sosyal maliyetler toplum tarafından yüklenilmektedir.

Maliye biliminin temel konularından olan dışsallıklar enerji üretim sektörü ile yakından ilgilidir. Hükümetlerin enerji üretim süreçlerine çeşitli kamusal araçlarla dahil olmaması beklenemez. Fosil yakıt merkezinde enerji üretim süreçleri her yıl milyonlarca insanın sağlığını ve hayatını tehdit ederken, çevreye verdiği zararlar geri dönülemez problemlerdir. Sosyal faydası veya zararı bu kadar yüksek bir alan bir kamusal problemdir ve sadece piyasanın kendi dinamiklerine bırakılamaz.

1.2.2.2. Aksak Rekabet

Serbest piyasa ekonomisinde rekabet her zaman olumlu sonuçlar doğurmamakta, aksak rekabetçi ortamlarda bazı uygulamalar sosyal faydayı azaltmaktadır. Monopol konumundaki firmaların az üretilen fahiş fiyattan satma politikaları düşük gelir grubundaki çok sayıda tüketicinin özel gereksinimlerini giderilmesini engellemektedir. Kartel, tröst gibi aksak rekabetçi oluşumların meydana getirdiği olumsuzlukların giderilmesinde kamu kesimine önemli görevler düşmektedir. Rekabete fonksiyonellik kazandırmak, haksız ve yıkıcı rekabeti ortadan kaldırmak ve kaynak dağılımında etkinlik sağlamak için aksak rekabetçi oluşumları önleyici önlemler alınmaktadır. Olumsuz dışsal ekonomiler oluşturan etkinlikler yasaklanmakta, olumlu dışsal ekonomiler meydana getiren etkinlikler desteklenmektedir. Toplum için tüketimi sakıncalı sayılan bazı mal ve hizmetlerin üretimi ve tüketimi yasaklanmakta veya bunlara sınırlamalar getirilmektedir. Aksak rekabetçi oluşumların engellemesinde devlete önemli görevler düşmektedir (Öztürk, 2016, s. 33).

Daha yüksek düzeyde üretim yapılması mümkün iken, üretim miktarı kısılarak daha yüksek bir fiyat seviyesi oluşturulmaktadır. Arzın kısılması ve kaynak tahsisinin optimum düzeyden sapması israfa neden olmaktadır. Aksak rekabet koşullarının varlığı nedeniyle devlet ekonomiye müdahale ederek, bu koşulların olumsuz sonuçlarını ortadan kaldırmaya çalışarak sosyal refahı maksimize etmeye çalışmaktadır. Ölçek ekonomilerinin yüksek olduğu elektrik, gaz gibi alanlarda doğal tekeller oluşmaktadır. Kamu otoritelerinin bu tekellerin düzenlenmesinde de görev üstlenmesi gerekmektedir. Kamu otoriteleri piyasadaki tekelleri devletleştirerek veya aksak rekabet koşullarını önleyecek tedbirler alarak sosyal refahı maksimize edecek üretim miktarı ve fiyat düzeyini belirlemeye çalışırlar (Şanlıoğlu ve Uzay, 2011, s. 98).

1.2.2.3. Kamu Malları

Bir malın faydasını sadece o malı tüketen kişi elde ediyorsa “özel mal” dan söz ediyoruz demektir. Ancak bir malı birden fazla kişi eşanlı olarak tüketebiliyorsa bir kamusal mal durumu söz konusudur. Eğer fayda belirli derecelerde bütün topluma

yayılıyorsa ki bu durum bir pozitif dışsallık durumudur, söz konusu mal “kamusal mal” özelliği göstermektedir. Kamusal mal kriterlerinde arz yönüne ilişkin iki özellikten bahsedilir. Bunlardan ilki; bedel ödemeyenler dışarıda bırakılamıyorsa bu malın piyasa içinde sunumu mümkün olmaz ve mal kamusal mal özelliği taşır. Ancak bir malın tam kamusal mal olarak sınıflandırılabilmesi için tüketiminden mahrum bırakılamaması yeterli değildir. Aynı zamanda tüketimde rekabet olmaması, yani ilave bir kişinin tüketiminin mevcut tüketicilerin faydasını azaltmaması özelliğinin de olması gerekir (Kirmanoğlu, 2013, s. 120).

Enerji ile ilgili sosyal fayda yönünden bizi ilk ilgilendiren kaliteli bir çevre konusu son yüzyılda sıkça tartışılmaktadır. Piyasanın kendi dinamikleri ile içselleştiremediği bir negatif dışsallık durumu vardır burada. Ancak çevre bir ülkenin sınırlarını aşan bir mal olarak ele alınmaktadır. İşte burada kamusal mal kavramına bir ilave olarak “küresel kamusal mal” kavramı ortaya çıkmaktadır.

Dünya üzerinde yaşayan bütün bireyler tarafından elde edilebilen, tüketiminde rekabetin ve kısıtlamanın bulunmadığı, herkesin yararlanabildiği ve finansmanının global olarak sağlandığı faydalar küresel kamu malı olarak tanımlanabilir (Ortaç, 2004, s. 15).

Günümüzde insanlar küresel boyutta birçok olumlu veya olumsuz dışsallıklara maruz kalmaktadır. İnsanların yeni bilgi, belge ve teknolojilere oldukça kolay ulaşabilmeleri olumlu bir küresel dışsallık olarak ortaya çıkarken, ozon tabakasının delinmesi, çevre kirliliği türlerinin artması olumsuz dışsallıklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlere piyasa düzeyinde çözümler üretmek zordur. Söz konusu problemler ulusal ve uluslararası ortak hedefler oluşturarak temel işbirliği içinde kamusal politikalarla çözülmeye çalışılabilir (Erdoğan, 2006, s. 290).

Son yıllarda uluslararası toplum, küresel kamu malları için uluslararası bir kurumsal ağ tasarlamada aktif olarak yer almıştır. Kurumsal süreç, 1972'de, uluslararası düzeyde eylem için temelleri atılan ilk dünya çevre konferansı olan Stockholm'deki Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı ile başladı. O zamandan beri, uluslararası anlaşmalar çevrenin uluslararası düzenlemesi için en sık kullanılan araç haline geldi (UNIDO, 2008, s. 121).

1.2.3. Enerji Üretiminde Ortaya Çıkan Dışsallıklara Kamusal Çözümler

Çevre kirliliğine sebep olan faaliyetlerin azaltılması veya ortadan kaldırılması, geri dönüşüm faaliyetleri, çevreye daha duyarlı üretim teknolojilerinin tercih edilmesi, enerji tasarrufu sağlanması, temiz enerji üretim kaynakları ile enerji üretimi piyasanın kendi dengesi ile elde edilmesinin oldukça güç olduğunu yukarıdaki bölümlerde aktarmıştık. Belirtilen sosyal faydalar ekolojik vergiler, düzenlemeler gibi maliye politikası araçları ile elde edilebilir. Vergi gibi araçlarla elde edilecek gelirler çevreye verilen zararın bir nebze telafi edilmesinde kullanılabilir.

1.2.3.1. Pigoucu Düzeltici Vergileme ve Karbon Vergisi

Dışsal maliyetlerin firma tarafından içselleştirilmesini sağlamak için, bu maliyetlere eşit miktarda vergi konulması dışsallıklar teorisinin en çok kabul görmüş olan önermelerinden bir tanesidir. Devletin negatif dışsallıklar durumunda klasik müdahale yöntemi haline gelmiş olan vergi “Pigou vergisi” adıyla anılır (Kirmanoğlu, 2013, s. 163).

Dışsallık göz önüne alındığında, sosyal olarak en uygun üretim, sosyal marjinal maliyet ve faydaların eşit olduğu noktada gerçekleşmesi gerekir. Hükümet birim üretim başına vergi koyarak üretici için yeni bir maliyet unsuru oluşturarak üretimi kısıabilir. Sonuç olarak, vergi dışsallığı etkin bir şekilde içselleştirir ve sosyal olarak en uygun sonuca yol açar. Bu tür düzeltici vergilendirmeye, dışsallıkları çözme yaklaşımını ilk kez öneren ekonomist Pigou'dan sonra genellikle "Pigouvian vergilendirme" denir (Gruber, 2016, s. 137).

Çevre sorunları ile mücadele ederken Pigouvian vergileme negatif dışsallıkların içselleştirilmesinde en etkili araçlardan birisidir. Fosil yakıt kullanımı sonucu artan sera gazı salınımları gerek çevre gerekse halk sağlığı üzerinde negatif dışsallık oluşturmaktadır. Bu sınıf vergilerden olan karbon vergisi de enerji üretim sürecinde ortaya çıkan negatif dışsallıkların içselleştirilmesi için fiyatlar üzerinde ek bir maliyet oluşturmaktadır (Hayrulloğlu, 2012, s. 4).

Burada ki önemli konu negatif dışsallıkları içselleştirmek için toplanan vergiler, mevcut sorunların çözümüne aktarılmazsa vergi temel mantığından uzaklaşarak istenilen amaca hizmet etmeyecektir. Dolayısıyla fosil yakıtlar üzerinden alınacak vergiler çevre

dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına aktarılırsa negatif dışsallıkları ortadan kaldırılmakla beraber önemli pozitif dışsallıklar meydana getirecektir.

1.2.3.2. Düzenlemeler

Devlet kirliliği azaltmak için doğrudan düzenleme ve kontrol mekanizmasını da işletebilir. Bu yöntemde kirliliği sosyal yönden en uygun düzeye çekmek için yasalara başvurulur. Değişik standartlar getirilerek uyuma zorlamak esastır. Genelde teknoloji ve performans olmak üzere iki tür standart getirilir. Teknoloji standardında kirlilik yayan firmalar belli ölçülere uyan teknolojileri kullanarak kirliliği istenilen düzeye düşürmek için zorlanırlar. Bu yöntemde teknolojik gelişmeleri yetkili kurumların takip ederek yeni ve daha ucuz teknolojilere göre standardı yenilemesi gerekir. Performans standardı ise, kirlilik hedefi konulmasına dayanır. Belirlenen performansı yakalamak şartıyla, yöntemi tespit edip uygulamak firmalara bırakılır. Kirliliği ölçmek ve parasallaştırmak zor olduğundan uygulamada doğrudan düzenlemelere sık sık başvurulur (Savaşan, 2016, s. 260).

Piyasa temelli araçlara göre bu kamu politikası aracı çevresel hedeflere ulaşmada daha kısa sürede ve daha etkin bir şekilde netice verir. Kamusal politikalarda çok eski bir tür olarak düzenlemeler çevre sorunları ile de etkili olarak mücadele etmek için kullanılabilir. Fakat vergi gibi kamuya gelir getiren uygulamaların yanında doğrudan düzenlemelerin bir dezavantajı kamu gelirlerinde bir artış meydana getirmemesidir (Kargı ve Yüksel, 2010, s. 197). Bununla birlikte göz ardı edilememesi gereken bir konu, doğrudan bir kamu geliri artışı sağlamamakla beraber, çevresel sorunların kaynaklarının azaltılması hükümetlerin özellikle sağlık harcamaları gibi alanlarda ciddi tasarruf etmelerini sağlayarak pozitif dışsallıklar meydana getirmektedir.

1.2.3.3. Sübvansiyonlar

Devlet kirlenmeyi tamamıyla gideremeyeceğinden, yapacağı iş özel kesimin sosyal bakımdan etkin bir kirlenme düzeyine ulaşmasına yardım etme, bireylerin ve firmaların eylemlerinin başkaları üzerindeki etkilerini dikkate almaya yöneltecek biçimde hareket etmelerini sağlamak olmalıdır. Pozitif dışsallığın olduğu durumlarda devlet sübvansiyonlar verir. Çevre sorunlarına yol açan firmalar kirlenmenin azaltımında elle

tutulur bir fayda elde etmeyeceğinden kirlenmeyi azaltma noktasında para harcamaya gönülsüz olacaktır. Vergilendirme yanında devlet kirlenmeyi azaltıcı faaliyetleri sübvansiyonlar ile destekleyebilir (Stiglitz, 1994, s. 275).

Düzeltilici sübvansiyon, üretim sırasında çevreye zarar veren firmaya, üretimini kısıması veya çevreye zarar vermemesi karşılığında ödeme yapılması biçiminde de uygulanabilir. Sübvansiyon bu uygulamada Pigocu vergileme gibi etkide bulunur. Ancak pigocu vergide, firmanın üretimini kısıması veya çevreye zarar vermesini önlenmesi, ilave vergi alınmasıyla üretim maliyetlerini arttırarak gerçekleşirken, sübvansiyonda firmanın üretmemesi veya daha az üretmesi karşılığında uğrayacağı kayıp telafi edilmektedir (Ulutürk, 2011, s. 159).

Enerji üretiminden kaynaklanan negatif dışsallıkların giderilmesinde de sübvansiyonlar etkili bir şekilde kullanılabilir. Yenilenebilir enerji üretim sektörleri sübvansiyonla desteklenebilir. Çünkü bu sektörler dünya üzerinde henüz yeni diyebileceğimiz bir gelişim dönemi geçirmektedirler. Kamu otoritelerinin desteği ile bu sektörler hızlı bir şekilde yatırımlarını yapabilirler. Ayrıca fosil yakıt kullanarak üretim yapan sektörler, fosil kaynak kullanımlarını azaltarak ihtiyaç duydukları enerjiyi yenilenebilir enerji ile elde edecek şekilde yatırım yaparlarsa bu firmalara da sübvansiyonlar verilebilir.

1.2.3.4. Kirletme Sertifikaları

Negatif dışsallıkları azaltmada kullanılan bir diğer kamusal çözüm, devletin işletmelere belirli bir oranda kirlilik yayma hakkı veren sertifikalar dağıtması ve bu sertifikaların piyasada alınıp satılarak kirlilik yayan salınımlar kontrol altında tutulmasıdır. Bu sistemde, salınımlarını kısan bir firma, salınım yayma hakkını daha fazla üretim yapmak isteyen başka bir firmaya satabilmektedir (Stiglitz, 2000, s. 229).

Elinde kirletme sertifikası bulunan bir firma eğer bu haklarının bir kısmını satmak istiyorsa kendi üretimini dolayısıyla neden olan salınımları satmak istediği miktar kadar azaltmalıdır. Bunun nedeni o bölge için belirlenen bir çevre kalitesi için üst salınım sınırı vardır. Firma salınımını kısarak sertifikalarını sattığı takdirde toplam salınım miktarı artmadan üretimini artırabilir veya diğer firmalara satarak başka firmaların endüstriye girmelerini sağlayabilir (Kargı ve Yüksel, 2010, s. 196).

İKİNCİ BÖLÜM

TÜRKİYE’DE ENERJİ YATIRIMLARI İÇİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIMLARININ ORTAYA ÇIKARACAĞI SOSYO-EKONOMİK FAYDA VE ZARARLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye enerji üretiminde temel olarak fosil yakıt kaynaklı bir üretim yapmaktadır. Ancak fosil yakıtlar bakımından kaynakları oldukça yetersiz durumdadır. Enerji üretiminde en büyük paya sahip olan doğalgaz ve kömürde yüzde 90’dan fazla dışa bağımlılık söz konusudur. Hızla artan nüfus ile beraber enerji talebi de her yıl artmaktadır. Enerji tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz için de ekonomik ve sosyal gelişmenin olmazsa olmaz bir unsurudur. Ancak ülkemizin enerji talebini bu kadar yüksek oranlarda dışa bağımlı olarak gerçekleştirmesi öncelikle ekonomik anlamda riskler içermektedir. Bununla beraber fosil yakıtların kullanılması ile meydana gelen çevresel problemler, hem çevreyi geri dönülemez boyutlarda tahrip etmekte hem de solunum yolu hastalıkları, kanser gibi hastalıkları topluma miras bırakmaktadır.

Ülkemiz, çevreye duyarlı, temiz, yerli, sıfır hammadde maliyetli yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça avantajlı konumdadır. Yenilenebilir enerji yatırımlarının hızla arttırılması fosil yakıt kaynaklı birçok negatif dışsallığı azaltırken, uzun vadede gözle görülür pozitif dışsallıklar meydana getirecektir.

2.1. Türkiye’de Temel Çevresel Problemler

İnsanın olduğu her yerde var olan temel problemlerden biri çevresel sorunlardır. İnsan meydana getirdiği kirliliğinin diğer canlı türlerine göre doğaya verdiği zarar daha fazladır. Ancak özellikle dünyada yoğun sanayi hareketlerinin görüldüğü 1960’lı yıllardan sonra farklı ve yıkıcı kirlenme türleri ortaya çıkmıştır. Ülkemizde de aynı yıllarda bu tür kirlilikler görülmeye başlamıştır.

Büyük metropollerde başlayan sanayi faaliyetleri artan nüfusu bu merkezlere çekmiştir. Nüfus artışı ve sanayi faaliyetleri ise yoğun enerji talebi manasına gelmektedir. Enerji talebinin yerli kaynaklarla kısa vadede karşılanması mümkün olmayınca ilk başvuru kaynağı fosil yakıt ithali olmuştur. Gerek fosil yakıt kullanımı gerekse nüfus

ve kentleşmedeki kontrolsüz artışlar ülkemizde hava, toprak ve su kirliliği olmak üzere üç temel çevresel problem meydana getirmiştir.

Türkiye’de artan çevresel sorunlara daha geniş kapsamlı çözümler üretebilmek adına 1992 yılında Çevre Bakanlığı kurulmuştur. Bakanlık 2002 yılından beri “*Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu*” hazırlamaktadır. Son yayınlanan raporda (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018, s. 1) ve Tablo 9’da görüldüğü gibi ülkemizde 30 ilde su kirliliği, 26 ilde hava kirliliği, 21 ilde atıklar, 3 ilde gürültü kirliliği, 1 ilde erozyon öncelikli çevre sorunu olarak değerlendirilmektedir.

Rapora göre hava kirliliğinin öncelikli çevre sorunu olduğu il sayısı önceki yıllara göre artmaktadır. Su kirliliğinin muhtemel nedenleri arasında evsel atıklar, zirai ilaç-gübre kullanımı, hayvan yetiştiriciliği, sanayi kaynaklı atık sular sayılırken, modern arıtma tesislerinin kurulamamasında mali imkânsızlıkların en önemli güçlük olduğu belirtilmiştir. Hava kirliliğinin başlıca kaynakları ise; termik santraller, karayolu trafiği, sanayi faaliyetleri, maden işletmeleri olarak gösterilmiştir.

Tablo 9. İllere Göre Birinci Öncelikli Çevresel Problem (2016 Yılı)
BİRİNCİ ÖNCELİKLİ SORUN

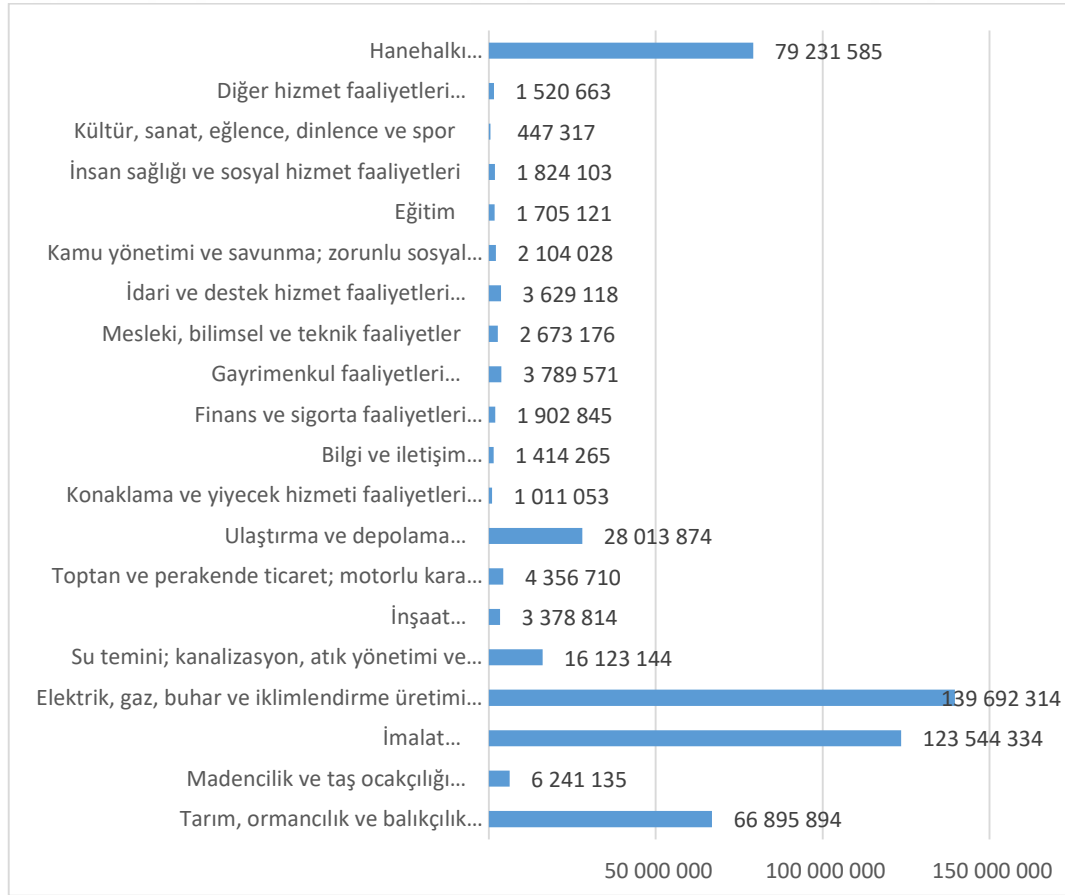
Hava Kirliliği	Su Kirliliği	Atıklar	Gürültü Kirliliği	Erozyon
Adıyaman	Aksaray	Afyonkarahisar	Adana	Sivas
Ardahan	Amasya	Ağrı	Antalya	
Batman	Ankara	Bilecik	Eskişehir	
Bingöl	Artvin	Bolu		
Bursa	Aydın	Burdur		
Çanakkale	Balıkesir	Diyarbakır		
Çorum	Bartın	Düzce		
Denizli	Bayburt	Elazığ		
Erzincan	Bitlis	Giresun		
Erzurum	Çankırı	Gümüşhane		

Gaziantep	Edirne	İzmir		
Hakkâri	Hatay	Karaman		
Iğdır	İstanbul	Kayseri		
İsparta	Kars	Muş		
Kahramanmaraş	Kırklareli	Ordu		
Karabük	Kırşehir	Sakarya		
Kastamonu	Kütahya	Sinop		
Kırıkkale	Malatya	Tokat		
Kilis	Manisa	Tunceli		
Kocaeli	Mersin	Uşak		
Konya	Muğla	Yalova		
Mardin	Nevşehir			
Osmaniye	Niğde			
Siirt	Rize			
Şırnak	Samsun			
Zonguldak	Şanlıurfa			
	Tekirdağ			
	Trabzon			
	Van			
	Yozgat			
26	30	21	3	1

Kaynak: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2018), Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu, s. 10, Ankara.

Ülkemizde 26 ilde temel çevre sorunu hava kirliliği iken 21 ilde de ikinci sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Düşük hava kalitesi önemli sağlık sorunlarını beraberinde getirmektedir. Fosil yakıt kullanımı, sanayi faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kükürt dioksit, partikül maddeler solunum yolu hastalıkları, kanser, kalp problemleri, bebek ölüm oranlarındaki artış gibi insan vücuduna kalıcı hasarlar bırakmaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018, s. 17).

Hava kirliliği bakımından önemli bir madde kükürttür. Havayı en çok kirleten salınım türü kükürtdioksittir (SO₂). Kükürt salınımlarının büyük kısmı elektrik üreten, yakıt olarak katı veya sıvı fosil yakıtları kullanan termik santrallerden meydana gelir. Kükürtdioksit, soluyan insanların akciğerlerinde nem ile birleşerek bir çeşit aside dönüşür. Bu asit oldukça zararlı olup solunum yolu hastalıklarının başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir (İlkılıç ve Behçet, 2006, s. 67). Dünya sağlık örgütü (WHO) verilerine göre Türkiye’de hava kirliliği kaynaklı ölüm oranı her yüz bin kişide 46,6 olarak ölçülmüştür. Bu oran Kanada’da 7, Norveç’te 8.6, ABD’de 13.3, Çin’de 112.7, Güney Kore’de 207 olarak gerçekleşmiştir (WHO, 2018, s. 39).



Şekil 19. Ekonomik Faaliyetlere Göre Hava Salınım Hesapları- Sera Gazı Salınımları (CO₂ eşdeğeri)

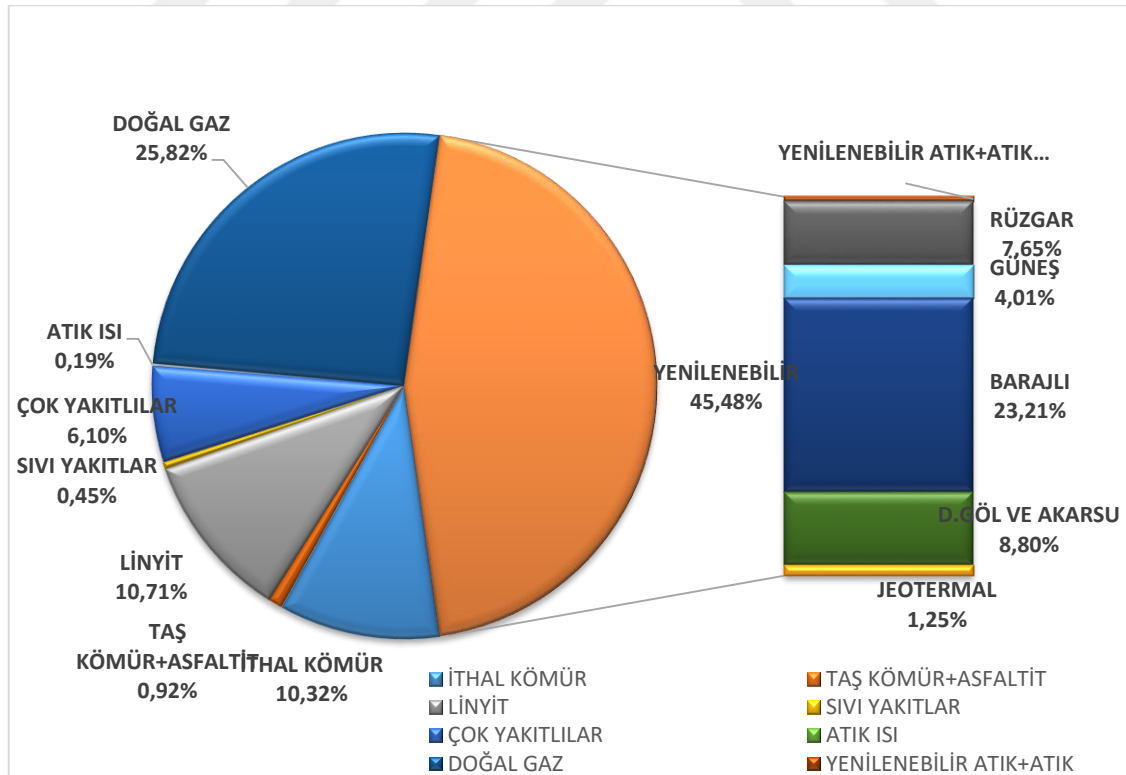
Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu 2019 (http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019)

Şekil 19’da ülkemizde ekonomik faaliyetlere göre sera gazı salınımlarının karbondioksit (CO₂) eşdeğerleri verilmiştir. En büyük kirleticilerin elektrik üretimi, imalat sektörü, tarım, ormancılık ve balıkçılık, hane halkı ve ulaştırma sektörü olduğu

görülmektedir. Özellikle elektrik üretimi, hane halkı, ulaşım ve imalat sektörlerinde fosil yakıt kullanımının bu derece yüksek değerlere neden olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Bu sektörlerin sıfır karbonlu temiz yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyaçlarını gidermelerini sağlamak en temel çevresel problemlerimizden birisi olan hava kirliliğini önemli ölçüde iyileştirecektir.

2.2. Türkiye’de Enerji Üretim Kaynakları ve Yatırımları

Ülkemizde kurulu elektrik gücünün enerji kaynaklarına göre dağılımı Şekil 20’de gösterilmiştir. Tek başına en büyük elektrik üretim kaynağının doğal gaz olduğu görülmektedir. Doğal gazı barajlar ve kömürle çalışan termik santraller takip etmektedir. Türkiye Elektrik İletim A.Ş.’nin kurulu güç istatistikleri (TEİAŞ, 2019a) incelendiğinde son on yılda toplam birincil kaynaklar içindeki pay olarak en çok artan kaynak türü rüzgâr enerjisi olmuştur. Bununla beraber önemli çevresel ve sağlık riskleri içeren termik santrallerin toplam üretim içindeki payı azalırken, MW üretimi 27.000’den 46.000’e yükselmiştir.



Şekil 20. Kurulu Gücün Birincil Kaynaklara Göre Dağılımı (MW) 2017

Kaynak: TEİAŞ (2019a), Kurulu Güç İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>

Türkiye fosil temelli bir elektrik üretim politikası ile yıllardır enerji ihtiyacını karşılamıştır. Son yıllarda yenilenebilir enerjiye olan yönelmeye rağmen hala yüzde 50’den fazla bir oranda fosil kaynaklardan elektrik üretilmektedir. Fosil yakıt bakımından oldukça fakir bir ülke olmamız, bu alanda bizi büyük oranda dışa bağımlı hale getirmektedir.

2.2.1. Fosil Yakıtlı Enerji Üretimi

Ülkemizde Mart 2019 itibariyle birincil kaynaklara göre kurulu güç miktarı toplam 89.131,7 MW olarak gerçekleşmiştir. Tablo 10’da görüldüğü gibi toplam kurulu gücün yüzde 51’lik kısmı olan 46.057,20 MW’lık kısmı fosil kaynaklarla elde edilmiştir.

Tablo 10. Birincil Fosil Kaynaklara Göre Kurulu Güç Miktarları

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Doğal Gaz	319	25.565,60
İthal Kömür	14	8.938,90
Linyit	48	9.842,00
Taş Kömür	4	810,80
Fuel Oil	15	487,20
Asfaltit Kömür	1	405,00
Nafta	1	4,70
LNG	1	2,00
Motorin	1	1,00
TOPLAM	404	46.057,20

Kaynak: TEİAŞ (2019b), Sektör Raporları, <https://www.teias.gov.tr/tr/sector-raporlari>.

Türkiye’de elektrik enerjisinin en büyük fosil yakıt kaynağı doğalgazdır. 25.565 MW üretim ile toplam birincil enerji arzının yüzde 28’lik kısmı doğal gaz ile elde edilmektedir. Fakat buradaki en büyük problem ülkemizin doğal gaz kaynakları yok denecek kadar sınırlıdır. Tablo 11’de gösterilen tüm sektörlerde kullanılan doğalgazın yüzde 99.36’sı ithalat yoluyla elde edilmektedir (EPDK, 2017, s. 17).

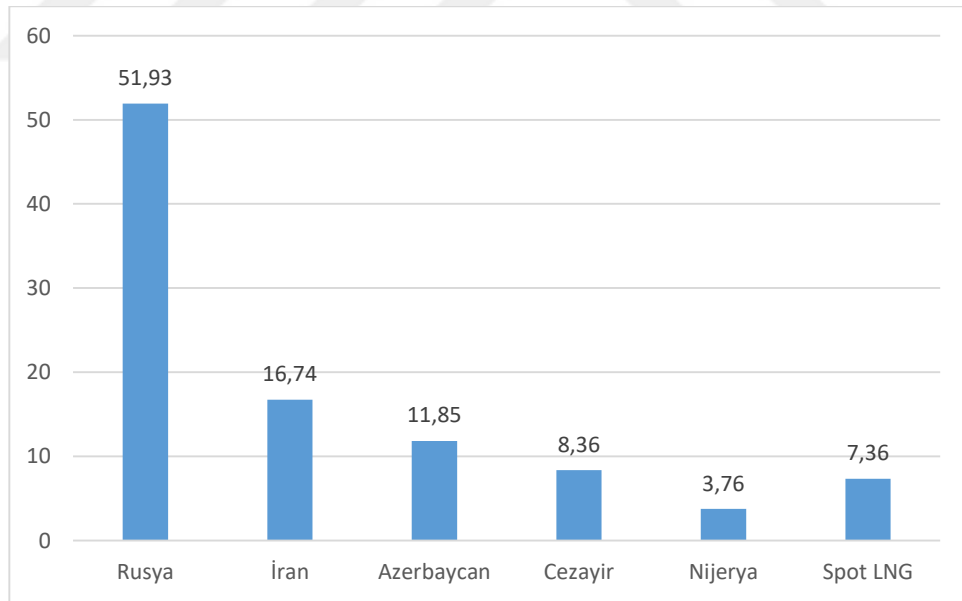
Tablo 11. Sektörlere Göre Doğal Gaz Tüketim Miktarları

SEKTÖR	Milyon Sm ³
Dönüşüm/Çevrim Sektörü*	20.536,00
Konut	13.514,94
Sanayi Sektörü	13.372,13
Hizmet Sektörü	3.725,76
Enerji Sektörü	2.056,51
Ulaşım Sektörü	529,42
Diğer Sektörler	121,86
Toplam	53.857,00
* Elektrik Santralleri, Otoprodüktör Elektrik Santralleri, Isı ve Elektrik (CHP) Santralleri, Otoprodüktör Isı ve Elektrik Santralleri, Isı Santralleri, Otoprodüktör Isı Santralleri, Diğer Çevrim Sektörü Tüketicileri Alt Sınıflarından Oluşur.	

Kaynak: EPDK (2017), Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu 2017, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu,

Ankara.

EPDK Doğalgaz piyasası sektör raporuna göre Türkiye yıllık 630 Sm³ doğalgazı Yunanistan'a ihraç etmektedir. İthal ettiğimiz doğalgazın büyük çoğunluğu Rusya, İran ve Azerbaycan'dan alınmaktadır. Şekil 21'de 2017 yılında ülkeler bazında doğalgaz ithalatı yapılan ülkeler yüzdelik olarak gösterilmiştir.



Şekil 21. Doğalgaz İthalatının Kaynak Ülkelere Göre Dağılımı % (Sm³)

Kaynak: EPDK (2017), Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu 2017, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Ankara.

Azerbaycan'dan farklı olarak Rusya ve İran ile siyasi ilişkilerimiz sık sık değişebilmekte ve bu durum ekonomik ilişkilerimize de yansımaktadır. Bu ülkelerle dönem dönem yaşanabilen siyasi krizlerde yaşanabilecek doğalgaz kesintileri veya

yüksek fiyat artışları ülke ekonomisi açısından bir takım riskler içerebilmektedir. Yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacımızın en önemli nedenlerinden birisi de bu durumdur. Ülkemizin fosil kaynak temelli enerji üretim politikası yerine tamamen yerli ve dışa bağımlılığa gerek bırakmayacak yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş politikası bu tarz riskleri ortadan kaldıracaktır.

2.2.2. Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Potansiyeli

Türkiye açısından fosil kaynak rezervlerinin sınırlı olduğu ve bundan dolayı dışa bağımlılığın söz konusu olduğuna yukarıda değinilmişti. Bununla beraber yenilenebilir enerji üretimi için önemli olan coğrafi ve iklim özellikler bakımından ülkemiz çok iyi durumdadır. Güneş enerjisi için gerekli olan yıllık ortalama güneşlenme süresi, rüzgâr enerjisi için gerekli olan ortalama rüzgâr hızları, jeotermal enerji için gerekli olan sıcak su kaynakları, hidrolik enerji için ihtiyaç duyulan nehir ve akarsu potansiyeli bakımından avantajlı bir durumdayız.

Enerji alanında dışa bağımlı ülkelerin eğer ellerinde yerel imkânlarla kullanabilecekleri yenilenebilir enerji kaynakları mevcutsa bunları öncelikli olarak kullanmak zorundadırlar. Her ne kadar bölgesel olarak Türkiye'nin etrafındaki ülkeler fosil kaynaklar bakımından zengin durumda olsalar da bizim için bu durum söz konusu değildir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini en üst seviyede kullanıp bu açığını sosyo-ekonomik faydası yüksek bir alanda değerlendirmesi yerinde bir politika olacaktır.

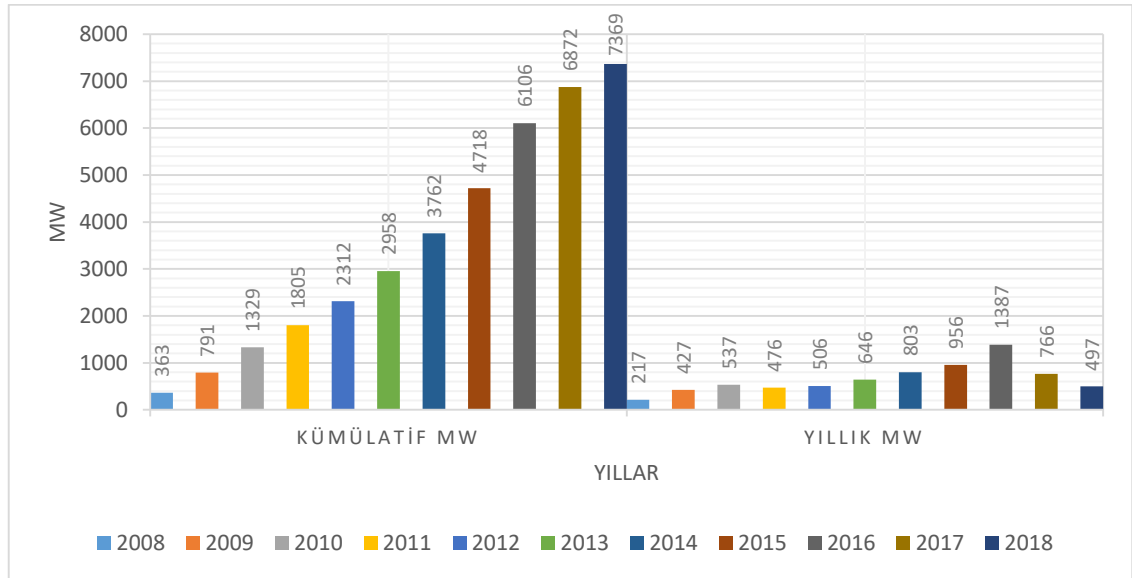
Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de enerji talebi sürekli artış eğilimindedir. Bundan dolayı yenilenebilir enerji potansiyelini sürdürülebilir bir enerji politikası için en üst seviyede tutmak enerji politikalarımız arasındadır. Gerek uluslararası anlaşmalara taraf olunmakta gerekse ülke içinde yapılan teşvik mekanizmaları, vergi muafiyeti, faiz desteği, yatırım yeri tahsis, KDV muafiyeti gibi yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik edici unsurlarla temiz enerjinin payı artırılmaya çalışılmaktadır (Özcan vd., 2017, s. 208).

Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımları teşvik edilirken, hangi yenilenebilir enerji kaynağının ülkemiz açısından en uygun olacağı, yatırım ağırlıklarının ne olacağı muğlak kalmaktadır. Yapılan kimi çalışmalar bu durumu analiz etmeye çalışmaktadır. Ancak kullanılan parametreler yetersiz kalabilmektedir. Çalışmanın son bölümünde çok

kriterli karar verme yöntemlerinden “Complex Proportional Assessment” (COPRAS) ile bu konu analiz edilecektir. Yapılacak analiz ile Türkiye için, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biokütle enerji seçeneklerinin hangisine ne kadar yatırım büyüklüğü belirlersen en verimli sonucu alırız ve en uygun sıralama nasıl olmalı ortaya konacaktır.

2.2.2.1. Rüzgâr Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının her biri sosyal faydayı artıran yönlerinin bulunması ile birlikte çeşitli yönlerden birbirlerinden farkları bulunmaktadır. Bu enerji türleri arasında rüzgâr enerjisi, kurulumu hızlı gerçekleştirilebilen, yakıt ihtiyacı olmayan ve verimliliğinin yüksek oluşu gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda türbin teknolojilerindeki gelişmeler, aerodinamik ve mekanik yapılarının gelişmesi, gürültü kirliliği gibi problemlerin en alt seviyelere indirilmesi yüksek verimli ve güçlü rüzgâr türbinlerinin devreye girmesine olanak sağlamıştır. Bundan dolayı rüzgâr enerjisinden elektrik elde etmenin birim maliyeti zaman içinde hızla düşmüştür. Bu durum tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de rüzgâr enerjisinin kullanım oranını arttırmıştır (Çolak ve Demirtaş, 2008, s. 56).



Şekil 22. Türkiye’deki Rüzgâr Enerjisi İçin Kümülatif ve Yıllık Kurulum Büyüklükleri

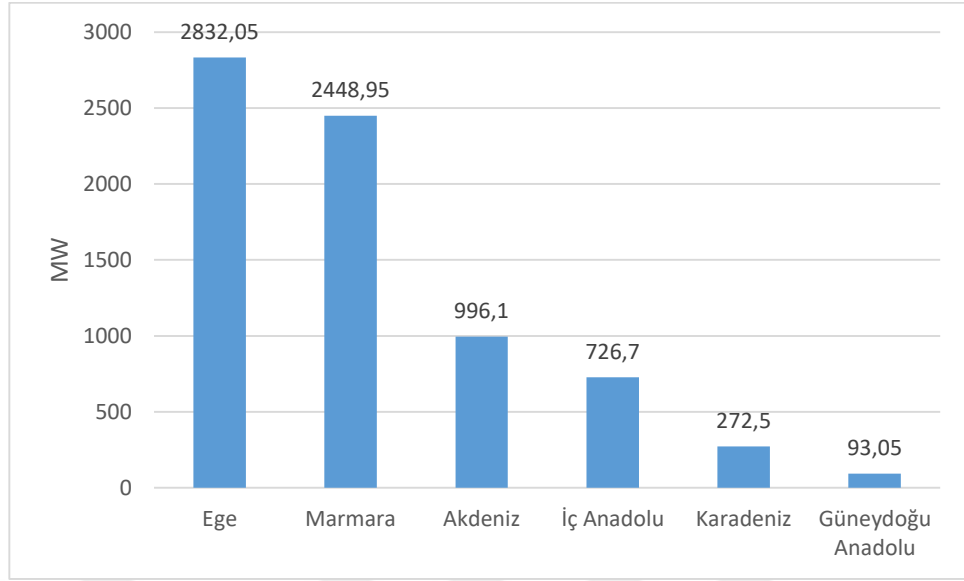
Kaynak: TÜREB (2019a), Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu 2019, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını, Ankara.

Şekil 22’de gösterildiği üzere son on yılda ülkemizde rüzgâr enerjisinin kurulu gücü hızla artmıştır. 2008 yılında 363,7 MW büyüklüğünde enerji elde edilirken 2018 yılında toplam üretim 7369,35 MW büyüklüğüne ulaşmıştır. Her yıl yapılan ilave yatırımlara baktığımızda genel olarak bir artış trendi gözükse de 2016 yılından sonra düşüş görünmektedir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi artmış olmakla beraber, bu santrallere yönelik teşvik mekanizmaları meydana getirecekleri sosyal faydaları kadar güçlü değildir. Danimarka dünyada rüzgâr türbini üretmede öncü iken Hindistan ve Çin bu ülkeyi geride bırakabilmişlerdir. Bu iki ülke yüzde 70-80 oranlarında yerli girdi ile üretim yapmayı başaramışlardır. Ülkemizde de yüzde 90’a yakın yerli üretim yapılabilme imkânı varken bunların daha çok ithalat yoluyla elde edilmesi bir politika eksikliğinin göstergesidir. Türkiye’deki enerji politikaları sadece ucuz ve hızlı enerji elde etmek olmamalı, çevre ve insan sağlığı üzerindeki sosyal maliyetler dikkate alınarak fosil yakıtlı enerji üretimlerindeki teşvik mekanizmaları azaltılarak veya terkedilerek rüzgâr gibi temiz ve verimli alanlara kaydırılmalıdır (Karaca ve Erdoğan, 2012, s. 179).

TÜREB (2019b) raporuna göre Türkiye’de işletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin sayısı 180’dir. Bu santrallerden toplam 7369, 35 MW büyüklüğünde elektrik enerjisi elde edilmektedir. İnşa halindeki rüzgâr enerjisi santrallerinin sayısı 18’dir ve bunların kurulu gücü 606,2 MW olarak planlanmaktadır. Hali hazırdaki kurulu gücün yaklaşık yüzde 75’i 21 firma tarafından üretilmektedir.

Türkiye’de işletmedeki rüzgâr enerjisi santrallerin yüzde 53,27’si İzmir (%19,07), Balıkesir (%15,24), Manisa (%9,09), Hatay (%4,95) ve Çanakkale (%4,92) olmak üzere beş ilimizde faaliyet göstermektedir. Kalan kısmı ise 24 ilimizde kuruludur (TÜREB, 2019a, s. 19). Bölgelere göre rüzgâr enerji santrallerinin dağılımı Şekil 23’te gösterilmiştir. Buna göre çoğunluğun iklim ve çevresel etkilerin uygunluğu dolayısıyla Marmara ve Ege bölgelerinde kümелendiğini görmekteyiz. Doğu Anadolu bölgesi için değerlendirme aşamasında başvurular bulunmaktadır.



Şekil 23. İşletmedeki Rüzgâr Enerji Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı

Kaynak: TÜREB (2019a), Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu 2019, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını, Ankara.

2.2.2.2. Hidrolik Enerji

Türkiye’deki kurulu elektrik gücünün yaklaşık yüzde 32’si hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Hidrolik enerji, çevreyle olan uyumu, yenilenebilir ve yüksek verimli olması, herhangi bir yakıt masrafı gerektirmeyen, uzun vadede kullanılabilen, düşük işletme giderleri olan hepsinden önemlisi yerli bir kaynak olmasından dolayı ülkemiz enerji politikaları açısından son derece önem taşımaktadır. Hâlihazırdaki hidrolik enerji potansiyelimiz dünya toplamının yüzde 1’ini, Avrupa toplamının ise yüzde 16’sını oluşturmaktadır. Hidrolik santrallere ilgili karşılaşılan en büyük sorun iklim olaylarına duyarlı bir enerji türü olmasıdır. Bazı yıllar yağışların düşük olması nedeniyle barajların doluluk oranları da azalmakta, bu durum enerji üretiminde aksamalara neden olmaktadır (KPMG, 2018, s. 10).

Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı 450 milyar m³ civarındadır. Ülkemizde tüketilebilir yeraltı ve yerüstü su potansiyeli toplam 112 milyar m³ civarında olup bunun 54 milyar m³’ü kullanılmaktadır. Bu doğal kaynağımız en çok sulama amaçlı kullanılmaktadır. Suyun yüzde 11’i sanayi, yüzde 16’sı evsel ve yüzde 73’ü ise tarımsal amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz su varlığına göre sınıflandırılan ülkeler bazında “su azlığı” sınıfında olan bir ülkedir. Ülke nüfusunun hızla artması, su kaynaklarının

bilinçsizce tahrip edildiği ve iklim değişikliklerinden dolayı meydana gelen kuraklıklar düşünüldüğünde gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmek için barajlar yapılırken çok dikkatli olup kaynakların akılcı kullanılması gerekmektedir (TMMOB, 2018, s. 309).

Tablo 12. Türkiye HES Potansiyel Durumu

Potansiyel	HES Adedi	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran %
İşletmede	644	28.423	99.051	62
İnşaat Halinde	55	4.370	13.427	8
İnşaatına Henüz Başlanmayan	554	15.387	46.907	29
Toplam	1253	48.180	159.385	100

Kaynak: DSİ (2018a), DSİ 2018 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara.

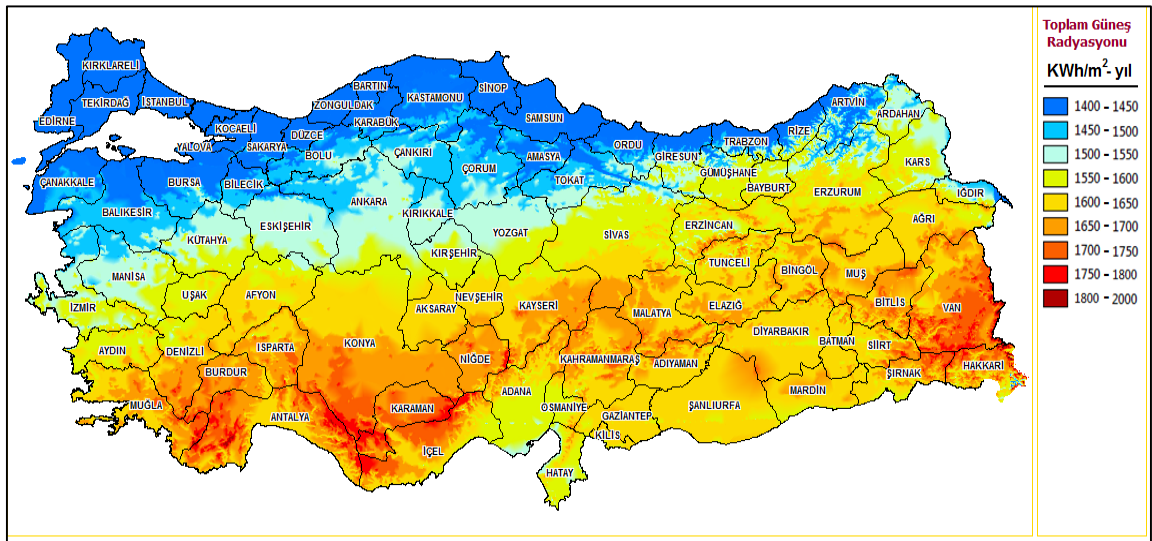
Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından hazırlanan 2018 yılı Faaliyet Raporundaki veriler baz alınarak Tablo 12 oluşturulmuştur. Rapora göre ülkemizde hâlihazırda işletme halinde 644 Hidroelektrik Santrali (HES), bulunmaktadır. Bunların kurulu kapasiteleri 28.423 MW olup, ortalama yıllık üretimleri 99.051 GWh’ dır. Hidroelektrik potansiyelimizi değerlendirme açısından baktığımızda gelişmiş ülkelerin gerisinde olduğumuzu görmekteyiz. Örneğin; ABD teknik hidroelektrik potansiyelinin yüzde 86’sını, Japonya yüzde 78’ini, Norveç yüzde 72’sini, Kanada yüzde 56’sını kullanmaktadır. Ülkemizde ise bu kapasitenin yüzde 45’i kullanılmaktadır (DSİ, 2018a, s.48).

Hidroelektrik santrallerinin ülkemiz açısından bir diğer önemi yenilenebilir enerji türlerinden olan rüzgâr enerjisi için takviye edici bir özelliğinin olmasıdır. Rüzgâr santrallerinden elektrik elde etmek için rüzgâr hızının optimum seviyede olması gerekmektedir. Eğer rüzgâr hızı çok şiddetli veya çok zayıfsa türbin devre dışı bırakılmaktadır. Bu durum enerjide önemli bir durum olan kesintisiz elektrik arzını sıkıntıya sokmaktadır. Hidroelektrik santraller (HES) ile rüzgâr enerji santrallerinin birbirine entegre olarak çalışması durumunda verimli bir enerji üretim süreci gerçekleşir. Rüzgâr hızının zayıf olduğu günlerde HES’ler devreye sokulabilir, optimum rüzgâr hızı gerçekleştiğinde rüzgâr enerji santralleri çalıştırılıp bu süreçte barajlarda su dolayısıyla enerji kaynağı depolanmış olur (DSİ, 2018b, s. 12).

Hidroelektrik santralleri yenilenebilir enerji türlerinden biri olmakla beraber, işgal ettiği alan ve tuttuğu büyük su kütleleri dolayısıyla çevre konusunda bazı problemlere neden olabilmektedirler. Baraj çevresindeki canlı türlerini etkilemekle beraber, o yörenin iklimi üzerinde de etkileri olmaktadır. Hidrolik enerji diğer yenilenebilir enerji türlerine göre daha klasik bir türdür. Türkiye hidrolik enerji yatırımlarına devam etmekle beraber, son yıllarda dünyada daha fazla yatırım yapılan diğer yenilenebilir enerji türlerinden olan rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle enerjilerine de geniş çaplı yatırımlar yapması daha faydalı bir yatırım alanı oluşturabilecektir.

2.2.2.3. Güneş Enerjisi

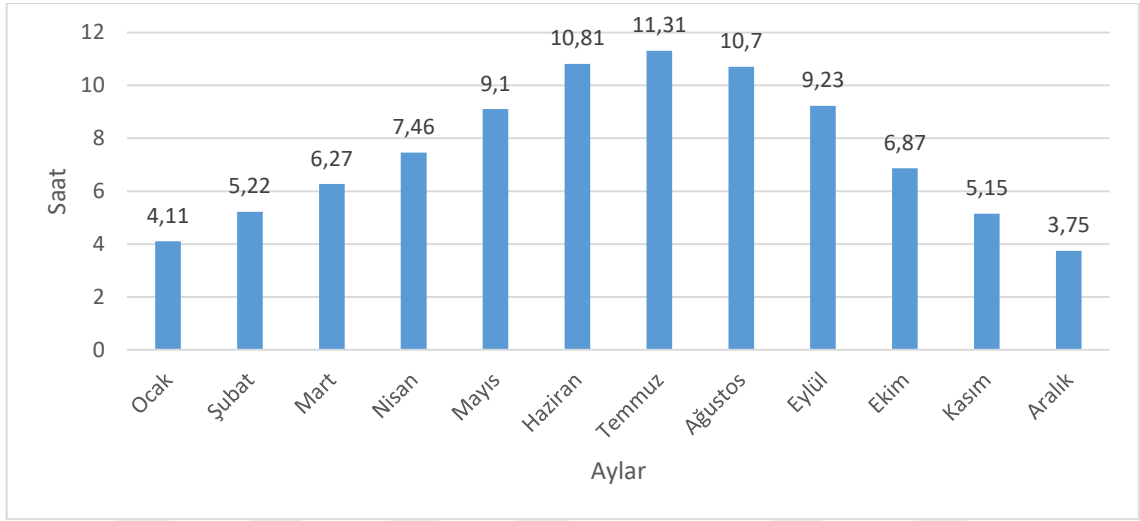
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde bulunan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nden (YEGM) alınan bilgilere göre Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelini ölçmek üzere Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 1968-1982 yılları arasında topladığı verilerden faydalanılmıştır. Hazırlanan raporlara göre Türkiye'de yıllık güneşlenme ışıını 3,6 kWh/m²-gün ve güneşlenme süresinin 2640 saat olduğu belirlenmiştir. Aşağıdaki haritadan da görüleceği üzere toplam güneş radyasyonu özellikle coğrafi konumumuzun bir sonucu olarak güney illerimize doğru toplam güneş radyasyonunun yoğunluğu artmaktadır. Doğal olarak yatırımlar da bu bölgelerde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 24. Türkiye Toplam Güneş Radyasyonu KWh/m²-yıl

Kaynak: YEGM (2019a), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, (Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>)

Türkiye'nin bulunduğu iklim kuşağı gereği Şekil 25'te gösterildiği üzere özellikle yaz ayları güneşlenme sürelerinin en yüksek geçtiği zaman dilimleridir. Gerek doğru bölge seçimi gerekse yoğun güneşlenme sürelerinin olduğu zaman dilimlerinde ülkemizde elektrik üretimi yoğun olarak yapılabilir. Bu dönemlerde yapılan yoğun üretimler büyük çoğunluğu ithal olarak elde edilen fosil kaynaklarla elektrik üretiminin alternatif olup, çevresel ve ekonomik olarak yüksek faydalar içerebilir.



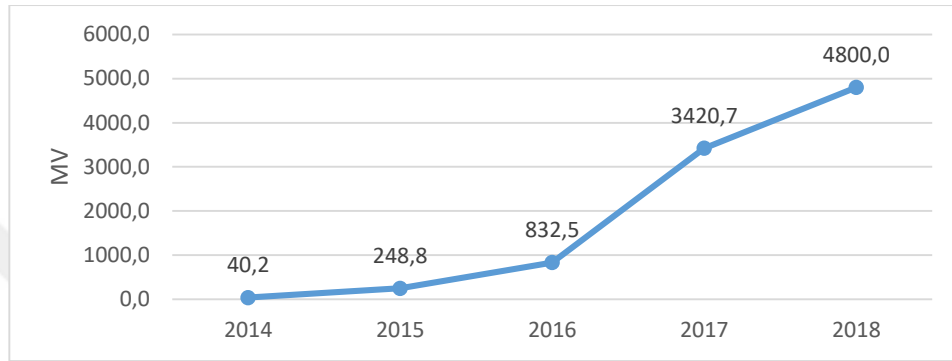
Şekil 25. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)

Kaynak: YEGM (2019a), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, (Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>)

Ülkemizde az veya çok tüm bölgelerde güneş enerjisi kullanılabilir. Türkiye’de yıllardır güneş enerji sistemleri çoğunlukla binalarda kullanılan suyun ısıtılmasında, kimi zamanda ısıtma ihtiyacına destek bir unsur olarak kullanılmıştır. Artan teknolojik gelişmelerle beraber güneş enerjisinin kullanım alanları da genişlemiştir. Örneğin; yüzme havuzları ve çeşitli tesislerdeki sıcak su ihtiyacının karşılanması, binalarda soğutma ihtiyaçlarında, seralarda ve ülkemiz için en önemli sayılabilecek elektrik üretimde kullanılmaktadır. Ancak diğer yenilenebilir enerji türlerine göre güneş enerjisi teknolojilerinin kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu, verim kapasite faktörlerinde görülen düşüklük gibi teknolojik ve ekonomik faktörler güneş enerjisinin daha yavaş yaygınlaşmasına neden olmaktadır (Kılıç, 2015, s. 29).

Özellikle güneş enerjisini su ısıtma gücü olarak kullanımında Türkiye dünyada önemli bir yere sahiptir. Örneğin 2017 yılında FV güneş enerjisi kurulu gücünü en çok

artıran dünyada beşinci ülkedir. Özellikle 2014 yılından bu yana güneş enerjisinden elektrik elde etmede önemli adımlar atılmıştır. Şekil 26’da gösterildiği üzere 2014 yılında 40 MW dolaylarında olan kurulu güç, 2018 yılında 4800 MW dolaylarında artmıştır. Türkiye güneş enerjisinde 2023 hedefi olarak belirlenmiş 5GW hedefini geçmek üzeredir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın açıkladığı kapasite artışları gerçekleştiği takdirde 2027 yılında Türkiye’nin kurulu gücü 15 GW düzeyine çıkabilir (GÜNDER, 2018, s. 8).



Şekil 26. Güneş Enerjisinde Kurulu Gücün Yıllar İtibariyle Gelişimi (MW)

Kaynak: TEİAŞ (2019a), *Kurulu Güç İstatistikleri*, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>

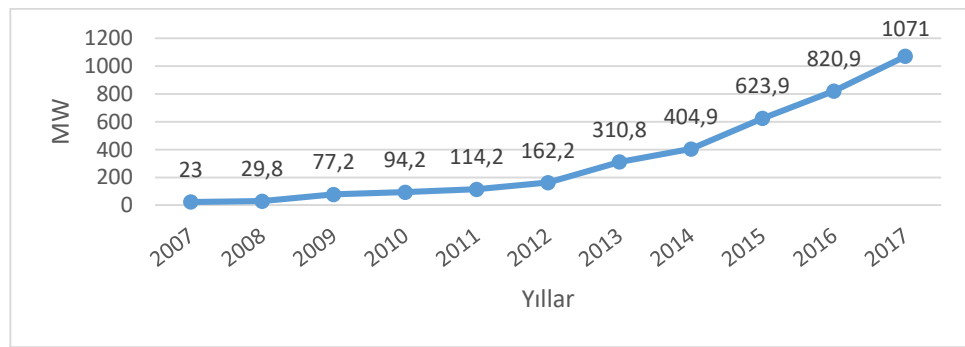
Türkiye’de yıllar içinde güneş enerjisinde önemli artışlar olmakla beraber henüz tatmin edici düzeyde değildir. Güneş enerjisi ekipmanlarının ülke içinde üretilmesi yüksek katma değerli sanayi üretimi anlamına gelecektir. Bu yatırımlar doğrudan ve dolaylı olarak istihdama olumlu etkide bulunacaktır. Güneş enerjisinin, 2017 yılında 50.000 kişiye istihdam alanı oluşturduğu tahmin edilmektedir. (GÜNDER, 2018, s. 6). Bu rakamlar Türkiye’de yeni bir alan için umut verici rakamlardır. Güneş enerjisi yatırımlarının maliyetlerinin yüksek olmasının yanında elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinin payının artırılmasının meydana getireceği ilave istihdamın, yatırımların bu negatif yönünü tolere edebileceği düşünülebilir. Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler güneş enerjisi alanındaki seviyelendirilmiş elektrik maliyetlerini (LCOE), 2010-2016 yılları arasında %69 oranında azaltmış ve fosil yakıtların maliyet aralığına getirmiştir (IRENA, 2018d, s.69).

2.2.2.4. Jeotermal Enerji

Ülkemiz bulunduğu konum gereği tektonik hareketlerin sık yaşandığı bir alan üstünde bulunmaktadır. Birçok bölgede yeraltından doğal olarak çıkan sıcaklık değerleri

farklı jeotermal sıcak su kaynakları vardır. Bu kaynaklar ısılarına göre üç sınıfta değerlendirilmektedir. 20-70 derece sıcaklık arasındakiiler “düşük entalpili sahalar”, 70-180 derece sıcaklık arasındakiiler “orta entalpili sahalar”, 180 derecenin üstündeki alanlar “yüksek entalpili sahalar” olarak değerlendirilirler. Yüksek entalpili sahalarından elektrik enerjisi elde edilmektedir. Dünya sıralamasına baktığımızda Türkiye jeotermal enerji potansiyeli bakımından yedinci sıradadır. Bu potansiyelin belirlenmesi amacıyla 1962 yılında Maden Tetkik Arama (MTA) bünyesinde çalışmalara başlanmıştır. Günümüze kadar 227 jeotermal bölge keşfedilmiştir, açılan 1100 adet jeotermal sondaj kuyusundan yaklaşık 550 tanesi doğrudan kullanım ve elektrik kullanım amaçlıdır. Ülkemizin jeotermal enerji potansiyeli 31.500-60.000 MWt (megawatt ısı) arasında olduğu tahmin edilmektedir. Hali hazırda 90.000 konut, 3.000.000 m² sera alanı, 400 spa tesisi jeotermal kaynaklarla ısıtılmaktadır (Zaim ve Çavşı, 2018, s. 50).

Jeotermal enerji kaynaklarının santral ve ısıtma şebekesi kurulması ve bunlardan önce kaynağın araştırılması, bulunması, geliştirilmesi için yapılan sondaj masrafları yüksek maliyetlerdir. Bir jeotermal kaynağın aranması ve işletmeye alınması arasında neredeyse 5-6 yıl gibi bir zaman dilimi gereklidir. Her jeolojik alana sondaj uygulaması yapılması kaynağın yenilenebilir olma özelliğini tehlikeye atmaktadır. Bu süreçlerde bilimsel ve teknik yöntemlerin üst seviyede uygulanması önemlidir (Kılıç ve Kılıç, 2013, s. 55).

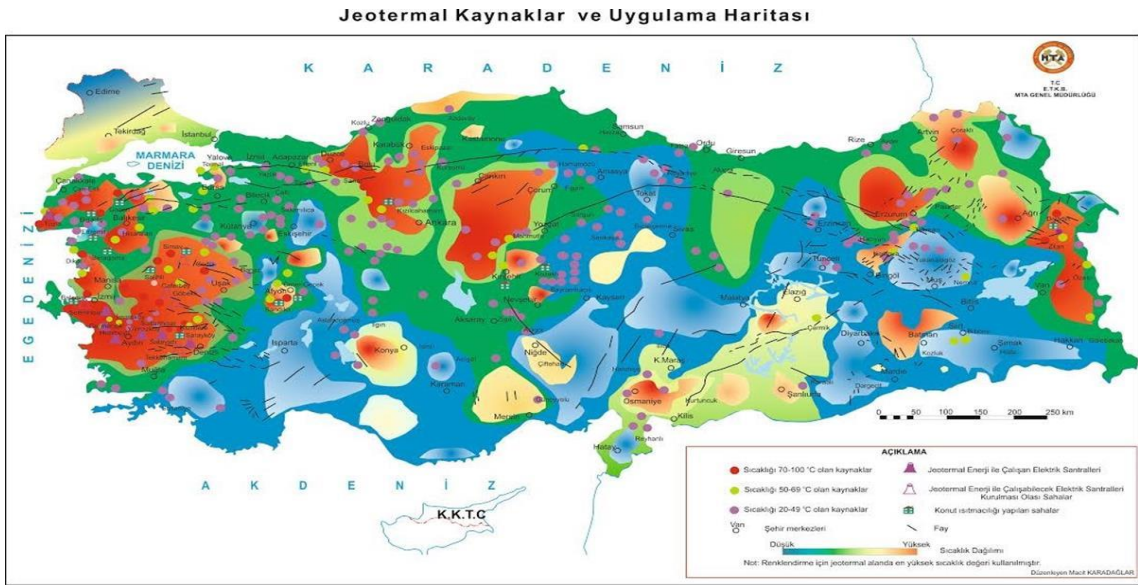


Şekil 27. Yıllar İtibariyle Türkiye'nin Jeotermal Enerji Kurulu Gücü (MW)

Kaynak: ETKB (2017), Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.

Şekil 27'de görüldüğü gibi Türkiye'de jeotermal enerji de kurulu güç önemli artışlar göstermiştir. 2007 yılında 23 MW büyüklüğünde elektrik üretilirken, 2017'de

1071 MW büyüklüğünde jeotermal enerji kaynaklı elektrik enerjisi üretilmiştir. Ancak ülkemiz için mevcut potansiyel düşünüldüğünde çok geride olduğumuz da aşikârdır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 2019) tarafından verilen bilgilere göre ülkemizde jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MW'tır. Aşağıdaki haritada görüldüğü gibi bu potansiyelin yüzde 78'i Batı Anadolu'da, yüzde 9'u İç Anadolu'da, yüzde 7'si, Marmara'da, yüzde 5'i Doğu Anadolu'da ve yüzde 1'i diğer bölgelerimizde yer almaktadır. Ancak haritadaki toplam kaynakların yüzde 10'u elektrik üretimi için uygundur.



Şekil 28. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Haritası

Kaynak: MTA (2019), Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları, (Erişim: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>).

Jeotermal enerji üretiminde dikkat edilmesi gereken bir nokta bu enerji türünün sonsuz ömürlü sayılmaması gerektiğidir. Sürdürülebilir bir şekilde üretim yapılabilmesi için suyun bir kısmının rezervuara geri gönderilmesi gereklidir. Bu yöntem arsenik gibi doğaya zararlı bir takım minerallerin yeraltına geri gönderilmesini sağlar. Ülkemiz için çok önemli sosyal faydaları olacak jeotermal enerji, ilk başlarda sadece konut ısıtmaları için kullanılırken artık elektrik üretimi gibi modern alanlarda da kullanılmaktadır. Türkiye’de hedeflenen bir milyon konutun jeotermal enerji ile ısıtılmasında, 6545 MWt kurulu güce denk geleceğinden bu rakam 1400 MWe’lık bir nükleer santralin 4,5 katı olmaktadır (Danışman, 2011, s. 9).

2.2.2.5. Biyokütle Enerjisi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan alınan bilgilere göre ülkemizdeki biyokütle santrallerinin toplam kurulu gücü 811 MW'tır. Bu santrallerden 2018 yılında toplam 3.216 GWh büyüklüğünde elektrik üretilmiştir.

Biyokütle enerji kaynakları temel olarak şunlardır; odun, yağlı tohum bitkileri, karbonhidrat bitkileri, elyaf bitkileri, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ve şehir ve endüstriyel atıklardır. Ülkemiz gibi tarımın önemli bir sektör olduğu ülkelerde tarımsal atıkları enerji alanında değerlendirmek oldukça önemlidir (Kapluhan, 2014, s. 101).

Biyokütle ile ilgili ülkemize ait bir takım bilgiler Tablo 13'te yer almaktadır. Bitkisel, hayvansal ve kentsel atıkların yıllık enerji eşdeğerlerine baktığımızda en yüksek verimin 39.877.285 ton eşdeğer petrol (TEP) ile bitkisel atıklarda olduğu görülmektedir. Yukarıda da değinildiği gibi tarımın önemli bir alanda bu kadar yüksek bir enerji kaynağının aktif olarak kullanılması gerek çevre noktasından gerekse enerjide dışa bağımlılığın azaltılması hususlarında önemli katkıları olacaktır. Tablodan da görüleceği üzere ülkemiz biyokütle enerji bakımından zengin kaynaklara sahiptir. Bu kaynakların modern yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürülmesi veya biyoyakıtlar elde edilmesi önemli enerji politikası gündem maddelerinden biri olmalıdır.

Tablo 13. Türkiye Temel Biyokütle Enerji Bilgileri

Toplam Hayvan Sayısı	389.405.328
Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl)	163.297.308
Hayvansal Atıkların Enerji Değeri (TEP/yıl)	1.176.198
Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	176.313.301
Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl)	96.451.594
Bitkisel Atıkların Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	39.877.285
Kentsel Katı Atık Miktarı (ton/yıl)	31.331.836
Kentsel Organik Atıkların Enerji Değerleri (TEP/yıl)	2.315.414
Orman Atıklarının Enerji Değeri (TEP/yıl)	859.899
Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	44.228.795
Biyodizel İşleme Lisansı Sahibi Firmalar	11
Biyoetanol İşleme Lisansı Sahibi Firmalar	3
Biyokütle Kaynaklı Elektrik Üretim Santral Sayısı	128

Kaynak: YEGM (2019b), Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA), (Erişim: <http://bepa.yegm.gov.tr/>).

Biyokütle enerji Türkiye için önemli fırsat alanlarından biridir. Bu yatırımların desteklenmesinin aşağıdaki muhtemel faydalarının olması beklenmektedir (EÜD, 2018, s. 17);

- İstihdam ve GSYİH'yı artırıcı etkisi vardır.
- Biyokütle enerji santrallerinin bir enerji üretim tesisi olmaktan ziyade bir atık yönetim sistemi olduğu göz önünde bulundurulmalı ve bu noktadan da desteklenmelidir.
- Biyokütle enerji üretim süreçleri, normal şartlarda doğada çözünmesi uzun zaman isteyen ve zamanla toksik, kanserojen hala gelebilecek atıkların ısı, elektrik, gübre gibi yan ürünler ile ekosisteme geri kazandırılmasını sağlamaktadır.
- Belediyelerimizde önemli bir gider kalemi olan atık bertaraf etme maliyetini düşürmektedir.
- Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde önemli adımlardan biridir.
- Tarım politikalarımızdan biri olan “milli tarım” için yerli ve organik kaynak meydana gelmektedir.
- Enerji arz güvenliğine katkısı büyük olacaktır.
- Doğalgaz ithalatını azaltmaya katkıda bulunacağından cari açığı azaltma fonksiyonu olacaktır.

2.3. Fosil Temelli Enerji Üretiminin Dışsal Maliyetleri

Ülkemizin enerji ihtiyacının karşılanmasında yoğun olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların çoğunlukla tercih edilmesinin nedenleri arasında ilk bakışta daha ucuz bir enerji üretme yolu olarak algılanması vardır. Ancak fosil yakıtların piyasa fiyatlarına dahil edilmeyen ve çevre, insan sağlığı, ulusal güvenlik gibi ülkemizin önemli unsurları üzerinde yüksek sosyo ekonomik maliyetleri vardır. Aşağıda bu maliyetlerin bir kısmı ele alınacaktır.

2.3.1. Halk Sağlığı ve Çevresel Etkiler

Türkiye’de elektrik üretiminin yüzde 55’i fosil kaynaklarla elde edilmektedir. Fosil kaynakların bu kadar yüksek oranda tercih edilmesinin nedeni ilk maliyet anlamında daha uygun olması ve ulaşılabilir olmasıdır. Ancak çoğunlukla göz ardı edilen konu fosil yakıtların canlı yaşamına ve çevreye verdikleri zararlarıdır. Özellikle kömürlü termik santrallerin çalışması sonucu ortaya çıkan PM_{2.5} ve PM₁₀ ince partiküller insan saçının çapından bile çok küçük olmasından dolayı solunum yoluyla çevredeki insan ve diğer canlıların vücuduna kolaylıkla geçebilmektedir. Dünya Sağlık Örgütüne göre hava kirliliği her yıl dünyada milyonlarca insanın erken ölümüne neden olmaktadır. Türkiye’de de durum farklı değildir.

Ülkemizde hava kirliliğine bağlı on binlerce erken ölüm gerçekleşmektedir. Hava kirliliğinin kaynağına bakıldığında ise en başta fosil yakıt kullanımı gelmektedir. Yenilenebilir enerji ülkemiz için yerli, sıfır hammadde maliyetli, sürdürülebilir olmasının yanında en önemli özelliği olarak görülmesi gereken nokta insana ve doğaya en uyumlu enerji üretim yöntemi olmasıdır. Örneğin bir tarafta her yıl binlerce insanın erken ölümüne neden olan, bebek ölümlerini artıran, insanların kaliteli yaşamını engelleyecek kalıcı hastalıklara sebep olan bir termik santral duruyorken, diğer taraftan sıfır karbonlu, sıfır hammadde maliyetli, kurulum ve malzeme üretimiyle önemli istihdama neden olabilecek rüzgâr santrali durmaktadır.

2.3.1.1. Hava Kirliliği Kaynaklı Erken Ölüm

Hava kirliliği kirleticiler maddelerin havada bulunmasıyla, havanın halk sağlığı ve çevre dengesini bozacak şekilde bileşiminin değişmesi olarak tanımlanmaktadır. Gerek dış hava kirliliği gerekse kapalı ortam hava kirliliği dünyada dördüncü ölümcül sağlık riskleri arasında yer almaktadır. Kirleticiler ise gazlar ve partiküller maddeler olarak iki gruba ayrılmaktadır (Zencirci ve Işıklı, 2017, s. 25).

Dünya Sağlık Örgütü’ne (WHO, 2019) göre dış ortam hava kirliliği küresel düzeyde ölüm ve hastalıkların ana nedenlerinden birisidir. Dünyada her yıl 4.2 milyon erken ölümün, temel olarak kalp hastalıklarının, felç, akciğer hastalıklarının, çocuk akut solunum yolu hastalıklarının hava kirliliği ile doğrudan ilgisi vardır. Dünya Sağlık Örgütü

hava kirliliğinin aşağıdaki oranlarda sağlık sorunlarına neden olduğunu tahmin etmektedir;

-Akciğer kanseri hastalığı ve ölümlerinin yüzde 29'u,

-Akut alt solunum yolu hastalıklardan kaynaklı ölümlerin yüzde 17'si,

-Felç kaynaklı ölümlerin yüzde 24'ü,

-İskemik kalp hastalıkları ve ölümlerinin yüzde 25'i

-Kronik obstrüktif akciğer hastalığından kaynaklanan tüm ölüm ve hastalıkların yüzde 43'ü hava kirliliği kaynaklıdır.

Ayrıca WHO 10 ve 2.5 mikrondan küçük maddeler ile ilgili sağlık risklerini azaltabilmek için PM₁₀ ve PM_{2.5} standartları* belirlemiştir. Aşağıda bu değerler verilmiştir (WHO, 2005, s. 9).

PM_{2.5}: Yıllık ortalama; 10 mikrogram/m³, 24 saatlik ortalama; 25 mikrogram/m³

PM₁₀: Yıllık ortalama; 20 mikrogram/m³, 24 saatlik ortalama; 50 mikrogram/m³

Ülkemizde hava kalitesine yönelik yapılan ölçümlerde elde edilen verilere göre hava kalitesinin dünya standartlarının altında olduğunu göstermektedir. Tablo 14'te görüldüğü gibi OECD Çevresel Performans İncelemeleri Raporuna göre 2005 yılında hava kirliliği nedeniyle ortalama ölüm oranı Türkiye'den yüksekken, 2016 yılına gelindiğinde bu durumun tersine döndüğü görülmüştür.

Tablo 14. OECD ve Türkiye'de Hava Kirliliği Kaynaklı Ölümler (Milyonda Birlik Yıllık Değer)

	OECD	Türkiye
2005	364	324
2016	352	362

Kaynak: OECD (2019), OECD Çevresel Performans İncelemeleri Türkiye 2019, Çeviri: Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

* PM₁₀ değerleri havada 10 mikrondan küçük partiküler maddeleri PM_{2.5} ise 2.5 mikrondan küçük maddeleri ifade etmektedir

Özellikle termik santrallerimizin olduğu illerimize bakıldığında yıllık PM₁₀ değerlerinin standartların çok üstünde olduğu görülmektedir. Bu bölgelerimizde yılın yarısına yakın veya daha fazla zaman dilimlerinde ölçülen sağlığa son derece zararlı bu hava kalitesi sonuçları temiz kömür kavramının ne kadar yanıltıcı olduğunu göstermektedir. Tablo 15'te gösterilen beş ilimizdeki yıllık PM₁₀ değerleri gerek AB gerekse WHO değerlerinin üstünde ölçülmüştür. Elbette ülkemizdeki hava kalitesindeki tehlikeli boyutlar sadece bu illerimizle sınırlı değildir. Özellikle fosil yakıt kullanımının neden olduğu genel hava kirliliği ölüm ve hastalıkların önemli sebepleri arasındadır.

Tablo 15. Türkiye Termik Santral Bölgelerindeki PM10 Ölçümleri

İSTASYONLAR	AB Sınır Değerini Aşan Gün Sayısı	Ölçüm Yapılmayan Gün Sayısı	Veri Alımı (%)	Yıllık Ortalama mikrogram/m ³ (WHO Sınırı: 20 AB Sınırı: 40 mikrogram/m ³)
Çanakkale	161	12	97,35	54
Kahramanmaraş	323	26	94,03	125
Kütahya	162	155	58,74	80
Manisa	224	10	97,60	70
Zonguldak	193	3	98,57	59

Kaynak: ÇMO (2018), Hava Kirliliği Raporu 2018, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını.

PM₁₀ değerleri havada 10 mikrondan küçük partiküler maddeleri PM_{2.5} ise 2.5 mikrondan küçük maddeleri ifade etmektedir. Ülkemizde güvenli veri alımı yapıp hava kalitesinin ölçüldüğü 21 istasyonda PM_{2.5} değeri yukarıda belirtilen WHO üst sınırı olan 10 mikrogramın üstündedir. PM₁₀ değeri ise ölçüm yapan istasyonları yüzde 76'sında AB limit değerlerinin üstündedir. Yıllar içinde aradaki fark artmaktadır. 2003 yılında ülkemiz atmosferindeki partikül madde AB'ye göre yüzde 5.6 oranında fazlayken, 2018 yılında yüzde 33.4 oranında daha yüksek çıkmıştır (ÇMO, 2018, s. 28-30).

Tablo 16. Türkiye'de Kirlenmeye Bağlı Ölüm Oranları

Kirliliğe Bağlı Ölüm Sayısı	Toplam Ölüm Sayısı	Kirliliğe Atfedilen Ölüm Oranı (%)	Nüfus Büyüklüğü	Kirliliğe Atfedilebilen Ölüm Oranı (100.000 nüfus başına ölüm oranı).
41.723	334.315	12,48	76.690.509	54,40

Kaynak: HEAL (2017b), http://env-health.org/IMG/pdf/lancet_cevre_kirligi_ulkeler_verisi.pdf.

Dünyada önemli tıp dergilerinden biri olan The Lancet 2017 yılında bir rapor yayınladı. Rapora göre dünyada çevre kirliliği her yıl 9 milyondan fazla insanın erken

ölümüne sebep olmaktadır. Bu rakam dünya çapındaki tüm ölümlerin yüzde 16'sına karşılık gelmektedir. Tablo 16'da gösterildiği gibi ülkemizde yıllık kirliliğe bağlı ölüm sayısı 42.000 civarındadır. Her yüz kişiden 12'si kötü çevre koşulları nedeniyle hayata erken veda etmektedir. Çevre kirliliği türlerinden sadece hava kirliliği bu ölümlerin yaklaşık 30.000'lik kısmından sorumlu tutulmaktadır (LANCET, 2017).

Yukarıda verilen rakamlar ışığında çevresel problemler Türkiye için önemli sosyal maliyetler içermektedir. Nüfusu ve ekonomisi büyümekte olan Türkiye'de bunların bir sonucu enerji talebi hızla artmaktadır. Enerji talebimizin büyük bölümünün fosil kaynaklarla elde edilmesi sera gazı salınım artışında OECD ülkeleri arasında bizi birinci ülke konumuna getirmektedir. Elektrik üretimi ve ulaşım sektörü en çok sera gazı salınımına sebep olan alanlardır. Özellikle büyük şehirlerde ve sanayi bölgelerindeki hava kalitesi AB, OECD ve WHO ortalamalarının üzerinde ince partikül maddeleri barındırmaktadır. Sanayide PM_{2.5} salınımında 19 ülke ve bölge arasında Türkiye AB içerisinde yüzde 29'luk pay ile ilk sırada yer almaktadır. Bunların doğal bir sonucu olarak erken ölümlerin refah maliyeti ve hava kirliliği nedeni ile kaybedilen yaşam yılı bakımından ülkemiz yine ilk sırada yer almaktadır (OECD, 2019, s. 64-66).

Hava kalitesindeki düşüklük büyük bir sosyal maliyet olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre kirliliğinin neden olduğu ortalama 40.000 erken ölümün 30.000'inden hava kirliliği sorumlu tutulmaktadır. Hava kalitemizdeki problemlerin temelinde enerji talebimizin fosil kaynaklarla sağlıyor olmamız yatmaktadır. Yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacımız değerlendirilirken konunun sadece ekonomik yönünün değil insan hayatını ilgilendiren bu sosyal yönünün de ele alınması gerekir. Ülkemizde fosil yakıt temelli enerji üretimi anlayışı terkedilip yenilenebilir enerjinin payı artırıldıkça her yıl on binlerce insanın hayata erken veda etmesinin önüne geçilmiş olacaktır. Sağlanan temiz hava kalitesi hava kirliliği kaynaklı hastalıkların azalmasına neden olacağından kaliteli bir yaşam süreci sunacaktır.

2.3.1.2. Kömür Kullanımının Sağlık Harcamalarına Etkisi

Tablo 17'de görüldüğü üzere ülkemizde Mart 2019 itibariyle toplam elektrik enerjisi kurulu güç miktarı 89.131 MW' tır. Çeşitli kömür türleriyle çalışan 67 santrallerde toplam kurulu gücün 20.000 MW' lık kısmı üretilmektedir. Bu rakam toplam

kurulu gücün yüzde 22,5’lik kısmına tekabül etmektedir. Bu oran oldukça yüksektir. Ayrıca yerli olarak kullandığımız linyit kömürü diğer kömür türlerine göre daha fazla partikül yayan bir kömür türüdür. Ancak toplam 48 linyit santralinde 9.842 MW gücünde elektrik üretilmektedir.

Tablo 17. Birincil Kaynaklara Göre Santral Sayıları ve Kurulu Güç MW (Mart 2019)

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Asfaltit Kömür	1	405,0
İthal Kömür	14	8.938,9
Linyit	48	9.842,0
Taş kömür	4	810,8
Akarsu	538	7.837,2
Atık Isı	71	327,4
Barajlı	121	20.554,2
Biyokütle	147	659,0
Doğalgaz	319	25.565,6
Fuel Oil	15	487,2
Güneş	6184	5.316,1
Jeotermal	48	1.302,5
LNG	1	2,0
Motorin	1	1,0
Nafta	1	4,7
Rüzgâr	253	7.078,1
<u>TOPLAM</u>	<u>7.766</u>	<u>89.131,7</u>

Kaynak: TEİAŞ (2019b), Sektör Raporları, <https://www.teias.gov.tr/tr/sektor-raporlari>

Hava kirliliği nedeniyle her yıl 30.000’e yakın ölüm vakasının yaşandığına yukarıda değinilmişti. Tek başına termik santrallerin yol açtığı erken ölüm vakası sayısının ise 3.000 olduğu tahmin edilmektedir. Hali hazırdaki politikalar kömür kullanımını teşvik etmektedir. 2018 yılında Avrupa’ya göre kirlilik düzeyimiz yüzde 33,4 daha fazla iken, bu oran 2003 yılında sadece yüzde 5,6 idi. Avrupa hava kalitesine bakıldığında son 15 yılda partikül madde miktarı yüzde 14,2 azalırken, aynı zaman diliminde Türkiye’de bu miktar yüzde 8,4 artmıştır (ÇMO, 2018).

Tablo 18’de gösterildiği gibi kömürlü termik santraller akciğer, beyin, kalp gibi hayati organlar başta olmak üzere vücudumuzda birçok hastalığa sebep olmaktadır. Özellikle linyit kömürü daha düşük kalorili bir kaynak olduğu için taşkömüründen elde edilen aynı elektriği üretebilmek için 3 kat fazla linyit kullanmak gerekir. Ülkemizde elektrik üretiminin sadece kömür kısmına baktığımızda linyitin yaklaşık yüzde 50’lik kısmını oluşturduğunu görmekteyiz. Yerli bir kaynak olmasından dolayı daha çok tercih edilen linyit yüksek miktarda kül, nem ve kükürt içermektedir. Linyit kaynaklı santrallerin çalışması gerek bölge halkında gerekse çalışanlarda önemli sağlık sorunlarının yaşanmasına neden olmaktadır (HEAL, 2015, s. 8).

Linyit kömürü madencilik bakımından da taş kömüründen farklı yöntemlerle elde edilmektedir. Taşkömürü derin yeraltı ocaklarından elde edilirken, linyit madenciliği yüzeydeki açık ocaklardan elde edilmektedir. Bu durum doğal olarak linyit madenciliğini daha ucuz hale getirip daha çok tercih edilmesine neden olmaktadır. Linyit maden bölgeleri kimi zaman o bölgede yaşayan nüfusun bölgeden zorunlu göç ettirilmesi gibi toplumsal maliyetlere de sebep olabilmektedir (HEAL, 2018, s. 5).

Tablo 18. Kömürlü Termik Santrallerden Kaynaklanan Başlıca Sağlık Problemleri

<i>Etkilenen Organ</i>	<i>Etkiler</i>
Akciğerler	İnflamasyon Oksidatif Stres KOA’da hızlı ilerleme ve alevlenme Solunum semptomlarında artış Pulmoner reflekslerin etkilenmesi Akciğer fonksiyonlarında azalma Akciğer kanserinde artış
Beyin	Serebrovasküler iskemide artış Dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu
Kalp	Kalbin otonomik fonksiyonunda bozulma Oksidatif stres Disritmik duyarlılık artışı Kardiyak repolarizasyon bozukluğu Miyokardiyal iskemide artış
Damarlar	Damar tıkanıklığı Endotel disfonksiyonu Vazokonstriksiyon ve hipertansiyon
Kan	Akış değişimi Koagülabilitide artış Parçacıklarda yer değişimi Oksijen doygunluğunda azalma

Diğer	Düşük doğum ağırlığı Erken doğum Deri, mesane kanseri Diyabet
--------------	--

Kaynak: HEAL (2015), Ödenmeyen Sağlık Faturası: Türkiye’de Kömürlü Termik Santraller Bizi Nasıl Hasta Ediyor?, Sağlık ve Çevre Birliği HEAL (Health and Environment Alliance) Yayını, (Erişim: https://env-health.org/IMG/pdf/03072015_heal_odenmeyensaglikfaturası_tr_2015_final.pdf)

Kömürle çalışan termik santraller kaynak olarak kullandıkları kömür türüne göre farklı ağır metalleri çevreye yayarlar. Termik santralin çalışması sonucu hava, toprak ve su unsurlarına karışan ağır metaller buralardan bitkilere de geçerek beslenme zincirine katılırlar. Vanadyum, bakır, arsenik, kadmiyum, kurşun, cıva, nikel, krom, çinko, antimon gibi insan sağlığına son derece zararlı maddeler bitkinin topraktan emdiği suya karışarak insan vücuduna geçerler (Şahin, 2015, s. 71).

Tablo 19. Türkiye’deki Kömür İle Çalışan Termik Santrallerin Sağlık Etkileri ve Maliyetleri

<u>İnsan Sağlığına Etkisi</u>	<u>Vakanın Boyutu</u> <u>(Vaka veya gün sayısı)</u>	<u>Ekonomik Boyutu</u> <u>(Milyon Avro)</u>
Yetişkin Ölümleri	2.876	3.110
Yetişkinlerde yaşam yılı kaybı	86.393	2.428
Bebek Ölümleri	13	22
Yetişkinlerde Kronik Bronşit	3.823	100
Çocuklarda Bronşit	27.576	8
Solunum Rahatsızlığı Nedeniyle Hastane Kabulleri	2.864	3
Kalp Rahatsızlığı Nedeniyle Hastane Kabulleri	1.447	2
Aktivitenin Sınırlandığı Günler	7.976.070	357
Çocuklarda Astım Semptomu Görülen Günler	225.384	5
İş Günü Kaybı	637.643	40
Toplam Değer (Alt Sınır)	-	2.964
Toplam Değer (Üst Sınır)	-	3.646

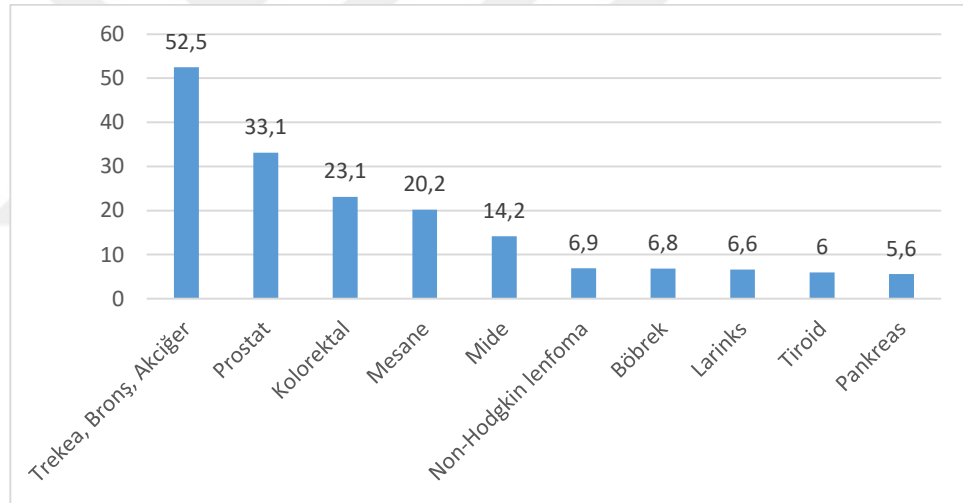
Kaynak: HEAL (2015), Ödenmeyen Sağlık Faturası: Türkiye’de Kömürlü Termik Santraller Bizi Nasıl Hasta Ediyor?, Sağlık ve Çevre Birliği HEAL (Health and Environment Alliance) Yayını, (Erişim: https://env-health.org/IMG/pdf/03072015_heal_odenmeyensaglikfaturası_tr_2015_final.pdf)

Tablo 19’da gösterildiği üzere ülkemizde kömürlü termik santrallerin sağlık etkileri her yıl 86.393 yaşam yılı kaybına ve ortalama 3.000 erken ölüme sebep olmaktadır. Çalışan nüfusta sekiz milyona yakın aktivitenin sınırlandığı gün ve 637.643 iş günü kaybı olduğu tahmin edilmektedir. Yetişkinlerde özellikle çocuklarda yüksek

bronşit vakaları gözükmemektedir. Sadece kömürlü termik santrallerin ülkemize yıllık 2.9 ila 3.6 milyar avro arası bir sağlık maliyeti olduğu hesaplanmaktadır.

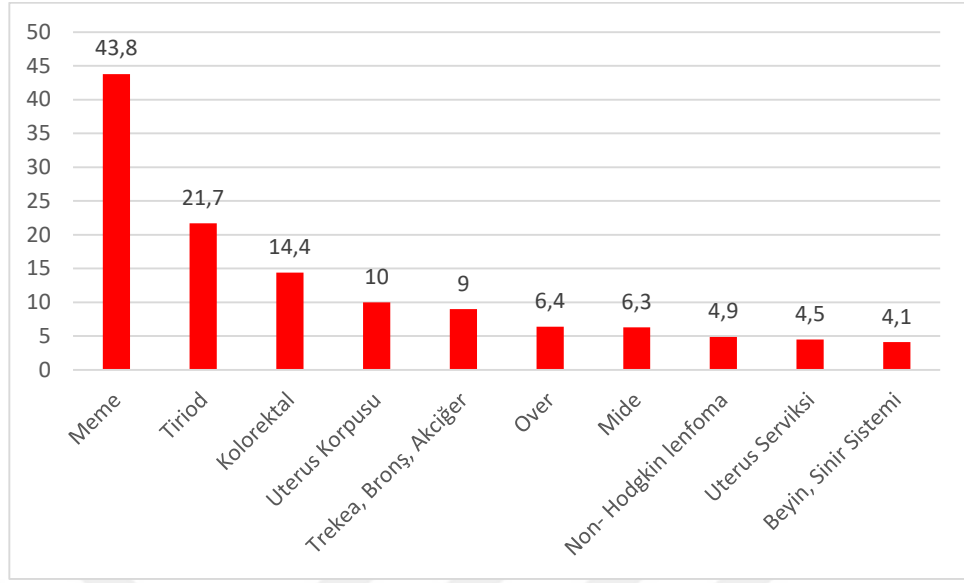
2.3.1.3. Türkiye’de Akciğer Kanseri Tedavisi İçin Bir Maliyet Hesaplaması

Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Kanseri İstatistikleri raporu baz alınarak hazırlanan Şekil 29 ve 30 incelendiğinde erkeklerde en fazla görülen kanser türü akciğer, kadınlarda ise meme kanseri olduğu görülmektedir. Akciğer kanseri kadınlarda beşinci en sık görülen kanser türü olmuştur. Akciğer kanserinin önemli nedenlerinden birisi tütün kullanımı olarak gösterilirken, dünya sağlık örgütü kapalı ve açık ortam kirliliklerinin önemli akciğer hastalıklarının tetikleyicisi olduğunu vurgulamaktadır. Hava kirliliği kaynaklı erken ölümler başlığı altında WHO verilerine göre akciğer kanseri ve buna bağlı ölümlerin yüzde 29’undan hava kirliliğinin sorumlu olduğu belirtilmiştir.



Şekil 29. Erkeklerde En Sık Görülen 10 Kanserin Yaşa Göre Standardize Edilmiş Hızları (Dünya Standart Nüfusu, 100.000 Kişide)

Kaynak: Kaynak: Kara, F., İlter, H., Keskinçilç, B. (2018), Türkiye Kanseri İstatistikleri, T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.



**Şekil 30. Kadınlarda En Sık Görülen 10 Kanserın Yaşā Gōre Standardize Edilmiş Hızları
(Dünya Standart Nüfusu, 100.000 Kişide)**

Kaynak: Kaynak: Kara, F., İltter, H., Keskinçılıç, B. (2018), Türkiye Kanser İstatistikleri, T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.

Akciğer Kanserleri Derneğı, Akciğer Sağlığı ve Yoğun Bakım Derneğı, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Türk Tıbbi Onkoloji Derneğı, Türkiye Kanser Enstitüsü ve Türkiye Solunum Araştırmaları Derneğı'nin ortaklaşa olarak yayınladığı “Türkiye’de Akciğer Kanseri” raporunun ülkemizde akciğer kanseri maliyetine ilişkin yapılmış en detaylı çalışma olduğu söylenebilir. Tablo 20’de görüleceğı üzere çalışmada akciğer kanserinin doğrudan ve dolaylı maliyetleri TL cinsinden detaylı bir şekilde fiyatlandırılmıştır. En büyük kaybın 3 milyon TL’ye yakın bir rakamla erken ölümlerden kaynaklı işgücü kaybı olduğu gözükmemektedir. Toplam doğrudan maliyetler 2.76 milyar TL ve toplam dolaylı maliyetler 6.02 milyar TL olup akciğer kanserinin ülkemize yıllık maliyetinin toplam yaklaşık 8.8 milyar TL olduğu tahmin edilmektedir.

Tablo 20. Türkiye Akciğer Kanseri Ekonomik Yüğü (TL)

DOĞRUDAN MALİYETLER (TL)		
	KHAK*	KHDAK**
Hasta Sayısı	7.500,0	42.500,0
Poliklinik Maliyeti	1.882,8	2.719,5
Laboratuvar-Görüntüleme Maliyeti	1.757,7	2.040,0
Servis/Müdahale Maliyeti	22.869,8	22.379,7
İlaç ve Uygulama Maliyeti	8.244,7	15.362,8
Yan Etki Maliyeti	5.552,6	5.552,6
Metastaz Maliyeti	8.423,6	8.423,6
Ortalama Hasta Başı Maliyet	48.731,2	56.478,1
Toplam Doğrudan Maliyet		2.765.805.054
AKCİĞER HASTALARININ ÜRETİM KAYIPLARI BEDELİ (TL)		
	Kişi Sayısı	Toplam Maliyet
Erken Ölümden Doğan İşgücü Kaybı	15.000	2.940.300.000
Hastanede Geçirilen İşgücü kaybı	50.000	174.875.067
İldışı Yol Masrafı	30.000	92.400.000
Malulen Emeklilik İşgücü Kaybı	4.000	932.160.000
Raporlu Geçirilen Günden Doğan İşgücü Kaybı	25.000	904.183.583
Erken Emeklilik Dolayısıyla İşgücü Kaybı	8.800	784.080.000
	TOPLAM	5.827.998.650
DOĞRUDAN MALİYETLER (TL)		
	KHAK*	KHDAK**
Hasta Sayısı	7.500	42.500
Hasta Başı Maliyet	48.731	56.478
TOPLAM DOĞRUDAN MALİYET (TL)		2.765.805.055
DOLAYLI MALİYET (TL)		
	TL	Kişi Sayısı
Hasta	5.827.998.650	50.000
Refekatçi	166.131.313	47.500
Bakıcı	31.950.000	2.500
TOPLAM DOLAYLI MALİYET(TL)		6.026.079.963
TOPLAM AKCİĞER KANSERİ YÜKÜ		
		8.791.885.018
*KHAK: Küçük Hücreli Akciğer Kanseri		
**KHDAK: Küçük Hücreli Dışı Akciğer Kanseri		

Kaynak: Çiçin, İ., Öksüz, E., Karadurmuş, N., Malhan, S.(2018), Türkiye’de Akciğer Kanseri Raporu, Akciğer Kanseri Derneği, Akciğer Sağlığı ve Yoğun Bakım Derneği, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Türk Tıbbi Onkoloji Derneği, Türkiye Kanser Enstitüsü ve Türkiye Solunum Araştırmaları Derneği’nin ortaklaşa yayını (Erişim: <https://www.medikalakademi.com.tr/wp-content/uploads/2018/11/turkiye-akciger-kanseri-raporu.pdf>)

Yukarıda da değinildiği gibi Dünya Sağlık Örgütü'ne göre akciğer kanseri vakalarının yüzde 29'undan hava kirliliği sorumludur (WHO, 2019). Ülkemizde de hava kirliliğinin temel kaynağının fosil yakıt kullanımı olduğu ilk bölümde belirtilmişti. Yukarıdaki raporda belirtilen 8.8 milyar TL'lik maliyetin ne kadarının fosil yakıt kaynaklı olduğunu hesaplamak zordur. Ancak WHO'nun hava kirliliğini bu hastalığın yüzde 29'luk kısmından sorumlu tutması bizim için de kaba bir maliyet hesaplamaya yardımcı olabilir. Bu durumda ülkemizde en önemli kaynağı fosil yakıtlar olan hava kirliliğinin neden olduğu akciğer kanserinin doğrudan ve dolaylı olarak yıllık ortalama 2.5 milyar TL'lik bir maliyet oluşturduğu tahmin edilebilir. Yenilenebilir enerji oranının artırılması ve fosil kaynak kullanımının azaltılması akciğer kanseri gibi en önemli kanser türlerinden biri olan hastalığın sosyo-ekonomik maliyetini azaltacaktır.

2.3.1.4. Kömür Kaynaklı Enerji Üretiminin Bir Sosyal Maliyeti Olarak Maden Kazaları

Türkiye'de enerji talebinin fosil yakıtlarla sağlanması ve bunlar içinden kömürün ağırlıklı olarak kullanılmasının birçok sosyo-ekonomik maliyeti vardır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de maden kazalarının bilançosu çok ağır olmuştur. Tablo 21'de 1900'lü yıllardan günümüze dünyada yaşanmış en büyük maden kazalarının listesi verilmiştir. 1942 tarihinde Çin Banxi'de meydana gelen kömür maden kazasında 1549 maden işçisi yaşamını yitirerek tarihteki en büyük maden kazası olarak kayıtlara geçmiştir.

Tablo 21. 1900 Sonrası 200'den Fazla Can Kaybına Sebep Olan Maden Kazaları

Bölge	Yıl	Ölüm Sayısı
Courrieres, Fransa	1906	1099
Rostraver, ABD	1907	239
Monongah, ABD	1907	500
Bocum-Hövel, Almanya	1908	348
Cherry, ABD	1909	259
Senghenydd, İngiltere	1913	440
Dawson, ABD	1913	263
Alsdorf, Almanya	1930	271
Wrexham, İngiltere	1934	266
Banxi, Çin	1942	1549
Bergkamen, Almanya	1946	405

Marcinelle, Belçika	1956	262
Datong, Çin	1960	682
Sasolburg, Güney Afrika	1960	435
Wankie, Rhodesia/Zimbabve	1960	426
Völklingen, Almanya	1962	299
Omuta, Japonya	1963	458
Fukuoka, Japonya	1965	236
Dhanbad, Hindistan	1965	268
Aberfan, İngiltere	1966	144
Dhanbad, Hindistan	1975	502
<i>Zonguldak, Türkiye</i>	<i>1992</i>	<i>263</i>
Guanxi, Çin	2001	200
Fuxin, Çin	2005	210
<i>Soma, Türkiye</i>	<i>2014</i>	<i>301</i>

Kaynak: Mundy, P. (2017), Kömür Atlası, Heinrich Böll Stiftung Derneği Yayını, (Çev: Çağrı Ekiz), Berlin.

Kömürle çalışan bir termik santralin yenilenebilir bir enerji yatırımına göre daha çok tercih edilmesinin nedeni piyasa fiyatının cazip oluşudur. Ancak bu fiyat sadece kömürün topraktan teknik olarak çıkarılması, işlenmesi ve nakliyesini içerir. Toplum ve doğa üzerinde meydana getireceği sosyal maliyetler bu hesaba katılmamaktadır. Kömür madenciliği maden damarı üzerindeki ekosistemlerin hemen hemen tamamının yok edilmesi ve toprağın kimyasal dengesinin değişmesi sonucu canlı hayatını tahrip etmektedir. Maden yakınındaki su kaynaklarına ağır kimyasallar ve metaller karışır ve bu durum uzun süre devam etmektedir. Bunların yanında madencilik sektörü iş sağlığı ve güvenliği bakımından en güvenliksiz iş kollarıdır. Ülkemizde her yıl yüzlerce kişi gerek kazalarla gerekse meslek hastalıkları yüzünden hayatını kaybetmekte veya iş göremez hale gelmektedir. Bu mağduriyet ve kayıplar kömürün sosyal bir maliyeti olarak değerlendirilip ülkemizde kömür temelli enerji santrallerden yenilenebilir enerji alanlarına yönelmek son derece elzemdir (Akbulut, 2017, s. 47).

2.3.1.5. Fosil Yakıt Teşvik Mekanizması ve Sağlık Maliyetleri İlişkisi

Günümüzde hükümetler fosil yakıtlara yenilenebilir enerji kaynaklarına göre 12 kat daha fazla teşvik vermektedir. G20 ülkeleri fosil kaynak arama faaliyetlerine ayırdığı kaynak her yıl 88 milyar dolar civarındadır. Hindistan kömür arama ve çıkarma faaliyetleri için yıllık yaklaşık 70 milyon dolar harcarken İngiltere, ABD, Kore, Güney Afrika kömür sektörüne teşviklerini artırarak devam eden ülkeler arasındadır (Doğru ve

Özyer, 2016, s. 5). Genel olarak bakıldığında hükümetler enerji talebini karşılayabilmek için fosil kaynakları teşvik ederken temel bir sosyal maliyet unsuru sağlık harcamaları piyasa fiyatına eklenemediğinden göz ardı edilmektedir.

Türkiye petrol, doğal gaz ve kömüre yıllık ortalama 1.9 milyar dolar teşvik sağlamaktadır. Ülkemizde kömürle çalışan termik santrallerin yıllık ortalama 2,9 ila 3,6 milyar avro sağlık maliyeti oluşturduğuna kömür kullanımının sağlık harcamalarına etkisi başlığında işaret edilmişti. Tüm fosil kaynakların ülkemizde neden olduğu hava kirliliğinin oluşturduğu sağlık maliyetinin ise 19,4 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Yıllık PM_{2.5} emisyon ortalaması 34 mikrogram iken bu rakam WHO tarafından kabul edilen sınır değerin 3.4 katı büyüklüğündedir. İstanbul ve Ankara gibi büyükşehirlerde bu değer 4-5 kat fazla gerçekleşmektedir. Türkiye’de mevcut enerji politikaları kömüre dayalı elektrik üretiminin artışını öngörmektedir. Bu durum iklim değişikliği ile mücadele politikaları ile çelişmektedir. Özellikle yeni kurulması beklenen kömürlü termik santrallerde yerli bir kaynak olmasından dolayı linyit kullanılması planlanmaktadır. 2030 yılına kadar kömürden elektrik üretimi kapasitesi 35GW’a ulaşırsa, sera gazı salınımının iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Kamusal kaynaklarla her yıl 1.9 milyar dolara yakın sağlanan teşvikler ortalama 19.4 milyar dolar sağlık maliyeti oluşturmaktadır. Bu rakam hava kirliliği temelli hesaplanırken, sadece fosil yakıt teşviklerinin neden olduğu iklim değişikliğinin sağlık maliyeti 13.2 milyar dolar olduğu görülmektedir (HEAL, 2017, s. 14).

Kömürden elektrik üretimine kamu gelirleri kullanılarak teşvikler sağlamak maliye biliminin sosyal fayda ilkesi ile çelişmektedir. 1.9 milyar dolar teşvik ile fosil yakıtlar teşvik edilip, diğer taraftan 10 kata kadar sağlık maliyetine katlanmak sosyal fayda ilkesinin tersine hareket etmektir. Devletin en önemli vazifelerinden biri vatandaşlarından topladığı gelirleri onların menfaatlerine uygun olacak şekilde değerlendirmektir. Ancak enerji alanındaki teşvik mekanizması uzun vadede gelecek nesillere bozulmuş bir çevre bırakmakla birlikte, bozulan bir ekonomiyi de miras bırakacaktır.

Ülkemizde enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji talebini karşılamak için güvenli kaynaklara ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynakları

potansiyeli bakımından Türkiye bu ihtiyaca rahatlıkla cevap verebilecek kapasitedir. Kömür gibi fosil kaynaklara verilen teşvikler öncelikle hava kalitemizi bozmakta ve önemli bir sağlık tehdidi ve maliyeti meydana getirmektedir. Kamusal politikalar tasarlanırken sosyal fayda ilkesinin bir gereği olarak sadece piyasa fiyatları ile meseleye bakılmamalı, vatandaşların yaşadıkları çevreye ve sağlıklarına en uygun politikalar aranmalıdır. Teşvik politikaları da bu kapsamda değerlendirilip temiz, yerli ve ucuz olan yenilenebilir alanlara daha yoğun bir şekilde uygulanmalıdır.

2.3.2. Enerji Açığının İthalatla Karşılanmasının Yol Açtığı Bir Maliyet: Cari İşlemler Açığı

Türkiye'nin önemli ekonomik problemleri arasında cari açık, işsizlik, kayıt dışı ekonomi, çarpık vergi sistemi, düşük iç tasarruf oranı gibi sorunlar gösterilebilir. Örneğin cari açık, kurdaki ani dalgalanmalardan dolayı ekonomi üzerinde ciddi baskılar oluşturabilmektedir. Özellikle 1980 sonrası liberalleşme hareketleri sonrası dış dünyaya açılan Türkiye ekonomisi için cari açık büyük bir problem haline gelmiştir.

Türkiye'nin nüfusu her yıl artmaktadır. Büyük kentlerde gelişen sanayi faaliyetleri büyüyen nüfusu buralara çekmektedir. Gerek nüfus artışı gerekse büyüyen sanayi faaliyetlerinin doğal bir sonucu olarak ülkemizde her yıl enerji talebi de artmaktadır. Artan enerji talebini en kısa yoldan karşılamamanın bir çözümü olarak görülen fosil yakıtlar uzun vadede daha büyük problemler beraberinde getirmektedir. Doğalgaz ve petrolde yüzde 90'ın üzerinde ve kömürde yüzde 50'den fazla dışa bağlı olan ülkemiz bu ürünleri ithal ettikçe ekonomimizin temel problemlerinden birisi olan cari açık üzerinde sürekli bir baskı oluşturmaktadır.

2.3.2.1. Türkiye'nin Cari Açık Problemi

Dünya Bankasından alınan verilerle hazırlanan Tablo 22'ye göre Türkiye dünyada en fazla cari açık veren üçüncü ülkedir. 2018 yılında 47 Milyar dolar verilen cari açık ile ABD ve İngiltere'den sonra gelmekteyiz. ABD, İngiltere, Kanada Hindistan gibi ilk beşte yer alan ülkelerin ekonomik büyüklükleri bu ekonomik problemin üstesinden gelebilecek güçtedir. Ancak cari açık yanında enflasyon, işsizlik, düşük tasarruf oranları, yüksek dış ticaret açıkları ile mücadele eden bir ülke olarak Türkiye için cari açık çözülmesi gereken öncelikli ekonomik problemlerden birisidir.

Tablo 22. 2017 Yılı Dünyada En Çok Cari Açık Veren 10 Ülke

Sıra	Ülke	Milyar \$	Sıra	Ülke	Milyar \$
1	ABD	-449	6	Avustralya	-35
2	İngiltere	-98	7	Arjantin	-31
3	Türkiye	-47	8	Cezayir	-22
4	Kanada	-46	9	Meksika	-19
5	Hindistan	-38	10	Pakistan	-16

Kaynak: World Bank (2019c), Current Account Balance, (Erişim: <https://data.worldbank.org/indicator/BN.CAB.XOKA.CD>)

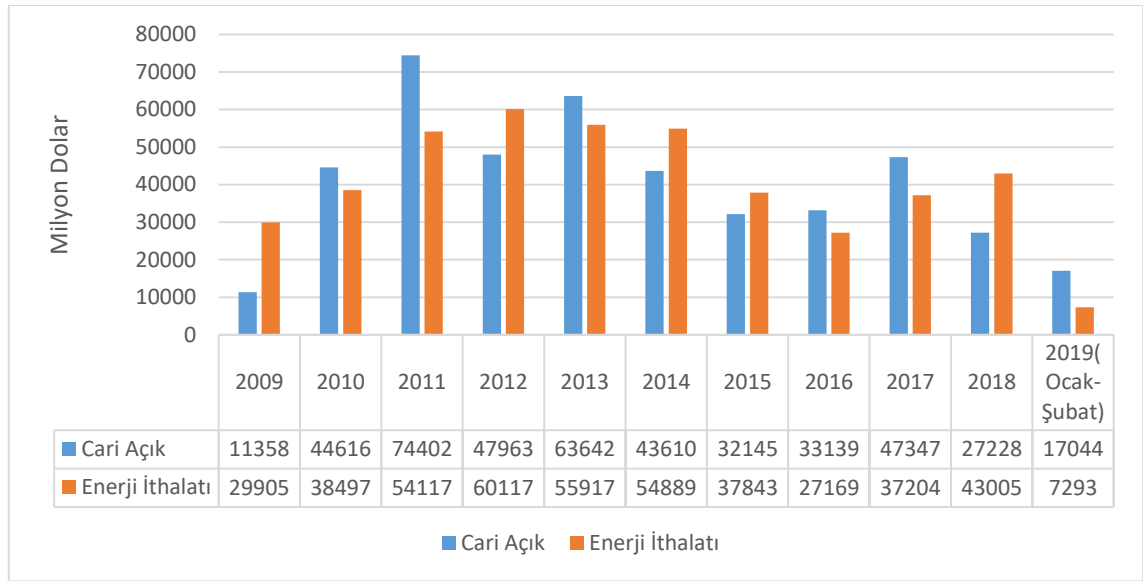
1970’lerden 2000’lerin ortasına kadar ülkemizde en önemli ekonomik problem olarak enflasyon görülmekteydi. Günümüzde enflasyon bahsedilen döneme göre daha düşük seviyelerdedir. 1980’lerde dışa açılma politikaları ile birlikte başlayan ve 2000’lerde daha da artış eğilimine giren temel ekonomik problemlerden birisi cari açıktır. Mevcut ekonomik yapımızda dış ticaretimiz sürekli açık vermektedir. Yapılan ihracatta bile ithal girdilerin payı yüksektir (Kaya, 2016, s. 71).

Cari açık ile ilgili önemli bir sorun da cari açığın düzeyinden çok ekonomide meydana getirdiği kırılganlıktır. Uzun vadeli sermaye girişleriyle finanse edilen bir cari açık önemli bir kırılganlığa neden olmazken, ülkemizdeki gibi kısa vadeli sermaye girişleriyle finanse edilen açıklar, sermayenin en küçük sorunlarda hızla çıkma riski nedeniyle sürdürülebilir bir durum değildir. Genellikle daha kolay bir yöntem olan sıcak paranın ülkeye girişini teşvik ederek sorun geçici olarak çözülmeye çalışılmaktadır. Ancak sabit yatırımların burada önemi büyüktür. Yenilenebilir enerji sektörü bu anlamda çok uygun bir alandır. Sanayide kullanılan ithal ara girdilerin yurtiçinde üretimini sağlamak yine cari açığı azaltıcı politikaların başında gelmektedir (Şahin, 2011, s.55).

2.3.2.2. Enerji İthalatının Cari Açık Üzerindeki Etkisi

Türkiye İstatistik Kurumu(TÜİK)’nun “Fasıllara Göre İthalat” rakamları incelenerek, ülkemizin enerji ithalatına yıllık ne kadar kaynak aktardığını görmek mümkündür. Söz konusu istatistiğin 27 numaralı kalemi “*Mineral yakıtlar, mineral yağlar ve bunların damıtılmasından elde edilen ürünler, bitümenli maddeler, mineral mumlar*” şeklindedir. Bu kalem genel olarak ülkemizin enerji ithali için ödediği miktarı göstermektedir.

Şekil 31’de Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), Bütçe ve Mali Kontrol Genel Müdürlüğü (BÜMKO) ve TÜİK’ten alınan veriler derlenerek son on yılda ekonomimizin verdiği toplam cari açık ve enerji ithalat rakamları gösterilmiştir. 2009-2019 Şubat arasında toplam cari açık 442 milyar dolar gerçekleşmiştir. Açığın en büyük kalemini ise gerek petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar gerekse döviz kurundaki artışla beraber 445 milyar dolarla enerji ithalatı oluşturmuştur.



Şekil 31. Son On Yılda Cari Açık ve Enerji İthalatı (Milyon Dolar)

Kaynak: TCMB (2019a), Ödemeler Dengesi İstatistikleri, BÜMKO (2019), Ödemeler Dengesi ve Cari Açık, TÜİK (2019a) Fasillara Göre İthalat.

Enerji politikaları ülkelerin ulusal, uluslararası siyasi ve diplomatik ilişkilerini şekillendirdiği gibi ekonomi politikalarını da yakından alakadar etmektedir. Enerji talebini ithal yolla karşılanması fiyatların dalgalandırıp iktisadi faaliyetlerin yavaşlamasına neden olmaktadır. Ekonomi yönetimlerinin görevi burada fiyat dalgalanmalarını en aza indirmektir. Türkiye için iktisadi yapıdaki ana kırılganlık unsuru cari açık olarak görülmekte ve cari açık sorununa da enerji politikaları açısından bakmak gerektiği öne sürülmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın önemli engellerinden biri cari açıktır. Dolayısıyla enerji açığının ithal yolla karşılanması cari açığı tetikleyip uzun soluklu ekonomi politikalarının dizayn edilmesini zorlaştırmaktadır (Eroğlu vd.2018, s.108).

Tablo 23. İthal Enerji Girdilerinin Maliyeti (Bin \$)

	Taşkömürü	Petrol	Doğalgaz	Elektrik Enerjisi	Gizli Veri*	Toplam Enerji İthalatı
2009	1.193.560	8.756.448	1.640.130	17.245	18.297.765	29.905.148
2010	1.216.230	11.390.607	2.366.471	20.455	23.503.217	38.496.980
2011	1.418.402	15.245.939	2.973.590	86.565	34.392.292	54.116.788
2012	1.264.901	16.179.248	2.945.722	255.377	39.470.543	60.115.791
2013	1.052.452	16.115.561	2.734.485	334.202	35.679.626	55.916.326
2014	919.256	16.087.923	2.677.440	438.826	34.765.569	54.889.014
2015	3.082.158	9.555.769	1.454.607	325.171	23.424.699	37.842.404
2016	2.743.735	7.707.326	1.217.931	213.614	15.284.872	27.167.478
2017	4.392.600	10.381.814	1.647.131	85.501	20.696.558	37.203.604
2018	4.656.718	13.463.844	1.919.440	57.031	22.911.419	43.008.452
2019(1-2)	1.048.717	2.201.344	315.760	4.682	7.431.930	11.002.433
TOPLAM	22.988.729	127.085.823	21.892.707	1.838.669	275.858.490	449.664.418
*Gizleme uygulanarak aynı fasıl altında tek bir GTİP kodunda birleştirilen maddelere ait toplam değer, sınıflamalarda ana grup toplamalarının kaybolmaması amacıyla "gizli veri" adıyla ayrı bir grup olarak verilmiştir. Söz konusu maddelerin bulunduğu alt grup değerleri, gizli maddelerin değerinin çıkarılmasından sonra kalan maddelerin değerlerini içermektedir.						

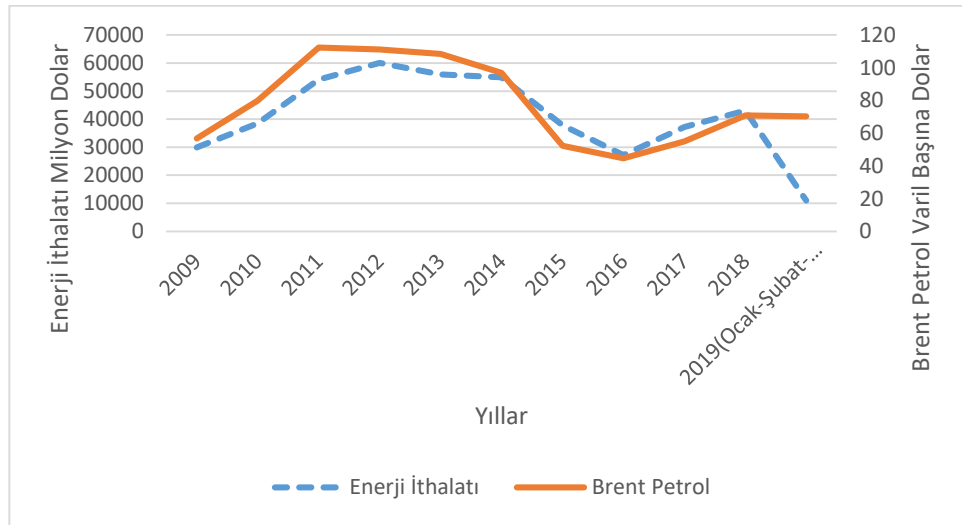
Kaynak: TÜİK (2019b), Dış Ticaret İstatistikleri, (Erişim: http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1046)

Tablo 23'te enerji ithalatı kullanılan kaynakların enerji türlerine göre sınıflandırılması verilmiştir. 2009 yılında 1.1 milyar dolar civarında kömür ithalatı gerçekleştirilirken 2018 yılında bu rakam yaklaşık dört kat artarak 4.6 milyar dolara yükselmiştir. Özellikle son on yılda kömürde yaşanan hızlı ithalat artışının ülkemizdeki kömürlü santrallere verilen teşvikler yatmaktadır. Ancak önceki bölümlerde de açıklandığı gibi kömür ithalatı cari açığı artıran önemli bir kalem olmakla beraber uzun vadede yüksek sağlık maliyetleri oluşturmaktadır. Tabloda görüldüğü gibi enerji ithalatı kalemlerinde en yüksek ve yıllar itibariyle en çok artan kalem gizli veri sütunudur. Gizli veri; ithal veya ihraç edilen malın tek bir tedarikçisi varsa ve firmanın isteği ile TÜİK tarafından bu verilerin gizli veri adı altında yayınlanmasıdır. Bunun sebebi olarak da, ithalat miktarı yayınlandığında ithal edilen gazın fiyatının belli olması ve gaz alınan

ülkelere karşı ülkenin pazarlık gücünün zayıfladığı ileri sürülmektedir (Bayrak ve Esen, 2014, s.146).

Sarıtaş vd (2018)'nin yaptığı bir çalışmada Türkiye’de üretimde bir artış gerçekleştiğinde bu artışın yüzde 31.94’ü enerji ithalatından kaynaklanmaktadır, dolayısıyla büyümenin yüzde 32’lik kısmı ithalata bağlıdır. Cari açığın ise yüzde 15.42’lik kısmı enerji ithalatından kaynaklandığı bulunmuştur. Çalışmanın ampirik kısmında nedensellik analizi yapılmış ve cari açık ile enerji ithalatı arasında çift yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu ortaya konmuştur. Çalışma Türkiye’de cari işlemler açığı meydana gelirken, enerji ithalatının açığın oluşumunda önemli bir kalem olduğunu ortaya koymuştur. Aynı şekilde Yanar ve Kerimoğlu (2011) ‘nın yaptığı bir çalışmada enerjinin ekonomik büyümede büyük bir rol oynadığı, ancak GSYİH, cari açık ve enerji tüketimi arasında pozitif yönlü bir etkileşim olduğu saptanmıştır.

Literatürde ampirik olarak yapılan bir çok çalışma ülkemizin ekonomisinin yıllardır verdiği dış ticaret açığının temel nedeninin enerji ithalatı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde kullanılan ithal girdiler üretim maliyetlerini artırıp küresel rekabet etme şansımızı azaltmaktadır. Bunun yanında ithal girdilerle enerji üretimi cari açığı arttırmakla beraber enerji arzı ve güvenliği açısından da risk teşkil etmektedir (Çütçü, 2019, s. 36).



Şekil 32. Enerji İthalatı ve Brent Petrol Fiyatları

Kaynak: TCMB(2019b), Brent Petrol ve Enerji İthalatı İstatistikleri, (Erişim: <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?evds/dashboard/1301>)

Her geçen yıl enerji talebi artan ülkemiz, enerji ihtiyacını yerli kaynaklarla karşılayamayınca, enerji arz güvenliğinde bir sorun yaşamamak için enerji alanında ithalata yönelmektedir. Temel fosil kaynaklar olan kömür, doğalgaz ve petrol enerji talebini karşılayabilmek için ithal edilmektedir. Şekil 32’de görüldüğü gibi dünya petrol piyasasında brent petrolün arttığı dönemlerde enerji ithalatına ayırdığımız rakam bir hayli yüksek olmaktadır. Örneğin 2011-2013 yılları arasında brent petrolün varil fiyatı 110 dolar seviyelerindeyken yıllık enerji ithalatına ayırdığımız rakam 55-60 milyar dolar civarında olmuştur. 2015 sonrası düşen fiyatlar bu rakamı düşürürken, 2017 sonrası petrol fiyatlarındaki artış enerji ithalatına ayırdığımız rakamı arttırmıştır. 2019 yılının sadece ilk iki ayında enerji ithalatına ayırdığımız rakam 7.2 milyar dolar olmuştur.

Türkiye’nin en önemli ekonomik problemleri arasında yer alan cari açığın temel bileşeninin enerji ithalatımız olduğu anlaşılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir kompozisyonunun enerji talebinin büyük bir kısmını karşılayabilmesi için gerekli politikaların uygulanması elzemdir. Enerji talebini bu denli ithalata bağlamak, üretim ekonomisi uygulamaya çalışan Türkiye için çelişkili bir durumdur. Enerjide ithalatın bu kadar ağırlıklı olması, üretim için önemli bir maliyet olan enerjinin fiyatını sürekli değişken bir hale getirmektedir. Uluslararası gelişmeler brent petrolün fiyatını artırması, ülke içi enflasyon oranının artması, yüksek faiz oranları, döviz kurlarındaki hareketlilik gibi durumlar enerjinin maliyetini artırıp üretimde enerji maliyetini sürdürülebilir olmaktan çıkarmaktadır.

2.3.3. Enerji İthalatı ve Ulusal Güvenlik

Ülkemiz enerji talebini karşılarken petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynaklar başı çekmektedir. Ancak söz konusu yeraltı kaynakları bakımından oldukça fakir bir durumdayız. Petrolün yüzde 90’nı ve doğalgazın yüzde 99’una yakın kısmını ithal etmek durumundayız. Elektrik üretimimizin yüzde 45’i yerli yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilirken, yüzde 55’i fosil kaynaklarla ve bu kısmın sadece yüzde 10’luk kısmı yerli linyit ile üretilmektedir. Ülkemiz elektrik enerjisi üretiminin dörtte birini tamamına yakını ithal ettiği doğalgazdan üretmektedir. Bu durum kendi bünyesinde bir takım riskler barındırmaktadır.

Ülkelerin karşı karşıya kaldığı riskler sadece siyasi ve askeri riskler değildir. Ülke ekonomisini tehdit eden her unsur uzun vadede askeri bir risk unsuru kadar o ülkeyi zor durumda bırakabilir. Enerjide dışa bağımlılık bir ülke için ekonomik bir risk unsurudur. Enerjide arzında yaşanacak problemler üretimden hane halkına kadar birçok ekonomik birimi etkileyecektir. Bundan dolayı ülkeler ulusal güvenlik planlamaları yaparken enerjide arz güvenliğini de bir güvenlik unsuru olarak değerlendirmektedirler.

2.3.3.1. İthal Enerji Bağımlılığı ve Güvenlik Problemi

Enerji arz güvenliği kavramı, potansiyel enerji kaynaklarının tükenmesinden ziyade, var olan kaynaklara ulaşamama riskini arz güvenliği sorunu olarak barındırmaktadır. Enerji arz güvenliği enerji kaynağının mevcudiyeti, ulaşılabilirliği, ekonomik olması ve sürdürülebilirliği gibi dört unsuru içeren bir kavramdır. Enerji güvenliğinin en önemli unsuru enerjinin mevcut ve elde edilebilir olmasıdır. Enerjinin ulaşılabilir olması rezerv ve kaynağın üretim ve tüketim arasındaki mesafe ifade edilirken diğer taraftan enerjinin tedarikinde kesintiye uğramamasıdır. Enerjinin üretilebilir olması, enerji kaynağı rezervinin yatırım ve üretim maliyetini karşılayacak derecede karlı bir enerji unsuru olmasını ifade etmektedir. Enerji arz güvenliği tüketici açısından enerjiye ulaşırken ani fiyat farklılıklarına maruz kalmamayı ifade eder. Enerji tedarikinde devamlılık; enerji tüketiminde de çevreye olan duyarlılık sürdürülebilirlik bağlamında önemlidir. Bugünün enerji ihtiyacı karşılanırken gelecek nesillerin bu ihtiyaçlarını karşılayabilme güçlerine zarar vermemeye dikkat etmek sürdürülebilirlik anlamında değerlidir (Erdal ve Karakaya, 2012, ss. 110-114).

İngiliz donanma bakanı Winston Churchill 1912 yılından itibaren İngiliz donanmasında kullanılan savaş gemilerinin yakıt türünü kömürden petrole çeviren politikalar yürütmüştür. Donanmaya fevkalade avantajlar sağlayan bu uygulama beraberinde bazı sorunları da getirmiştir. Yeterli miktarda ve uygun zamanda petrol nereden ve nasıl bulunacağı en önemli sorun olmuştur. Churchill uygun fiyattan ve sürekli olarak güvenli enerjiyi elde etme manasında enerji güvenliğini “Çeşitlilik, yalnızca çeşitlilik” sözleriyle ifade etmiştir. Temin edilen enerjinin tek bir kaynak yerine farklı kaynaklardan temin edilerek, politik ve ekonomik olarak tek tedarikçinin kontrolü altına girilmesinin kırılsması özellikle 1973 petrol krizi sonrası ülkelerin önemli sorunları

arasında yer almaktadır. Politik açıdan bu konuya bakıldığında enerji güvenliği, sürdürülebilir kalkınma, sosyal refah ve siyasi istikrar bakımından devletler için riskli bir alandır. Bir hükümet politikası olarak enerjinin kesintisiz, halkın gelir seviyesine uygun fiyatlama ile zamanında ulaştırılması son derece önemlidir. Gelişen teknolojik altyapılar, terör örgütlerinin bile hedefi olabilmektedir. Siber saldırılar sonucu enerji temininde ülkeyi birkaç saat enerjisiz bırakmak milyonlarca dolar zarar verebilmektedir (Erkal, 2018, s. 66).

Uluslararası politik ekonomi sistemine bakıldığında enerji kaynakları gücün bir unsuru haline gelmiştir. Amerika'nın Irak'a müdahalesi sonucu gelişen Orta Doğu enerji kaynaklarına doğrudan ve dolaylı kontrolü, Rusya'nın zengin fosil kaynaklara sahip olması, Avrupa Birliği ve Çin gibi hızla büyüyen ekonomilerin enerji ihtiyaçlarını dışarıdan temin etmeleri güç dağılımında enerji kavramını önemli bir unsur haline getirmiştir (Göral, 2011, s. 118). Dünyada hâlihazırda görülen birçok askeri ve diplomatik savaşın ve çatışmanın arkasında büyük ekonomilerin enerji ihtiyaçlarını ucuz, kimi zaman bedava, sürekli bir şekilde elde etme çabalarını görmekteyiz. Son yıllarda Çin gibi yükselen ekonomilerin enerji politikaları incelendiğinde yenilenebilir enerjiye dünyada en fazla yatırım yapan ülkelerin başında geldiği görülmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde anlatıldığı gibi fosil yakıtlar önümüzdeki 100-150 yıl sonra rezerv bakımından tükenmesi beklenmektedir. Hangi devlet olursa olsun uzun vadede fosil yakıt temelli bir enerji politikası benimsemesi sürdürülebilir bir politika geliştiremediği anlamına gelmektedir. Üstelik fosil yakıtları kullanmada bu kadar ısrarcı olmak, küresel ısınma gibi bir problemi tüm insanlığa miras bırakmaktadır. Uluslararası barışın sağlanması, ulusal düzeylerde enerji arz güvenliğinin sağlanması adına enerji ihtiyacının yerli, çeşitli, sürdürülebilir, ucuz kaynaklarla elde etmek son derece önemlidir. Bu özellikler sayıldığında akla ilk gelen kaynak, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

2.3.3.2. Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığı ve Enerji Arz Güvenliği Sorunu

Hızla gelişen ve büyüyen Türkiye ekonomisinin enerji ve elektrik talebi de bu gelişmelere paralel olarak hızla artmaktadır. Geleceğe yönelik olarak enerji ve elektrik tahminlerinin bilimsel yöntemlerle yapılarak kaynak tedarikinin ve yatırım planlarının buna göre yapılması hayati öneme sahiptir. Tablo 24'te Türkiye'nin 2000 yılından beri toplam

kurulu gücü ve bu kurulu güç içerisindeki yerli kaynak payı gösterilmiştir. 2000 yılında 11.000 MW civarında olan yenilenebilir enerji kurulu gücü, 2017’de yaklaşık 39.000 MW’a yükselmiştir. Ancak toplam kurulu güç artıp ve bunun içinde yenilenebilir enerjinin payı yükselmesi olumlu bir durum olmasına rağmen, hâlihazırdaki enerji üretim potansiyelimizi ifade eden kurulu güç içindeki yerli kaynak payı yüzde 66’dan yüzde 57’lere gerilemiştir. Tüm dünyada enerji arz güvenliği konusu hükümetlerin önemli gündem maddelerinden biriyken, ülkemizde 17 yılda ithal enerji payının artması enerji arz güvenliği açısından olumsuz bir durumdur.

Tablo 24. Yerli Enerji Kaynaklarına Ait Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi (mw)

YILLAR	YENİLENEBİLİR KAYNAKLAR	LİNYİT	TAŞKÖMÜRÜ+ ASFALTİT	YERLİ KAYNAK KURULU GÜCÜ	TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜCÜ	YERLİ KAYNAK PAYI %
2000	11.235	6.509	335	18.079	27.264	66
2001	11.733	6.511	335	18.579	28.332	66
2002	12.305	6.503	335	19.143	31.846	60
2003	12.640	6.439	335	19.414	35.587	55
2004	12.707	6.451	335	19.493	36.824	53
2005	12.977	7.131	335	20.442	38.844	53
2006	13.186	8.211	335	21.732	40.565	54
2007	13.608	8.211	335	22.154	40.836	54
2008	14.282	8.205	335	22.822	41.817	55
2009	15.509	8.199	470	24.178	44.761	54
2010	17.353	8.199	470	26.022	49.524	53
2011	19.106	8.199	470	27.775	52.911	52
2012	22.201	8.193	470	30.864	57.059	54
2013	25.595	8.223	470	34.288	64.008	54
2014	28.017	8.281	470	36.768	69.520	53
2015	31.614	8.663	755	41.032	73.147	56
2016	34.582	9.127	755	44.464	78.497	57
2017	38.916	9.129	783	48.827	85.200	57

Kaynak: TEİAŞ (2019a), Kurulu Güç İstatistikleri, (Erişim: <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>)

Tablo 25’te Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından hazırlanan 10 yıllık talep tahmin raporundan derlenen veriler gösterilmiştir. Düşük senaryoya göre 2027 yılına kadar brüt elektrik tüketimi 301.512 GWh’dan 424.973 GWh’a, yükselecektir. 10 yıl içerisinde her yıl yüzde 4.7 ile 3,5 oranı arasında bir tüketim artışı yaşanacaktır. Yüksek senaryoya göre 307.212 GWh’dan 508.611 GWh’a tüketim talebi yükselecektir. Yine bu

senaryoya göre her yıl brüt tüketim talebi yüzde 6 ila 5.4 arasında bir artış gösterecektir. Her üç senaryoya göre bakıldığında ülkemizin elektrik talebi yüksek seviyelerde artacaktır. Düşük, baz ve yüksek senaryolara göre brüt elektrik talebi on yıl içinde sırasıyla % 42, % 50 ve % 65 artacaktır. Bu rakamlar ciddi olarak politikalar üretilmesi gerektiğinin göstergesidir. Sadece yüzde 57 oranında yerli kaynak üretimi ile bu talebe cevap vermek uzun vadede sürdürülebilir değildir. Devletlerin en az askeri ve siyasi riskleri kadar önem arz eden enerji talebinin sürdürülebilir kaynaklarla karşılanması konusunda Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarını hızla aktif bir şekilde kullanması sorunun çözümü adına önemli bir adımdır.

Tablo 25. 2018-2027 Yılları Brüt Elektrik Tüketim Tahmini (GWh)

Yıl	Düşük	Artış %	Baz	Artış %	Yüksek	Artış %
2018	301512		304425		307212	
2019	315807	4,7	319457	4,9	323788	5,4
2020	328409	4	334985	4,9	343242	6
2021	341037	3,8	350696	4,7	363443	5,9
2022	354156	3,8	367263	4,7	384848	5,9
2023	367876	3,9	384638	4,7	407889	6
2024	381814	3,8	402308	4,6	431664	5,8
2025	396139	3,8	420509	4,5	456471	5,7
2026	410530	3,6	439171	4,4	482263	5,7
2027	424973	3,5	457876	4,3	508611	5,5

Kaynak: TEİAŞ (2017a), 10 Yıllık Talep Tahminleri Raporu, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı.

Bir ülkenin enerji politikasının temel amacı, üretimin en önemli unsurlarından olan enerjinin, yeterli miktarda, kesintisiz, en uygun maliyetle, çevreye en duyarlı yöntemlerle ve güvenilir bir şekilde temin edilmesidir (Çalışkan, 2009, s. 297). Türkiye’de enerji arz güvenliğini sağlamada fosil yakıtlar ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Kömürden elektrik üretimine ciddi teşvikler verilmektedir. Bununla beraber 2000 yılından sonra enerjide ithal bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kullanımının teşvik eden düzenlemeler de yapılmıştır. Ancak yenilenebilir enerji konusunda mevzuat eksiklikleri, mevzuatın tam olarak uygulanamaması, teşvik yetersizliği gibi sorunlar temiz enerji kaynaklarının istenen seviyede olmasının önündeki engellerden olmuştur (Dışkaya, 2017, s. 139).

Türkiye birçok devlete göre yenilenebilir enerji kaynakları açısından avantajlı bir pozisyona sahiptir. Ancak bu durum Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı olma durumunu değiştirememiştir. Üretim ve tüketim sürecinde kullanılmayan bir kaynağın ekonomik bir değeri yoktur. Bunun birçok nedeni olabilir. Örneğin teknolojik altyapıdaki yetersizlikler kaynakların yeteri kadar değerlendirilebilmesini engellemektedir. Enerji üretimi arttırılmaya çalışılırken bunun artan nüfus ve sanayi faaliyetlerinin ihtiyaçlarını karşılayamayacak seviyede olması yine ülkemizi ithalata zorlamaktadır. İthal enerji bağımlılığı arttıkça bu durum iktisadi refahımızı olumsuz etkilemektedir. İktisaden uzun vadeli planlar yapmak, günümüzde sürdürülebilir bir enerji arzı ile mümkündür. Enerji temininde dış ülkelere bağımlı olmak, söz konusu ülkelerle siyasi ve askeri bir sorun yaşanması halinde enerji arzını sıkıntıya sokabilmektedir (Konak, 2019, s. 200).

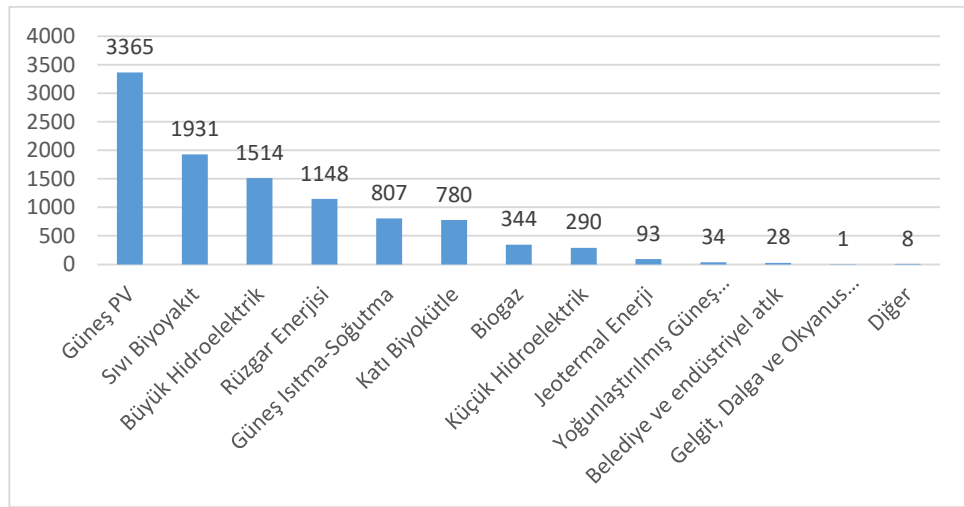
Örneğin en büyük doğalgaz tedarikçimiz Rusya ile bazı dönemler yaşadığımız askeri ve siyasi krizlerde ülkeyi endişelendiren ilk problem doğalgaz akışında sorun çıkıp çıkmayacağıdır. Aldığımız doğalgazın büyük kısmını elektrik üretiminde kullandığımız (toplam kurulu gücün yüzde 25'i) düşünüldüğünde, doğalgaz akışında meydana gelen sıkıntı konut ısıtma sorunundan çok daha büyük sorunlara neden olup, sanayi üretiminden güvenliğe kadar birçok alanda zorluklar yaşamamıza neden olabilecektir. Tüm bu riskleri en aza indirmek için yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye için büyük bir fırsattır. Gerek kamusal politikaları bu yönde dizayn etmek, gerekse özel sektörün dikkatini bu alana çekebilmek için teşvik, regülasyon gibi araçları kullanmak uzun vadede ülkemize önemli ölçüde sosyo-ekonomik faydalar sağlayabilecektir.

2.4. Yenilenebilir Enerji Üretiminin Pozitif Bir Dışsalılığı: İstihdam Artışı

Çevreye ve insana zararlı enerji türlerinin yerine tercih edilen temiz ve çevreye uyumlu yenilenebilir enerji türlerinin önemli bir pozitif dışsalılığı istihdamda meydana getirdiği artıştır. Fosil yakıtların talebinde azalmanın ve fosil yakıtlı santrallerin kapatılmasının işsizliği artırabileceği endişesi, enerji talebinin azalmayıp her zaman devam edeceği gerçeği göz ardı edildiği takdirde anlamlı olabilir. Fosil yakıtlı santraller zaman içinde kontrollü bir şekilde sistemin dışına çıkarıldığında, bunların yerine enerji talebini karşılayacak yeni santrallere ihtiyaç duyulacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının faaliyete geçirilmesi için, plan, proje, ar-ge, üretim, kurulum, işletme gibi

birçok alanda binlerce istihdam talebi oluşacaktır. İstihdamın alanı ve kapasitesinde elbette farklılıklar olacaktır. Fakat halkımızı dünyanın en ağır, sağlıksız, riski yüksek iş alanı olan maden sektöründen alıp rüzgâr, güneş enerjisi gibi sektörlerin üretim, kurulum, işletme gibi alanlarında istihdamını sağlamak önemli bir sosyal fayda meydana getirecektir.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından yayınlanan “Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2018” raporuna göre yenilenebilir enerji endüstrisi 2017 yılında dünya genelinde 500.000’den fazla kişiyi istihdam etti, yenilenebilir enerji kaynaklarında çalışan toplam insan sayısı ilk kez 10 milyonu aşmıştır. 2017 yılında dünya genelindeki istihdam yüzde 5.3 artarak 10.3 milyon seviyelerine yükseldi. Çin, Brezilya, ABD, Hindistan, Almanya ve Japonya yenilenebilir enerji endüstrisinin yüzde 70’inden fazlasını temsil ederek en büyük yenilenebilir enerji işverenleri olarak dünyada sıralamaya girmişlerdir. Günümüzde birçok ülke yenilenebilir enerji kaynaklarının sosyo-ekonomik faydalarından yararlanırken, üretimin büyük kısmı halen nispeten az sayıda ülke tarafından gerçekleştirilmektedir. Tüm yenilenebilir istihdamının beşte dördü Asya’da gerçekleştirilmektedir. Şekil 33’te görüldüğü üzere özellikle güneş fotovoltaik endüstrisi en çok istihdam meydana getiren teknolojiler arasındadır. Güneş PV teknolojisini, sırasıyla sıvı biyoyakıt, büyük hidroelektrik tesisleri, rüzgâr enerjisi takip etmektedir.



Şekil 33. Dünyada Teknolojilere Göre Yenilenebilir Enerji İstihdamı

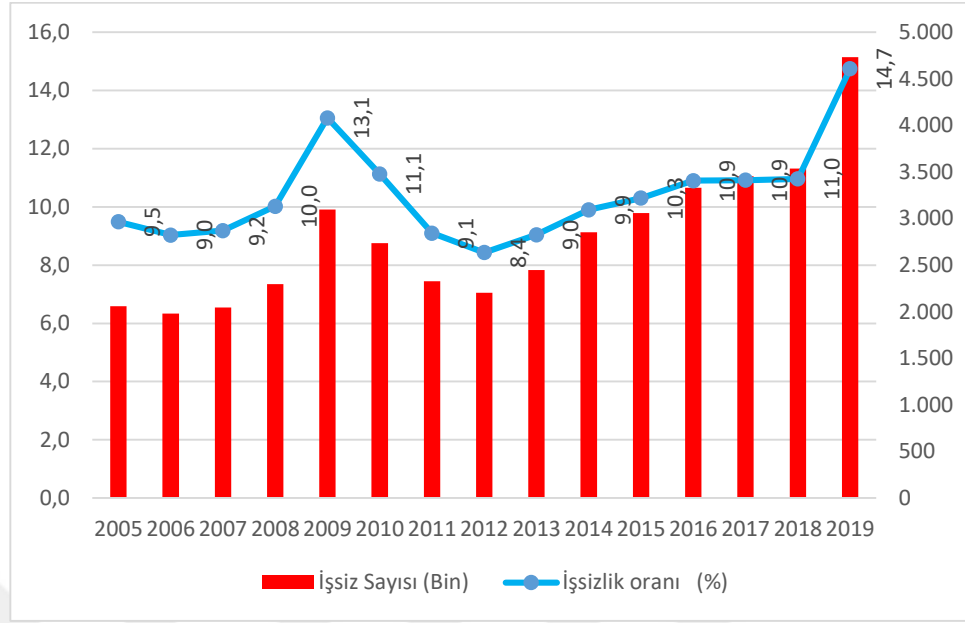
Kaynak: IRENA (2018a), Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.

Türkiye, güneş enerjisi PV sektöründe 33.400 kişiye ve güneş enerjili ısıtmada 16.600 kişiye istihdam alanı oluşturdu. Rüzgâr enerjisi yaklaşık 14.200 kişiye iş imkânı sağlarken, küçük hidrolik santraller, jeotermal ve biyogaz enerji 18.000 kişiye iş imkânı sağladı. Ülkemizde yenilenebilir enerji sektöründe çalışan insan sayısı yaklaşık olarak 84.000 olarak hesaplanmıştır (IRENA, 2018a, s. 21).

2.4.1. Türkiye’de İşsizliğin Boyutları ve Önemi

Türkiye’de sürdürülebilir bir büyümenin önemli engellerinden biri sağlıklı ve etkin bir işgücü piyasanın tam olarak sağlanamamasıdır. İşgücüne katılma oranı Avrupa Birliği ortalamasından düşüktür. Türkiye’de işsizlik sorununun temelinde geçiş ekonomisinin genel sorunları ve iş gücü piyasanın katılıklarından kaynaklanmaktadır. Ülkemizde büyük miktarlarda istihdam meydana getirmenin yolu yeni üretim kapasiteleri geliştirmek ve istihdam meydana getiren bir büyüme trendi yakalamaktır. Önemli ekonomik problemlerimizden olan işsizliğin azaltılabilmesi için ekonomi politikaları belirlenirken reel sektörde üretim, yatırım ve istihdam artışını hedef tutmalı, yenilikçi, öncü teknolojilere ağırlık verilmelidir (Bozdağlıoğlu, 2008, s. 62).

Türkiye’de işsizlik verilerine bakıldığında yıllar itibariyle yüksek rakamlar ve işsiz sayısında bir artış eğilimi görülmektedir. Şekil 34’te görüldüğü gibi 2005 yılında 2 milyon civarında olan işsiz sayısı günümüzde yaklaşık 4.7 milyon civarına ulaşmıştır. 2009 küresel krizinde 3 milyon dolayında işsiz varken 2011’de 2.3 milyona kadar gerilemiştir. Ancak günümüzde 4.7 milyon gibi yüksek bir işsiz sayımız vardır. İşsizlik oranına bakıldığında 2005’ten beri yüzde 14.7’lik oranıyla en yüksek seviyesindedir.



Şekil 34. 2005 Yılından Günümüze İşsizlik Oranı ve İşsiz Sayısı

Kaynak: TÜİK (2019c), İşgücü İstatistikleri, (Erişim: http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1007)

Türkiye’de büyüme her zaman işsizliği azaltmayı sağlayamamıştır. Özellikle 2001 krizi sonrası dönemde Türkiye’deki büyüme “istihdam oluşturmayan büyüme” olarak nitelendirilmiştir. Dolayısıyla ekonomi politikalarını salt büyüme endekli tasarlamak bu sorunun çözümüne hizmet etmeyecektir. Teknoloji ağırlıklı bir büyüme modeli Türkiye için, işsizlik sorununun çözümünde büyük bir fırsat olabilir (Ay, 2012, s. 330). Yenilenebilir enerji yatırımları bu noktada önemli bir avantajdır. Örneğin Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW iken hâlihazırda kurulu gücü 7.300 MW civarındadır (ETKB, 2019). Bunun gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında da halen mevcut potansiyelin çok altında üretim yapılmaktadır. Bu kaynakların kullanımı artırılırken, kurulum için gereken teknolojilerin ya tamamının ya da bir kısmının yurtiçinde üretimi teşvik edilirse istihdam noktasında ekonomimize önemli katkıları olabilecektir.

Türkiye yenilenebilir enerji alanlarına vereceği devlet desteklerinin geri dönüşünü fazlasıyla alabilir. Ar-ge gibi alanlar teşvik edilip üretim yurtiçine kaydırılabilirse hem uluslararası rekabet gücümüz artacak hem de ihracat artıp cari açığın azalmasına yararı olacaktır. Kamu ve özel sektörün işbirliği ile rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımlar, orta ve uzun

vadede ulaşım, enerji, inşaat ve tarım gibi sektörlerde yeşil bir istihdam alanının oluşmasını sağlayabilir (Erdal, 2012, s. 180).

2.4.2. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Meydana Getireceği İlave İstihdam

Yenilenebilir enerji yatırımlarının Türkiye'nin temel kronik ekonomik problemlerinden işsizliğin çözümünde bir çözüm olabileceğini yukarıda belirtmiştik. Enerji ihtiyacının çoğunu ithal yolla elde eden ülkemiz yenilenebilir enerji yatırımlarını imalat, kurulum, işletme gibi çok kapsamlı olarak değerlendirebilirse büyük iş imkânları meydana getirebilir. Ülkemiz “2012-2023 Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” nde 2023 yenilenebilir enerji hedeflerini ortaya koymuştur. Bazı alanlarda bu hedefe ulaşılmasına rağmen hala büyük bir açık vardır.

Tablo 26’da Mart 2019 itibariyle Türkiye’nin kurulu gücü ve 2023 hedefleri gösterilmiştir. İlk sütunda hâlihazırda yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçleri MW cinsinden gösterilirken, ikinci sütunda Türkiye’nin 2023 hedefleri gösterilmiştir. Güneş enerjisi için belirlenen 5000 MW’lık enerji üretimine şimdiden ulaşılmıştır, aynı şekilde jeotermal enerji için belirlenen 1000 MW’lık enerji 1302 MW’lık kurulu güçle sağlanmıştır. Ulaşılması beklenen üç yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr, biokütle ve hidrolik enerji kalmaktadır. Bunlara yapılacak ilave yatırımların istihdam etkisi aşağıda hesaplanacaktır.

Tablo 26. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kurulu Güçleri ve 2023 Hedefleri

	Kurulu Güç MW	Türkiye 2023 Hedefi MW
Rüzgâr	7.078,10	20000
Güneş	<u>5.316,10</u>	<u>5000</u>
Biokütle	659	1000
Jeotermal	<u>1.302,50</u>	<u>1000</u>
Hidrolik	28391,4	36000

Kaynak: TEİAŞ (2019a), Kurulu Güç İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>, ETKB (2016), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı İle Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Ankara.

Tablo 27. Kurulu Güç Büyüklüğü 50 MW Olan Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Çalışabilecek İstihdam Miktarı

	Doğrudan	Dolaylı	Uyarılmış	Toplam
Rüzgâr	281	413	172	866
Güneş	582	375	273	1229
Hidro (baraj)	1305	330	452	2086
Biokütle	180	136	97	413
Jeotermal	314	174	91	579

Kaynak : NREL, JEDI (2016), Karaca vd (2017).

Tablo 27’de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji yatırımlarının istihdam etkisinin büyüklüğü sırasıyla hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir. Tablo 50 MW’lık ek bir yenilenebilir enerji yatırımının ekonomide ne kadar doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam meydana getireceğini göstermektedir.

2023 yenilenebilir enerji yatırım hedeflerine doğru ilerlerken bu yatırımların istihdam üzerindeki etkilerini ölçmek gerekir. Amerika Ulusal Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilip ücretsiz bir şekilde kullanıma sunulan JEDI (Jobs and Economic Development Impact) programı ilave yenilenebilir enerji yatırımlarının malzeme, üretim süreci ve inşaat kurulum süreci ile tesisin işletilmesi süreçlerinde doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam sayılarını hesaplamaktadır.

Tablo 28. İlave Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının İstihdam Etkisi

Enerji Türü	Kurulu Güç MW	Türkiye 2023 Hedefi MW	2023 Hedefi İçin Fark	Katsayı	Türkiye İçin Oluşabilecek İstihdam			
					Doğrudan	Dolaylı	Uyarılmış	Toplam
Rüzgâr	7.078,10	20.000,00	12.921,90	258,43	72.618,83	106.731,59	44.449,96	223.800,38
Güneş	5.316,10	5.000,00	x	x	x	x	x	x
Biokütle	659,00	1.000,00	341,00	6,82	1.227,60	927,52	661,54	2.816,66
Jeotermal	1.302,50	1.000,00	x	x	x	x	x	x
Hidrolik	28.391,40	36.000,00	7.608,60	152,17	198.584,46	50.216,76	68.781,74	317.582,96
TOPLAM İSTİHDAM								<u>544.200,00</u>

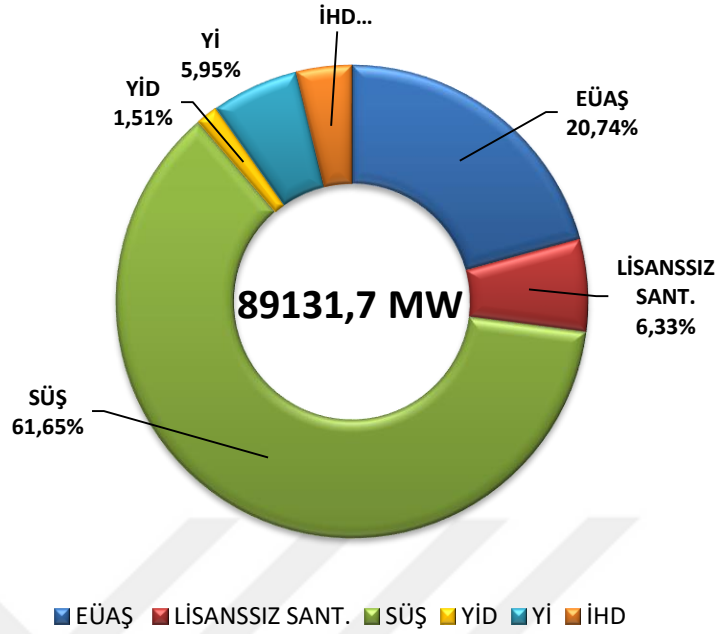
Kaynak: NREL, JEDI, 2016, TEİAŞ (2019a), Karaca vd (2017) verileri derlenerek hesaplanmıştır

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. ve JEDI verileri yardımıyla Türkiye’de 2023 hedefleri doğrultusunda yapılacak yatırımların istihdam üzerindeki etkisi hesaplanıp Tablo 28’de gösterilmiştir. 2023 hedefine güneş ve jeotermal enerjisinde ulaşılmıştır. Rüzgâr, biokütle ve hidrolik enerjide toplam 20.871 MW’lık ilave yatırım ile bu hedefe ulaşılabilir. Bu yatırımların yapılması halinde, rüzgâr enerjisi 72 bin doğrudan 106 bin dolaylı 44 bin uyarılmış olmak üzere 223 bin civarında istihdam meydana getirecektir. Biokütle enerjisi 1227 doğrudan 927 dolaylı, 661 uyarılmış olmak üzere 2816 ek istihdam oluşturacaktır. İstihdama en çok katkısı olacak hidrolik enerji ise 198 bin doğrudan, 50 bin dolaylı, 68 bin uyarılmış olmak üzere toplam 317 bin istihdam meydana getirecektir. Bu üç yenilenebilir enerji kaynağının toplam istihdam oluşturma sayısı 544.200 gibi yüksek bir rakam çıkmaktadır.

Türkiye’de toplam işsiz sayısı 4.7 milyon civarındadır. İşsizlik beraberinde birçok sosyo-ekonomik problemi getirmektedir. Yarım milyondan fazla istihdam oluşturmaya beklenen bir alan Türkiye için büyük bir fırsattır. 2023 hedefleri Türkiye’deki yenilenebilir enerji potansiyelinin tamamını kapsamamaktadır. Fosil yakıtların ithal yolla elde edilip cari açığı artırarak üretim yapıldığı göz önüne alındığında, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerjinin payını 2023 hedeflerinin de üzerinde tekrar revize etmek, işsizlik sorunumuzu çözümüne katkı sunabilir, cari açığımızı azaltabilir ve halk sağlığı üzerinde pozitif etkiler meydana getirebilir.

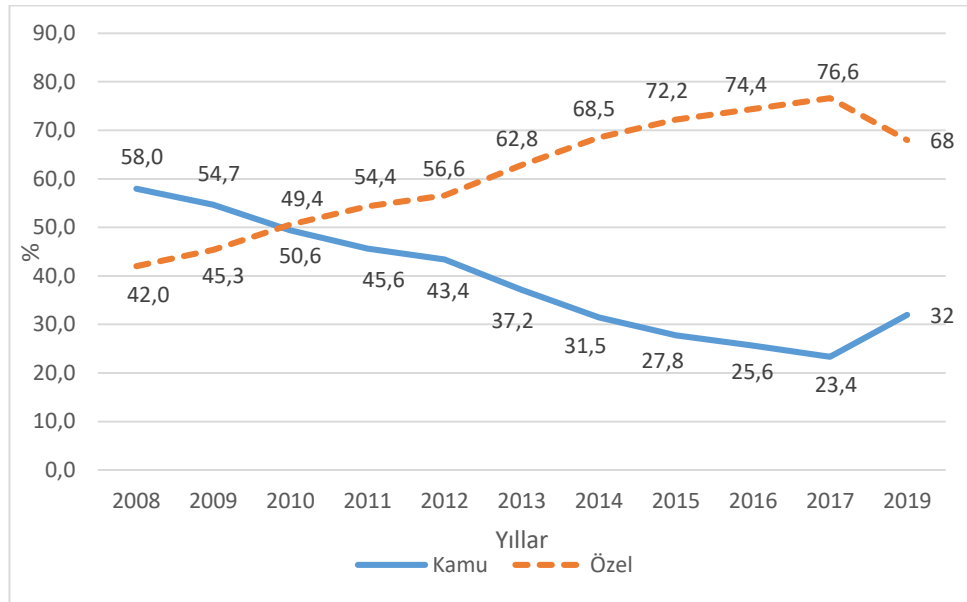
2.5. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji İle İlgili Kamu Yatırımları ve Teşvikler

Türkiye’de elektrik üretiminin kuruluşlara göre dağılımı Şekil 35’te gösterilmiştir. Buna göre üretimin yüzde 61’i serbest üretim yapan şirketler tarafından, yüzde 20,7’si Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na bağlı Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü (EÜAŞ) tarafından, yüzde 6,3’ü lisanssız santrallerde, yüzde 5,9’u yap işlet modeli ile yüzde 1,5’i yap işlet devret modeli üretilmektedir.



Şekil 35. 2019 Yılı Türkiye’de Elektrik Üretiminin Kuruluşlara Göre Dağılımı

Kaynak: TEİAŞ (2019a), Kurulu Güç İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>
 İHD: İşletme Hakkı Devir Yİ: Yap İşlet YİD: Yap İşlet Devret SÜŞ: Serbest
 Üretim Şirketi OTOP: Otoproduktörler



Şekil 36. Yıllar İtibariyle Kurulu Gücün Kamu ve Özel Sektöre Göre Dağılımı

Kaynak: TEİAŞ (2019a), Kurulu Güç İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>

Şekil 36’da 2007 yılından itibaren elektrik üretiminde kamu ve özel sektör dağılımı gösterilmiştir. 2007’de yüzde 60’a yakın bir kamusal üretim söz konusuken bu oran yapılan özelleştirme faaliyetleri ve verilen yeni lisanslarla yüzde 32’lere kadar gerilemiştir. Özel sektör elektrik üretimi yüzde 68 gibi yüksek bir oranda gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji payı 2007’de yüzde 19 düzeyindeyken günümüzde yüzde 48 civarındadır. Bölüşümün bu şekilde olmasının yanında yenilenebilir enerjinin payının yükselmesi olumlu bir gelişmedir.

Ülkemizde yenilenebilir enerji payının artırılmasına yönelik bir takım yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Aşağıda bunların bir kısmından bahsedilecektir.

2.5.1. 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanununun Arz Güvenliğinin Sağlanmasına Yönelik Düzenlemeler

6446 sayılı kanunun arz güvenliğini sağlamaya yönelik düzenlemelerinden bir kısmı yenilenebilir enerji yatırımlarını kapsamakta ve teşvik etmektedir.

“ GEÇİCİ MADDE 4 – (1) Kısa dönemde gerekli arz kapasitesinin yeterli bir yedekle oluşturulması amacıyla, 31/12/2015 (31/12/2020) tarihine kadar ilk defa işletmeye girecek üretim lisansı sahibi tüzel kişilere, aşağıdaki teşvikler sağlanır. Bu sürenin beş yıla kadar uzatılmasına Cumhurbaşkanı yetkilidir.

a) Üretim tesislerinin, işletmeye giriş tarihlerinden itibaren beş yıl süreyle iletim sistemi sistem kullanım bedellerinden yüzde elli indirim yapılır.

b) Üretim tesislerinin yatırım döneminde, üretim tesisleriyle ilgili yapılan işlemler harçtan ve düzenlenen kâğıtlar damga vergisinden müstesnadır.

(2) Orman vasıflı olan veya Hazinesin özel mülkiyetinde ya da Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan taşınmazlardan; 5346 sayılı Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri ile Bakanlık tarafından düzenlenen bir maden işletme ruhsatı ve izni kapsamında, 4/6/1985 tarihli ve 3213 sayılı Maden Kanununun 2 nci maddesinin IV. Grup (b) bendinde yer alan madenlerin girdi olarak kullanıldığı elektrik üretim tesislerinde; tesis, ulaşım yolları ve şebeke bağlantı noktasına kadar ki enerji nakil hattı için kullanılacak olanlar hakkında Orman ve Su

İşleri Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilir, kiralama yapılır, irtifak hakkı tesis edilir veya kullanma izni verilir.

(3) İkinci fıkrada belirtilen amaçlarda kullanılacak olan taşınmazların 25/2/1998 tarihli ve 4342 sayılı Mera Kanunu kapsamında bulunan mera, yaylak, kışlak ile kamuya ait otlak ve çayır olması hâlinde, 4342 sayılı Kanun hükümleri uyarınca bu taşınmazlar, tahsis amacı değiştirilerek Hazine adına tescil edilir. Bu taşınmazlara ilişkin olarak, Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında kiralama yapılır veya irtifak hakkı tesis edilir.

(4) Bu Kanunun yayımı tarihi itibarıyla işletmede olanlar dâhil 31/12/2020 (31/12/2025) tarihine kadar işletmeye girecek olan 5346 sayılı Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri ile bu Kanunun yayımı tarihinden itibaren 31/12/2020 (31/12/2025) tarihine kadar işletmeye girecek olan Bakanlık tarafından düzenlenen bir maden işletme ruhsatı ve izni kapsamında 3213 sayılı Kanunun 2 nci maddesinin IV. Grup (b) bendinde yer alan madenlerin girdi olarak kullanıldığı elektrik üretim tesislerinden, ulaşım yollarından ve lisanslarında belirtilen sisteme bağlantı noktasına kadarki TEİAŞ ve dağıtım şirketlerine devredilecek olanlar da dâhil enerji nakil hatlarından, ilgili kurum tarafından verilmiş izin tarihinden itibaren yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde seksen beş indirim uygulanır. Bunlardan Orman Köylüleri Kalkındırma Geliri ile Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Geliri alınmaz. Bu Kanunun yayımı tarihinden önce kamu kurum veya kuruluşları tarafından elektrik üretim tesisi yapılmak amacıyla ihalesi yapılan ya da sözleşmeye bağlanan maden sahalarında kurulmuş ve kurulacak tesisler bu fıkrada yer alan indirim ve istisnalardan faydalanamaz. Bu fıkra kapsamındaki sürenin beş yıla kadar uzatılmasına Cumhurbaşkanı yetkilidir.”

Kanuna göre yapılacak yenilenebilir enerji tesislerinin açılışından itibaren 5 yıl süreyle iletim sistemleri üzerinden kullanım bedeli alınmayacak olup yapım aşamasında harç ve damga vergisi gibi vergisel düzenlemelerden muaf tutulacakları belirtilmiştir. Özellikle iletim hatlarının kurulmasında karşılaşılabilecek güçlüklerin önüne geçebilmek için ikinci bentteki düzenleme ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı ve Maliye Bakanlığı

yetkilendirilmiştir. Önce 2020 yılına kadar daha sonra 2025 yılına kadar işletmeye girecek tesislerin enerji nakil hatlarından, ilgili kurum tarafından verilmiş izin tarihinden itibaren yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde seksen beş indirim uygulanmaktadır.

2.5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun (5346 sayılı Kanun)

5346 sayılı kanunun 3. maddesinin 11. bendine göre yenilenebilir enerji kaynakları aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir;

“Rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı 15 km²’nin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarını” kapsamaktadır.

Kanunun 6. maddesinin A bendine göre; *“yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten gerçek ve tüzel kişiler; ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisini dağıtım sistemine vermeleri halinde, I sayılı Cetveldeki fiyatlardan on yıl süre ile faydalanabilir. Bu kapsamda dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisinin perakende satış lisansını haiz ilgili dağıtım şirketi tarafından satın alınması zorunludur. İlgili şirketlerin bu madde gereğince satın aldıkları elektrik enerjisi, söz konusu dağıtım şirketlerce YEK Destekleme Mekanizması kapsamında üretilmiş ve sisteme verilmiş kabul edilir.”*

Maddenin başında bahsedilen I sayılı cetvel aşağıda gösterilmiştir. Buna göre kWh başına hidrolik ve rüzgâr enerjisine 7,3 dolar, jeotermal enerjiye 10,5 dolar, biyokütle ve güneş enerjisine 13,3 dolar alım garantisi verilmektedir.

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
Hidroelektrik Üretim Tesis	7,3
Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	7,3
Jeotermal Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	10,5
Biyokütle Dayalı Üretim Tesis	13,3
Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	13,3

Kanunun 6. maddesinin b bendinde yenilenebilir enerji yatırımlarında üretim tesislerinin kurulum aşamasında yerli ürün kullanımını teşvik etmektedir. Maddeye göre;

“Lisans sahibi tüzel kişilerin bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ve 31/12/2015 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için, I sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; bu Kanuna ekli II sayılı Cetvelde belirtilen fiyatlar ilave edilir.”

Buna göre her bir yenilenebilir enerji teknolojisi için ayrıntılı bir liste aşağıda gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Aşağıda belirtilen kısımlarından hangisi için yerli ürün kullanılmışsa karşısındaki miktar kWh başına I sayılı cetvelde belirtilen fiyatın üstüne eklenmektedir.

II (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		Sayı	Cetvel
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)	
A- Hidroelektrik Üretim Tesis	1- Türbin	1,3	
	2-Jeneratör ve Güç Elektroniği	1	
B- Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	1- Kanat	0,8	
	2-Jeneratör ve Güç Elektroniği	1	
	3-Türbin Kulesi	0,6	
	4-Rotor ve nasel guruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç)	1,3	
C- Fotovoltaik Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	1-PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8	
	2-PV modülleri	1,3	
	3-PV modülünü oluşturan hücreler	3,5	
	4-İnvertör	0,6	
	5-PV modülü üzerine güneş ışını odaklayan malzeme	0,5	
D- Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	1-Radyasyon toplama tüpü	2,4	
	2-Yansıtıcı yüzey levhası	0,6	
	3-Güneş takip sistemi	0,6	
	4-Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3	
	5-Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4	
	6-Stirling motoru	1,3	
	7-Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6	
E- Biyokütle Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	1-Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8	
	2-Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4	
	3-Gazlaştırma ve gaz temizleme gurubu	0,6	
	4-Buhar veya gaz türbini	2	
	5-İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9	
	6.Jeneratör ve güç elektroniği	0,9	
	6-Jeneratör ve Güç Elektroniği	0,5	
7-Kojenerasyon sistemi	0,4		
F- Jeotermal Enerjisine Dayalı Üretim Tesis	1-Buhar veya gaz türbini	1,3	
	2-Jeneratör ve güç elektroniği	0,7	
	3-Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7	

2.5.3. 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun

6094 sayılı bu Kanun, mevcut Yenilenebilir Enerji Kanununa çeşitli yenilikler ve teşvikler getirmiştir (Yılmaz ve Hotunluoğlu, 2015, s. 81);

Destek sistemi 31.12.2015' ten önce işletmeye alınan yenilenebilir enerji tesisleri için işlem görürken Aralık 2013'te Bakanlar Kurulu kararı ile 31.12.2020 yılına kadar süresi uzatılmıştır

Her bir yenilenebilir enerji kaynağı için ayrı ayrı sabit fiyat garantileri getirilmiştir. Gerçek ve tüzel kişiler, ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjilerini dağıtım sistemine göndermeleri halinde I sayılı cetveldeki fiyatlardan 10 yıl süre ile yararlanmaktadırlar.

Lisans sahibi gerçek ve tüzel kişilerin, 31.12.2020 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde yararlanılan mekanik veya elektro- mekanik aksamın yurt içinde üretilmesi halinde, bu tesislerden elde edilip iletim ve dağıtım sistemine gönderilen elektrik enerjisi için, I sayılı cetvelde sunulan fiyatlara, II sayılı cetvelde yer alan yerli katkı ilavesi eklenmektedir.

2020 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinden (Arazi kullanım teşvikleri), yatırım ve işletme dönemlerinin ilk 10 yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde 85 indirim uygulanmaktadır.

2.6. Türkiye’de Enerji Üretimi Kaynaklı Negatif Dışsallıkların Azaltılması ve Sosyal Yararın Artırılması İçin Uygulanabilecek Kamu Maliyesi Politikaları

Ülkemizde enerji politikaları belirlenirken konunun sosyal ve çevresel yönü çoğu kez ihmal edilmiştir. Bu durum yıllar içinde ucuz enerji üretiminden kaynaklı pahalı bedeller ödenmesine neden olabilmektedir. Örneğin yukarıda anlatıldığı gibi, verilen fosil yakıt teşviklerinin on katı kadar sağlık maliyeti Türkiye gibi gelişmekte olan bir ekonomi için büyük bir bedeldir. Ancak en büyük sosyal maliyet insan sağlığı ve çevre üzerindeki kalıcı zararlardır. Bunların telafisi çok zordur. Yenilenebilir enerji yatırımlarının

artırılması bu noktada hayati bir öneme sahiptir. Bunu yanında çeşitli kamusal politikalarla da bu sürecin desteklenmesi gerekir. Aşağıda ülkemizin çevre politikalarına olumlu katkıda bulunabilecek kamusal politikalara değinilecektir.

2.6.1. Çevreye Duyarlı Bütçeleme Anlayışı

Çevreye duyarlı bütçeleme tekniği özellikle yerel yönetimler tarafından kullanılmaya uygun bir tekniktir. Bu yöntem bilinen finansal bütçeleme teknikleri ile aynı olmakla beraber çevreyi parasal bir değer olarak ele almamakta, çevresel kaynakların tüketimi ve korunması konularına yoğunlaşmaktadır. Klasik bütçeleme anlayışı ekonomik etkinliğe odaklanırken, çevreye duyarlı yeşil bütçeleme anlayışı minimum çevresel ve sosyal maliyetle maksimum insani faydayı elde edebilmeyi amaçlamaktadır. Bu yolla olumsuz dışsallıklar hesaba katılabilmekte ve bunların azaltılmasına imkân tanıyacak politikalar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Çevreye duyarlı bütçeleme sisteminde yerel yönetimler doğal kaynakların kullanımı ve tüketimi için bütçe sınırlarını ve çevre kalitesi ile ilgili hedefleri belirleyen dönemsel çevre bütçeleri oluşturmaktadırlar. Yıl içinde uygulama takip edilmekte ve yılsonunda sonuçlar rapor halinde kamuoyu ile paylaşılmaktadır (Kılıçer, 2016, s. 41).

Toprak, su, hava gibi doğal kaynaklar öncelikle yerel bir kaynak olarak ele alınması çevresel problemlerin çözümünde önemli bir adımdır. Konuya sürekli ulusal veya küresel bir problem olarak bakılması sorunun çözümünün başka yerlere havale edilmesi anlayışına neden olmaktadır. Elbette çevre küresel kamusal bir mal olarak ele alınmalı ve bu yönde uluslararası adımlar atılmalıdır. Ancak yerel yönetimler bir bölgenin sorunlarına ve çözüm yollarına en yakın olan kurumlardır. Yerel yönetimlerin bütçelerini çevreye duyarlı halde tasarlamak gelecek nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak adına yerel düzeyde farkındalığı artırıp sorunun çözümüne önemli katkı sunacaktır.

2.6.2. Çevre Eğitiminin Uygulanması

Çevre eğitimi; bireyin ve halkın çevrelerinin bilincini kazanacakları, bugünün ve geleceğin çevresel sorunlarını, birey ve topluluk olarak çözüme gerekli azim ve sebatla eylemde bulunabilmeleri için bilgiler, değerler, beceriler ve deneyimler edinebilecekleri kalıcı bir eğitim süreci olarak tanımlanabilir. Çevre eğitiminde, çevre

sorunlarının insan-doğa etkileşimi bağlamından kopuk şekilde ele alınması bir boşluk doğurmaktadır. Etkili bir çevre eğitiminde, çevre sorunları bu anlamda insan-doğa etkileşiminin kalıcı bir sonucu olarak ele alınmalı, hangi faktör ve süreçlerin ne tür çevre sorunlarına yol açtığı bütüncül bir çerçeve ile sunulmalıdır. Bütün çevre eğitimi süreçlerinin temelinde bireylerin davranışlarında değişim meydana getirme çabası vardır. Belirli bir kavrayışa ve bilinç düzeyine ulaşan bireylerin sorumluluklarının farkına varması ve gerekli olduğu yerlerde inisiyatif almaları beklenir. Bu bağlamda, çevre eğitimi süreçlerinin aktif katılım sağlanarak yürütülmesi gerekir (Özdemir, 2016, s. 8).

Çevre eğitimi politikaları belirlenirken dikkat edilmesi gereken bir konu çevre eğitiminin ömür boyu devam eden bir süreç olduğudur. Bireylere aktif sorumluluk yüklenip aktif katılımın sağlanması gerekir. Yerel ve küresel boyutların aynı anda anlatılması gerekir. Çevre eğitimi ile duyarlılık, farkındalık, anlayış, eleştirel düşünme ve problem çözme becerilerinin gelişmesi sağlanmaya çalışılır (Erdoğan, 2016, s. 23).

Çevre eğitimi konusunda politika yapıcılar temel eğitim süreçlerinde vatandaşlara verilecek eğitim hususunda hassas davranmalıdırlar. İlkokuldan itibaren çevreye duyarlı bir nesil yetiştirilebilmek bir ülkenin geleceği için önemli bir beşeri sermaye kaynağı olabilir. Çevre eğitiminin çok yönlü bir eğitim olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Sadece çevreyi kirletmemek çevre eğitiminin bir parçasıdır. İsrafin önlenmesi, çevre dostu mal ve hizmetlere yönelmek, çevre konusunda toplumsal farkındalıklar oluşturabilmek bireylerin tüm eğitim hayatları boyunca geniş yelpazede çevre eğitimleri alması gerekir. Dolayısıyla çevre eğitimi disiplinler arası bir alan olduğu gibi, uygulamada da birden fazla kurumun koordineli çalışması ile başarıya ulaşabilir.

2.6.3. Geri Dönüşüm Faaliyetlerinin Artırılması

Atıklar ekonomik ve çevresel yönden ele alınması gereken bir konudur. Katı atık, ambalaj atıkları, tıbbi atıklar, kimyasal atıklar gibi farklı çeşitleri olan ve tüketim faaliyetlerinin artmasıyla paralel olarak artan bu atıkların toplanması, taşınması ve yok edilmesi çevre sorunları açısından oldukça önemlidir. Atıkların toplanması, taşınması, depolanması gibi süreçler önemli maliyetler oluşturabilmektedir. Bu maliyetleri en aza indirmek ve çevreye daha az zarar vermek için geri dönüşüm faaliyetleri kapsamında bu

süreçleri yönetmek sosyo ekonomik faydayı arttıran bir durumdur (Gündüzalp ve Güven, 2016, s. 15).

Dünyada geri dönüşüm faaliyetlerinin artırılması çevre sorunlarının çözümüne önemli katkıda bulunmaktadır. Geri dönüşüm faaliyetleri küresel olarak her yıl 10,7 milyon varil petrol veya beş nükleer enerji santralinin ürettiği elektrik miktarına denk gelecek enerji tasarrufu sağlamaktadır (UNEP, 2011, s. 246).

Belediyeler tarafından yürütülen geri dönüşüm projelerinin başarılı bir şekilde yürütülmesi için yasal düzenlemelerin etkin bir şekilde uygulanması ve halkın geri dönüşüm konusunda detaylı bir şekilde bilgilendirilmesi gerekir. Burada özellikle belediyelerin karşılaştığı bürokratik engellerin kaldırılması merkezi hükümetin görevidir (Çoban ve Kılıç, 2009, s. 129).

Geri dönüşüm faaliyetleri ülke ekonomisine de önemli katkı sağlar. Yeryüzüne bırakıldığı takdirde 3000 yılda yok olacağı tahmin edilen plastiğin bir tonu ile geri dönüşüm faaliyeti ile 15.000 kWh enerji tasarrufu sağlanabilir. Geri dönüşüm ile ülkemize ithal edilen ve cari açığın artmasına neden olan malzemelerin alımı azaltılabilir. Alüminyum ambalaj ve atıkların geri dönüşümü oldukça ekonomiktir. Çünkü alüminyum malzemelerin geri dönüşüm faaliyetleri sonrasında kalitesinde herhangi bir kayıp yaşanmaz. Ayrıca alüminyum geri kazanmak demek aynı zamanda sera gazı emisyonunu azaltmak demektir (Kocaeren, 2016, s. 315).

Geri dönüşüm faaliyetlerini yürütmeye yerel yönetimlere önemli görevler düşmektedir. Ancak halk bu konuda gerekli duyarlılığa sahip değilse bu tür faaliyetlerden tam verim almak zordur. Daha önce değinilen çevre eğitimi konusu geri dönüşüm faaliyetleriyle de doğrudan bağlantılı bir faaliyettir. Geri dönüşüm faaliyetlerinden istenen neticenin alınması için etkin bir çevre eğitimi politikasının yürütülmesi gerekir.

2.6.4. Fosil Yakıt Teşviklerinin Azaltılması ve Yeşil Bina Teşviklerinin Artırılması

Türkiye petrol, doğal gaz ve kömüre yıllık ortalama 1.9 milyar dolar teşvik sağlamaktadır. Ülkemizde kömürle çalışan termik santrallerin yıllık ortalama 2,9 ila 3,6 milyar avro sağlık maliyeti oluşturduğunu kömür kullanımının sağlık harcamalarına

etkisi başlığında anlatılmıştı. Tüm fosil kaynakların ülkemizde neden olduğu hava kirliliğinin ise oluşturduğu sağlık maliyetinin 19,4 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir.

Fosil temelli bir enerji politikası yürütüp bunları teşvik etmek uzun vadede önemli sağlık maliyetleri oluşturmaktadır. Politika yapıcılar enerji politikalarını belirlerken fosil yakıt teşvik konusunu sosyo ekonomik açıdan ele alıp bu alanlara verilen teşvikleri çevre dostu alanlara kaydırmalıdır. Yeşil binalar gibi uygulamalar teşvik edilip, hükümet bu uygulamalar cazip hale getirmeye çalışmalıdır.

Ülkemizde toplam enerji tüketimi içinde konutların payı yüksektir. Binaların yapımında ve kullanılmasında hava kalitesi, doğal aydınlatma, sıcaklık ve nem kontrolü, atık yönetimi gibi faktörlerin çevreye duyarlı bir şekilde tasarlanması “yeşil bina” kavramının gelişmesine neden olmuştur(Şentürk, 2014, s. 100). Ancak bu tarz binaların yapılmasını piyasanın kendi işleyişi içinde beklemek anlamsızdır. Hükümetler yeşil binalar teşvik etmeli, yeşil binalarla ilgili standartları oluşturmalıdır. Özellikle ısı yalıtımı konusu konutlarda enerji israfını önleyeceğinden istisnasız tüm konutlar için uygulanmalıdır. Ülkemizde bu konuda yasal düzenlemeler olmakla birlikte denetimlerdeki yetersizlikler ve yerel yönetimlerin popülist uygulamaları sonucu yasaların dışına çıkılabilmektedir.

2.6.5. Enerji Verimliliğinin Artırılması ve İsrafının Önlenmesi

Enerji verimliliği uygulamada çok boyutlu ele alınabilecek bir konudur. Örneğin; binalarda ısı yalıtımının modern bir şekilde uygulanması, ulaşımda yakıt verimliliği, sanayide enerji bakımından verimli makinelerin kullanılması, konut ve sokak aydınlatmalarında verimli ampullerin kullanılması tüketicilerin yaşam şartları, kalite ve performanstan ödün vermeden daha az enerji ile aynı çıktıyı elde etmelerine olanak sağlar. Enerji tasarrufu ise tüketiciler tarafından alınacak önlemler ile kullanılan enerji miktarında yüzde 10-20 arası bir düşüşü ifade etmektedir (Topal ve Özoğlu, 2018, s. 33).

Geri dönüşüm sırasında endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlanabilir. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu kutular direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünden bu metallerin üretimi

için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden yüzde 95 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kâğıdın yeniden işleme tabi tutulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın yüzde 50'si kadardır. Bunlar gibi cam ve plastik ürünlerin geri dönüşümünden de önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilir (Kocaeren, 2016, s. 312).

Enerji verimliliği artırılırken dikkat edilmesi gereken bir konu enerji tüketimini artmamasıdır. Rebound etkisi olarak adlandırılan durumda, artan enerji verimliliğine bağlı olarak, enerji fiyatları düşmekte ve bunun bir sonucu olarak ortaya çıkan iktisadi kazançları daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır (Kılıaraslan ve Dumrul, 2019, s. 1). Bundan dolayı ucuz enerji bir politika hedefi olmamalı, bunun yerine enerjide doğru fiyatlandırma insan ve evre sağlığı açısından daha faydalı olabilir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE İÇİN EN İDEAL YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ KARMAŞIK ORANSAL DEĞERLENDİRME (COPRAS) YÖNTEMİ İLE TESPİTİ

Devletlerin enerji politikaları belirlenirken fosil kaynak temelli üretim ve yenilenebilir enerji temelli üretim arasında tercih verildikten sonra ortaya çıkan diğer bir problem, hangi yenilenebilir enerji kaynağına ne kadar pay ayrılarak yatırım yapılması gerektiğidir. Bu problemin çözümü için kullanılabilecek yöntemlerden biri çok kriterli karar verme yöntemleridir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri somut veya soyut ölçütlere veya niteliklere göre potansiyel karar seçeneklerinden en iyisini seçmek, sıralamak veya sınıflandırmak için ilgili yöntemlerin ve işlemlerin çalıştırılmasıdır (Özbek, 2017a, s. 24). Türkiye için en ideal yenilenebilir enerjinin tespiti için aşağıda çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan “Complex Proportional Assessment” (COPRAS) yöntemi kullanılacaktır.

3.1. COPRAS Yöntemi

Karmaşık Oransal Değerlendirme anlamına gelen Complex Proportional Assessment (COPRAS) metodu 1996’da Zavadskas ve Kaklauskas tarafından Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesinde geliştirilen, kalitatif ve kantitatif kriterleri değerlendirmeye yardımcı olan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Ölçütlerin maksimizasyon ve minimizasyon yönlü oluşlarını dikkate alarak karar seçeneklerinin sıralanması ve değerlendirilmesi için çok uygun bir yöntemdir (Özbek, 2017b, s. 70).

COPRAS yöntemi, karar seçeneklerinin önem derecesi ve önceliğinin doğrudan ve oransal bağımlılığından hareket etmektedir (Zavadskas vd. 2004, s. 348). Karşılaştırılan karar seçeneklerinin önemi, alternatiflerin özelliklerinin pozitif veya negatif olma durumuna göre belirlenir. Ölçüt değerleri, faktör değerlendirilmesinde maksimizasyon yönlü ölçütün üst düzeye çıkartılması ve minimizasyon yönlü ölçütlerin minimum seviyeye indirilmesi için kullanılır (Özbek, 2017a, s. 243).

3.1.1. Yöntemin Avantajları

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin farklı versiyonları vardır. Basit ağırlıklandırma, ağırlıklı çarpım yöntemi, SWARA, Analitik Hiyerarşi Süreci, TOPSİS, VIKOR gibi farklı türde analiz yöntemleri ile birden fazla alternatifler ile en iyi tercih analiz edilebilmektedir. Karmaşık Oransal Değerlendirme olarak adlandırılan COPRAS yöntemi de bunlardan biridir. COPRAS yönteminin çalışmada tercih edilmesinde bir takım avantajları göz önünde bulundurulmuştur.

Aşağıda COPRAS yönteminin bir takım avantajlarına değinilmiştir (Mullier vd., 2013, s. 274) ;

- Bu yöntem daha anlaşılır ve kullanımı kolaydır. AHP ve TOPSIS gibi diğer çok kriterli karar verme yöntemleriyle karşılaştırıldığında düşük bir hesaplama süresine sahiptir. Bu nedenle, bu yöntem ilgili taraflarca kolayca uygulanabilir.
- COPRAS, alternatiflerin eksiksiz bir sıralamasını sağlayabilir.
- COPRAS hem nicel hem de nitel ölçütleri değerlendirme yeteneğine sahiptir.
- COPRAS, değerlendirme sürecinde ayrı ayrı değerlendirilebilecek hem olumlu hem de olumsuz değerlendirme kriterlerini hesaba katabilir. Diğer bazı yöntemler, negatif kriterlerin pozitif olanlara dönüştürülmesini gerektirmektedir. Bu durum süreci daha karmaşık ve potansiyel kullanıcılar için zaman alıcı hale getirmektedir.
- COPRAS yönteminin önemli bir diğer özelliği karar seçeneklerini birbirleri ile karşılaştırarak, bir alternatifin diğerlerine göre yüzde olarak daha iyi veya daha kötü olduğunu ortaya koyabilmesidir.

3.1.2. COPRAS Yönteminin Kullanım Alanları

COPRAS yönteminin literatürde çok farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Aşağıdaki tabloda bunlardan bazılarına yer verilmiştir.

Konu	Yazar
Finansal Oran Analizi Değerlendirilmesi	Ömürbek ve Eren (2016)
Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Değerlendirilmesi	Bayrakçı ve Aksoy (2019)
Depolama Hizmet Sağlayıcılarının Değerlendirilmesi	Çakır ve Karabıyık (2017)
Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi	Sarıçalı ve Kunakcı (2016)
Optimal Enerji Kaynağı Seçimi	Karaca vd., (2017)
Müteahhit Firma Seçimi	Kaklauskas vd., (2006)
Yatırım Proje Alternatif Seçimi	Popovic, vd, (2012)
Petrol Üreten Şirketlerin Performans Değerlendirilmesi	Rabbani vd., (2014)

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan COPRAS yöntemi çok farklı alanlarda alternatifler arasında en iyisine karar vermede kullanılan yaygın bir yöntemdir.

3.1.3. COPRAS Yöntemi İşlem Adımları

COPRAS yönteminin işlem adımları 6 basamaktan oluşmaktadır. Ağırlıkların normalize değerler ile çarpılmasını da içeren 6 adım aşağıda sıralanmıştır (Zavadskas vd., 2004; Kaklauskas vd. 2005; Özbek, 2017a).

1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması. Karar matrisi (X) karar vericiler tarafından sürecin başlangıcında oluşturulan matristir. Karar matrisinin satırlarında sıralanmak istenen karar seçenekleri, sütunlarında ölçüt olarak adlandırılan değerlendirme faktörleri yer alır. Karar matrisi aşağıdaki 1 numaralı eşitlik ile gösterilmiştir. Bu eşitlikte i , karar seçeneklerini, j , ölçütleri göstermektedir. X_{ij} burada i alternatifinin j kriterine göre değerini göstermektedir.

$$(1) \quad [X_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

2. Adım: Karar Matrisinin Normalize Edilmesi: (2) numaralı denklem kullanılarak karar matrisi normalize edilir. Karar matrisinin her bir elemanı sütunun toplam değerine bölünerek normalize edilmektedir.

$$(2) \quad d_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad j=1,2,\dots,n$$

Analizimizde bu formülü kullanırken, i yenilenebilir enerji alternatifini, j kriterleri ifade etmektedir. Örneğin d_{ij} , i enerji alternatifinin j kriterine göre değerini göstermektedir. Ayrıca m , karşılaştırılacak alternatiflerin sayısını gösterirken, n kriterlerin sayısını göstermektedir.

3. Adım: Ağırlıklı Normalize Değerlerin Toplanması: İkinci adımdaki formülün uygulanması ile normalize edilmiş matris elde edilmektedir. Minimizasyon yönlü ölçütlere göre hesaplanan S_{-i} değeri ne kadar küçük olursa amaca erişmek o kadar yüksek olmaktadır. Bu kriterler “faydasız kriterler” diye adlandırılır. Maksimizasyon yönlü ölçütlere göre hesaplanan S_{+i} değeri ise ne kadar büyük olursa amaca erişmek o kadar yüksek olmaktadır. Bu kriterler “faydalı kriterler” olarak adlandırılmaktadır. Özetle karar matrisindeki faydalı kriterlerin yüksek değerleri olması istenirken, faydasız kriterlerin

düşük değerli olmaları istenmektedir. Karar matrisindeki i alternatifi için satır boyunca yer alan faydalı kriterler (3) numaralı denklem yardımıyla toplanır. Faydasız kriterler ise (4) numaralı denklem ile toplanır.

$$(3) \quad S_{+i} = \sum_{j=1}^o d_{ij} \quad (\text{Faydalı Kriterler}) \quad S_{+i}$$

$$(4) \quad S_{-i} = \sum_{j=o+1}^n d_{ij} \quad (\text{Faydasız Kriterler}) \quad S_{-i}$$

4. Adım. Alternatiflerin Göreceli Öneminin Hesaplanması: Karşılaştırılan faydalı ve faydasız kriterlerin göreceli önem değerleri (5) numaralı formül ile hesaplanır.

$$(5) \quad Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{-i}}{\left(S_{-i} * \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{-i}} \right)}$$

5. Adım: Performans Skorunun Bulunması: 5 numaralı formül yardımıyla göreceli önem değerleri hesaplandıktan sonra (6) numaralı formül yardımıyla performans skorları bulunur. Burada her bir alternatifin göreceli önem değeri, aralarındaki en büyük göreceli önem değerine bölünerek her alternatif için toplam performans skoru bulunur.

$$(6) \quad T_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right)$$

6. Adım: Payların Hesaplanması: Her bir alternatife ait toplam performans skoru, bütün alternatiflerin toplam performans skoruna bölünerek son kez normalizasyon yapılır. (7) numaralı formül kullanılarak yapılacak bu işlem ile hangi alternatife ne kadar pay ayrılacağı bulunur.

$$(7) \quad T_i^* = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^m T_i}$$

3.2. Türkiye İçin İdeal Yenilenebilir Enerji Kaynağının Tespiti

Enerji politikaları belirlenirken, devletlerin dikkat etmesi gereken bir takım hususlar vardır. Enerji yatırımlarının bir taraftan ekonomik olarak verimli olması gerekirken diğer taraftan çevreye uyumlu ve en az seviyede zararlı olmalıdır. Bunların göz ardı edilmesi halinde ekonomik bir büyüme elde edilirken kalkınma ve çevreye ilişkin kaynaklar uzun vadede büyük zarar görmektedir (Karaca vd, 2017, s. 117).

Yukarıdaki iki bölümde fosil temelli enerji üretim politikalarının gerek küresel anlamda gerekse ülkemiz açısından sürdürülebilir bir politika olmadığına değinilmişti. Fosil temelli enerji üretimi ülkemizde yüksek boyutlarda cari açığa neden olurken, çevreye verdiği zarar ve bunun bir sonucu olarak ciddi sağlık maliyetleri oluşturmaktadır. Milyonlarca vatandaşın sağlığı bozulmakta veya önemli ölçüde kalıcı hastalıklar ve erken ölümler gerçekleşmektedir. Hâlihazırdaki enerji politikalarımız tüm bu sorunları çözmekten uzaktır. Türkiye'nin fosil temelli enerji üretimi politikalarından vazgeçip hızla çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımlarını artırması gerekmektedir. Ancak burada şöyle bir sorun ortaya çıkmaktadır; hangi yenilenebilir enerji kaynağının ülkemiz açısından daha faydalı oluşunun tespiti ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında yatırım dağılımının ne olması gerektiğidir. Yukarıda teorik olarak değinilen COPRAS yöntemi bu sorunun çözümüne katkıda bulunmaktadır. Aşağıda üç temel bölümden oluşan teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel kriterler kullanılarak Türkiye için ideal yenilenebilir enerji kaynağı tespit edilerek kendi aralarında yatırım dağılımının en optimum hali hesaplanacaktır.

3.2.1. Teknik Kriterler

Teknik kriterler bölümünde yenilenebilir enerji yatırımlarına ilişkin 18 ayrı kıstas kullanılmıştır. Beş ayrı yenilenebilir enerji kaynağına ait kapasite faktörü, işletme ömrü gibi kriterlerin yanında, ülkemiz açısından mevcut durum ve gelecek dönemlerdeki hedefler ile dünya, Avrupa Birliği, OECD gibi büyük ekonomik yapılarda genel trendin hangi enerji kaynağına doğru gittiği de analize dahil edilmiştir.

Tablo 29. Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Teknik Kriterler

Kod	Kriter	Rüzgâr	Güneş	Biokütle	Jeotermal	Hidrolik
A1	OECD ülkelerinde 1990 Sonrası elektrik üretiminde yıllık büyüme oranı (%)	21,4	43,3	12,7	2,3	0,7
A2	OECD ülkelerinde toplam içinde yenilenebilir enerji üretim payları (%)	5,5	2	2,8	0,6	12,9
A3	Yenilenebilir ve atık kaynaklardan brüt elektrik üretimi (GWh) OECD Total	599403	218283	272077	51764	1469114
A4	Kurulu Güç (MW) TÜRKİYE (Lisanslı Lisansız)	6570,5	3942,1	580,7	1063,7	25867,8
A5	Türkiye 2023 Hedefi (MW)	20000	5000	1000	1000	36000
A6	Türkiye Elektrik Üretimi Kaynaklara dağılım GWh	11652,5	194	1758,2	3424	67145
A7	Türkiye Elektrik Üretimi Kaynaklara dağılım GWh (%)	5,67	0,35	0,8	1,76	24,58
A8	Kapasite Faktörü (%)	47	34	86	90	37
A9	Net Tesis Gücü (MW)	200	250	550	50	2080
A10	Ortalama Ömür (Yıl)	30	30	30	25	80
A11	Toplam Kapasite Dünya (MW)	513939	390625	109213	12894	1270496
A12	Toplam Kapasite Avrupa B. (MW)	169208	108881	35993	846	155170
A13	Elektrik Üretimine Katkısı Türkiye (%)	7,7	4,6	0,7	1,2	31,8
A14	Dünyada Son 10 yılda MW büyümesi	54793	48948	3756	287	8510
A15	Ön lisans Alan Santrallerin Kaynak Türlerine Göre Kurulu Güç Miktarları (MWe)	679,5	403	118,2	218,5	3855,7
A16	2021 yılı için planlanan kurulu güç miktarları MW	10303	8263	566	1047	32396

A17	Elektrik Üretimine Katkısı Dünya %	3,5	1	1,4	0,3	17,2
A18	20 ayrı Teknoloji İçin Teslim Süreleri (Yıl)	3	3	4	4	4

-A1, A2, A3: IEA (2017b)

-A4, A13: TEİAŞ (2018)

-A5, A6: ETKB(2016)

-A7: EÜAŞ (2016)

-A8, A9, A10, A18: NETL (2013), NREL (2010), IRENA (2018d).

-A11, A12: IRENA (2018c)

-A14: REN21(2017)

-A15, A16: TEİAŞ (2017b)

-A17: IRENA (2017c)

Yukarıdaki tabloda COPRAS metodu ile en ideal yenilenebilir enerji kaynağının tespiti için kullanılan teknik kriterler gösterilmiştir. OECD verilerine bakıldığında 1990 sonrası en fazla büyüme güneş enerjisinde yaşanırken, hali hazırdaki en fazla üretim hidrolik santrallerden elde edilmektedir. Avrupa Birliği ve dünya geneli verilerinde en fazla üretim hidrolik santrallerde gerçekleşirken, son on yılda en yüksek büyüme rüzgâr enerjisinde gerçekleşmiştir. Türkiye için bakıldığında gerek mevcut durum gerekse gelecek planlarında hidrolik enerjinin ön planda olduğu anlaşılmaktadır. Ancak genel olarak dünyaya baktığımızda hidrolik enerjiye göre daha yeni sayılabilecek büyük çaptaki rüzgâr ve güneş santrallerinin daha revaçta olduğu söylenebilir. Enerji santrallerinin ortalama ömürleri açısından hidrolik santrallerin oldukça yüksek bir ömre sahip olduğu söylenebilir. Kapasite faktörü, sistemin ürettiği enerjinin nominal güçte üretmesi gereken enerjiye oranı olarak tanımlanır. Burada en yüksek kapasite faktörüne sahip kaynağın jeotermal enerji olduğu görülmektedir.

3.2.2. Ekonomik Kriterler

Ekonomik kriterler yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyet bakımından etkinliğini ortaya koymaktadır. Bir ekonomideki üretim faaliyetlerinde enerji önemli bir maliyet unsurudur. Bundan dolayı enerji üretilirken mümkün olan en uygun maliyetle talebin karşılanması gerekir (Karaca vd., 2017, s. 119). Aşağıdaki tabloda 12 ayrı kriter kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik yönden incelenmiştir.

Tablo 30. Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Ekonomik Kriterler

Kod	Kriter	Rüzgâr	Güneş	Biokütle	Jeotermal	Hidrolik
B1	Gecelik Sermaye Maliyeti (\$/kW)	1548	3952	3584	2615	6300
B2	Toplam Elektrik Maliyeti (\$/MWh)	113,2	268,2	35,1	77,2	252,8
B3	Yenilenebilir enerji üretimi teknolojileri küresel düzeyde seviyelendirilmiş enerji maliyetleri USD/kWh	0,06	0,22	0,07	0,07	0,05
B4	Toplam Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti(\$/MWh)	48	59,1	102,2	43,1	73,9
B5	Toplam Kurulum Maliyeti USD/kWh	1477	5564	2668	2959	1535
B6	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$/kW/yıl)	30,3	71,41	112,15	119,87	40,5
B7	2022 yılı tahmini Seviyelendirilmiş Sermaye Maliyeti (\$/MWh)	33	48,2	40,3	28,3	56,7
B8	Seviyelendirilmiş Sabit İşletme ve Bakım Masrafları (\$/MWh)	12,7	7,5	15,4	13,5	14
B9	Seviyelendirilmiş Değişken İşletme ve Bakım Masrafları (\$/MWh)	0	0	45	0	1,3
B10	Seviyelendirilmiş İletim Maliyeti (\$/MWh)	2,4	3,3	1,5	1,3	1,8
B11	Enerji geri ödeme süresi(Yıl)	1	1,85	1,92	5,7	11,8
B12	Yenilenebilir enerji teknolojisine küresel yatırım %	40	49	2	1	1

-B1, B2: NETL (2013), EIA (2018a)

-B3, B5: IRENA (2018d)

-B4: EIA (2018b)

-B6: EIA (2018a), NREL (2010)

-B7, B8, B9, B10: EIA (2018b)

-B11: Kenny vd. (2010)

-B12: IRENA (2017c).

Toplam kurulum maliyeti ile işletme ve bakım maliyetleri açısından rüzgâr enerjisi diğer yenilenebilir enerji türlerine göre avantajlı durumdadır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti, bir enerji santralinin yatırım, işletme, bakım vb. masrafları dahil edilerek hesaplanan enerji birim maliyetidir. Bir diğer deyişle maliyeti karşılamak için enerjinin satılması gereken minimum fiyattır. Seviyelendirilmiş sabit işletme ve bakım masrafları bakımından rüzgâr ve güneş enerjileri avantajlıdır. Rüzgâr, güneş ve jeotermal enerjinin seviyelendirilmiş değişken işletme ve bakım masrafı sıfırdır. Seviyelendirilmiş iletim maliyeti bakımından jeotermal enerji ön plana çıkmaktadır. Küresel anlamda yapılan

yatırımlara bakıldığında güneş ve rüzgâr enerjisinin ön planda olduğu görülmektedir. Enerji geri ödeme süresi, güç üreten bir sistemin, sistemin üretimi ve ömür boyu çalışması sırasında üretmek için kullanılan enerjiye eşit miktarda enerji üretmesi için gereken süredir. Bu bakımından rüzgâr, güneş ve biokütle en avantajlı enerji kaynaklarıdır.

3.2.3. Sosyal ve Çevresel Kriterler

Sosyal ve çevresel kriterler enerji politikaları belirlenirken çoğunlukla ihmal edilebilmektedir. Oysa yapılacak yenilenebilir enerji yatırımlarında toplumu yakından ilgilendiren kıstaslar bu çerçevede ele alınabilir. Aşağıdaki tabloda 19 ayrı kriterle ülkemiz açısından yapılacak yenilenebilir enerji yatırımları sosyal ve çevresel yönden incelenmiştir.

Tablo 31. Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Sosyal ve Çevresel Kriterler

Kod	Kriter	Rüzgâr	Güneş	Biokütle	Jeotermal	Hidrolik
C1	Yeni İş Alanları Açma (job- years/GHz)	0,17	0,87	0,21	0,25	0,27
C2	Global Yenilenebilir Enerji İstihdamı (Bin)	1148	3365	822	160	1514
C3	İstihdam Süreleri(İmalat+ İnşaat+ Kurulum)	13,2	20	16,9	13,8	7,5
C4	CO ₂ Emisyonu (kg/MWh)	0	0	943	214	17
C5	CH ₄ Emisyonu (kg/MWh)	0	0	0	0,4	0,233
C6	Pb Emisyonu (kg/MWh)	0,000000783	0,0000173	0,00000181	0,00000134	0,000000483
C7	Hg Emisyonu (kg/MWh)	0,000000145	0,00000101	0,0000345	0,0000000386	0,0000000526
C8	NH ₃ Emisyonu (kg/MWh)	0,000564	0,0000664	0,000224	0,453	0,00000255
C9	CO Emisyonu (kg/MWh)	0,0381	0,607	1,49	0,0251	0,0122
C10	NOX Emisyonu (kg/MWh)	0,0268	0,0944	0,959	0,0125	0,0173
C11	SO ₂ Emisyonu (kg/MWh)	0,0286	0,0592	0,439	0,00311	0,0112
C12	VOC Emisyonu (kg/MWh)	0,00724	0,0376	0,0405	0,000442	0,000597
C13	PM Emisyonu (kg/MWh)	0,0168	0,0352	0,325	0,00132	0,00527

C14	Dışsal maliyetler (EU cent/kWh)	0,19	0,6	2,01	0,2	0,54
C15	Yaşam Kaybı Beklentisi (Gün)	0,1	0,1	3,5	2,3	2,3
C16	Su Kullanımı (L/MWh)	0	376	1899	50	73000
C17	Arazi Kullanımı Olmaksızın Sera Gazı Emisyonları (kg/MWh)	16,9	44,6	1044,1	245,2	43,8
C18	Arazi Kullanımının Sera Gazı emisyonuna Katkısı (kg/MWh)	2,7	4,4	39,7	2	9,4
C19	Isı Katsayısı (MJ/MWh)	0	0	10983	21100	0

-C1, C14, C15: Stein (2013)

-C2, C3: IRENA (2018a)

-C4-C13 Arası ve C16-C19 Arası: NETL (2013)

Yapılacak yenilenebilir enerji yatırımlarının yeni iş alanları açma potansiyeline bakıldığında güneş enerjisinin açık ara önde olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi yatırımları bu bakımından uzun vadede önemli sosyo ekonomik yararlar sağlayabilecektir. Global olarak yenilenebilir enerji istihdamı bakımından güneş enerjisi yine öndedir. İmalat, inşaat ve kurulum sürelerinde toplam istihdam süresi olarak biyokütle enerjisi en yüksek zaman dilimine sahiptir. Metan ve karbondioksit bakımından güneş ve rüzgâr enerjileri sıfır salınımla insan sağlığı ve çevre açısından önemli bir avantaja sahiptir. Pb, NH₃ ve CO emisyonu bakımından hidrolik enerji daha düşük salınım değerlerine sahiptir. NOX, SO₂, VOC, PM partikül salınımlarında jeotermal enerji diğer yenilenebilir enerji türlerine göre daha düşük değerdedir.

Enerji yatırımlarında insan sağlığı ve çevresel etkilerin göz ardı edilmemesi için dışsal maliyetlerin de hesaba katılması gerekir. İnsan sağlığı, yaralanmalar, erken ölümler, işgücü kaybı etkileri ile beraber doğaya verdiği zararlar da hesaba katılır. C14 kodlu dışsal maliyetler kriterine bakıldığında rüzgâr enerjisinin diğer enerji türlerine göre insana ve doğaya en az zararı verdiği söylenebilir. Enerji arz edilirken beklenen yaşam kaybı beklentisi 0,1'lik oranla en düşük seviyede rüzgâr ve güneş enerjisinde gerçekleşirken, 3,5'lik oranla en yüksek bioküttelede gerçekleşmektedir. Ancak bu verilerin alındığı raporun (Stein, 2013), kömürle ilgili yaşam kaybı beklentisine bakıldığında 8,4 gibi çok daha büyük bir rakam ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde en yüksek dışsal maliyet yenilenebilir enerji kaynaklarında 2,01 ile biokütle enerjisine ait

iken, kömürle enerji üretmede bu maliyet 5,71'dir. Bu bakımından hangi yenilenebilir enerji kaynağı olursa olsun fosil bir kaynak olan kömür ile enerji üretimine tercih edilmesi gerekir.

Su doğada en çok ve hızlı bir şekilde ihtiyaç duyduğumuz kaynakların başında gelmektedir. Enerji elde edilirken su kullanımına gerek duyulabilmektedir. Yenilenebilir Enerji kaynaklarına bakıldığında rüzgâr enerjisi suya ihtiyaç duymayarak önemli bir avantaj sağlarken, hidrolik enerji doğası gereği en yüksek su miktarına ihtiyaç duymaktadır.

Enerji kullanılırken kullanılan arazi, orman arazisi, ekili alanlar gibi alanlara zarar verilebilmektedir. Bu durum doğada sera gazı emisyonlarını artırmaktadır. Arazi kullanımının sera gazı emisyonlarını artırıcı etkisine bakıldığında en düşük katkı jeotermal ve rüzgâr enerjisinde iken, en yüksek katkıyı biokütle enerjisi vermektedir. Arazi kullanımı olmaksızın en düşük sera gazı emisyonu oranı ise rüzgâr enerjisine aittir.

Isı katsayısı; 1 kWh'lık elektrik üretmek için kullanılan (yakılan) enerji miktarıdır. Rüzgâr, güneş ve hidrolik enerji türlerinde bu değer sıfırdır. En yüksek ısı katsayısı değerine sahip yenilenebilir enerji kaynağı jeotermal enerji türüdür.

3.2.4. Faydalı ve Faydasız Kriter Ayrımı

Yukarıda üç ana başlıkta Türkiye için en ideal yenilenebilir enerji kaynağının tespiti için teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler sıralanmıştır. Analizin uygulanabilmesi için bu kriterlerin “faydalı” ve “faydasız” olarak sınıflandırılması gerekmektedir. Burada bir kriteri faydalı olarak sınıflandırmak, o kriterde hangi yenilenebilir enerji kaynağı yüksek değere sahipse daha avantajlı iken faydasız olarak sınıflandırılan kriterde en düşük değere sahip kaynak tercih edilir.

Tablo 32. COPRAS Analizi Faydalı- Faydasız Kriter Ayrımı

Kod	Kriter	Faydalı-Faydasız Kriter
A1	OECD ülkelerinde 1990-2016 arası elektrik üretiminde yıllık büyüme oranı %	Faydalı Kriter
A2	OECD ülkelerinde toplam içinde yenilenebilir enerji üretim payları %	Faydalı Kriter
A3	Yenilenebilir ve atık kaynaklardan brüt elektrik üretimi (GWh) OECD Total	Faydalı Kriter
A4	Kurulu Güç (MW) TÜRKİYE (Lisanslı+ Lisansız)	Faydalı Kriter
A5	Türkiye 2023 Hedefi MW	Faydalı Kriter
A6	Türkiye Elektrik Üretimi Kaynaklara dağılım GWh	Faydalı Kriter
A7	Türkiye Elektrik Üretimi Kaynaklara dağılım GWh (%)	Faydalı Kriter
A8	Kapasite Faktörü %	Faydalı Kriter
A9	Net Tesis Gücü (MW)	Faydalı Kriter
A10	Ortalama Ömür (Yıl)	Faydalı Kriter
A11	Toplam Kapasite Dünya MW	Faydalı Kriter
A12	Toplam Kapasite Avrupa B. MW	Faydalı Kriter
A13	Elektrik Üretimine Katkısı Türkiye %	Faydalı Kriter
A14	Son 10 yılda MW büyümesi	Faydalı Kriter
A15	Ön lisans Alan Santrallerin Kaynak Türlerine Göre Kurulu Güç Miktarları (MWe)	Faydalı Kriter
A16	2021 yılı için planlanan kurulu güç miktarları MW	Faydalı Kriter
A17	Elektrik Üretimine Katkısı Dünya %	Faydalı Kriter
A18	20 ayrı Teknoloji İçin Gecikme Süreleri (Yıl)	Faydasız Kriter
B1	Gecelik Sermaye Maliyeti (\$/kW)	Faydasız Kriter
B2	Toplam Elektrik Maliyeti (\$/MWh)	Faydasız Kriter
B3	Yenilenebilir enerji üretimi teknolojileri küresel düzeyde seviyelendirilmiş enerji maliyetleri USD/kWh	Faydasız Kriter
B4	Toplam Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti(\$/MWh)	Faydasız Kriter
B5	Toplam Kurulum Maliyeti USD/kWh	Faydasız Kriter
B6	İşletme ve Bakım Maliyetleri (\$/kW/yıl)	Faydasız Kriter
B7	2022 yılı tahmini Seviyelendirilmiş Sermaye Maliyeti (\$/MWh)	Faydasız Kriter

B8	Seviyelendirilmiş Sabit İşletme ve Bakım Masrafları (\$/MWh)	Faydasız Kriter
B9	Seviyelendirilmiş Değişken İşletme ve Bakım Masrafları (\$/MWh)	Faydasız Kriter
B10	Seviyelendirilmiş İletim Maliyeti (\$/MWh)	Faydasız Kriter
B11	Enerji geri ödeme süresi(Yıl)	Faydasız Kriter
B12	Yenilenebilir enerji teknolojisine küresel yatırım %	Faydalı Kriter
C1	Yeni İş Alanları Açma (job-years/GHz)	Faydalı Kriter
C2	Global Yenilenebilir Enerji İstihdamı (Bin)	Faydalı Kriter
C3	İstihdam Süreleri(İmalat+ İnşaat+ Kurulum)	Faydalı Kriter
C4	CO2 Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C5	CH4 Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C6	Pb Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C7	Hg Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C8	NH ₃ Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C9	CO Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C10	NOX Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C11	SO ₂ Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C12	VOC Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C13	PM Emisyonu (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C14	Dışsal maliyetler (EU cent/kWh)	Faydasız Kriter
C15	Yaşam Kaybı Beklentisi (Gün)	Faydasız Kriter
C16	Su Kullanımı (L/MWh)	Faydasız Kriter
C17	Arazi Kullanımı Olmaksızın Sera Gazı Emisyonları (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C18	Arazi Kullanımının Sera Gazı emisyonuna Katkısı (kg/MWh)	Faydasız Kriter
C19	Isı Katsayısı (MJ/MWh)	Faydasız Kriter

3.2.5. COPRAS Uygulaması ve Sonuçları

COPRAS metodu ile ülkemiz için en ideal yenilenebilir enerji kaynağının tespiti için yukarıda 49 ayrı kriterin faydalı ve faydasız şekilde sınıflandırılması yapıldıktan sonra aşağıdaki işlem adımlarına geçilecektir.

Karar matrisini normalize edebilmek için (2) numaralı denklem yardımıyla öncelikle her ana kriter grubu için aşağıdaki tablolar elde edilir.

Teknik Kriterler İçin 1. Adımın Uygulanması										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Rüzgâr	21	6	599403	6571	20000	11653	5,7	47	200	30
Güneş	43	2	218283	3942	5000	194	0,4	34	250	30
Biokütle	13	3	272077	580,7	1000	1758	0,8	86	550	30
Jeotermal	2	1	51764	1064	1000	3424	1,8	90	50	25
Hidrolik	1	13	1469114	25868	36000	67145	25	37	2080	80
TOPLAM	80	24	2610641	38025	63000	84174	33	294	3130	195
	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	
Rüzgâr	30	513939	169208	7,7	54793	679,5	10303	4	3	
Güneş	30	390625	108881	4,6	48948	403	8263	1	3	
Biokütle	30	109213	35993	0,7	3756	118,2	566	1	4	
Jeotermal	25	12894	846	1,2	287	218,5	1047	0	4	
Hidrolik	80	1270496	155170	32	8510	3855,7	32396	17	4	
TOPLAM	195	2297167	470098	46	116294	5274,9	52575	23	18	

Ekonomik Kriterler İçin 1. Adımın Uygulanması												
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Rüzgâr	1548	113,2	0,06	48	1477	30,3	33	12,7	0	2,4	1	40
Güneş	3952	268,2	0,22	59,1	5564	71,41	48,2	7,5	0	3,3	1,85	49
Biokütle	3584	35,1	0,07	102	2668	112,15	40,3	15,4	45	1,5	1,92	2
Jeotermal	2615	77,2	0,07	43,1	2959	119,87	28,3	13,5	0	1,3	5,7	1
Hidrolik	6300	252,8	0,05	73,9	1535	40,5	56,7	14	1,3	1,8	11,8	1
TOPLAM	17999	746,5	0,47	326	14203	374,23	206,5	63,1	46	10,3	22,3	93

Çevresel ve Sosyal Kriterler İçin 1. Adımın Uygulanması										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Rüzgâr	0,2	1148	13	0	0	7,83E-07	1,45E-07	0,000564	0,0381	0,03
Güneş	0,9	3365	20	0	0	1,73E-05	1,01E-06	6,64E-05	0,607	0,09
Biokütle	0,2	822	17	943	0	1,81E-06	0,0000345	0,000224	1,49	0,96
Jeotermal	0,3	160	14	214	0,4	1,34E-06	3,86E-08	0,453	0,0251	0,01
Hidrolik	0,3	1514	7,5	17	0,2	4,83E-07	5,26E-08	2,55E-06	0,0122	0,02
TOPLAM	1,8	7009	71	1174	0,6	2,17E-05	3,575E-05	0,453857	2,1724	1,11
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	
Rüzgâr	0	0,007	0	0,19	0,1	0	16,9	2,7	0	
Güneş	0,1	0,038	0	0,6	0,1	376	44,6	4,4	0	
Biokütle	0,4	0,041	0,3	2,01	3,5	1899	1044,1	39,7	10983	
Jeotermal	0	4E-04	0	0,2	2,3	50	245,2	2	21100	
Hidrolik	0	6E-04	0	0,54	2,3	73000	43,8	9,4	0	
TOPLAM	0,5	0,086	0,4	3,54	8,3	75325	1394,6	58,2	32083	

İlk adım tamamlandıktan sonra ikinci adım için aşağıdaki tablolar oluşturulur.

Teknik Kriterlerin Normalize Edilmesi									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Rüzgâr	0,266	0,231	0,230	0,173	0,317	0,138	0,171	0,160	0,064
Güneş	0,539	0,084	0,084	0,104	0,079	0,002	0,011	0,116	0,080
Biokütle	0,158	0,118	0,104	0,015	0,016	0,021	0,024	0,293	0,176
Jeotermal	0,029	0,025	0,020	0,028	0,016	0,041	0,053	0,306	0,016
Hidrolik	0,009	0,542	0,563	0,680	0,571	0,798	0,741	0,126	0,665
	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Rüzgâr	0,154	0,224	0,360	0,167	0,471	0,129	0,196	0,150	0,167
Güneş	0,154	0,170	0,232	0,100	0,421	0,076	0,157	0,043	0,167
Biokütle	0,154	0,048	0,077	0,015	0,032	0,022	0,011	0,060	0,222
Jeotermal	0,128	0,006	0,002	0,026	0,002	0,041	0,020	0,013	0,222
Hidrolik	0,410	0,553	0,330	0,691	0,073	0,731	0,616	0,735	0,222

Ekonomik Kriterlerin Normalize Edilmesi												
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
Rüzgâr	0,086	0,152	0,128	0,147	0,104	0,081	0,160	0,201	0,000	0,233	0,045	0,430
Güneş	0,220	0,359	0,468	0,181	0,392	0,191	0,233	0,119	0,000	0,320	0,083	0,527
Biokütle	0,199	0,047	0,149	0,313	0,188	0,300	0,195	0,244	0,972	0,146	0,086	0,022
Jeotermal	0,145	0,103	0,149	0,132	0,208	0,320	0,137	0,214	0,000	0,126	0,256	0,011
Hidrolik	0,350	0,339	0,106	0,226	0,108	0,108	0,275	0,222	0,028	0,175	0,530	0,011

Çevresel ve Sosyal Kriterlerin Normalize Edilmesi										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Rüzgâr	0,096	0,164	0,185	0,000	0,000	0,036	0,004	0,001	0,018	0,024
Güneş	0,492	0,480	0,280	0,000	0,000	0,797	0,028	0,000	0,279	0,085
Biokütle	0,119	0,117	0,237	0,803	0,000	0,083	0,965	0,000	0,686	0,864
Jeotermal	0,141	0,023	0,193	0,182	0,632	0,062	0,001	0,998	0,012	0,011
Hidrolik	0,153	0,216	0,105	0,014	0,368	0,022	0,001	0,000	0,006	0,016
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	
Rüzgâr	0,053	0,084	0,044	0,054	0,012	0,000	0,012	0,046	0,000	
Güneş	0,109	0,435	0,092	0,169	0,012	0,005	0,032	0,076	0,000	
Biokütle	0,811	0,469	0,847	0,568	0,422	0,025	0,749	0,682	0,342	
Jeotermal	0,006	0,005	0,003	0,056	0,277	0,001	0,176	0,034	0,658	
Hidrolik	0,021	0,007	0,014	0,153	0,277	0,969	0,031	0,162	0,000	

Yapılan tüm analizler sonucu aşağıdaki Tablo 33’te gösterilen sonuçlar elde edilir.

Tablo 33. COPRAS Uygulama Sonuçları

	S_{+i}	S_{-i}	Q_i	T_i	T^*_i
Rüzgâr	4,475541849	1,890757511	16,53124194	1	0,33737228
Güneş	4,22894011	4,853099132	8,925816247	0,539936218	0,18215952
Biokütle	1,836812326	11,37832568	3,840130401	0,232295336	0,07837001
Jeotermal	1,139773498	5,128086375	5,584785504	0,33783218	0,11397521
Hidrolik	9,318932217	4,749731301	14,1180259	0,854020887	0,28812298

COPRAS metodu kullanılarak teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal ana kriterleri altında 49 ayrı kriter kullanılarak yapılan analizin sonuçları yukarıdaki Tablo 33'te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her bir kriter kendi içinde değerlendirildiğinde bir yenilenebilir enerji kaynağı diğerlerine göre avantajlı konumda olabilmektedir. Bu durum politika yapıcılar için zor bir durum oluşturabilmektedir. Yapılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan COPRAS metodu ile Türkiye için en ideal yenilenebilir enerji yatırım sıralaması ve yatırım ağırlıklarının ne olması gerektiği tespit edilmiştir. Tabloda T_i gösterilen sütun en uygun yenilenebilir enerji kaynağı sıralamasını göstermektedir. T_i^* ile gösterilen sütun ise yatırım ağırlıklarının dağılımını göstermektedir. Bunlara göre Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji yatırım sıralaması ve dağılımı aşağıdaki gibi olmalıdır.

COPRAS Sonuç Tablosu		
Sıralama	Enerji Türü	Yatırım Ağırlığı
1	Rüzgâr Enerjisi	% 33,737
2	Hidrolik Enerji	% 28,812
3	Güneş Enerjisi	% 18,215
4	Jeotermal Enerji	% 11,397
5	Biokütle Enerjisi	% 7,837

Türkiye’de enerji politikaları belirlenirken yenilenebilir enerjinin önemi ve gerekliliği ilk bölümlerde anlatılmıştı. Yapılan COPRAS analizi sonuçlarına göre yenilenebilir enerji politikaları Türkiye’de Rüzgâr enerjisi öncelikli olmak kaydıyla, rüzgâr, hidrolik, güneş, jeotermal ve biokütle sıralaması ile yapılması en optimum sonucu verecektir. Yapılacak yüz birimlik bir yenilenebilir enerji yatırımının yüzde 33,7’si rüzgâr enerjisine, yüzde 28,8’i hidrolik enerjiye, yüzde 18,2’si güneş enerjisine, yüzde 11,3’ü jeotermal enerjiye, yüzde 7,8’i biokütle enerjisine ayrılmalıdır. Bu dağılım ile yapılacak yenilenebilir enerji yatırımı teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal yönden Türkiye’ye en optimum enerji yatırım dağılımını sağlayacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi devrimine zemin hazırlayan bilimsel gelişmeler, dünyada üretim düzeyini artırırken bu üretimin bağlı olduğu enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her dönem artmıştır. Kentlerde artan sanayi faaliyetleri buralarda nüfus yoğunlaşmasına neden olmuş, artan nüfus çarpık kentleşmeden, çevre kirliliğine kadar birçok problemi beraberinde getirmiştir. Tüm bu çevresel problemlerin temel nedenlerinden birisi olan enerji üretimi bu çalışmanın da çıkış noktası olmuştur.

Enerji günümüzde insanlığın vazgeçemeyeceği bir maldır. Enerji verimliliği ne kadar artırılırsa artırılın veya enerji tasarrufu ne büyüklükte sağlanırsa sağlansın, her bireyin asgari bir enerji talebi vardır. Sorunun kaynağı enerji talebi değil, enerjinin üretim yöntemidir. Dünyada temel olarak enerji üretimi için kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Özellikle son 200 yılda bu kaynaklardan kömürün aşırı tüketimi söz konusudur.

Dünyada birincil enerji arzının yüzde 82'si petrol, kömür ve doğal gaz olmak üzere üç temel fosil kaynaktan elde edilmektedir. Dünyada ve ülkemizde fosil temelli enerji üretimi devam ederken bu kaynakların doğada kıt ve tükenmek üzere olduğu gerçeği göz ardı edilmektedir. Hâlihazırdaki üretim ve tüketim süreçleri bu şekilde devam ederse fosil kaynakların tüm rezervlerinin 100-150 yıl içinde tükeneceği tahmin edilmektedir.

Fosil kaynaklar dünyada sınırlı sayıda ülkenin sınırları içerisinde yer almaktadır. Örneğin dünyadaki toplam petrol rezervlerinin yüzde 95'i sadece yirmi ülkenin sınırları içindedir. Bu durum dünyada çok fazla siyasi ve askeri sorunların yaşanmasına neden olmaktadır.

Fosil yakıtlar ile enerji üretimi sonrasında hava, su ve toprakta meydana gelen bozulmaların telafisi kısa vadede mümkün değildir. Birçok sorunun çözümü için yüzyıllarca beklemek gerekebilir. Yenilenebilir enerjiler burada sorunun çözümü için tüm insanlık için büyük bir fırsattır.

Yenilenebilir enerji kaynakları herhangi bir ülkenin sınırları içinde olmayıp her ülke elindeki yenilenebilir enerji potansiyelini istediği gibi kullanabilir. Yenilenebilir enerjilerden rüzgâr enerjisi, fosil yakıtlara alternatif olarak, bol, yenilenebilir, yaygın olarak dağıtılan, enerji üretimi sırasında herhangi bir sera gazı salınımına neden olmayan ve az arazi kullanarak verimli tarım alanlarını çok işgal etmeyen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Oldukça avantajlı bir yenilenebilir enerji kaynağı olmasına karşın, rüzgâr enerjisi dünyada istenen seviyede değildir. Dünyada toplam rüzgâr enerjisi üretiminin yüzde 85'i 10 ülke tarafından yapılmaktadır. Sadece yüzde 35'ini Çin tek başına üretmektedir. Rüzgar enerjisine yöneltilen eleştirilerin başında gelen kuş ölümleri konusunun ise yapılan bir çok araştırmada zayıf bir argüman olduğu ortaya konmuştur. Örneğin Amerika'daki rüzgâr santrallerinde yılda yedi bine yakın kuş ölümü gerçekleşirken, fosil yakıtların ve nükleer santrallerin neden olduğu yıllık kuş ölümü sayısı 15 milyona yakındır.

Güneş enerjisi dünyada her yere dağılmış, bol ve devamlı bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlar gibi sera gazı salınımına neden olmamaktadır. İhtiyaç duyulan her yerde uygulanabilir, yerel uygulamalar için oldukça elverişlidir. Kurulan sistemlerin bakım maliyetleri çok azdır. Ancak bununla birlikte güneş enerji sistemlerinin kurulabilmesi için geniş arazi kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş ışığının sürekliliği olmadığı için enerji üretimi de kesintili olmaktadır. Güneş enerji santrallerinin yatırım maliyetleri günümüzde geçmişe göre düşüş göstermiştir. Son 5 yılda ortalama yüzde 69 oranında maliyetler düşmüştür.

Hidroelektrik santralleri, enerji kaynağının yenilenebilir olmaları, iletme ve bakım giderlerinin düşük olması, kullanım ömürlerinin uzun olması, çok düşük seviyelerde çevreye olumsuz etkide bulunmaları ve ani talep değişmelerine cevap verebilmeleri dolayısıyla önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik santralleri su temelli bir enerji üretim kaynağı olduğundan dolayı iklim olaylarından etkilenmektedirler. Özellikle kuraklık dönemlerinde yağmurların azalması ve sıcaklığın etkisiyle buharlaşmanın fazla olması barajlardaki su seviyelerinin düşmesine, hatta bazen barajların kuruyacak seviyede su kaybetmelerine sebep olup enerji üretiminin azalmasına veya tamamen durmasına neden olabilmektedir.

Jeotermal elektrik üretim maliyetleri giderek düşmektedir. Jeotermal enerji fosil yakıtlar gibi tükenen bir özelliğe sahip değildir. Dünyada jeotermal enerjinin tüm potansiyelinin kullanılması ulusal ve uluslararası birçok sosyal fayda sağlayacaktır.

Biyokütle enerjisi aynı zamanda dünyada toplam birincil enerji arzının yüzde 10'unu sağlayan önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ancak bu kullanımın büyük bir kısmı ticari değildir ve gelişmekte olan ülkelerdeki nüfusun daha yoksul kesimleri tarafından kullanılan miktarı göstermektedir. Modern biyokütle enerji kullanımı (sanayi, enerji üretimi, motorlu taşıtlar için yakıt) ise günümüzde artmaktadır. Biyoenerji sanayileşmiş ülkelerde birincil enerjinin sadece yüzde 3'ünü temsil ederken, daha çok ısınma ve mutfak için kullanıldığı gelişmekte olan ülkelerde enerji toplamının yüzde 22'sini oluşturmaktadır.

Kamu maliyesi açısından yenilenebilir enerjiler farklı açılardan ele alınabilir. Ekonomi biliminin temelinde sınırsız insan ihtiyaçlarını kıt kaynaklarla toplumsal açıdan mümkün olan en yüksek faydayı sağlayacak şekilde karşılanması vardır. Piyasa kendi işleyişinde bu süreçte bir takım aksaklıklar yaşamaktadır. Devletin piyasaya müdahalesi bu aşamada gerekli olmaktadır. Erdemli mallar, yarı kamusal mallar, dışsallıklar konuları yenilenebilir enerjiler konusunda devletin piyasada çeşitli araçlarla bulunmasını gerekli kılmaktadır.

İlk kez Richard Musgrave tarafından tanımlanan erdemli mal ve hizmetler kişilere sağladığı özel faydanın yanında sosyal faydası da oldukça yüksek olan mal ve hizmetlerdir. Bu yönüyle yenilenebilir enerjiler erdemli mallara benzerken, kamusal bir sunum değil kamusal üretim olması dolayısıyla bunlardan ayrılmaktadır. Yarı kamusal mallar ise pazarlanabilir, faydası bölünebilir, dışlanabilir olmakla beraber, bireylere sağladığı özel fayda yanında topluma önemli ölçüde dışsal fayda yayan mallardır. Yenilenebilir enerjiler de topluma yoğun dışsal faydalar yayan ve yüksek negatif dışsallık oluşturan fosil yakıtların alternatifi olmaları açısından yarı kamusal mallar olarak sınıflandırılabilir.

Yenilenebilir enerjiler konusunda devletin piyasaya müdahalesini gerektiren en önemli konulardan birisi de pozitif ve negatif dışsallıklardır. Tüm bu teorik

değerlendirmeler sonucunda Türkiye’de de enerji üretimi kamu maliyesinin inceleyip çözümler üretebileceği bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemiz açısından yenilenebilir enerji kaynakları temel çevresel problemlerin üstesinden gelmek için önemli bir alternatiftir. Ülkemizde 26 ilde temel çevre sorunu hava kirliliği iken 21 ilde de ikinci sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Hava kirliliği bakımından önemli bir madde kükürttür. Havayı en çok kirleten salınım türü kükürtdioksittir (SO₂). Kükürt salınımlarının büyük kısmı elektrik üreten, yakıt olarak katı veya sıvı fosil yakıtları kullanan termik santrallerden meydana gelmektedir.

Ülkemizde fosil temelli bir elektrik üretim politikası ile yıllardır enerji ihtiyacını karşılamıştır. Son yıllarda yenilenebilir enerjiye olan yönelmeye rağmen hala yüzde 55 dolaylarında fosil kaynaklardan elektrik üretilmektedir. Fosil yakıt bakımından oldukça fakir bir ülke olmamız, bu alanda bizi büyük ölçüde dışa bağımlı bir hale getirmektedir. Elektrik üretirken en büyük oranda kullandığımız fosil kaynak doğalgazdır. Ancak ülkemiz yeraltı zenginlikleri bakımından doğalgazı yok sayılabilecek bir ülkedir. Kullandığımız doğalgazın yüzde 99,36’sı ithalat yoluyla elde edilmektedir. Bu ithalatın yüzde 70’lik kısmı ise Rusya ve İran’dan yapılmaktadır. İstikrarlı bir siyasi ilişki sürdüremediğimiz bu ülkelerle enerji gibi hayati bir konuda bu kadar bağımlı halde politikalar devam edilmesi ileride yeni sorunların yaşanmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Yenilenebilir enerji üretimi için önemli olan coğrafi ve iklim özellikleri bakımından ülkemiz oldukça avantajlı bir durumdadır. Güneş enerjisi için gerekli olan yıllık ortalama güneşlenme süresi, rüzgâr enerjisi için gerekli olan ortalama rüzgâr hızları, jeotermal enerji için gerekli olan sıcak su kaynakları, hidrolik enerji için ihtiyaç duyulan nehir ve akarsu potansiyeli bakımından avantajlı bir durumdayız.

Ülkemizde yenilenebilir enerji yatırımları artmakla birlikte mevcut potansiyelimizin hayli altında kurulu güce sahip bulunmaktayız. Örneğin; rüzgâr enerjisi kurulu gücünde son on yılda 20 kat bir artış söz konusuysa, rüzgâr enerjisi potansiyelimizin henüz yüzde 16’lık bir kısmını kullanmaktayız. Yine güneş enerjisinde son 5 yılda önemli yatırımlar yapılmıştır. 2014’te 40 MW dolaylarındaki güneş enerjisi kurulu gücüne karşılık bugün 4800 MW kurulu güce sahip bulunmaktayız. Ancak bu

rakamlarda mevcut potansiyelimizin altındadır. Jeotermal enerji de kurulu güç önemli artışlar göstermiştir. 2007 yılında 23 MW büyüklüğünde elektrik üretilirken, 2017’de 1071 MW büyüklüğünde jeotermal enerji kaynaklı elektrik enerjisi üretilmiştir. Oransal olarak önemli bir artış olmasına karşın, ülkemizde jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MW olduğu düşünüldüğünde geride olduğumuz aşîkârdır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji yatırımlarının alternatifi sayılabilecek fosil temelli enerji üretim politikası ise büyük sosyal maliyetleri bünyesinde barındırmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü’ne göre dünyada her yıl 4.2 milyon erken ölümün, temel olarak kalp hastalıklarının, felç, akciğer hastalıklarının, çocuk akut solunum yolu hastalıklarının hava kirliliği ile doğrudan ilgisi vardır. Ülkemizde hava kalitesine yönelik yapılan ölçümlerde elde edilen verilere göre hava kalitesinin dünya standartlarının altında olduğunu görölmektedir. Özellikle termik santrallerimizin olduğu illerimize bakıldığında yıllık partikül salınım değerleri standartların çok üstünde olduğu görölmektedir.

Ülkemizde yıllık kirliliğe bağılı ölüm sayısı 42.000 civarındadır. Her yüz kişiden 12’si kötü çevre koşulları nedeniyle hayata erken veda etmektedir. Çevre kirliliği türlerinden sadece hava kirliliği bu ölümlerin yaklaşık 30.000’lik kısmından sorumlu tutulmaktadır. Türkiye’de elektrik üretiminde toplam kurulu gücün yüzde 22’si kömür türleriyle çalışan termik santrallerdedir. Bu santrallerde üretilen elektriğin yüzde 50’si yerli bir kaynak olan linyit kömürü ile elde edilmektedir. Linyit kömürü daha düşük kalorili bir kaynak olduğu için taşkömüründen elde edilen aynı elektriği üretebilmek için 3 kat fazla linyit kullanmak gerekir.

Kömürlü termik santraller akciğerler, beyin, kalp ve damarlar, kan gibi hayati organ üzerinde kalıcı hasarlar bırakan salınımlar yapmaktadırlar. Ülkemizde kömürlü termik santrallerin sağlık etkileri her yıl 86.393 yaşam yılı kaybına ve ortalama 3.000 erken ölüme sebep olmaktadır. Çalışan nüfusta sekiz milyona yakın aktivitenin sınırlandığı gün ve 637.643 iş günü kaybı olduğu tahmin edilmektedir. Yetişkinlerde özellikle çocuklarda yüksek bronşit vakaları gözökmektedir. Sadece kömürlü termik santrallerin ülkemize yıllık 2.9 ila 3.6 milyar avro arası bir sağlık maliyeti olduğu hesaplanmaktadır.

Akciğer kanserinin ülkemize yıllık maliyetinin yaklaşık 8.8 milyar TL olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde akciğer kanserinin doğrudan ve dolaylı olarak yıllık ortalama 2.5 milyar TL'lik bir maliyet oluşturduğu hesaplanmıştır.

Kömür kullanımının bir diğer sosyal maliyeti ise bu kaynağın elde edilmesi için yapılan kömür madenciliği faaliyetleridir. Kömür madenciliği dünyada en riskli iş kollarından birisidir. Ülkemizde her yıl yüzlerce kömür madeni çalışanı gerek kazalarla gerekse meslek hastalıkları yüzünden hayatını kaybetmekte veya iş göremez hale gelmektedir. Bu mağduriyet ve kayıplar kömürün sosyal bir maliyeti olarak değerlendirilip ülkemizde kömür temelli enerji santrallerinin kapatılıp yenilenebilir enerji santrallerine yönelmenin önemli gerekçelerinden birini oluşturmaktadır.

Türkiye petrol, doğal gaz ve kömüre yıllık ortalama 1.9 milyar dolar teşvik sağlamaktadır. Tüm fosil kaynakların ülkemizde neden olduğu hava kirliliğinin ise oluşturduğu sağlık maliyetinin 19,4 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakam hava kirliliği temelli hesaplanırken, sadece fosil yakıt teşviklerinin neden olduğu iklim değişikliğinin sağlık maliyeti 13.2 milyar dolardır. Kömürden elektrik üretimine kamu gelirleri kullanılarak teşvikler sağlamak maliye biliminin sosyal fayda ilkesi ile çelişmektedir. 1.9 milyar dolar teşvik ile fosil yakıtlar teşvik edilip, diğer taraftan 10 kata kadar sağlık maliyetine katlanmak sosyal fayda ilkesinin tersine hareket etmektir.

Türkiye'nin önemli ekonomik sorunlarının başında cari açık gelmektedir. Dünyada Amerika ve İngiltere'den sonra en fazla cari açık veren ülke Türkiye'dir. Son on yılda ekonomimizin verdiği toplam cari açık ve enerji ithalatı incelendiğinde ortaya önemli rakamlar çıkmaktadır. 2009- 2019 Şubat arasında toplam cari açık 442 milyar dolar gerçekleşmiştir. Açığın en büyük kalemini ise gerek petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar gerekse döviz kurundaki artışla beraber 445 milyar dolarla enerji ithalatı oluşturmuştur.

Enerji politikaları ülkelerin ulusal, uluslararası siyasi ve diplomatik ilişkilerini şekillendirdiği gibi ekonomi politikalarını da yakından alakadar etmektedir. Enerji talebinin ithal yolla karşılanması fiyatların dalgalanıp iktisadi faaliyetlerin yavaşlamasına neden olmaktadır. Ekonomi yönetimlerinin görevi burada fiyat dalgalanmalarını en aza

indirmektedir. Yenilenebilir enerjiler orta ve uzun vadede bu sorunu önemli ölçüde çözecek politikalar olabilir.

Hızla gelişen ve büyüyen Türkiye ekonomisinin enerji ve elektrik talebi de bu gelişmelere paralel olarak hızla artmaktadır. Geleceğe yönelik olarak enerji ve elektrik tahminlerinin bilimsel yöntemlerle yapılp kaynak tedarikinin ve yatırım planlarının buna göre yapılması hayati öneme sahiptir. Toplam kurulu güç artıp ve bunun içinde yenilenebilir enerjinin payı yükselmesi olumlu bir durum olmasına rağmen, hâlihazırdaki enerji üretim potansiyelimizi ifade eden kurulu güç içindeki yerli kaynak payı 2000 yılından sonra yüzde 66'dan yüzde 57'lere gerilemiştir. Tüm dünyada enerji arz güvenliği konusu hükümetlerin önemli gündem maddelerinden biriyken, ülkemizde son yıllarda ithal enerji payının artması enerji arz güvenliği açısından olumsuz bir durumdur.

Yenilenebilir enerjiler dünyada önemli istihdam alanları oluşturan sektörlerden birisidir. 2017 yılında dünya genelinde yenilenebilir enerjilerin meydana getirdiği istihdamın 500.000 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Aynı dönemde Türkiye, güneş enerjisi PV sektöründe 33.400 kişiye ve güneş enerjili ısıtmada 16.600 kişiye istihdam alanı oluşturmuştur. Rüzgâr enerjisi yaklaşık 14.200 kişiye iş imkânı sağlarken, küçük hidrolik santraller, jeotermal ve biyogaz enerji 18.000 kişiye iş imkânı sağlamıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji sektöründe çalışan insan sayısı yaklaşık olarak 84.000 olarak hesaplanmaktadır.

Amerika Ulusal Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilip ücretsiz bir şekilde kullanıma sunulan JEDI (Jobs and Economic Development Impact) programı ilave yenilenebilir enerji yatırımlarının malzeme, üretim süreci ve inşaat kurulum süreci ile tesisin işletilmesi süreçlerinde doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam sayılarını hesaplamaktadır. Türkiye 2023 yılı için yenilenebilir enerji hedefleri belirlemiştir. Güneş ve jeotermal enerjide bu hedeflere ulaşılmıştır. Diğer üç yenilenebilir enerji kaynağında da hedeflere ulaşılması durumunda JEDI programı ile yapılan analiz sonucunda rüzgâr enerjisi 72 bin doğrudan 106 bin dolaylı 44 bin uyarılmış olmak üzere 223 bin civarında istihdam meydana getirecektir. Biokütle enerjisi 1227 doğrudan 927 dolaylı, 661 uyarılmış olmak üzere 2816 ek istihdam oluşturacaktır. İstihdama en çok katkısı olacak hidrolik enerji ise 198 bin doğrudan, 50 bin dolaylı, 68 bin uyarılmış olmak üzere toplam

317 bin istihdam meydana getirecektir. Analiz sonuçlarına göre bu üç yenilenebilir enerji kaynağında yapılacak ilave yatırımlar toplam 544.200 gibi yüksek bir istihdam meydana getirebilecektir.

Fosil kaynak kullanımı Türkiye için ekonomik, çevresel yönden birçok sorunu barındırmaktadır. Devletin temel görevlerinden biri vatandaşların sosyal faydasını arttıracak alanlarda üretim yapılmasını sağlamak veya piyasa kendi imkânları ile bunu yapamayacaksa doğrudan üretimi üstlenmektir. Politika yapıcılar bu kapsamda enerji politikalarını tasarlarken, negatif dışsallıkları yüksek olan fosil yakıtlardan vazgeçip, sosyal faydası oldukça yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelidirler. Bunlara ek olarak yapılacak kamu politikaları arasında çevreye duyarlı bütçeleme anlayışı özellikle yerel yönetimlerin hizmet sunumlarında çevreyle barışık politikalar yürütmelerini sağlayacaktır. Toplumun çevre konusunda bilinçlendirilmesi yani çevre eğitimi konusu tüm eğitim öğretim süreçlerinde kalıcı bir şekilde oturtulmalıdır. Geri dönüşüm faaliyetlerini teşvik etmek hem çevreyi koruyacak hem de ekonomik bir geri dönüş sağlayacaktır. Fosil yakıtları teşvik edici politikaların biran önce terkedilmesi gereklidir. Bu teşvikler yaklaşık kendi miktarlarının on katı kadar sağlık maliyetlerine neden olmaktadır. Enerji verimliliği artırılırken aynı zamanda enerji israfının önlenmesine yönelik araçlar geliştirilmelidir.

Tüm bunlarla beraber Türkiye için yenilenebilir enerjinin zorunlu bir politika olduğu ortaya konmuştur. Yenilenebilir enerji yatırımlarının hangi sıralama ve ağırlıkla yapılması gerektiği önemli bir sorundur. Bu konuda çalışmanın son bölümünde yapılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden COPRAS analizi soruna ışık tutmaktadır.

Teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel kriterler ana başlıkları altında rüzgar, hidrolik, güneş, biyokütle ve jeotermal enerjiye için 49 ayrı kriterle analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarının sıralamasının ve yatırım ağırlıklarının; Rüzgar Enerjisi (% 33,73), Hidrolik Enerji (% 28, 81), Güneş Enerjisi (% 18,81), Jeotermal Enerji (% 11,39) ve Biyokütle Enerjisi (% 7,83) şeklinde yapılması sosyo-ekonomik açıdan en optimal sonucu verecektir. Bu dağılım ile yapılacak yenilenebilir enerji yatırımları teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal yönden Türkiye’ye en optimum enerji yatırım dağılımını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Acar, N. (2013), Petrolün Stratejik Önemi ve Mezopotamya Petrol Kaynaklarının Paylaşımında Calouste Sarkis Gülbenkyan'ın Rolü (1890-1928), *The Journal of Academic Social Science Studies*, Volume 6 Issue 4.
- Ahışhalı, M. A. (2013), Kaya Gazı: Dünya Enerji Düzenine Etkileri ve Türkiye Potansiyeli, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 3, Sayı:1.
- Akbulut, B. (2017), Termik Santrallerin Maliyeti: Alternatif Bir Değerlendirme, Ekoloji Kolektifi Derneği Yayını, Ankara.
- Ay, S. (2012), Türkiye’de İşsizliğin Nedenleri: İstihdam Politikaları Üzerine Bir Değerlendirme, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, Cilt:19, Sayı:2.
- Aydın, L. (2016), *Enerji Ekonomisi ve Politikaları*, Seçkin Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara.
- Bayrak, M., Esen, Ö. (2014), Türkiye’nin Enerji Açığı Sorunu ve Çözümüne Yönelik Arayışlar, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt:28, Sayı:3.
- Bayrakçı, E., Aksoy, E. (2019), Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Entropi Ağırlıklı ARAS ve COPRAS Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Performans Değerlendirmesi, *Business and Economics Research Journal*, Sayı:2.
- Berkün, M. (2007), *Su Yapıları*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Bozdağlıoğlu, E.Y. (2008), Türkiye’de İşsizliğin Özellikleri ve İşsizlikle Mücadele Politikaları, *Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı: 20.
- Bozkurt, Y. (2016), *Çevre Sorunları ve Politikaları*, Ekin Yayınevi, 4.Baskı, Bursa.
- BP (2018), *BP Statistical Review of World Energy*, London (Erişim: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>).
- Brakel K. (2017), *Kömür Atlası “Fosil Yakıtlar Hakkında Olgular ve Gerçekler”*, Çev: Çağrı Ekiz, Heinrich Böll Stiftung Derneği, Berlin.
- Bulutoğlu K. (2003), *Kamu Ekonomisine Giriş*, Yapı Kredi Yayınları, 1. Baskı, İstanbul.

- BÜMKO (2019), Ödemeler Dengesi ve Cari Açık, <http://www.bumko.gov.tr/TR,152/odemeler-dengesi-ve-cari-acik.html>
- Corkish R., L. W. ve Patterson R. J.,(2016), “Introduction to Solar Energy”. Gerard M Crawley (Ed.), *Solar Energy* içinde (1-29), World Scientific Publishing, Singapore.
- Coyle E., R. Simmons (2014), *Understanding the Global Energy Crisis*, Global Policy Research Institute by Purdue University Press, West Lafayette, Indiana.
- Çakır, E., Karabıyık, B.K. (2017), Bütünleşik SWARA - COPRAS Yöntemi Kullanarak Bulut Depolama Hizmet Sağlayıcılarının Değerlendirilmesi, *Bilişim Teknoloji Dergisi*, Cilt:10, Sayı:4.
- Çalışkan, Ş. (2009), Türkiye’nin Enerjide Dışa Bağımlılık ve Enerji Arz Güvenliği Sorunu, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı:25.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2018), Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu, Ankara.
- Çiçin, İ., Öksüz, E., Karadurmuş, N., Malhan, S.(2018), *Türkiye’de Akciğer Kanseri Raporu*, Akciğer Kanseri Derneği, Akciğer Sağlığı ve Yoğun Bakım Derneği, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Türk Tıbbi Onkoloji Derneği, Türkiye Kanseri Enstitüsü ve Türkiye Solunum Araştırmaları Derneği’nin ortaklaşa yayını (Erişim: <https://www.medikalakademi.com.tr/wp-content/uploads/2018/11/turkiye-akciger-kanseri-raporu.pdf>)
- ÇMO (2018), *Hava Kirliliği Raporu 2018*, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını.
- Çoban A., Kılıç, S. (2009), Türkiye’de Yerel Yönetimlerin Çevreye Yönelik Politikaları: Konya Selçuklu Belediyesi Örneği, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22 / 2009.
- Çolak, İ. ve M. Demirtaş (2008). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye’deki Gelişimi, *TÜBAV Bilim Dergisi*, Cilt:1, Sayı: 2.
- Çukurçayır, M. A., Sağır, H. (2008), Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Yıl: 2008, Sayı:20.
- Çütçü, İ. (2019), Sanayide Kullanılan Elektrik Tüketimi İle Dış Ticaret Dengesi Arasındaki İlişki: Yapısal Kırımlı Testlerle Ekonometrik Bir Analiz, *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:37, Sayı:1.

- Dağdemir Ö. (2015), Çevre Sorunlarına Ekonomik Yaklaşımlar ve Optimal Politika Arayışları, 3. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Danışman, M.A., (2011), Jeotermal Enerji Nedir, Ne Değildir, *Jeofizik Bülteni Dergisi*, Yıl:22, Sayı:68, Eylül- Aralık 2011 Sayısı.
- Dışkaya, S.K. (2017), Türkiye'nin Enerji Güvenliğinde Yenilenebilir Enerjinin Etkisinin Politik Ekonomi Perspektifi, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt:5, Sayı: 2.
- Doğru, B., Özyer, B. (2016), *Kömürden Kaçış*, Ekologos Yayını, İstanbul.
- DSİ (2018a), DSİ 2018 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara.
- DSİ (2018b), Devlet Su İşleri Su Dünyası Dergisi, Nisan 2018 Sayısı, Ankara.
- Dunlap, R., J., Andrew (2012), *Environmental Problems*, The Wiley-Blackwell Encyclopedia of Globalization, First Edition. Ed:George Ritzer. Blackwell Publishing
- Ehrlich R., H. A. Geller (2018), *Renewable Energy*, A First Course Second Edition, CRC Press Taylor & Francis Group.
- EIA (2013), Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, U.S. Energy Information Administration, Washington June 2013
- EIA (2017), International Energy Outlook 2017, U.S. Energy Information Administration, Washington (Erişim: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo>)
- EIA (2018a), Annual Energy Outlook 2018, U.S. Energy Information Administration, Washington April 2018.
- EIA (2018b), Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2018, U.S. Energy Information Administration, Washington.
- EPDK (2017), *Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu 2017*, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Ankara.
- Erdal, L. (2012), Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımları ve İstihdam Yaratma Potansiyeli, *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, Cilt: 4, Sayı: 1.
- Erdal, L. ve Karakaya, E. (2012), Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Ekonomik, Siyasi ve Coğrafi Faktörler, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt: XXXI, Sayı:1.

- Erdoğan, M. (2016), “Çevre Eğitiminin Doğuşu ve Gelişimine Kaynaklık Eden Hareketler ve Çalışmalar ”. Aysel Aydın Kocaeren (Ed.), *Çevre ve Enerji* içinde (21-39), İstanbul: Nobel Yayıncılık, 2016.
- Erdoğan, M.M. (2006), Küresel Kolektif Varlıklar, Finansman Problemleri ve Düzeltici Vergileme Temelli Çözüm Yolları, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt: XXI, Sayı:1.
- Erdoğan, M. M., Akdoğan, D. A, & Yaşar, B. (2017), Key Topic that Remains in the Shadow in the Public Finance Books: Collective Benefit. In Contemporary Studies in Social, Economic & Financial Analysis (ss. 19-43), S. Çelik, O. Küçükahmetoglu, & J. Dobrev (Eds.), Londra: IJOPEC Publication, ISBN: 978-1-9997035-9-2.
- Erkal, H.Y. (2018), Enerji Güvenliğine Yönelik Tehditler ve Enerji Güvenliği Politikalarındaki Değişim, *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:2, Sayı: 2.
- Eroğlu, İ., Yeter, F., Çidem, Y. (2018), Cari Açık Sorunu Perspektifinde Türkiye’nin Enerji Açığı ve Geleceğe İlişkin Öneriler, *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt:7, Sayı:13.
- Ertürk, H. (2012), *Çevre Bilimleri*, 4. Baskı, Ekin Yayınevi, Bursa.
- ETKB (2016), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı İle Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- ETKB (2017), *Dünya ve Türkiye; Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı Yayınları, Ankara.
- ETKB (2019), Rüzgâr Enerjisi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (Erişim: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>)
- EÜAŞ (2016), Elektrik Üretim A.Ş. Yıllık Faaliyet Raporu 2016, Ankara.
- EÜD (2018), *2020 Sonrası Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Destek İhtiyaçları ve Mekanizma Önerileri Çalışma Grubu Raporu*, Elektrik Üreticileri Derneği (EÜD), (Erişim: <http://www.eud.org.tr/wp-content/uploads/2020-sonrasi-yek-tesvikleri-oneri-raporu.pdf>).
- Göral, E. (2011), Avrupa Enerji Güvenliği ve Türkiye, *Avrupa Araştırmaları Dergisi*, Cilt:19, Sayı:2.
- Gruber, J. (2016), *Public Finance and Public Policy*, Worth Publishers, Fifth Edition, New York.

- GÜNDER (2018), *Güneşin Sürdürülebilirliğini Sağlamak “ Güneş Enerjisi Yol Haritası ”*, Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu – Türkiye Bölümü Yayınları, Ankara.
- Gündüzalp ,A.A., Güven, S. (2016), Atık Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. *Sosyolojik Araştırmalar eDergisi*,14.2.2016, ISSN:1304-2823.
- Gürsoy U. (2004), Enerjide Toplumsal Maliyet ve Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türk Tabileri Birliği Yayınları, Ankara.
- GWEC (2016), *Global Wind Energy Outlook 2016*, Global Wind Energy Council,(<https://gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2016/>)
- GWEC (2017), *Global Wind Report Annual Market Update 2017*, Global Wind Energy Council (<https://gwec.net/policy-research/reports/>).
- Hayrullahoğlu, B. (2012), Çevresel Sorunlarla Mücadelede Karbon Vergisi, *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, Cilt: 4, No:2.
- HEAL (2015), *Ödenmeyen Sağlık Faturası: Türkiye’de Kömürlü Termik Santraller Bizi Nasıl Hasta Ediyor?*, Sağlık ve Çevre Birliği HEAL (Health and Environment Alliance) Yayını, (Erişim: https://env-health.org/IMG/pdf/03072015_heal_odenmeyensaglikfaturasi_tr_2015_final.pdf)
- HEAL (2017), *Gizli Maliyet: Fosil Yakıt Teşviklerini Sonlandırmanın Sağlık Faydaları*, Sağlık ve Çevre Birliği HEAL (Health and Environment Alliance) Yayını, (Erişim: http://env-health.org/IMG/pdf/heal_fosil_yakit_tesvikleri_ve_saglik_web.pdf)
- HEAL (2018), *Linyit Kömürü: Sağlık Etkileri ve Sağlık Sektöründen Tavsiyeler*, Sağlık ve Çevre Birliği HEAL (Health and Environment Alliance) Yayını, (Erişim: <https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2018/12/HEAL-Lignite-Briefing-TR-web.pdf>)
- IEA (2017a), *Key World Energy Statistics*, International Energy Agency, France.
- IEA (2017b), *Renewables Information Statistics 2017*, International Energy Agency, France.
- IEA (2018a), *Natural Gas Information*, International Energy Agency, France.
- IEA (2018b), *Snapshot of Global Photovoltaic Markets*, Report IEA PVPS T1-33:2018.

- IEA (2018c), *Renewables Information, Statistics 2018*, International Energy Agency, France.
- IRENA (2016), *The True Cost of Fossil Fuels: Saving on the Externalities of Air Pollution and Climate Change*, The International Renewable Energy Agency.
- IRENA (2017a), *Geothermal Power; Technology Brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2017c), *Rethinking Energy 2017*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2018a), *Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2018*, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.
- IRENA (2018b), *Global Energy Transformation: A roadmap to 2050*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2018c), *Renewable Capacity Statistics 2018*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2018d), *Renewable Power Generation Costs in 2017*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- İlkılıç C., Behçet R. (2006), Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, Elazığ.
- Jacobson, M. Z. (2012), *Air Pollution and Global Warming*, Second Edition, Cambridge University Press, New York.
- James G. S. (2018), *Handbook of Natural Gas Analysis*, John Wiley & Sons, Inc.
- Kaklauskas A., E.K. Zavadskas, S. Raslanas (2005), Multivariant Design and Multiple Criteria Analysis of Building Refurbishments. *Energy and Buildings*, 38 (4).
- Kaklauskas, A., E.K. Zavadskas, S. Raslanas, R. Ginevicius, A. Komka, P. Malinauskas (2006), “Selection of Low-E Windows in Retrofit of Public Buildings By Applying Multiple Criteria Method COPRAS: A Lithuanian Case”, *Energy and Buildings*, 38 (5).
- Kapluhan, E. (2014), Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı:30.

- Kara, F., İlder, H., Keskinçiliç, B. (2018), *Türkiye Kanseri İstatistikleri*, T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Karaca, A. ve O. C. Turgay, (2012), Toprak Kirliliği, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, Cilt:1, Sayı: 1.
- Karaca, C., Erdoğan, M.M. (2012), Türkiye’deki Rüzgâr Çiftliklerinden Elektrik Üretilmesiyle Sağlanabilecek Çevresel ve Ekonomik Kazançlar, *Akdeniz Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, Cilt:12, Sayı:23.
- Karaca, C., Ulutaş, A., Eşgünoğlu, M. (2017), Türkiye’de Optimal Yenilenebilir Enerji Kaynağının COPRAS Yöntemiyle Tespiti ve Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının İstihdam Artırıcı Etkisi, *Maliye Dergisi*, Sayı:172.
- Kargı, V., C. Yüksel (2010), Çevresel Dışsallıklarda Kamu Ekonomisi Çözümleri, *Maliye Dergisi*, Sayı: 159, Temmuz-Aralık 2010.
- Kaya, M. (2016), Türkiye’de Cari Açık Sorunu ve Nedenleri, *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt:6, Sayı:10.
- Kenny, R., Law, C., Pearce, J.M. (2010), Towards Real Energy Economics: Energy Policy Driven By Life-Cycle Carbon Emission, *Energy Policy* 38 (2010) 1969–1978.
- Kete H., M. S. Aydın ve H. Kaya (2017), Çevre Sorunları İle Mücadelede Maliye Politikaları, *Journal of Life Economics*, Cilt:4, Sayı:2.
- Kılıç, F. Ve M. Kılıç (2013), Jeotermal Enerji ve Türkiye, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt: 54, Sayı:639.
- Kılıç, F.Ç. (2015), Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:56, Sayı: 671.
- Kılıçarslan, Z., Dumrul, Y. (2019), Enerji Rebound Etkisinin Panel Veri Yöntemi İle Analizi, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, Cilt 15, Sayı 1.
- Kılıçer, E. (2016), Çevreye Duyarlı Bütçeleme, *Electronic Journal of Vocational Colleges*- October, 2016.
- Kirmanoglu, H. (2013), *Kamu Ekonomisi Analizi*, Beta Yayınları, 4. Baskı, İstanbul.
- Klein R.G. and E. Blake (2002), *The Dawn of Human Culture*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kocaeren, A. A. (2016), “Geri Dönüşüm ”. Aysel Aydın Kocaeren (Ed.), *Çevre ve Enerji içinde* (309-350), İstanbul: Nobel Yayıncılık, 2016.

- Konak, A. (2019), Türkiye'nin Doğalgaz Bağımlılığı ve Alternatif Enerji Kaynaklarının Üretiminin Gerekliliği, *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, Cilt:4, Sayı:7.
- KPMG (2018), Enerji “Sektörel Bakış”, (Erişim: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2018/02/sektorel-bakis-2018-enerji.pdf>).
- LANCET(2017), The Lancet Commission on Pollution and Health, (Erişim: [https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(17\)32345-0.pdf](https://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(17)32345-0.pdf))
- McNeill, J. R. (2000), Something New Under the Sun, An Environmental History of the Twentieth-Century World, W. W. Norton & Company, Inc., New York.
- Miao, R., Ghosh, P.N., Khanna, M., Wang, W., Rong, J. (2019), Effect of Wind Turbines on Bird Abundance: A National Scale Analysis Based on Fixed Effects Models, *Energy Policy* 132 (2019) 357–366.
- Mielke, T. (2019), World Markets for Vegetable Oils: Status and Prospects, Martin Kaltschmitt (Ed.), *Energy from Organic Materials (Biomass)* içinde (261-350), Springer Science+Business Media, New York.
- MTA (2019), Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları, (Erişim: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>).
- Mullier, E., Smallbone, K., Maliene, V. (2013), An Assessment of Sustainable Housing Affordability Using a Multiple Criteria Decision Making Method, *Omega The International Journal of Management Science* 41(2).
- Mundy, P. (2017), *Kömür Atlası*, Heinrich Böll Stiftung Derneği Yayını, (Çev: Çağrı Ekiz), Berlin.
- Musgrave, R. (1959). *The Theory of Public Finance A Study In Public Economy*, New York, McGraw. Hill Book Company.
- NETL (2013), Power Generation Technology Comparison from a Life Cycle Perspective, National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy.
- NREL (2010), Cost and Performance Assumptions for Modeling Electricity Generation Technologies, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy.
- OECD (2019), *OECD Çevresel Performans İncelemeleri Türkiye 2019*, Çeviri: Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

- Ortaç, F.R. (2004), *Global Kamu Malları ve Finansmanı*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Ömürbek, N., Eren, H.(2016), Promethee, Moora ve Copras Yöntemleri İle Oran Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Bir Uygulama, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 8, Sayı:16.
- Özbek, A. (2017a), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Özbek, A. (2017b), Türkiye Diyanet Vakfı'nın Saw, COPRAS ve TOPSİS Yöntemi İle Performans Değerlendirmesi, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, Cilt: 15, Sayı:1.
- Özcan, E.C., Ünlüsoy, S., Eren, T, (2017), ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt: 5, Sayı:2.
- Özdemir, O. (2016), "Çevre Eğitiminin Günümüzde Değişen Yüzü: Sürdürülebilir Yaşam Eğitimi ". Aysel Aydın Kocaeren (Ed.), *Çevre ve Enerji içinde* (1-19), İstanbul: Nobel Yayıncılık, 2016.
- Özkul, C. (2016), Heavy Metal Contamination in Soils Around The Tunçbilek Thermal Power Plant (Kütahya, Turkey), *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Özsoy, A (2016), "Geleneksel Enerji Kaynakları". Aysel Aydın Kocaeren (Ed.), *Çevre ve Enerji içinde* (157-216), İstanbul: Nobel Yayıncılık, 2016.
- Öztürk, N. (2016), *Kamu Ekonomisi*, Ekin Yayınevi, 2. Baskı, Bursa.
- Ponting, C. (2012), "*Dünyanın Yeşil Tarihi, Çevre ve Büyük Uygarlıkların Çöküşü*", Çev. A. Başçı, Sabancı Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Popovic, G., D. Stanujkic, S. Stojanovic (2012), "Investment Project Selection by Applying COPRAS Method and Imprecise Data", *Serbian Journal of Management*, 7(2).
- Rabbani, A., M. Zamani, A.Y. Chamzini, E.K. Zavadskas (2014), "Proposing A New Integrated Model Based on Sustainability Balanced 4 Scorecard (SBSC) and MCDM Approaches By Using Linguistic Variables 5 For The Performance Evaluation of Oil Producing Companies", *Expert Systems with Applications*, 41(16).
- REN21 (2018), *Renewables 2018 Global Status Report*, REN21 Secretariat ,Paris.

- REN21(2017), Renewables Global Futures Report: Great Debates Towards 100% Renewable Energy, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris.
- Renner, M. (2015), “*The Seeds of Modern Threats*”, State of the World 2015, Confronting Hidden Threats to Sustainability, Ed: L. Mastny, Island Press, Washington.
- Ritchie, H. and M. Roser (2017), *Air Pollution* (Erişim: <https://ourworldindata.org/air-pollution/>)
- Saha, J., R. Selladurai, M. Vassanda Coumar, M.L. Dotaniya, S. Kundu, A. Patra (2017), *Soil Pollution- An Emerging Threat to Agriculture*, Springer Imprint, Singapore.
- Sarıçalı, G., Kundakcı, N. (2016), AHP ve COPRAS Yöntemleri İle Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *International Reiew of Economics and Management*, Volum:4, Number: 1.
- Sarıtaş, H., Genç, A., Avcı,T. (2018), Türkiye’deki Enerji İthalatı, Cari Açık ve Büyüme İlişkisi: Var ve Granger Nedensellik Analizi, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt: 14, Yıl:14, Sayı:2.
- Savaşan, F. (2016), Piyasa Başarısızlığından Devletin Başarısızlığına Kamu Ekonomisi, Dora Yayınları, 6. Baskı, BURSA.
- Savrul, B.K.(2016), Enerji Ekonomisi: Türkiye’nin Enerji Sektörü ve Alternatif Enerji Kaynakları, Dora Yayınları, Birinci Baskı, Çanakkale.
- Sevim, C. (2014), Kaya (Şeyl) Gazının Uluslararası Enerji Politikalarına Etkileri, *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1.
- Sovacool, B. (2009), Contextualizing Avian Mortality: A Preliminary Appraisal of Bird and Bat Fatalities from Wind, Fossil-Fuel and Nuclear Electricity, *Energy Policy* 37(2009) 2241–2248.
- Stein, E. (2013), A Comprehensive Multi-Criteria Model to Rank Electric Energy Production Technologies, Aoife M. Foley (Ed.), *Renewable & Sustainable Energy Reviews* içinde (640-654), National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden.
- Stiglitz, J. E. (1994), *Kamu Kesimi Ekonomisi*, Çeviren: Ömer Faruk Batırel, Marmara Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 549, İstanbul.
- Stiglitz, J.E. (2000), *Economics of the Public Sector*, Third Edition, W.W. Norton & Company, New York.
- Susam, N. (2016), *Kamu Maliyesi*, Beta Yayınları, 2. Baskı, İstanbul.

- Şahin, B.E. (2011), Türkiye'nin Cari Açık Sorunu, *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, Cilt:3, No:2.
- Şahin, Ü. (2015), Kömür Raporu, İklim Değişikliği, Ekonomi ve Sağlık Açısından Türkiye'nin Kömür Politikaları, *Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi Yayını*.
- Şanlıoğlu, Ö., ve N. Uzay (2011), "Devletin Yeni İktisadi Rolü". A. Kökocak (Ed.), *Kamu Ekonomisi içinde* (93-124), Ekin Yayınevi, Bursa.
- Şentürk, H.S. (2014), Yeşil Bina Vergi Teşvikleri: Amerika Örneği ve Türkiye İçin Çıkarılabilecek Sonuçlar, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt 10, Yıl 10, Sayı 2.
- TCMB (2019a), Ödemeler Dengesi İstatistikleri, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Odemeler+Dengesi+ve+Ilgili+Istatistikler/Odemeler+Dengesi+Istatistikleri/>
- TCMB(2019b), Brent Petrol ve Enerji İthalatı İstatistikleri, (Erişim: <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?evds/dashboard/1301>)
- TEİAŞ (2017a), *10 Yıllık Talep Tahminleri Raporu*, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı.
- TEİAŞ (2017b), Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2017-2021), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- TEİAŞ (2018), *Kurulu Güç İstatistikleri*, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>
- TEİAŞ (2019a), *Kurulu Güç İstatistikleri*, <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>
- TEİAŞ (2019b), *Sektör Raporları*, <https://www.teias.gov.tr/tr/sektor-raporlari>,
- Teske, S. (2015), *Energy Revolution, A Sustainable World*, Energy Outlook 2015, Greenpeace International.
- Tidball R., J. Bluestein, N. Rodriguez, S. Knoke (2010), *Cost and Performance Assumptions for Modeling Electricity Generation Technologies*, National Renewable Energy Laboratory(NREL), Golden.
- Tiwary, R. K. (2001), Environmental Impact of Coal Mining On Water Regime And Its Management, Water, Air, & Soil Pollution International Journal of Environmental Pollution, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

- TMMOB (2018), *Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/691, Ankara.
- Topal, A., Özoğlu, B. (2018), Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufunun Sürdürülebilir Tüketim Perspektifinden Değerlendirilmesi, 5. Uluslararası Politik, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Kongresi Bildiriler Kitabı, 26-29 Ekim 2018, Niğde.
- TÜİK (2018), (<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>)
- TÜİK (2019a), Fasıllara Göre İthalat. www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=623
- TÜİK (2019b), Dış Ticaret İstatistikleri, (Erişim: http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1046)
- TÜİK (2019c), İşgücü İstatistikleri, (Erişim: http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1007)
- TÜREB (2019a), Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu 2019, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını, Ankara.
- TÜREB (2019b), Türkiye Rüzgâr Santralleri Atlası 2019, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği Yayını, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2019), (http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019)
- Ulutürk, S. (2011), Kamu Ekonomisi Mal ve Hizmet Üretim Analizi, A. Kökocak (Ed.), *Kamu Ekonomisi içinde* (127-166)., Ekin Yayınevi, Bursa.
- UNEP (2011), *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, United Nations Environment Programme.
- UNIDO (2008), *Public Goods for Economic Development*, United Nations Industrial Development Organization Vienna.
- USBR (2005), *Hydroelectric Power, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Power Resources Office* (Erişim: <https://www.usbr.gov/power/edu/pamphlet.pdf>).
- Üçgül, İ. ve U. Elibüyük (2016a), “Yenilenebilir ve Alternatif Enerji Çeşitleri”. Aysel Aydın Kocaeren (Ed.), *Çevre ve Enerji içinde* (221-307), İstanbul: Nobel Yayıncılık, 2016.

- Üçgöl, İ. ve U. Elibüyük (2016b), Okyanus Termal Enerji Dönüşüm (OTEC) Sistemi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 9, Sayı:1, (87-94).
- Ünal S., E. Mançuhan ve A. A.Sayar (2001), *Çevre: Bilinci, Bilgisi ve Eğitimi*, Marmara Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 680, Marmara Üniversitesi Yeni Teknolojiler Geliştirme Merkezi, İstanbul.
- Wagner, H.J. ve J. Mathur (2018), *Introduction to Wind Energy Systems*, Springer International Publishing, 3. Baskı, İsviçre.
- WHO (2005), WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfurdioxide – Global Update 2005.
- WHO (2017), *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines*, World Health Organization (WHO) and United Nations Children’s Fund (UNICEF).
- WHO (2018), *World Health Statistics 2018*, World Health Organization, Luxembourg.
- WHO (2019), Air pollution, Ambient air pollution: Health impacts <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>.
- World Bank (2019a), CO2 Emissions from Liquid Fuel Consumption (kt), (Erişim: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.LF.KT>).
- World Bank (2019b), Climate Change, (Erişim: <https://data.worldbank.org/topic/climate-change>)
- World Bank (2019c), Current Account Balance, (Erişim: <https://data.worldbank.org/indicator/BN.CAB.XOKA.CD>)
- World Bank (2019d), World Development Indicators, The World Bank (Erişim: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>).
- Yanar, R., Kerimoğlu, G. (2011), Türkiye’de Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Cari Açık İlişkisi, *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, Cilt:3, No:2.
- YEGM (2019a), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, (Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>)
- YEGM (2019b), Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA), (Erişim: <http://bepa.yegm.gov.tr/>).
- Yılmaz, O., Hotunluoğlu, H. (2015), Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye, *Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Yıl:2, Sayı:2.

Zaim, A., avşı, H. (2018), Türkiye’de Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:59, Sayı:691.

Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Banaitis, A., Kvederyte, N. (2004), Housing Credit Access Model: The Case for Lithuania. *European Journal of Operational Research* 155.

Zencirci, S.A. ve Işıklı, B., (2017), Hava Kirliliği, Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi, Cilt:2, Sayı:2.

