T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKTİSAT ANABİLİM DALI
İKTİSAT BİLİM DALI

YENİLENEBİLİR ENERJİ İLE EKONOMİK BÜYÜME ARASINDAKİ İLİŞKİ BAĞLAMINDA TÜRKİYE'NİN ENERJİ POLİTİKALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kamil KERİMOĞLU

DOKTORA TEZİ

Danışman
Prof. Dr. Mehmet MUCUK

Konya-2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Bilimsel Etik Sayfası iv
Önsöz / Teşekkür v
Özet vi
Abstract vii
Kısaltmalar ve Simgeler Sayfası viii
Grafikler Listesi xi
Şekiller Listesi xvi
Tablolar Listesi xvii
Giriş 1

BİRİNCİ BÖLÜM – ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI 3

1.1. Enerji Kavramı 3
1.2. Enerji Kaynakları 3
1.3. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları 6
1.3.1. Kömür 6
1.3.2. Petrol 13
1.3.3. Doğalgaz 21
1.3.4. Kaya Gazı 26
1.3.5. Nükleer Enerji 30
1.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 42
1.4.1. Hidroelektrik Enerji 42
1.4.2. Rüzgar Enerjisi 46
1.4.3. Güneş Enerjisi 51
1.4.4. Jeotermal Enerji 58
1.4.5. Hidrojen Enerjisi 64
1.4.6. Biyokütle Enerjisi 72

İKİNCİ BÖLÜM – DÜNYA ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 79

2.1. Dünyanın Enerji Görünümü 79
2.1.1. Kömür Rezervleri, Üretim ve Tüketimi 86
2.1.2. Petrol Rezervleri, Üretim ve Tüketimi 96

2.1.3. Doğalgaz Rezervleri, Üretim ve Tüketimi 107
2.1.4. Nükleer Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi 117
2.1.5. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi 122

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM – TÜRKİYE'NİN ENERJİ POLİTİKALARI 133

3.1. Türkiye'nin Enerji Görünümü 133
3.1.1. Kömür Rezervleri, Üretimi ve Tüketimi 137
3.1.2. Petrol Rezervleri, Üretimi ve Tüketimi 145
3.1.3. Doğal Gaz Rezervleri, Üretim ve Tüketimi 150
3.1.4. Nükleer Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi 155
3.1.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi 157
3.1.6. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi 160
3.1.7. Türkiye'de Hidroelektrik Enerji 162
3.1.8. Türkiye'de Jeotermal Enerji 164
3.2. 2000'li Yıllardaki Kalkınma Planlarında Enerji Hedefleri ve Sonuçları 166
3.2.1. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005) 166
3.2.2. Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013) 169
3.2.3. Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2014-2018) 173
3.2.4. On Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2019-2023) 176

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM – YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME ARASINDAKİ İLİŞKİNİN AMPİRİK ANALİZİ 180

4.1. Teorik Çerçeve 180
4.2. Literatür Taraması 182
4.3. Veri Seti ve Model 185
4.4. Metodoloji 186
4.4.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testleri 186
4.4.2. Homojenlik Testleri 188
4.4.3. Panel Birim Kök Testi 190
4.4.4. Panel Nedensellik Testleri 191
4.5. Ekonometrik Bulgular 194
Sonuç ve Değerlendirme 200
Kaynakça 202
Ekler…. 234

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü

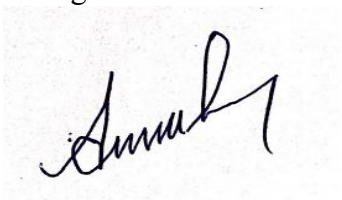
Bilimsel Etik Sayfası

Öğrencinin

Adı Soyadı	Kamil KERİMOĞLU
Numarası	124126001011
Ana Bilim / Bilim Dalı	İktisat/İktisat
Programı	Tezli Yüksek Lisans ☐ Doktora ■
Tezin Adı	Yenilenebilir Enerji ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki Bağlamında Türkiye'nin Enerji Politikalarının Değerlendirilmesi

Bu tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini, tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıf yapıldığını bildiririm.

Öğrencinin imzası



T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü

Öğrencinin		
	Adı Soyadı	Kamil KERİMOĞLU
	Numarası	124126001011
	Ana Bilim / Bilim Dalı	İktisat/İktisat
	Programı	Tezli Yüksek Lisans ☐ Doktora ■
	Tez Danışmanı	Prof. Dr. Mehmet MUCUK
	Tezin Adı	Yenilenebilir Enerji ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki Bağlamında Türkiye'nin Enerji Politikalarının Değerlendirilmesi

Önsöz / Teşekkür

Sanayi devrimi ile birlikte sosyal ve iktisadi alanda ortaya çıkan gelişmeler, enerji kaynaklarına olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılayan yakıtlar ise fosil kaynaklar ile yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır. Fosil yakıtlar nispeten ucuz bir enerji kaynağı olmasına rağmen; gösterdiği dengesiz dağılım yapısı, sınırlı rezerv miktarı ve olumsuz etkilerinden dolayı tartışmalı bir konuma gelmiştir. Enerji güvenliğini sağlamak ve sürdürmek isteyen ülkeler, bu problemlerden ötürü yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik etkileri ise üzerinde oldukça tartışılan konulardan biridir. Üretim faktörleri bakımından önemli bir potansiyele sahip olan Türkiye'de de enerji üretimi ve tüketimi öncelikli başlıklar arasında yer almaktadır.

Gerek dünya gerekse Türkiye açısından merkezi bir konumdaki enerji konusunu bana öneren, tüm aşamalarda yol gösteren ve birikimi ile sürekli destek veren danışman hocam Prof. Dr. Mehmet MUCUK'a, çalışmamın şekillendirilmesinde kıymetli katkılar sunan Prof. Dr. Ahmet AY, Prof. Dr. M. Okan TAŞAR ve Dr. Öğr. Üyesi Arif Behiç ÖZCAN hocalarıma ve ayrıca ekonometrik analizlerde değerli bilgilerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÖZMEN hocama teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tezin yazım sürecinde yanımda olan aileme ve yakınlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Kamil KERİMOĞLU

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü

Öğrencinin		
	Adı Soyadı	Kamil KERİMOĞLU
	Numarası	124126001011
	Ana Bilim / Bilim Dalı	İktisat/İktisat
	Programı	Tezli Yüksek Lisans ☐ Doktora ■
	Tez Danışmanı	Prof. Dr. Mehmet MUCUK
	Tezin Adı	Yenilenebilir Enerji ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki Bağlamında Türkiye'nin Enerji Politikalarının Değerlendirilmesi

Özet

Enerji; iktisadi, sosyal, teknik ve çevresel koşullar bakımından önemli bir fonksiyon üstlenmektedir. Enerji ihtiyacının karşılanmasında ise ağırlıklı olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtların rezervleri sınırlı ve dağılımı de dengesizdir. Ayrıca bu yakıtlar ekolojik dengeleri de tehdit etmektedir. Dolayısıyla alternatif enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir. Buna karşılık yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi konusunda farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Büyüme hipotezi enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru bir nedensellik ilişkisinin olduğunu kabul etmektedir. Koruma hipotezi ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru bir nedensel ilişki olduğunu varsaymaktadır. Geri bildirim hipotezi de karşılıklı bir nedensel bağıntıyı benimsemektedir. Tarafsızlık hipotezi ise değişkenler arasında nedensel bir ilişki olmadığını ileri sürmektedir. Bu çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki 1990-2015 dönemine ait verilerden hareketle 20 OECD ülkesi için Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testi kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular panel geneli için yenilenebilir enerjiden ekonomik büyümeye doğru bir nedensellik ilişkisi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme, OECD Ülkeleri, Dumitrescu ve Hurlin Panel Nedensellik Testi

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü

Öğrencinin		
	Adı Soyadı	Kamil KERİMOĞLU
	Numarası	124126001011
	Ana Bilim / Bilim Dalı	İktisat/İktisat
	Programı	Tezli Yüksek Lisans ☐ Doktora ■
	Tez Danışmanı	Prof. Dr. Mehmet MUCUK
	Tezin Adı	The Evaluation Turkey's Energy Policy in The Context of The Relationship Between Renewable Energy and Economic Growth

Abstract

Energy plays an important function in terms of economic, social, technical and environmental conditions. Fossil fuels are mainly used to meet energy needs. However, the reserves of fossil fuels are limited and their distribution is unstable. In addition, these fuels threaten ecological balances. Therefore, the use of alternative energy sources becomes inevitable. In contrast, there are different approaches to the impact of renewable energy consumption on economic growth. The growth hypothesis acknowledges that there is a causal relationship from energy consumption to economic growth. The conservation hypothesis assumes that there is a causal relationship starting from economic growth and resulting in energy consumption. Also the feedback hypothesis adopts a mutual causal correlation. The neutrality hypothesis suggests that there is no causal relationship between variables. In this study, the relationship between renewable energy consumption and economic growth was analyzed for 20 OECD countries based on data from 1990-2015 by using Dumitrescu and Hurlin panel causality test. The obtained results showed that there is a casual relationship from renewable energy to economic growth for panel.

Keywords: Energy, Renewable Energy Consumption, Economic Growth, OECD Countries, Dumitrescu and Hurlin Panel Causality Test.

Kısaltmalar ve Simgeler Sayfası

AB:	Avrupa Birliği
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
API:	Amerikan Petrol Enstitüsü
BFC:	Milyar Fit Küp
BP:	British Petrol
BTU:	British Thermal Unit
CNG:	Sıkıştırılmış Doğal Gaz
DPT:	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ:	Devlet Su İşleri
EIA:	Amerikan Enerji Bilgi Dairesi
EPDK:	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FSRU:	Doğalgaz Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi
GEPA:	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES:	Güneş Enerjisi Santrali
GRI:	Gaz Araştırma Enstitüsü
GSYH:	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GW:	Gigawatt
HES:	Hidroelektrik Santraller
IAEA:	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
IEA:	Uluslararası Enerji Ajansı
IHEA:	Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliği
İTÜ:	İstanbul Teknik Üniversitesi
kg:	Kilogram
kW:	Kilowatt

kWh:	Kilowatt Saat
LNG:	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG:	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
M.Ö:	Milattan Önce
M.S:	Milattan Sonra
m^3:	Metreküp
MIT:	Massachusetts Institute of Technology
MTA:	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
Mtep:	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW:	Megawatt
NASA:	Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
ODTÜ:	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OECD:	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
OAPEC:	Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği
OPEC:	Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği
PWR:	Nükleer Reaktör Tipi
RES:	Rüzgar Enerji Santrali
SSCB:	Sovyet Sosyalist Cumhuriyeti Birliği
TAEK:	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TANAP:	Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı
TEDAŞ:	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TETAŞ:	Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
Tfc:	Trilyon Fit Küp
TKİKGM:	Türkiye Kömür İşletme Kurumu Genel Müdürlüğü
TMMOB:	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

TÜREB: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği

UNDP: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

WCA: Uluslararası Kömür Kurulu

WNA: Dünya Nükleer Birliği

YEKA: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı

Grafikler Listesi

Grafik 1:	Dünya Birincil Enerji Tüketimi (mtep) ……..	79
Grafik 2:	Dünya Toplam Birincil Enerji Tüketimi, 2015-2050 (katrilyon btu) …….	80
Grafik 3:	Ülkelere Gruplarına Göre Toplam Birincil Enerji Tüketimi (mtep) ……..	81
Grafik 4:	Ülke Gruplarına Göre Birincil Enerji Tüketimi, 2015-2050 (btu) …….	82
Grafik 5:	Birincil Enerji Tüketiminde İlk 10 Ülke (1965, mtep) ……...	82
Grafik 6:	Birincil Enerji Tüketiminde İlk 10 Ülke (2016, mtep) ……...	83
Grafik 7:	Dünya Geneli İçin Kaynaklarına Göre Enerji Tüketimi (2016, mtep) ……	84
Grafik 8:	Kaynaklarına Göre OECD Ülkelerinde Enerji Tüketimi (2016, mtep) ……	84
Grafik 9:	Kaynaklarına Göre OECD Üyesi Olmayan Ülkelerde Enerji Tüketimi (2016, mtep) ……	85
Grafik 10:	Dünya Karbondioksit Emisyonu (milyon ton karbondioksit)..	85
Grafik 11:	Ülke Gruplarına Göre Karbondioksit Emisyonları …….	86
Grafik 12:	Dünya Kömür Rezervlerinin Türlerine Göre Dağılımı (2016, milyon ton) ……..	87
Grafik 13:	Kömür Rezervlerinin Ülke Gruplarına Göre Dağılımı (2016, milyon ton) ……..	88
Grafik 14:	Dünya Kömür Rezervleri İtibariyle İlk 20 Ülke (2016 Sonu, milyon ton) …….	89
Grafik 15:	1981-2016 Dönemi Dünya Kömür Üretimi (milyon ton) …..	90
Grafik 16:	1981-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Kömür Üretimi (milyon ton) ……..	91
Grafik 17:	1981 Yılı Dünya Kömür Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon ton) …….	92
Grafik 18:	2016 Yılı Dünya Kömür Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon	93

ton) …….

Grafik 19: 1965-2016 Dönemi Dünya Kömür Tüketimi (mtep) ……. 94

Grafik 20: 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Kömür Tüketimi (mtep) ……. 94

Grafik 21: 1965 Yılı Dünya Kömür Tüketiminde İlk 10 Ülke (mtep) …. 95

Grafik 22: 2016 Yılı Dünya Kömür Tüketiminde İlk 10 Ülke (mtep) …. 96

Grafik 23: 1980-2016 Dönemi Dünya Petrol Rezervleri (milyar varil) .. 98

Grafik 24: Dünya Petrol Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı (2016, milyar varil) …… 98

Grafik 25: Dünya Petrol Rezervlerinde İlk 20 Ülke (2016, milyar varil) 99

Grafik 26: 1965-2016 Dönemi Dünya Petrol Üretimi (milyon varil/gün) 100

Grafik 27: 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Petrol Üretimi (milyon varil/gün) ……. 101

Grafik 28: 1965 Yılı Dünya Petrol Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün) …… 102

Grafik 29: 2016 Yılı Dünya Petrol Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün) …… 103

Grafik 30: 1965-2016 Dönemi Dünya Petrol Tüketimi (milyon varil/gün) …… 104

Grafik 31: 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Petrol Tüketimi (milyon varil/gün) ……... 105

Grafik 32: 1965 Yılı Dünya Petrol Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün) …… 106

Grafik 33: 2016 Yılı Dünya Petrol Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün) …… 107

Grafik 34: 1980-2016 Dönemi Dünya Doğalgaz Rezervleri (trilyon metreküp) …… 108

Grafik 35: Dünya Doğalgaz Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı (2016, trilyon metreküp) …… 109

Grafik 36: Dünya Doğalgaz Rezervleri İtibariyle İlk 20 Ülke (2016, trilyon metreküp) …… 110

Grafik 37: 1970-2016 Dönemi Dünya Doğalgaz Üretimi (milyar metreküp) …… 111

Grafik 38: 1970-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Doğalgaz Üretimi (milyar metreküp) ……. 112

Grafik 39: 1970 Yılı Dünya Doğalgaz Üretiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp) …… 113

Grafik 40: 2016 Yılı Dünya Doğalgaz Üretiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp) …… 114

Grafik 41: 1970-2016 Dönemi Dünya Doğalgaz Tüketimi (milyar metreküp) …… 114

Grafik 42: 1970-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Doğalgaz Tüketimi (milyar metreküp) …… 115

Grafik 43: 1970 Yılı Dünya Doğalgaz Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp) ……... 116

Grafik 44: 2016 Yılı Dünya Doğalgaz Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp) ……... 117

Grafik 45: 1965-2016 Dönemi Dünya Nükleer Enerji Tüketimi (mtep) .. 119

Grafik 46: 1965-2016 Dönemi Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketimi (mtep) …….. 123

Grafik 47: 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketimi (mtep)…….. 124

Grafik 48: 2016 Yılı Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketiminde İlk 15 Ülke (mtep) …… 125

Grafik 49: 2016 Yılı Dünya Yenilenebilir Enerji Yatırımında İlk 10 Ülke (milyar dolar) ……. 125

Grafik 50: 1989-2016 Dönemi Dünya Güneş Enerjisi Tüketimi (mtep) .. 127

Grafik 51: 1989-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Güneş Enerjisi Tüketimi (mtep) …… 128

Grafik 52: 2016 Yılı Dünya Güneş Enerjisi Tüketiminde İlk 15 Ülke (mtep) ……. 129

Grafik 53: 1988-2016 Dönemi Dünya Rüzgar Enerjisi Tüketimi (mtep) 130

Grafik 54: 1988-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Rüzgar

Enerjisi Tüketimi (mtep) ……. 131

Grafik 55: 2016 Yılı Dünya Rüzgar Enerjisi Tüketiminde İlk 15 Ülke (milyon ton eşdeğer petrol) …… 132

Grafik 56: 1980-2017 Dönemi Türkiye'nin Birincil Enerji Üretimi ve Tüketimi (bin ton eşdeğer petrol) ……... 134

Grafik 57: Kaynaklarına Göre Türkiye'de Birincil Enerji Tüketimi (2017, %) …… 136

Grafik 58: 1980-2017 Dönemi Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimi (TWh) ……. 136

Grafik 59: Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimi (2017, %) ……... 137

Grafik 60: Türkiye Kömür Rezervlerinin Türlerine Göre Dağılımı (2017, milyon ton) …….. 139

Grafik 61: 1980-2017 Dönemi Türkiye Kömür Üretimi (milyon ton) …. 140

Grafik 62: 1980-2017 Dönemi Türkiye Kömür Tüketimi (milyon ton) .. 141

Grafik 63: 1980-2017 Dönemi Türkiye Toplam Kömür İthalatı (milyon ton) …….. 142

Grafik 64: Türkiye'de Kömür İthalatında Ülke Payları, 2016 (milyon ton) ……. 143

Grafik 65: Kömür Türlerinin Elektrik Üretimindeki Payı (2017, %) …. 144

Grafik 66: 1980-2017 Dönemi Elektrik Üretiminde Kömürün Payı (%) 144

Grafik 67: 1985-2017 Dönemi Türkiye Petrol Rezervleri (milyar varil) 146

Grafik 68: 1980-2017 Dönemi Türkiye Ham Petrol Üretimi (bin varil/gün) ……. 147

Grafik 69: 1980-2017 Dönemi Türkiye Ham Petrol Tüketimi (bin varil/gün) ……. 148

Grafik 70: 1980-2016 Dönemi Türkiye Ham Petrol İthalatı (bin varil/gün) ……. 149

Grafik 71: Ülkelere Göre Türkiye'nin Petrol İthalatı (2017, %) …….. 149

Grafik 72: 1980-2017 Dönemi Türkiye Doğalgaz Rezervleri (tfc) …….. 151

Grafik 73: 1980-2015 Dönemi Türkiye Doğalgaz Üretimi (bfc) ……. 153

Grafik 74: 1980-2017 Dönemi Türkiye Doğalgaz Tüketimi (tfc) …… 154

Grafik 75: 1987-2017 Dönemi Türkiye Doğalgaz İthalatı (tfc) ……... 154

Grafik 76: Ülkelere Göre Türkiye'nin Doğalgaz İthalatı (2017, %) …… 155

Grafik 77: Türkiye Güneşlenme Süreleri (saat) ……... 159

Grafik 78: 1998-2018 Dönemi Türkiye Rüzgar Enerjisinin Gelişimi (MW) ……... 161

Grafik 79: Rüzgar Enerji Santrallerinin İllere Göre Dağılımı (2018, MW) …… 161

Grafik 80: 1965-2017 Dönemi Türkiye Hidrolik Enerji Üretimi (TWh).. 164

Grafik 81: 1984-2018 Dönemi Türkiye'nin Kurulu Jeotermal Güç Kapasitesi (MW) ……. 165

Şekiller Listesi

Şekil 1: Kömür Türleri …….. 7

Şekil 2: Fisyon Tepkimesi ve Zincirleme Tepkime ……..…… 32

Şekil 3: Füzyon Kaynaşması ……...…….. 33

Şekil 4: Rüzgar Türbinlerinin Genel Yapısı ……. 47

Şekil 5: Lindal Diyagramı ……. 61

Şekil 6: Biyokütle Kaynaklarından Enerji Üretiminde Ana Süreçler ….. 73

Şekil 7: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) ……... 158

Şekil 8: Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Alanları ve Sıcaklık Dağılımı … 166

Tablolar Listesi

Tablo 1:	Enerji Kaynaklarının Gruplanlandırılması ……..…	4
Tablo 2:	Yenilenebilir Enerji Türleri ve Kaynakları …….	5
Tablo 3:	Ham Petrolün API Sınıflandırması ……..	15
Tablo 4:	Dünya Genelinde Nükleer Santrallerin Bulunduğu Ülkeler (2017) ……..	121
Tablo 5:	Ülkelere Göre Petrol Ürünlerinin İthalat Miktarları (2017, milyon ton) ……..	150
Tablo 6:	Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (2006) ……...	159
Tablo 7:	Dokuzuncu Kalkınma Planı Enerji Hedefleri …….	170
Tablo 8:	On Birinci Kalkınma Planı Enerji Hedefleri ……..	177
Tablo 9:	Literatür Taraması ……..	183
Tablo 10:	Ekonometrik Veri ……	186
Tablo 11:	Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Test Sonuçları ……..	194
Tablo 12:	Panel Birim Kök Testi …….	195
Tablo 13:	Dumitrescu ve Hurlin (2012) Panel Nedensellik Testi Sonuçları	196
Tablo 14:	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantaj ve Dezavantajları Karşılaştırma Tablosu ……..	234

Giriş

Enerji, insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve iktisadi hedeflerin gerçekleştirilmesinde temel bir fonksiyon üstlenmektedir. Küreselleşme ile birlikte enerjinin bu rolü gelişmişlik düzeyi birbirinden farklı tüm ülkeler için çok daha fazla belirleyici hale gelmiştir. Çünkü ülkeler arasındaki sınırların ortadan kalkması, rekabet koşullarını ağırlaştırarak kesintisiz büyüme performanslarını kaçınılmaz hale getirmektedir. Büyüme ise yatırım ve tüketim faaliyetlerini uyararak enerji talebinin yükselmesi ile sonuçlanmaktadır.

Enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan kaynaklar ağırlıklı olarak fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar üretim maliyetleri görece düşük olduğu için küresel ölçekte oldukça fazla talep görmektedir. Ancak bu yakıtların rezerv dağılımı dengesiz olduğu gibi aynı zamanda da sınırlıdır. Ayrıca karbon içerikleri yüksek olduğundan ekolojik dengeleri de büyük ölçüde tehdit etmektedir. Söz konusu problemler, enerji güvenliğinin sağlanması bakımından yenilenebilir enerji kullanımını beraberinde getirmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme ile ilişkisi konusunda ise farklı yaklaşımlar ve farklı bulgular bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ele alan büyüme hipotezi, enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru; koruma hipotezi ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru bir bağlantı olduğunu ileri sürmektedir. Diğer taraftan geri bildirim hipotezi söz konusu değişkenler arasında karşılıklı bir nedensellik olduğunu kabul ederken; tarafsızlık hipotezi ise bu değişkenlerin bir bağıntı içerisinde olmadığını varsaymaktadır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında bir ilişki olup olmadığı 20 OECD ülkesi için ampirik olarak test edilmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda Türkiye'nin enerji politikalarına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Enerji tüketimi diğer ülkelere göre daha fazla olan ve yenilenebilir enerjiye de görece daha fazla yatırım yapan bu ülkelere ait ekonometrik bulgular, diğer ülkelerin uygulamaları için de örnek teşkil edebilecektir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde enerjinin kavramsal çerçevesi ve temel enerji kaynakları ele alımaktadır. İkinci bölümde dünyanın enerji görünümü istatistiki veriler doğrultusunda değerlendirilmektedir. Üçüncü bölümde Türkiye'nin enerji görünümü kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek kalkınma planlarında yer alan düzenlemeler ve bunların sonuçları üzerinde durulmaktadır. Son bölümde ise, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiye yönelik teorik çerçeve çizilerek literatürdeki bazı çalışmalara ait özet bilgiler sunulmaktadır. Ardından bu değişkenler arasındaki nedensel bağıntı, 20 OECD ülkesi için test edilerek elde edilen ampirik bulgular sunulmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI

1.1. Enerji Kavramı

Modern insanın günlük yaşamını sürdürebilmesi açısından enerji, temel gereksinimlerden biri kabul edilmektedir (Soylu ve Türkay, 2005). Enerji kelimesi eski Yunan dilinde iş sözcüğünden türemiş olup; iş yapabilme veya güç yaratma yeteneğini ifade eder (Aydın, 2014: 21).

Spurgeon ve Flood (2014) enerjinin, cisimlerin hareket etmesine ya da değişmesine yol açtığını, değişen ya da hareket eden her şeyde enerjinin bir biçimi ile bulunduğunu belirtmişlerdir. Termodinamikte enerji, "bir etki meydana getirebilme kapasitesi, kabiliyeti" olarak nitelendirilir. Günlük hayatta ise "enerji" terimi ile enerjinin farklı formlarını oluşturan iş ve ısı kastedilmektedir (Spurgeon ve Flood, 2014: 4).

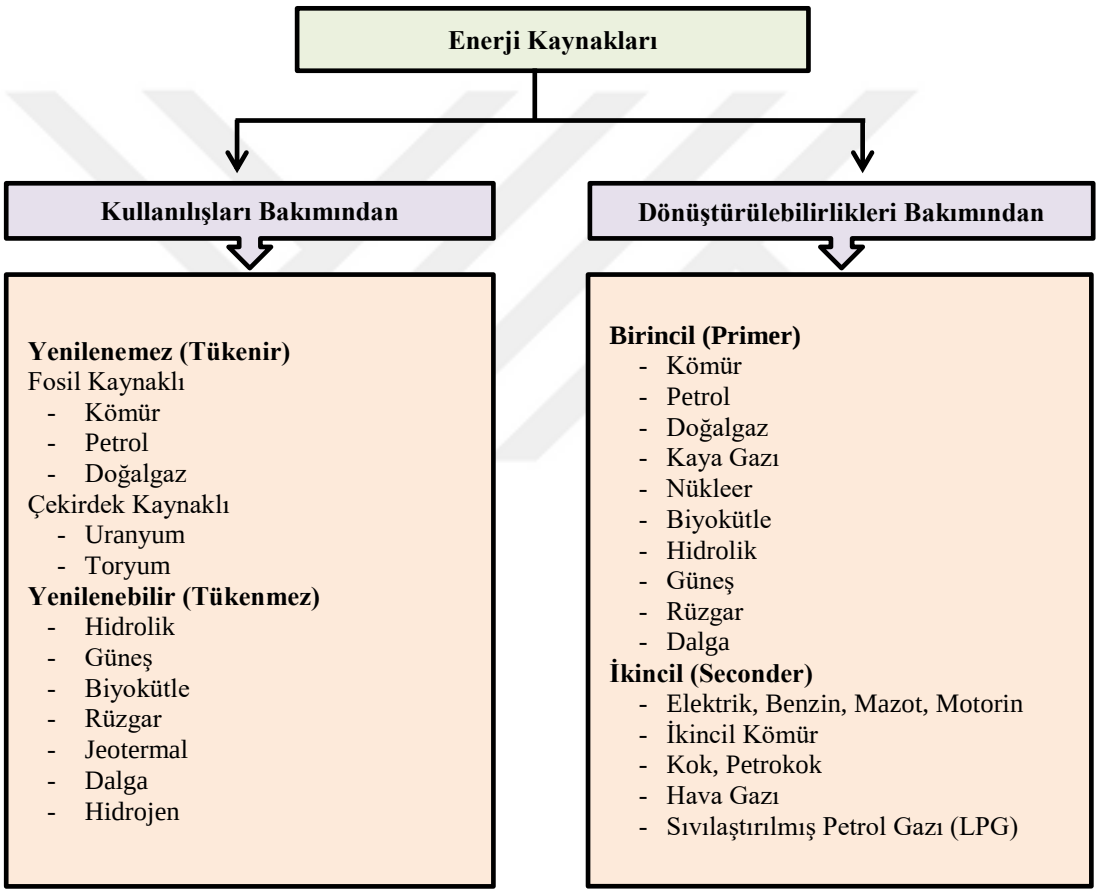
Günlük hayatın neredeyse her alanında gerekli olan ve kullanılan enerji, doğada farklı şekillerde bulunabilmekte ve çeşitli teknikler yardımıyla da birbirine dönüştürülebilmektedir. Bu sayede; nüfus artışı, ekonomik büyüme, kentleşme ve sanayileşme gibi faktörlere bağlı olarak artan enerji talebinin karşılanması mümkün hale gelebilmektedir. Dolayısıyla enerji kaynakları değişik şekillerde sınıflandırılabilmektedir (Koç ve Şenel, 2013: 33).

1.2. Enerji Kaynakları

Sanayi devriminden önce enerji ihtiyacı, doğada hazır bir şekilde bulunan odun, rüzgar ve su gibi temel kaynaklar ile insan ve hayvanların kas kuvvetinden faydalanarak karşılanırken; buhar makinesinin icadı, enerji kaynakları bakımınından değişimin başlangıcı olmuştur (Soylu ve Türkay, 2005). Emek-yoğun üretim tekniğinden sermaye-yoğun üretim tekniğine geçiş, yeni ve ısıl değeri daha yüksek enerji kaynaklarına yönelime hız kazandırmıştır.

Genel itibariyle enerji kaynakları, kullanılışlarına ve dönüştürülebilirlik özelliklerine göre iki ayrı başlık altında incelenmektedir. Kullanılışları bakımından enerji kaynakları yenilenemez (tükenir) ve yenilenebilir (tükenmez) enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılırken; dönüştürülebilirlik özelliklerine göre enerji kaynakları birincil (primer) ve ikincil (seconder) enerji kaynakları şeklinde bir sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır (Tiftikçigil ve Yesevi, 2015: 28-29).

Tablo 1. Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması



Kaynak: Koç ve Şenel, 2013: 33.

Yenilenebilir enerji ile yenilenemeyen enerji kaynakları arasındaki ayırım; doğada mevcut rezervlerinin veya stoklarının sınırlı olup olmadığı ile ilgilidir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji, doğanın kendi döngüsü içinde meydana gelen ve sürekli var olan bir enerji kaynağı şeklinde tanımlanabilir. Tüketimi kaçınılmaz olmakla birlikte ekolojik dengeleri olumsuz yönde etkileyen fosil yakıtların aksine, temiz enerji kaynakları arasında; hidrolik enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi,

rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi ve hidrojen enerjisi yer almaktadır (Oktik, 2000: 48).

Tablo 2. Yenilenebilir Enerji Türleri ve Kaynakları

Yenilenebilir Enerji Türleri	Kaynak
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Hidrolik Enerjisi	Akarsu, Nehir
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Jeotermal Enerji	Yeraltı Suları
Dalga Enerjisi	Okyanus, Deniz
Hidrojen Enerjisi	Su

Kaynak: Tiftikçigil ve Yesevi, 2015: 28-29.

Yenilenemeyen enerji kaynakları, gelecekte tükenebileceği öngörülen yakıtları kapsamakta olup; kendi içerisinde fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. Genellikle fosil kaynaklı yakıtlar; kömür, petrol ve doğal gazdan oluşurken; çekirdek kaynaklılar ise uranyum ve toryum gibi nükleer enerjinin hammaddelerinden meydana gelmektedir. Her iki gruptaki kaynaklar da doğada sınırlı miktarda bulunmaktadır.

Birincil enerji; doğanın kendi işleyişi içerisinde meydana gelen, çeşitli kimyasal tepkimelere bağlı olarak oluşan, ayrıştırma ve temizleme dışında herhangi bir çevrim geçirmeden de kullanılabilen kömür, petrol, güneş ışığı, akarsular ve bitki atıkları gibi kaynaklardır. İkincil enerji ise; kömür, petrol, doğalgaz, güneş, su ve rüzgâr gibi birincil kaynakların çevrim ünitelerinde dönüştürülmesi sonucu kullanıma elverişli hale getirilen enerji kaynaklarıdır. Dolayısıyla ikincil enerji kaynaklarının elde edilmesi, birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesine bağlıdır. Bu nedenle ikincil enerji üretiminin temel girdisi birincil enerji kaynakları olup; elektrik ve akaryakıt ürünleri ikincil enerji kaynaklarına örnek verilebilir (Aydın, 2014: 25).

1.3. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Tüketildikçe miktarı azaldığı için sınırlı bir rezerve sahip olan enerji kaynakları, yenilenemeyen enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Bu kaynaklar aşağıda belirtilen 4 temel unsurdan meydana gelmektedir:

- Kömür
- Petrol
- Doğalgaz
- Nükleer Enerji (Uranyum)

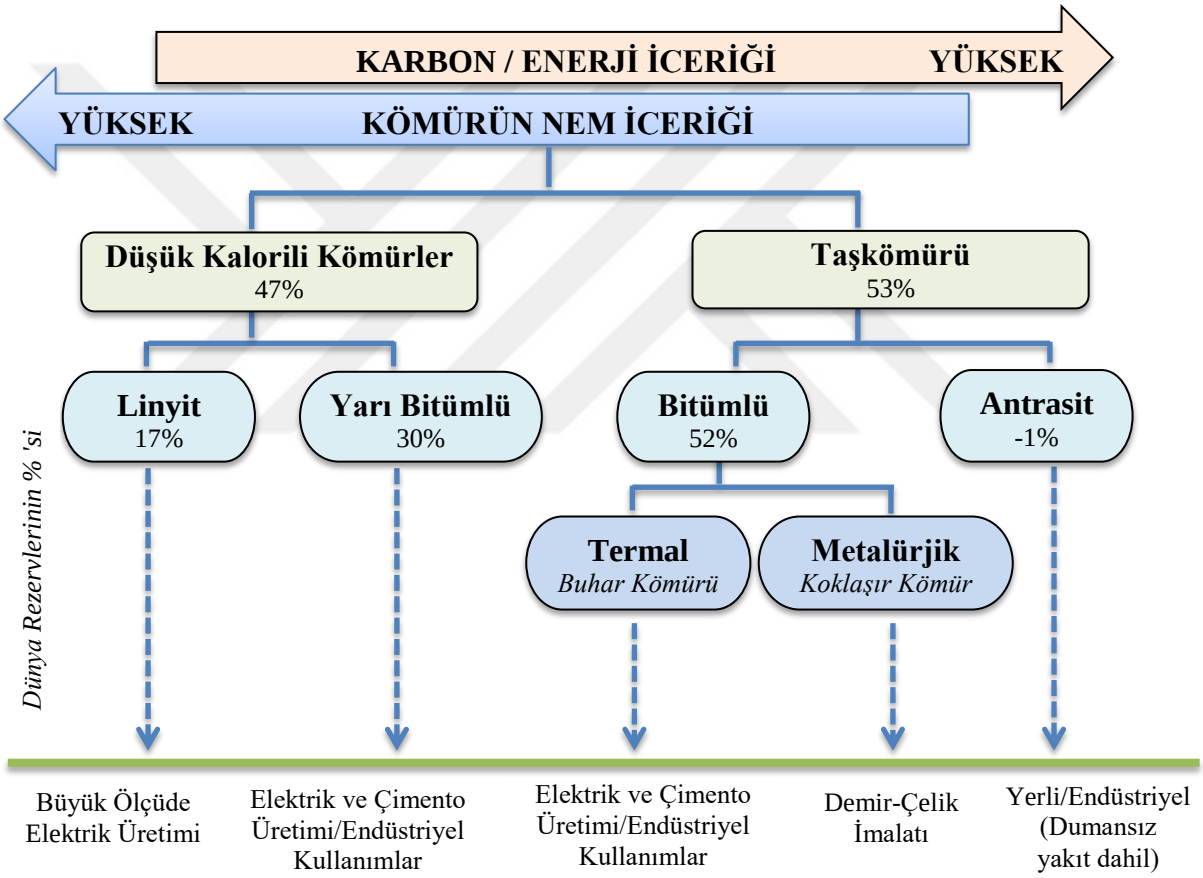
1.3.1. Kömür

Fosil yakıtlar içerisinde önemli bir konuma sahip olan kömür, maliyet avantajının yanı sıra rezerv konsantrasyonun da görece yüksek olmasından ötürü günümüzde en fazla tercih edilen yakıtlar içerisinde yer almaktadır. Nitekim 2018 yılı itibariyle küresel enerji talebinin yaklaşık yüzde 30'u kömür ile karşılanmaktadır. Ancak kömür, dünyanın her bölgesinde kullanılmasına rağmen; içerdiği karbon değerinin yüksek olmasından ötürü çevresel standartların düşük olduğu ülkelerde daha fazla tercih edilmektedir (Bayraç, 2009: 117, www.worldcoal.org 06.09.2019). Diğer taraftan temiz kömür teknolojileri alanında son dönemlerde yaşanan gelişmeler, bu kaynağın farklı gelişmişlik düzeyindeki ülkelerde daha fazla kullanımı için elverişli bir zemin yaratmaktadır.

Kömürün Oluşumu: Kömür; lignoselülozik bitki dokularından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içeriğinde yoğun olarak karbon (C), az miktarda da hidrojen (H), oksijen (O), kükürt (S) ve azot (N) elementlerinin yer aldığı kahverengi ve siyah renk tonlarındaki katı, heterojen nitelikli fosil organik kütlelerdir. Genellikle bataklıklarda uygun şartların oluşması durumunda, bitki parçalarının bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile birlikte bir jel haline gelmesi ve bazı kimyasal tepkimeler üzerine söz konusu organik malzemenin fiziksel değişikliklere uğraması sonucu meydana gelmektedir (TKİKGM, 2010: 1). Ancak bu süreçler milyonlarca yılın geçmesini gerektirdiğinden kömür, yenilenemeyen bir enerji kaynağı şeklinde nitelendirilir (Aydın, 2014: 47).

Uluslararası Kömür Kurulu (WCA) tarafından kömür; "sert kömürler" ve "düşük dereceli kömürler" olmak üzere 2 ana başlık altında incelenmektedir. Yüksek kalorifik değere sahip olan sert kömürler (taşkömürü); içeriği, ısıl değeri ve koklaşma özellikleri itibariyle "bitümlü kömürler" ve "antrasit" olmak üzere 2 ayrı türü içinde barındıran kömürleri ifade etmektedir. Düşük kalorifik değere sahip olan "düşük dereceli kömürler" ise; "linyit" ve "yarı bitümlü kömürler"den meydana gelmektedir (TMMOB, 2010: 9-10; www.worldcoal.org 06.09.2019).

Şekil 1. Kömür Türleri



Kaynak: www.worldcoal.org 06.09.2019.

Kömürün Çıkarılması (Kömür Madenciliği): Dünyanın her kıtasında kömür bulunmakta olup, kalitesi çok düşük veya ulaşılması çok güç olmadığı sürece, genellikle yüzeye yakın bölümlerden veya çeşitli derinliklerden dışarı çıkartılmaktadır. Kömür çıkarma metotları genel olarak "açık işletme yöntemi" ve "yeraltı işletme yöntemi" olmak üzere iki gruba ayrılır (World Bank, 1998: 282).

Çıkarma yönteminin seçiminde ise örtü tabaka kalınlığı, toprak ve kaya parçalarının sertlik derecesi, kazılabilirlik durumu, başlangıç yatırım sermayesi ve ortalama maliyetler belirleyici olmaktadır (www.worldcoal.org 06.09.2019).

Kömür damarı, yüzeyin 200 metre kadar altında olduğu takdirde açık işletme yöntemi ile büyük kapasiteli kazıcılar, yükleyiciler ve kamyonlar kullanılmaktadır. Bu tip madenlerde işçilerin verimi, yeraltında çalışanlara oranla daha yüksektir. Dolayısıyla açık işletme yöntemi, yeraltı işletmelerine göre düşük maliyetli ve aynı zamanda daha güvenli bir kömür çıkartma yöntemidir. Ancak, dünya genelinde kömürün büyük bir bölümü yeraltı madenlerinden elde edilmektedir. Yeraltı işletme yöntemi ile kömürün çıkarılmasında kazılan alanı göçmeden tutabilecek hidrolik güçlendiricilerden, kömür kazıcılardan ve nakledici taşıyıcılardan faydalanılmaktadır. Bunların bazılarının derinliği 900 metre ile 1.200 metreyi bulduğundan, derinliklerdeki damarlara asansörle donatılmış dikey kuyularla girilmektedir. Daha az derinlerde yer alan damarlar ise yüzeye eğimli tünellerle bağlanarak kömür çıkarılır (www.southcoal.ru 30.01.2016).

Kömürün Tarihsel Gelişimi: İnsanoğlu, kömürü ilk defa MÖ. 2000 yılında Antik Çin ve Yunanistan'da, MS. 1200'de ise Britanya'da Tyne Nehri boyunca yüzeyden sınırlı miktarda çıkararak evlerde ısınma kaynağı olarak kullanmıştır. Ancak kömür sadece bir ısı kaynağı olarak değil; ilerleyen zamanlarda modern bilimin gelişme sürecine destek veren bir maden haline evrilmiştir. Nitekim 18. yüzyılın ikinci yarısında kömür, o dönemin en önemli güç sembollerinden biri olan demir ile birlikte üretim süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılarak sanayi devrimi gerçekleştirilmiştir (Plachkova, 2013; Ediger, 2006:223).

Üretim aşamasında kömür ilk kez; Thomas Savery tarafından 1698'de gaz halindeki suyun hareket ettirme gücüne ulaşması için, 1712 yılında da Thomas Newcomen tarafından madenlerdeki suyu çıkarmak üzere kullanılmıştır. Sanayi Devriminde ise James Watt 1769'da icat ettiği buhar makinesini kömürle çalıştırarak üretim tekniğini keskin bir şekilde değiştirmiştir. Ardından gerek demiryolu gerekse denizyolu araçlarında kömür, temel yakıt halini alarak 1800'lerin başında İngiltere'yi Avrupa'nın "mekanik atölyesine" dönüştürmüştür. Böylece buhar ve kömür;

ekonomik, teknolojik ve aynı zamanda sınai kalkınmanın kaynağı haline gelmiştir (Montgomery, 2014: 23).

Ayrıca 1807'de kömürden elde edilen havagazıyla çalışan sokak lambaları, Londra'da kullanılmaya başlanmıştır. Ardından 1825 yılında George Stephenson'un icat ettiği kömürle çalışan ilk buharlı tren, kısa süre içerisinde Avrupa ve Amerika'da yaygın bir şekilde kullanım kazanmıştır. Daha sonra ise kömür elektrik üretiminde kullanılmış ve 1882'de New York'ta bir termik santral kurulmuştur (Plachkova, 2013).

Sonuç olarak kömür sadece sanayi devrimini ateşlemekle kalmamış, ardından elektrik çağını başlatarak dünyanın çok daha farklı bir gelişmişlik noktasına gelmesini sağlamıştır. Bu bağlamda 1960'lı yıllara kadar kömür dünyanın en fazla talep gören enerji kaynağı olurken; o tarihten sonra yerini yavaş yavaş petrole bırakmıştır (Türkiye Taşkömürü Kurumu, 2015:3).

Kömürün Kullanım Alanları: Tarihsel süreçte insanoğlu tarafından kömürün çok çeşitli alanlarda farklı amaçlar için değerlendirildiği görülmektedir. Bu kapsamda kömür; endüstriyel üretimde temel bir girdi, deniz ve demiryolu ulaşımında yakıt ve konutlarda da bir ısınma aracı şeklinde kullanılmıştır. Ancak zaman içerisinde petrol, nükleer ve doğalgaz gibi diğer enerji kaynakları aşamalı olarak kömürün yerini almaya başladığı için kömürlü teknolojiler de önemini belli ölçüde kaybetmiştir. Diğer taraftan bazı ülkeler, özellikle yarattığı maliyet avantajından ötürü özellikle de elektrik üretiminde kömürü yoğun bir şekilde kullanmayı sürdürmektedir. Nitekim 2018 yılı itibariyle dünya genelinde üretilen elektriğin yaklaşık yüzde 38'i kömürden elde edilmektedir (Türkiye Taşkömürü Kurumu, 2017: 8, Aydın, 2014: 55, BP Statistical Review of World Energy, 2019: 56).

Diğer taraftan yeni enerji kaynakları arasında yerini alan kömür kökenli metan gazının, doğalgaz şeklinde değerlendirilmesine yönelik çeşitli ülkelerde önemli çalışmalar yürütülmektedir. Gazlı kömür madenlerinden elde edilen bu gaz doğalgaz dağıtım şirketlerine verilmektedir. Söz konusu enerji kaynağının en önemli avantajı;

kömürün katı olarak yakılmasına göre daha düşük karbon salınımına yol açtığı için daha az çevre kirliliği yaratmasıdır (Aydın ve Karakurt, 2009: 134).

Gazlaştırma teknolojileri sayesinde kömür; buhar, hava, oksijen ve hidrojenle tepkimeye sokularak farklı gaz ürünleri de elde edilmektedir. Üretilen gazların bileşim ve miktarı ise kömürün cinsine, kullanılan gazların türüne ve uygulanan gazlaştırma işlemine bağlı olarak değişir. Kömürden elde edilen gaz, elektrik santrallerinde elektrik üretmek için yakılabilir ve ayrıca, benzin gibi taşıt yakıtı olarak ya da plastik ürünlerin yapımında kullanılabilmektedir. Dolayısıyla kömürü gaza dönüştürerek bu yakıtın, çok daha farklı alanlarda farklı amaçlar için ve düşük kirlilik yaratacak şekilde değerlendirilmesi mümkündür (Pipe, 2013: 16).

Kömür kullanımının beraberinde getirdiği çevre kirliliğini azaltmanın başka bir yolu da; sentez gaz aracılığıyla kömürden hidrojen elde edilmesidir. Bunun için ilk olarak kömür 900 dereceye kadar ısıtılarak gaz haline getirilir. Ardından buhar ve oksijenle karıştırıldıktan sonra genellikle nikel bazlı bir katalizörden geçirilerek hidrojen ortaya çıkarılır. Hidrojen üretiminin yaklaşık yüzde 18'i bu yöntemle gerçekleştirilmektedir (Genç, 2009: 18). Diğer taraftan kömürün sıvılaştırılarak kullanımına da gidilebilir. Bu işlem, kömürün hem bir sıvı yakıt hem de kimyasal bir hammadde şeklinde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca sıvılaştırılmış kömür, depolama ve taşıma süreçlerini kolaylaştırdığı gibi katı yakıtın çevresel olumsuzluklarını da belli ölçüde düşürmektedir. Özellikle 1970'li yıllarında gerçekleşen petrol krizlerden sonra artan ve yaygınlık kazanan araştırmalar sayesinde günümüzde kömürden; orta distilatlar, ağır yakıt yağı, hafif fraksiyonlar ve önemli kimya endüstrisi girdileri gibi hemen hemen tüm ham petrol ürünleri elde edilebilmektedir (www.worldcoal.org 06.09.2019).

Bunların dışında kömürün alternatif kullanım alanları da bulunmaktadır. Örneğin ham kömür, oksijen yokluğunda kısmen yandıktan sonra, kalan safa yakın karbon kalıntısı (kok kömürü), demir ve çelik ile çimento üretiminde değerlendirilerek farklı ekonomik faaliyetlere destek vermektedir. Ayrıca alüminyum, rafineri, kâğıt, kimya ve ilaç endüstrisi üreticileri de kömürden faydalanmaktadır. Diğer taraftan kok fırınlarından çıkan nitrik asit, amonyak tuzları

ve amonyak gazı gübre imalatında; işlenmiş kömür zifti de kreozot ve benzen gibi kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır. Sabun, deterjan, aspirin, çözücüler, boyalar, plastik ve elyaf gibi binlerce çeşitli ürünlerin bileşenlerinde de yine kömür veya kömürün yan ürünleri bulunmaktadır. Aynı zamanda kömürden çıkan aktif karbon, hava ve su filtreleriyle birlikte diyaliz makinelerinin temel bileşenlerinden birini meydana getirmektedir (www.worldcoal.org 06.09.2019).

Kömür bol ve ucuz olmasına rağmen içeriğindeki karbon miktarından ötürü en kirli fosil yakıt türüdür. Buna rağmen rezerv miktarı ve fiyat avantajı bakımından dünyada kullanılan enerjinin yüzde 30'u kömürden elde edilmektedir. Ancak karbon salınımlarının yüzde 40'ına ve birçok ülkede hava kirliliğinin yarıdan fazlasına kömürün neden olduğu bilinmektedir (Montgomery, 2014: 143).

Kömürün Avantajları: Petrol ve doğalgaz gibi diğer fosil kaynaklar ile karşılaştırıldığında kömür, ucuz bir yakıttır. Temiz kömür teknolojileri için yüksek yatırım maliyetleri gerekmekte, ancak bu durumda bile kömür, maliyet anlamında avantajlı konumunu sürdürmektedir. Kömürü endüstride temiz bir yakıt olarak kullanabilmek ve mevcut zararlarını en aza indirebilmek için yüksek filtrasyon teknolojisi gerekir. Elektrikli hava filtreleri tozu ortadan kaldırır, bez filtreler daha büyük tanecikleri süzer ve kireç temizleyiciler ise kükürtdioksit gibi zararlı gazları ortadan kaldırır. Bununla birlikte, kömürün geleceği daha ucuz ve verimli bir karbon yakalama ve depolama yolunun bulunmasına bağlıdır. Florida'da kömür, temiz yanan bir gaz elde etmek için pişirilir, Almanya'da karbondioksit, bacalardaki yıkama kulelerinde tutulup sıvı hale dönüştürülmektedir ve Sahra'da gazlar çöl kayaçlarının içine pompalanmaktadır. Eğer karbon yakalama işleminde verim artarsa, kömür uzun bir süre daha kullanılmaya devam edecektir (Freese vd., 2008: 1).

Kömürün bir diğer avantajı da; bolluğu ve geniş bir alana dağılmış rezervleridir. Dünya üzerinde kanıtlanmış kömür rezervleri hem petrol hem de doğalgaz rezervlerinin toplamından çok daha fazladır. Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Avustralya ve Çin dünyaya en az 132 yıl daha yetebilecek büyüklükte rezervlere sahiptir (BP Statistical Review of World Energy, 2019: 43).

Kömürün Dezavantajları: Kömür yandığında tüm diğer yakıtlara göre daha çok karbondioksit salınımında bulunmaktadır. Bu gaz, güneş ısısını atmosfere hapsederek sıcaklıkların yükselmesine yol açmaktadır. Pek çok bilim insanı küresel ısınmanın kutuplardaki buzulları eriterek deniz seviyelerini yükselteceğini, sel ve fırtınalar ile birlikte kuraklıklar da dâhil zorlu hava koşullarına sebep olacağını varsaymaktadır (Weyler, 2014). Bu bağlamda kömürün en büyük dezavantajı; ekolojik dengeleri bozarak çevresel sorunları beraberinde getirmesidir. Normal bir kömür yakıtlı elektrik santrali yılda ortalama 4 milyon ton karbondioksit; 10.000 ton asit yağmurlarına sebep olan kükürtdioksit; 500 ton havayı kirletmekle birlikte havada uçuşup astım hastalığını tetikleyebilen ve bronşit gibi akciğer hastalıklarına sebep olabilen tanecik; 10.200 ton akciğerlere zarar verebilecek dumanlara sebep olan azot oksit; hepsi de zehirli kimyasallar olan 80 kg cıva, 100 kg arsenik ve 50 kg kurşun salmaktadır (Pipe, 2013: 18). Ayrıca büyük ölçekli fabrikalar ve merkezi güç istasyonları tarafından kömürün yakılması, dünyanın bazı bölgelerinde asit yağmurlarına yol açmaktadır. Yanan kömür havayı zehirli kimyasallar ile kirletir ve katı atık tepelerinin oluşmasına sebep olarak atmosfere yüksek miktarda karbondioksit gazı salar. Bu gazlar bulutlardaki suyla karışarak nehirleri ve gölleri kirleten, bitki ve vahşi yaşamı öldürüp binaları tahrip eden asit yağmurlarına dönüşür (Orhan, 2012: 126, www.fossil-fuel.co.uk 07.09.2019).

Kömürün neden olduğu çevresel zararları minimize etmeye yönelik teknolojiler ise maliyet artışlarını beraberinde getirir. Diğer taraftan kömürün sıvılaştırılması ve gaz haline dönüştürülerek kullanılması için gerekli olan tesisler de maliyeti oldukça yüksek, sermaye ve enerji yoğun projelerdir. Nitekim büyük ölçekli bir tesis kurmak, yeni bir petrol rafinerisi kurmak için gereken yatırımdan yedi kat daha fazla yatırım gerektirdiği gibi, bu tesisi işletmek için de çok büyük miktarlarda ısı ve enerjiye ihtiyaç vardır. Kömürden sıvı yakıt üretim teknolojisi aynı zamanda çok fazla su kullanımını gerektirdiği için neden olacağı su tüketimi de başka bir sorunun kaynağını oluşturur (Hook ve Aleklett, 2010: 848-850).

Çevre bakımından kömürün bir başka dezavantajı; yeryüzüne çıkarılma sürecinde neden olduğu toz, toprak ve sestir. İşi biten madenler bazen çöplüklere

dönüştürülür ve katı atıklarla doldurulur. Bu durum devasa atık yığıntılarına veya yeryüzünde çok büyük göçüklere yol açabilir (Greenpeace, 2009: 16). Sonuç itibariyle kömür özellikle parasal açıdan maliyet avantajı sunan bir fosil yakıttır, ancak olumsuz çevre etkilerinin bulunduğu da göz ardı edilemez bir gerçektir. Bu sorunlar daha iyi teknolojiler yardımıyla azaltılmakla birlikte tam olarak ortadan kaldırılamamaktadır.

1.3.2. Petrol

Doğal sınırlılıklar, gelişen teknolojik koşullar ve çevre problemleri farklı enerji kaynaklarının ortaya çıkmasına neden olmakla birlikte; petrol kullanımı, halen tüm enerji kaynakları içerisindeki oransal ağırlığını korumaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Amerikan Enerji Bilgi Dairesi (EIA) ve BP gibi kuruluşlarca yapılan projeksiyonlar da petrolün nispi payını uzun süre koruyacağını göstermektedir (Gökçe, 2014: 144).

Petrolün Oluşumu: Petrolün oluşumuna yönelik olarak literatürde "inorganik teori" ve "organik teori" olmak üzere iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. İnorganik teoriye göre; metan, asetilen ve benzol gibi maddeler laboratuvar koşullarında elde edilebildiği için, petrol de herhangi bir canlı etkinliği olmaksızın doğal kimyasal reaksiyonlar ve volkanik olaylar sonucu oluşmaktadır. Organik teori ise petrolün hem hayvansal hem de bitkisel kökenli olduğunu kabul etmektedir. Organik maddelerin ısıtılması ve damıtılmasına bağlı olarak petrole benzer bir hidrokarbon elde edilebildiği için petrol organik kökenli bir kaynaktır (Beşergil, 2009: 31). Söz konusu teorilerden petrolün oluşumu daha çok organik teori çerçevesinde açıklanmaktadır.

Yerkürenin büyük çoğunluğunu denizlerin oluşturduğu dönemlerde, bu denizlerde yaşayan plankton[1] ve algler[2], tortul katmanlar halinde dibe çökerek birikmişlerdir. Petrolün oluşumu için bu organizmaların bakteriler tarafından tüketilmeden hızlı bir şekilde gömülmüş olmaları ve üzerlerinde tabakalaşma meydana gelmesi gerekmektedir. Katmanların üst üste eklemlenmesi, basınç ve

[1] Plankton: Mikroskobik boyutta suda bulunan, hareket yeteneği akıntıya bağımlı olan tek hücreli canlılara verilen genel isimdir.
[2] Algler: Su yosunları, deniz ve gölde yaşayan canlılar.

sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalan organizmalar oksijensiz ortamda ağır bakteriyolojik bozulmaya uğrayarak petrolün hammaddesi olan kerojene dönüşür. Ardından kerojen de uygun sıcaklık ve basınç şartları altında dönüşüme uğrayarak petrolü meydana getirir. Petrol oluştuktan sonra yer altındaki kayaçların gözeneklerine sızar. Süreç içerisinde, yer kabuğundaki hareketler ve kıvrılmalar sonucu kırılan ve çatlayan kayalar içindeki petrol, bulunduğu yeri terk ederek, daha sığ derinliklerdeki gözenekli ve geçirgen boşluklara doğru hareket eder. Eğer petrol, bu kayaç gözeneklerin içinde sıkışır ve bir başka kayaç içine göç edemezse artık kapanmış bir hazne, diğer bir deyişle rezervuar kayaçlarda birikmektedir (Sonel, 1997: 12-13).

Petrol, kimyasal özellikleri ve içinde bulunduğu sıcaklık ve basınç şartlarından ötürü katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilmektedir. Sıvı haldeki hidrokarbonlar ham petrol şeklinde isimlendirilirken; katı hidrokarbonlar, içeriklerine göre bitüm, asfalt veya parafin; gaz halinde bulunan hidrokarbonlar ise doğalgaz olarak adlandırılmaktadır (Erdem, 2010: 3).

Özgül ağırlığı, akmazlığı ve içerdiği kükürt miktarı bakımından petrol, kendi içinde farklı sınıflandırmalara tabi tutulabilmektedir. Ancak Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından geliştirilen API Gravitesi tanımı, en fazla kabul gören sınıflandırma türüdür. Bu tanıma göre ağır (düşük graviteli) petrol, siyah veya koyu kahverengi renkli; hafif (yüksek graviteli) petrol ise genellikle yeşil, açık kahverengi veya sarı renkli olarak değerlendirilmiştir. Hafif petrol rafine edilmesi ile benzin, motorin ve gazyağı ürünler; ağır graviteli petrolün rafinasyonundan ise asfalt ve fuel-oil gibi ürünler elde edilmektedir (Kürşat, 2012: 4; www.api.org 10.09.2019).

Tablo 3. Ham Petrolün API sınıflandırması

API Derecesi	Ağırlığı (spesifik gravite[3])	Akmazlığı (viskozite[4])	Renk	Ana Bileşimi
0˚– 22,3˚	Ağır	Az akışkan	Koyu	Asfalt + Fuel-oil
22,3˚– 31,3˚	Orta	Orta	Kahve	Benzin + Dizel
31,3˚– 47˚	Hafif	Akışkan	Açık sarı	Kondensat[5] + Benzin

Kaynak: www.api.org (10.09.2019).

Petrol Arama ve Üretim Faaliyetleri: Yerkürenin sahip olduğu en büyük hazinelerden biri petrol olarak kabul edilmektedir. Ancak 1800'lü yılların II. yarısına kadar, onu yer altından çıkarabilecek iyi bir teknoloji geliştirilememiştir. Bu nedenle o döneme kadar petrol, daha çok yüzeye kendiliğinden çıkan miktarı kadar kullanılmıştır. Zaman içerisinde kömüre alternatif teşkil edebilecek bir enerji kaynağı ihtiyacının giderek artması, petrolün yeryüzüne çıkarılmasına yönelik çalışmalara hız kazandırmıştır. Bu bağlamda ticari amaçlı ilk petrol arama ve çıkarma faaliyetleri Amerika'da yürütülmüş ve söz konusu faaliyetler 1859'da sonuç vermiştir. Ardından sondaj tekniği ve sondaj makineleri ile ilgili bu zamana kadar yapılan çalışmalar ise daha düşük maliyetle ve daha fazla petrolün çıkarılmasına olanak tanımıştır (Ediger, 2006: 80).

Petrolün aranması ve yeryüzüne çıkarılması, jeoloji, jeofizik ve petrol mühendisliği gibi farklı disiplinler arasında ortak bir çalışmanın yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Yüzeyin genellikle 3.000 ile 5.000 metre derinliklerinde bulunan petrolün tespit edilmesi ve tespit edilen petrolün de çıkarılması için aşağıda belirtilen 3 aşama takip edilmektedir (Sonel, 1997: 162):

- Yer altındaki kaya yapılarını incelemek
- Uzaktan algılama yöntemlerini kullanarak katmanlar hakkında bilgi toplamak ve petrol bulunan alanı tespit etmek
- Kuyular açarak petrolü çıkarmak

[3] Spesifik Gravite: Özgül ağırlık anlamına gelmekte olup herhangi bir maddenin spesifik gravitesi, o maddenin sudan ne kadar ağır olduğunu ifade etmektedir.
[4] Viskozite: Bir sıvının, akmaya karşı gösterdiği iç direnç veya sıvının akabilme özelliğidir.
[5] Kondensat: Ultra hafif ve yüksek API gravite (45^0 veya üzeri) bir hidrokarbon ürünüdür. Basınç ve sıcaklık etkisiyle yer altında gaz halinde, yukarı çıkarıldığında ise sıvı halde bulunur (Boz ve Öztürk, 2019).

Yeraltındaki hidrokarbon birikintilerinin aramasında genelde "sismik araştırma yöntemi" kullanılmaktadır. Bu metotta ses dalgaları yeryüzünün derinliklerine gönderilir ve katmanlar özelliklerine göre farklı frekanslarda ses dalgaları yansıtır. Daha sonra bu frekanslar bilgisayar programlarında işlenerek yeryüzü katmanlarının haritası çıkarılır ve olası petrol birikintilerinin yerleri belirlenir. Ancak yeraltındaki bir petrol rezervuarının varlığı ve büyüklüğü hakkında kesin bilgiye yalnızca kuyu açıldıktan sonra ulaşılabilir (Pipe, 2013: 8).

Petrolün mevcudiyeti ve ekonomik olarak üretilebilirliği sondajlarla kanıtlandıktan sonra kuyular açılarak çıkarma aşamasına geçilir. Ancak açılan kuyuların pek çoğunda petrol bulunmamaktadır. "Kuru Kuyu" olarak adlandırılan bu yerler açıldıktan sonra kapatılarak terk edilir. Eğer keşfedilen petrol rezervi ekonomik ise, diğer bir deyişle yatırım maliyetlerini karşılayarak kazanç sağlayacak düzeydeyse, saha geliştirme aşaması başlar. Ancak, bulunan petrol rezervi, yapılacak yatırım maliyetini karşılayamayacak kadar küçük ise o kuyuda petrol bulunsa dahi, enerji fiyatları yeterince düşük seviyeye gelinceye kadar işletilemez (www.pigm.gov.tr 08.06.2016).

Petrolün Tarihsel Gelişimi: Dünya tarihine bakıldığı zaman petrol kullanımının binlerce yıl öncesine dayandığı anlaşılmaktadır. Yunan tarihçi Herodot'a göre zift, MÖ. 4000 yılında Babil duvarları ve kuleleri inşasının çimentolama işleminde bir katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca tarihi kayıtlarda, Eski Mısırlıların da ölülerini petrol ürünleriyle mumyalayarak sakladıklarına ilişkin bilgiler bulunmaktadır (Emeklier vd., 2010: 61)

MS. 4. yüzyılda Çinliler, bambu çubuklarını birbirine bağlayarak oluşturdukları uzun borular ile 243 metrelik ilk petrol kuyusunu kazmışlardır. Buradan çıkarılan petrol ise deniz suyunun buharlaştırılmasında kullanılarak tuz üretimi gerçekleştirilmiştir. Yine MS. 8. yüzyılda kurulmuş olan Bağdat'ın sokakları da katran kullanılarak inşa edilmiştir. Bağdat'ın kurulmasından yaklaşık 100 yıl sonra, Bakü yakınlarındaki farklı bölgelerde oluşan çatlaklardan petrolün kendiliğinden yeryüzüne çıktığı belirtilmiştir. Bu petrol sahaları coğrafyacı, tarihçi ve aynı zamanda gezgin El-Mesudi ile Marco Polo'nun eserlerinde de geçmektedir.

Avrupalıların kendiliğinden yeryüzüne çıkan açık renkli gerçek petrolle tanışmaları ise ancak 16. yüzyıl gezginleri sayesinde olmuştur. Ayrıca Ortadoğuluların bu sihirli sıvıya neft, asfalta ise zift adını verdikleri bu gezginlerin yazdıkları eserlerden öğrenilmiştir (Acar vd., 2011: 30).

Petrolün endüstri alanında kullanımı 19. yüzyılın ikinci yarısı ile 20. yüzyıl başlarına karşılık gelmektedir. 1846 yılında Kanadalı Abraham Gesner'in petrolden damıtma yolu ile gaz yağı elde edilmesi için geliştirdiği yöntem, petrol endüstrisinin başlangıcı olarak kabul edilir. Daha sonra İskoç kimyacı James Young, 1849'da balina yağının yerini tutacak parafin mumunu icat etmiş ve ardından 1852'de Polonyalı Eczacı Ignacy Lukasiewicz, ülkesindeki sızıntılardan topladığı petrolü rafine etmeyi başararak özel bir gaz yağı lambası geliştirmiştir. Gaz yağının bu yöntemle üretimi, aydınlatma alanında tam bir devrim yaratmış ve kısa süre içerisinde gaz yağına olan talebi artırmıştır (Aydın, 2014: 77).

Gaz yağı üretimine geçilmesi ile birlikte ham petrol talebi süratli bir şekilde arttığı için doğal yollarla kendiliğinden yeryüzüne çıkan petrol yetersiz kalmıştır. Bu durum daha fazla petrol çıkarmayı beraberinde getirerek petrol endüstrisinin gelişmesi bakımından bir dönüm noktası oluşturmuştur. New Yorklu avukat George Bissell'in önderliğindeki küçük bir girişimci grubu, çıkarılan ham petrol numunelerini 1854 yılında Yale Koleji'nde kimya profesörü olan Silliman'a analiz ettirmiştir. Silliman, bu numuneleri inceledikten sonra 16 Nisan 1855'te, petrolün kendisinden çok değerli ürünler üretilebilecek bir hammadde olduğunu raporlamıştır. Ardından 1859 yılında modern bir teknikle yer altından petrol çıkarma işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Petrolün sondaj yöntemi ile çıkarılabileceğinin görülmesi üzerine de ABD'de petrol üretimine yönelik girişimler hız kazanmıştır. Çok sayıda girişimcinin bu yeni sektörde yatırım hareketine katılması sonucu, 3 yıl gibi bir süre içerisinde ülkedeki petrol üretimi 3 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. Böylece çıkarılan ham petrol miktarı ve buna bağlı petrol rafineri işlemi yapacak küçük işletme sayısı da üretime koşut olarak artış kaydetmiştir (Ediger, 2006: 81).

19. yüzyıl sonuna gelindiğinde ise elektriğin icat edilmesi, petrole bağlı aydınlatmaya daha ucuz bir alternatifi gündeme taşımıştır. Bu süreçte petrol

endüstrisi kısa bir süre için zorlansa da, içten patlamalı motorların kullanılmaya başlandığı otomobil, petrol endüstrisinin kurtarıcısı olmuştur. 1895 yılında gerçekleştirilen ve tarihteki ilk araba yarışı olan Paris-Bordeaux-Paris yarışında 15 mil hıza ulaşan otomobiller, Avrupa'da yoğun ilgi görmeye başlamış, daha önceleri petrolün gaz yağı üretimi için rafineri edilmesi aşamasında yan ürün olarak ortaya çıkan benzin için karlı bir kullanım alanı doğmuştur. Diğer taraftan, kömür kullanan fabrikalar, gemiler ve trenler de kullanım kolaylığından ötürü bu yakıtı tercih etmeye başlamışlardır (Rifkin, 2014: 302).

Petrolün Kullanım Alanları: İnsanlık tarihi boyunca petrol her zaman olmuş, ancak onun çıkarılması ve kullanımı ile ilgili önemli gelişmeler, 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren gerçekleşmeye başlamıştır. İlk ve orta çağlarda yeryüzüne kendiliğinden çıkan sınırlı miktardaki petrol özellikle; tıp, gemicilik, bina yapımı ve günlük ihtiyacın çeşitli alanlarında düşük verimlilikle kullanılırken; Zerdüştlüğün hâkim olduğu toplumlarda petrol, daha ziyade tapınaklarda ateş yakmak amacıyla değerlendirilmiştir. Bizans ve İslam imparatorlukları ise petrolü özellikle savaşlarda üstünlük elde etmek amacıyla kullanma yoluna gitmişlerdir (Akalın, 2014: 52).

Mevcut koşullarda ham petrolün kullanım alanı sınırlı olmakla birlikte; rafinasyon işleminden sonra elde edilen petrol ürünlerinin kullanım alanları çeşitlenmekte ve değeri de artmaktadır. Ortalama bir varil petrol rafine edildiğinde yüzde 50 oranında benzin, yüzde 20 dizel ve ısınma yakıtı, yüzde 10 jet yakıtı ve yüzde 7 fuel-oil (gemiler, sanayi, elektrik üretimi) elde edilirken; geriye kalan ile petrol koku (sanayide kullanılan yüksek karbonlu bir yakıt) ve asfalt gibi diğer özel yakıt ve materyaller üretilmektedir (www.eia.gov 15.06.2016).

Günümüzde petrol ve petrol türevleri, petrokimya endüstrisinde çeşitli işlemlerden geçirilerek çok farklı ürünlere dönüştürülmektedir. Örneğin; plastikler, gübreler, ilaçlar, kozmetik ürünleri, boyalar, oyuncaklar, spor malzemeleri, temizlik ürünleri, sentetik elyaf, tıbbi araç gereçler ve dış mekan malzemeleri üretiminde temel hammaddeyi petrol oluşturmaktadır. Ancak petrolün en çok kullanıldığı alan ulaştırma sektörüdür. Nitekim işlenmiş petrolün büyük kısmı; araba, otobüs, kamyon, gemi ve uçaklarda yakıt amaçlı kullanılmaktadır (Montgomery, 2014: 81).

Temel enerji kaynakları içerisinde önemli bir konuma sahip olan petrol, insanların yaşamlarını büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Çünkü yukarıda da belirtildiği üzere sadece ulaştırma sektörü değil; endüstriyel alandaki neredeyse tüm sektörler, doğrudan veya dolaylı olarak petrole bağımlıdır. Petrolün sunduğu bu kolaylık ve çözümlere rağmen; ortaya çıkardığı olumsuzluklar da bulunmaktadır. Özellikle petrol türevli plastik esaslı malzemelerin doğada çözünüm süreleri ve canlı ekosisteme geri dönüşleri çok uzun zamanlar almaktadır. Ayrıca petrol toprak, hava ve su kirliliğine de sebep olmaktadır (Pipe, 2013: 4-5).

Petrolün Avantajları: Dünyanın en değerli yeraltı hammaddelerinden biri olan petrol, insanların ve metaların hızlı bir şekilde taşınmasını kolaylaştırarak toplumsal refahın artmasına katkıda bulunmaktadır. Petrol ürünleri (benzin, dizel, LPG vd.) yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup; kolay taşınabilir olduğu için ikamelerine göre daha fazla üstünlük barındırmaktadır (Onur, 2006: 242). Ayrıca işlenmiş petrol ürünleri, insanların yaşamlarını kolaylaştıracak araçların üretiminde doğrudan veya dolaylı olarak da kullanılabilmektedir. Bu ürünler içerisinde temel olarak; benzin, mazot, fuel-oil, gaz yağı, asfalt, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), parafin, plastik ve katran gibi maddeler yer alır. Dolayısıyla petrol ve petrol ürünleri, insan yaşamının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (The World Bank, 2009: 17).

Ham petrolün saklanması, depolanması ve taşınması özellikle kömür gibi katı yakıtlar ile karşılaştırıldığında oldukça kolaydır. Nitekim sabit maliyeti yüksek olmasına rağmen; en düşük değişken maliyete sahip olan taşımacılık yöntemi, boru hatları ile taşımacılıktır. Bu yöntemin en önemli avantajı ise hava ve trafik sorunlarından etkilenmemesi, kurulduktan sonra en ucuz nakil yöntemi haline gelmesidir (Yavuz ve Yesevi, 2015: 50). Ayrıca petrolün karbon/hidrojen değeri kömüre göre daha düşük olduğundan çevreye daha az zarar vermektedir. Diğer taraftan petrol ürünleri, başta sedef hastalığı olmak üzere çeşitli cilt rahatsızlıkları, eklem romatizması, solunum yolu sorunları, diş eti problemleri ve kısırlık tedavisinde de halen dolaylı olarak kullanılmaktadır. Örneğin Azerbaycan'ın Naftalan şehrinde, sadece o bölgede çıkan bir petrol türü, dünyanın farklı yerlerinden

gelen hastalar tarafından bir şifa aracı olarak görülmektedir (Yusufov ve Halilova, 2008: 123-124).

Petrolün Dezavantajları: Ulaştırma sektöründe ve petrokimya endüstrisinde yoğun şekilde kullanılan petrol; arama, çıkarma, taşıma ve kullanım süreçlerinde çevre kirliliğine neden olan bir fosil yakıt türüdür. Özellikle petrol ürünleri yakıt olarak kullanıldığı zaman, küresel ısınma sürecini hızlandırarak ekolojik dengeyi tehdit eden unsurlardan biri haline dönüşebilmektedir (Mosbech, 2002: 20). Diğer taraftan ham petrol ve işlenmiş petrol taşımacılığı genellikle deniz yoluyla yapılır. Ancak her yıl milyonlarca varil petrol ya tanker kazaları sonucunda ya da çıkarma sürecinde yaşanan bazı problemlerden ötürü deniz sularına karışmaktadır. Bu durumun vereceği zararın büyüklüğü ise; petrolün cinsine, kazanın yaşandığı yere, hava sıcaklığına ve rüzgar gibi etmenlere bağlı olarak değişim gösterir. Denizlerde meydana gelen söz konusu kazalar, deniz ekosistemi içerisindeki tüm canlı türlerinin zarar görmesine yol açmaktadır (www.tudav.org 10.09.2019).

2010 yılında, lisansı BP'ye ait olan Meksika Körfezi'ndeki "Deepwater Horizon" platformunda yaşanan petrol kazası, doğal deniz yaşamını ve balıkçılığı neredeyse yok etmiştir. Yüzeyin 1,6 km altında meydana gelen patlama neticesinde 11 kişi hayatını yitirirken, 17 kişi de yaralanmıştır. Kuyunun kapatılması 4 ay sürmüş ve tahmini 5 milyon varillik petrol de denize karışmıştır. BP, bugüne kadar sorumluluklarını yerine getirmek üzere 22 milyar dolar ödeme yapmış; bunun 8 milyar doları bireylere ve işletmelere tazminat olarak verilirken; 14 milyar doları ise kaza sonrası kurtarma ve temizlik operasyonlarını gerçekleştirmek üzere kullanılmıştır (Pipe, 2013: 27, Deepwater Horizon Accident Investigation, 2010: 9).

Petrol rezervlerinin sınırlı büyüklükte olması ve bu rezervlerin belirli bir bölgede yoğunlaşması, o bölge ülkeleri için güvenlik problemlerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle gelişmiş ülkeler bu bölgelerdeki enerji kaynaklarını ele geçirmek veya kontrol altında tutabilmek amacıyla bir savaş ya da çatışma iklimi yaratabilmektedir. Nitekim dünyanın en büyük hidrokarbon kaynaklarına sahip Ortadoğu coğrafyası, geçmişten günümüze gelişmiş ülkelerin bu mücadelesine ev sahipliği yapmaktadır. Bu durum genel bir güvenlik sorunu ortaya çıkarmaktadır.

1.3.3. Doğalgaz

Doğalgaz; endüstriyel gelişim, kentleşme ve nüfustaki artışlarla birlikte bugün dünya üzerindeki bütün ülkelerin en önemli enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Diğer fosil yakıtlara göre, içeriğindeki karbon değerinin daha düşük olmasından ötürü daha temiz bir kaynağı olan doğalgaz, verim ve maliyet yönünden de kullanıcılara önemli avantajlar sunmaktadır (Bayraç, 2009: 117).

Doğalgazın Oluşumu: Modern yaşamın temel kaynakları arasında yer alan doğalgaz, yeryüzünün alt tabakalarındaki organik maddelerde meydana gelen bakterileşme, kerojenleşme ve ısıl ayrışma sonucunda oluşmaktadır. İçeriğinde yüksek oranda metan, az oranda bütan, etan, helyum ve propan gibi diğer hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonları barındıran doğal gaz; yanıcı, renksiz ve kokusuz bir gaz karışımıdır (Devold, 2013: 23).

Doğalgaz, milyonlarca yıl önce yaşamış bitkilerin ve hayvanların kalıntıları ile oluşan bir fosil yakıt türüdür. Bu kalıntılar zamanla deniz yatağına çökerek uzun süre boyunca katmanlar halinde birikir ve daha sonra üzerlerindeki kayaç ve tortul katmanları tarafından sıkıştırılarak farklı bir özellik kazanır. Basınç ve sıcaklık gibi doğal etkenler ise söz konusu yapının zaman içerisinde petrole ve doğalgaza dönüşmesine neden olur. Doğalgaz genellikle gözenekli ve geçirgen kayaların derin yeraltı rezervuarlarında bulunmaktadır. Yoğunluğu düşük olduğu için gaz üstte olmak üzere, kayaç gözenekleri içinde aşağı doğru sırasıyla petrol ve su yer almaktadır. Moleküler ağırlığı petrolden küçük olan gaz, bazı durumlarda petrolün içine giremeyeceği yeni bir kanal bulup petrolden tamamen ayrılabilmektedir. Bu hareketin sonucunda gaz kaynaklarının birikip toplanabilecekleri bir yeraltı geometrisi oluşmuşsa; doğalgaz rezervi meydana gelir. Bu kaynaklara da konvansiyonel petrol-doğalgaz rezervleri denilmektedir (Beşergil, 2009: 137; Gültekin ve Örgün, 1993: 39-40).

Doğalgaz Arama ve Üretim Faaliyetleri: Doğalgazın geçmişi petrolde olduğu gibi yüzlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Ancak, petrole göre doğalgazın yeryüzüne çıkarılarak kullanımı, daha yakın dönemlerde gerçekleşmiştir. Çünkü petrol üretimi sürecinde açığa çıkan bu yakıt, başlangıçta faydasız bir atık olarak

varsayılmış ve sondaj birimlerinde yakılarak yok edilmiştir (Acar vd., 2011: 36). Günümüzde ise üretim ve tüketim faaliyetleri bakımından önemli bir konuma gelen doğalgaz, hem sanayide hem de konutlarda yoğun şekilde kullanılmaktadır.

Doğalgaz rezervlerinin tespit edilmesinde petrolde olduğu gibi genellikle "sismik yansıma yöntemi" kullanılır. Bir havzadan gaz çıkarılması, yapılan yatırım maliyetini karşılayabilecek kadar doğalgazın olmasına bağlıdır. Bu nedenle jeologlar tarafından hem havzadaki gaz basıncının hem de rezerv hacminin bilinmesi gerekir. Bunun için, ölçüm aletleri yardımı ile önce basınç değeri tespit edilir, ardından sahadaki bir miktar gaz serbest bırakılır ve yeniden ölçüm yapılır. İki basınç ölçümü arasındaki farkın yüksek olması, gaz hacminin düşük olduğunu; ölçümler arasındaki farkın küçük olması ise gaz hacminin fazla olduğunu göstermektedir (Aydın, 2014: 120).

Yeraltındaki doğalgaz, modern teknikler kullanılarak çıkarıldıktan sonra boru hatları aracılığıyla rafinerilere aktarılır. Burada karbondioksit, kükürtdioksit ve sülfürik asit gibi istenmeyen kimyasallardan ve boruları çürütebilecek su buharından arındırılır. Kalan gaz ise çok düşük sıcaklıklarda damıtılarak yanıcı olmayan azottan uzaklaştırılır; bütan, etan, helyum ve propan gibi değerli bileşenler elde edilir. Rafinasyon işlemi sonucunda üretilen saf metan; renksiz, kokusuz ve yanıcılık özelliği oldukça yüksek bir gazdır. Evlerde güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için bu gaza düşük bir miktar sülfür içeren keskin bir kokuya sahip kimyasal eklenir. Böylece olası bir kaçak durumunda sorun rahatlıkla tespit edilebilmekte ve patlama olmadan güvenli bir şekilde tedbirler de alınabilmektedir (Montgomery, 2014: 126-127).

Doğalgazın Tarihsel Gelişimi: Eski çağlardan beri bilinen ve kullanılan doğalgaz, özellikle antik Yunan ve Mısır toplumlarında "kutsal ateş" veya "yanan gaz" şeklinde nitelendirilmiştir. Ayrıca MS. 221-263 yıllarında Çin'de yer altı rezervuarlarından sızan doğalgazın bambu çubukları yardımı ile taşındığı ve deniz suyundan tuz elde etmek amacıyla yakıt olarak kullanıldığı kayıtlara geçmiştir (Akpınar ve Başıbüyük, 2011: 122).

Doğalgazın Avrupa'da kullanımı 17. yüzyıldan itibaren başlamıştır. Doğalgaz teknolojisindeki ilerlemelere de Avrupalılar öncülük etmiştir. Nitekim kömürü damıtmak suretiyle doğalgaz üretimi ilk kez İngiltere'de uygulanmış ve bu teknikle 1800'lü yıllarda elde edilen gaz, sanayi ve konutlarda yakıt olarak belli ölçüde kullanılmıştır. W. Hart ise 1820'li yıllarda modern yöntemlerle üretim yapmayı başarmıştır. Diğer taraftan New York'ta bulunan Erie Gölü bölgesindeki sahalarda, yaklaşık 10 metrelik derinlikten çıkarılan gaz, endüstriyel olarak ilk kez 1840'lı yıllarda Batı Virginia'daki tuz yataklarında, tuz üretmek amacıyla değerlendirilmiştir (Gültekin ve Örgün, 1993: 37).

Farklı kullanım alanları bulunmasına rağmen 19. yüzyılın büyük bir bölümünde doğalgaz genellikle aydınlatma amacıyla kullanılmıştır. Bu dönemde, boru hattı alt yapısı olmaması, çıkarılan gazın taşınarak yaygın bir kullanım alanı kazanmasını önlemiştir. 1885 yılında, Robert Bunsen doğalgazın havayla uygun oranlarda karıştırılarak güvenli bir şekilde yakıldığı ve ısınma amaçlı kullanıldığı bir makine icat etmiştir. Bunsen'in bu keşfi doğalgazın Amerika ve tüm dünyada kullanımı açısından yeni fırsatlar doğurmuştur (Acar vd., 2011: 37-38).

Yer altından çıkarılan doğalgazın ticari amaçlarla farklı bir tüketim merkezine nakledilmesi, ilk kez 1883 yılında 750 km uzunluğundaki boru hattı aracılığıyla ABD'de gerçekleştirilmiştir. 1920'li yıllarda boru hattı taşımacılığı yöntemlerinin yaygınlık kazanması sonucu hızla artan doğalgaz tüketimi, Dünya Savaşları'ndan sonra önemli bir ivme yakalamıştır. Doğalgazın temel enerji kaynakları arasında yerini alması ise 1970'lerde yaşanan petrol krizlerine dayanmaktadır. Özellikle artan petrol fiyatları ve petrol bağımlılığının neden olduğu sorunlar, doğalgazı alternatif bir enerji olarak ortaya çıkartmıştır (Uğurlu, 2006: 141).

Doğalgazın Kullanım Alanları: Dünya enerji kaynakları içerisinde büyük bir kullanım alanına sahip olan doğalgaz, fosil yakıtlar içerisinde temiz, güvenli ve en kolay kullanıma sahip yakıttır. Doğalgazın kimyasal özelliklerinin yanma açısından oldukça uygun olması ve bileşiminde kirliliğe neden olacak maddelerin az miktarda bulunması, doğalgaz kullanımının en önemli nedenleri arasında sayılabilir (Gürü ve Alıcılar, 1994: 17).

Günümüzde doğalgaz hem "yakıt" hem de "hammadde" olarak farklı alanlarda kullanılabilmektedir. Sanayi kuruluşları özellikle ısıl işlem fırınlarında, kaynak işlemleri ve buhar üretiminde doğalgazı daha fazla tercih ederken; elektrik santrallerinde de doğalgaz ile elektrik üretimi yapılabilmektedir. Konut ve işyerlerinde ise daha çok ısıtma, kurutma, soğutma ve yemek pişirme gibi amaçlarla doğalgazdan faydalanılmaktadır (Ertürk, 2011: 33-34).

Doğalgaz aynı zamanda temel bir sanayi hammaddesidir. Bileşiminde bulunan hidrokarbonlardan ötürü; sentetik lastik, deterjan, cam, plastik, gübre vb. maddelerin üretiminde temel bir girdi olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan özellikle petrol ürünlerinin çevreye vermiş olduğu zararlardan dolayı otomobillerde de alternatif bir yakıt olarak CNG (Compressed Natural Gas) yaygın bir kullanım kazanmaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006: 32).

Fosil yakıtlar içerisinde kullanım yaygınlığı giderek artan doğalgazın olumlu taraflarının yanı sıra olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Diğer fosil yakıtlara göre daha temiz olmasına karşılık, bir hidrokarbon olarak doğalgazın da kömür ve petrol gibi çevresel bakımdan taşıdığı sorunlar mevcuttur (Montgomery, 2014: 125-126).

Doğalgazın Avantajları: Doğalgaz diğer fosil yakıtlar arasında enerji verimliliği en yüksek ve çevre kirliliğine en az neden olan bir enerji kaynağıdır. Kullanımı sonucunda temel kirletici gazlardan olan karbondioksit (CO_2) ve kükürtdioksit (SO_2) gazları açığa çıkmamaktadır. Ayrıca yanma sonucu küf ve cüruf gibi kirli atıklar bırakmaması diğer bir çevresel avantajını oluşturmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı dünyanın büyük bir kısmında elektrik enerjisi üreten çevrim santrallerinde doğalgaz daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır (Hayhurts ve Lavrance, 1992: 532).

Doğalgazın bir diğer önemli avantajı ise belli ölçüde güvenli olmasıdır. Nitekim kısa süreli solunması halinde ciddi bir etki olumsuzluk meydana getirmemektedir. Havadan daha hafif olduğu için atmosferde yükselme eğilimi yüksektir. Bu nedenle doğalgaz, trafik kazalarında diğer sıvı yakıtlar gibi yanıcı bir havuz halinde yere dökülmez. Sadece havaya dağılmakta ve bu özelliği ile bir sızıntı

durumunda toprakaltı su kaynaklarının kirlenmesini de engellemektedir. Ayrıca günümüzde kullanılan doğalgaz depolama tankları benzin depolarından daha sert ve sağlamdır (Akpınar ve Başıbüyük, 2011: 122).

Diğer fosil yakıtlara göre taşıdığı üstünlüklerden biri de; ısıl değerinin oldukça yüksek olmasıdır. Petrole göre üretilmesi daha kolaydır ve rafine işlemi gerektirmemektedir. Doğal gazın yakılması halinde de bir ön hazırlık ve kül atma işlemlerine ihtiyaç kalmamaktadır. Nakliyesi boru hatları vasıtasıyla oldukça kolay bir şekilde yapılmaktadır. Bu maliyet düşürücü faktörlerden dolayı doğalgaz özellikle petrole göre daha ekonomik bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır (Doğan, 2011: 42; Engin, 2010: 236).

Doğalgazın Dezavantajları: Doğalgaz, kömür ve petrolden daha temiz olmasına rağmen; yakıldığı zaman yine küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarını yaymaktadır. Modern bir gaz türbinli enerji santrali, aynı miktarda elektrik üretmek için, kömürle çalışan bir enerji santralinin ürettiği sera gazı karbondioksitinin yüzde 50'sini üretmektedir. Doğalgaz çevrim santrallerinde açığa çıkan zararlı salınımlar, atmosfer özelliklerinin değişmesine ve uzun vadede ciddi iklim değişikliklerine yol açmaktadır (Kadıoğlu ve Tellioğlu, 1996: 60).

Doğalgazın enerjisi, içeriğindeki değerlerin tür ve miktarlarına göre farklılaşmaktadır. Nitekim gaz halindeki hidrokarbonlarda karbon atomu ne kadar yüksekse yandığında elde edilen enerji de o kadar yüksek olacaktır. Doğalgazın yoğunluğu ve enerji zenginliği sıvı petrolden çok daha düşüktür; standart basınç altında hacim birimi başına aynı miktarda petrolün binde biri kadar ısı içeriğine sahiptir. Bu nedenle de depolanması ve nakliyesi doğal olarak petrolden daha zordur. Gazın kara üzerinde toplu miktarlarda taşınmasının tek yolu boru hatları aracılığıyla nakledilmesidir. Doğalgazın kuyudan tüketiciye ulaştırılması için boru hatlarının çeşitli ölçeklerde karmaşık sistemlerin bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir (Beşergil, 2009: 138).

Dünya'nın en büyük doğalgaz rezervleri Sibirya, Alaska ve Kuzey Kanada gibi ıssız Kuzey Kutup bölgelerinde yer altında ve deniz yatağının altında bulunmaktadır.

Bu bölgelerde mevcut boru hatları eksikliğinden dolayı üretilen gazın sıvıya dönüştürülmesi sonucunda taşıma sağlanmaktadır. Doğalgaz atmosfer basıncında soğutulup -165°C civarında sıvılaştırılır. Özel tankerlerle sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) olarak deniz yolu ile taşındıktan sonra yeniden gaza dönüştürülüp dünyanın herhangi bir yerindeki boru hattı sistemine enjekte edilmektedir. Sonuç olarak LNG elde edilmesi pahalı bir süreçtir ve doğalgaz, taşıma maliyeti açısından önemli bir dezavantaja sahiptir (Pipe, 2013: 17-18).

İktisadi ve toplumsal alanlardaki gelişmelerden ötürü kalkınmışlık düzeyi birbirinden farklı tüm ülkelerin enerji ihtiyacı artmakta, ancak artan bu ihtiyaç fosil enerji kaynaklarının tükenme sürecine de hız kazandırmaktadır. Bu bağlamda doğalgazın bir diğer dezavantajı; diğer fosil yakıtlar gibi mevcut rezervlerinin sınırlı olmasıdır. Bugün, doğalgazın diğer fosil yakıtlara göre sunduğu üstünlüklerden dolayı dünyadaki tüketim oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Doğalgaza olan talebin artması sonucunda ise görünür doğalgaz rezervlerinin, öngörülenden daha kısa bir süre içerisinde tükeneceği öngörülmektedir (Montgomery, 2014: 135-136). Diğer taraftan doğalgaz petrol gibi belirli bölgelerde sınırlı bir rezerv konsantrasyonuna sahip olduğu için söz konusu bölgelerde bir güvenlik sorunu ortaya çıkarmaktadır.

1.3.4. Kaya Gazı

Konvansiyonel enerji kaynaklarının azaldığı ve bu doğrultuda enerji fiyatlarının dalgalanmalar gösterdiği günümüz koşullarında konvansiyonel olmayan gaz kaynakları, enerji sektörünün yeni ilgi odağı haline gelmiştir. Özellikle, kaya gazına ilişkin potansiyelin anlaşılması sonrasında çok sayıda ülke, bu kaynağı arama ve yeryüzüne çıkarma çabası içine girmişlerdir (Vidic vd., 2013: 829).

Kaya Gazının Oluşumu ve Üretim Yöntemleri: Derin ve geçirimsiz tortul kayaların gözeneklerinde birikmiş olan ve geleneksel tekniklerden biraz daha farklı yöntemlerle çıkartılabilen doğalgaz kaynakları, "kaya gazı" olarak isimlendirilmektedir (Yalçın Erik, 2016: 427).

Kaya gazı, bulduğu boşluklardan yararlanarak yer altındaki katmanlar arasında yatay bir yayılma gösterdiği için belli bir havuzda birikmiş olarak bulunmamaktadır.

Bu gazın kökeni de; kömür, doğalgaz ve petrol gibi hidrokarbonlar ile aynıdır. Dolayısıyla okyanus ve göllerin dibinde biriken organik maddelerin, yüksek sıcaklık ve basınç altında milyonlarca yıl değişim geçirdikten sonra parçalanması sonucu oluşur. Bu şekilde oluşan hidrokarbonlar genellikle, oluştukları ana kütleden ayrılarak farklı kayaçlar içerisine taşınır. Ancak bu yer değişikliği sürecinde hidrokarbonların bir bölümü de ana kütle içinde kalır. Söz konusu hidrokarbon, oluştuğu ana kütleyi terk edemeyen ve o kayacın gözeneklerinde kalan doğalgazı ifade eder (Ahıshalı, 2013: 16).

Kaya gazı üretiminde dikey ve yatay sondaj teknikleri birlikte uygulanmaktadır. İlk aşamada dikey sondaj ile belli bir derinliğe inilir. Ardından yatay yayılım gösteren gaz tabakalarına ulaşmak üzere sondaj borularına 90º eğim verilerek kuyu açma işlemi sürdürülür. Açılan kuyunun emniyetini sağlamak için de kuyu derinliği boyunca sondaj muhafaza boruları yerleştirilir ve etrafındaki boşluk beton ile doldurulur (Sevim, 2014: 52).

Sondaj çalışması tamamlandıktan sonra yüksek basınçla hidrolik çatlatma işlemi uygulanır. Bu yöntemde kullanılan çatlatma sıvısının yaklaşık yüzde 97,5'ini su meydana getirmekte olup; yüzde 2,5'u da ince kum ve bazı kimyasallardan oluşmaktadır. Kaya gazı bulunan sahada, gözenekler küçük ve geçirimsiz olduğu için doğalgazdaki gibi basınç farkı yaratılarak kayaçtan kuyu girişine bu kaynağın ulaştırılması oldukça güçtür. Bu nedenle kayacın geçirgenliğini yükseltmek ve gazı yukarı doğru çıkarabilmek amacıyla ilk olarak gaz bulunan tabakalar içerisinde çatlaklar yaratılır. Açığa çıkan gazı yüzeye çıkarmak için de kuyuya yüksek basınçlı su, kum ve kimyasal madde içeren özel bir karışım verilir. Hazırlanan bu özel nitelikli karışım, çelik borular yardımıyla taşınır ve sadece kayacın gaz içeren katmanına temas ettirilir. Yaklaşık üç ay süren söz konusu işlem neticesinde çatlama süreci sona erer ve kayacın içerisindeki gaz, dağıtım ünitelerinin içine akmaya başlar. Açılan bu şekildeki kuyularda üretim, uzunca bir süre devam eder (www. enerjienstitusu.com, 25.09.2017).

Kaya Gazının Tarihsel Gelişimi: Kaya gazının keşfi 1821 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilmiş, fakat teknolojik olanaksızlıklar üretimin

yapılabilmesini engellemiştir. Düşük geçirgenli kayaçlarda bulunan gazın serbest duruma getirilmesi için gerekli olan yatay sondaj uygulama teknikleri üzerindeki çalışmalar, ilk olarak yine Amerikalı mühendisler tarafından 1930'larda yapılmıştır. Bu teknolojinin ilk kez kullanımı 1940'lı yılların ikinci yarısına karşılık gelmektedir. Ancak o dönemlerde, konvansiyonel kaynakların üretim maliyetleri görece daha uygun olduğu için, kaya gazı üretimine devam edilmemiştir (Stevens, 2012: 2; Vidic vd., 2013: 827).

Kaya gazı kaynaklarının varlığı önceden bilinmesine rağmen; endüstriyel açıdan değerlendirilmesi, konvansiyonel fosil yakıtlardaki fiyat ve arz sorunları üzerine gündeme gelmiştir. 1970 yılında ABD Enerji Bakanlığı ve Gaz Araştırma Enstitüsü (GRI), Devonian (Huron) kayasından ticari doğalgaz elde etmek amacıyla birlikte çalışmalar yürütmeye başlamış, bu ortaklık sayesinde yatay sondaj ve çok aşamalı çatlatma teknolojileri geliştirilmiştir (King, 2010: 87).

1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizlerinin ardından, alternatif enerji kaynakları üzerindeki çalışmalar kapsamında kayaların gözeneklerindeki gazın üretilebilirliği incelenmiş ve kaya gazı alanındaki faaliyetler gelişen teknolojinin de katkısıyla önem kazanmaya başlamıştır. Ayrıca 1980'lerin başlarında Amerika, kaya gazının üretimine yönelik temel araştırmalara yönelik büyük yatırımlar gerçekleştirmiştir. İlk kuyu 1981 yılında ABD'nin Teksas eyaletinde açılmış olmasına rağmen; üretime 1997 yılından sonra geçilebilmiştir. 2000'li yılların başından itibaren ise yatay sondaj ve hidrolik çatlatma teknolojilerinde ortaya çıkan ilerlemeler, kaya gazının yeni bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. ABD bu gelişme sayesinde 10 yıl içinde toplam 15.466 kaya gazı kuyu sayısına ulaşmıştır (www.enerjienstitusu.com, 25.09.2017).

Kaya gazı sondaj teknolojisinin ilk olarak Amerika'da gelişmesi ve aynı zamanda bu tekniklerin ülkenin kendi yerel kaynakları üzerinde kullanımı, ülke içindeki doğalgaz fiyatlarını ve enerji ithalatını olumlu yönde etkilemiştir. 2009 yılı itibariyle, Kuzey Amerika kıtasında 146 trilyon m^3 yerinde, üretilebilir düzeyde ise 20 trilyon m^3 kaya gazı ve sıkı kumtaşı rezervleri belirlenmiştir. Sadece Teksas

eyaletinde 2010 yılı kaya gazı üretim düzeyi 51 milyar m^3 olarak gerçekleşmiştir (IEA, 2012: 102).

Kaya gazı, diğer enerji kaynaklarında da olduğu gibi bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Kaya Gazının Avantajları: Petrol ve kömüre göre karbon emisyonuna etkisinin daha düşük olduğu ve potansiyel rezerv büyüklüğü dikkate alındığında kaya gazı, alternatif bir enerji kaynağı konumundadır. Üretim teknolojisi kompleks bir yapıya sahip olduğundan kaya gazının üretim maliyeti yüksek olmakla beraber; gaz kaynaklarının arzını artırdığı için fiyatların düşmesini sağlayacak avantajlar sunmaktadır (Nygaard, 2010: 6).

Dünyanın en büyük doğal gaz tüketicisi konumunda olan ABD, 2007 yılında yaklaşık 130 milyar m^3 gaz ithal ederken; kaya gazı sayesinde doğal gaz ithalatı 2011 yılında 98 milyar m^3 seviyesine düşürülmüştür. Ayrıca kaya gazı üretimi ile birlikte ABD'de doğalgaz fiyatları 2008 yılından itibaren belirgin şekilde bir azalma kaydetmiştir. Kaya gazı üretimindeki bu gelişmeler, ABD'yi enerji alanında net ihracatçı bir ülke konumuna taşımıştır. Bu nedenle kaya gazı, dünya enerji dengelerinin şekillenmesinde önemli bir rol üstlenmiştir (Ahıshalı, 2013: 28).

Konvansiyonel olmayan kaya gazı gibi kaynakların aranması, üretilmesi ve ekonomiye kazandırılması süreci, doğrudan ve dolaylı şekilde istihdam hacminin artmasına yardımcı olmaktadır. Örneğin sadece Teksas eyaletinde kaya gazına yönelik yürütülen çalışmalar, yaklaşık 12.000 kişiye iş imkanı sağlamıştır. Kaya gazı üretimi, yeni istihdam alanları açması ve toplam enerji üretimine yaptığı katkılardan ötürü büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla kaya gazına ilişkin üretim faaliyetlerinin, birçok ülkede artarak süreceği tahmin edilmektedir (www. enerjienstitusu.com 28.09.2017).

Kaya gazı üretimi, enerji dengelerini etkileyerek birçok ülkede iktisadi, siyasi ve toplumsal alanlarda değişimleri beraberinde getirmiştir. Nitekim ABD'de başlayan kaya gazı üretimi ile ülke, net enerji ihracatçısı konumuna yükselmiştir. Diğer taraftan enerji arzında meydana gelen artış sayesinde doğalgaz fiyatları

üzerindeki artış baskısı belli ölçüde kırılmıştır. Ayrıca bu teknoloji ile gaz üretiminin Avrupa ve Asya ülkelerinde de yaygınlık kazanması ile önemli jeopolitik sonuçlar ortaya çıkacaktır. Örneğin Polonya başta olmak üzere çeşitli Avrupa ülkelerinde kaya gazı üretiminin artması, Euro bölgesinin Rusya'ya olan bağımlılığını belli ölçüde azaltacaktır. Bu durum enerji ihracatçısı olan Rusya'nın ekonomik ve siyasi etki gücünü ve alanını olumsuz yönde değiştirecektir (Demirtaş, 2013: 20).

Kaya Gazının Dezavantajları: Kaya gazının üretim tekniklerine ilişkin, çevresel riskler önemli tartışma başlıkları arasında yer almaktadır. Bu tartışmalardan ilki; sondaj faaliyetleri sırasında uygulanan hidrolik çatlatma yöntemi sonucunda yer altına önemli miktarda kimyasal madde ve suyun enjekte edilmesidir. Hidrolik çatlatma için kullanılan sıvı yaklaşık yüzde 98 oranında su, yüzde 2 oranında kum ve çeşitli kimyasallardan meydana gelmektedir. Kimyasal bileşenlerin yer altı sularına olası karışması durumunda başta su kaynakları olmak üzere çevre üzerinde ciddi bir tehdit oluşturabilmektedir. Buna bağlı olarak Fransa, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Romanya ve İspanya gibi birtakım Avrupa ülkelerinde kaya gazı üretimi yasaklanarak bu alanda bazı tedbirler alınmıştır (Karagöl ve Kavaz, 2017: 21).

Diğer taraftan hidrolik çatlatma işleminin yapay depremlere neden olabilmektedir. Özellikle çatlatma işleminin yapıldığı havzalarda fay hatları var ise sismik hareketlilikler ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, İngiltere'de ilk kaya gazı kuyusu olan Preese Hall-1'de 2011 yılında yapılan çatlatma işlemi sonucunda enjeksiyon noktasına yakın alanlarda birkaç küçük deprem tespit edilmiştir. Yüzeyde herhangi bir yıkım olmazken; bazı yollarda çatlama izleri ve binalarda sarsıntı sonucu ufak hasarlar meydana gelmiştir (Yalçın Erik, 2016: 433-434).

1.3.5. Nükleer Enerji

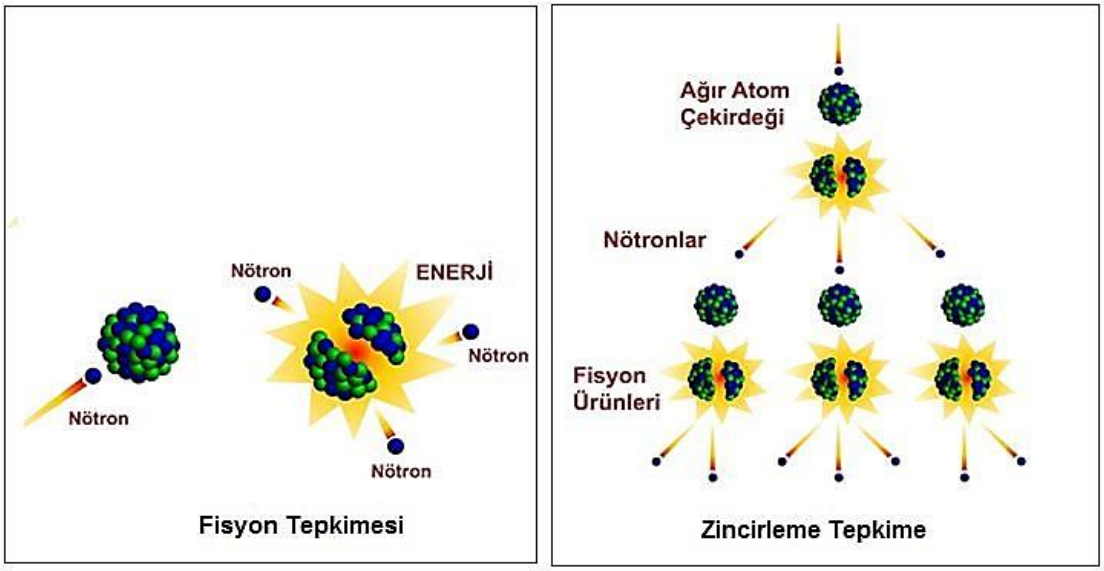
Petrol, doğalgaz ve kömürün sınırlı bir rezerv konsantrasyonuna sahip olması ve bu rezervlerin dünya genelinde dengeli bir dağılım sergilememesi, birçok ülkeyi nükleer araştırmalara ve nükleer enerjiden elektrik üretmeye sevk etmiştir. Günümüzde küresel ölçekte 400'den fazla nükleer enerji santrali bulunmakta olup; bu santraller toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık yüzde 15'ini sağlayacak kapasitede faaliyet göstermektedir. Örneğin Fransa, elektrik tüketiminin yüzde 70'inden

fazlasını nükleer reaktörlerden temin etmektedir (IAEA, 2016: 10; www.world-nuclear.org 20.10.2016).

Nükleer Enerji Üretimi: Nükleer enerji; atom çekirdeğinden üretilen bir enerji türüdür. Ağır radyoaktif elementlerin nötron bombardımanına tutulması ile atom çekirdeklerinin parçalanmaları (fisyon) veya hafif atom çekirdeklerinin birleşmeleri (füzyon) sonucu önemli büyüklükte bir enerji açığa çıkar. Fisyon veya füzyon tepkimeleri aracılığıyla üretilen bu enerjiye de "nükleer enerji" veya "çekirdek enerjisi" adı verilir (Altın, 2004: 4).

Bir nötronun, uranyum çekirdeğine çarpması ile birlikte atom çekirdeğinin kararsız hale gelmesi sonucu birden fazla çekirdeğe bölünmesi, fisyon olarak tanımlanmaktadır. Fisyon neticesinde oluşan nötronların, ortamdaki diğer atomların çekirdeklerini de aynı tepkimeye sokması ve bu işlemin ardışık biçimde tekrarlanması zincirleme reaksiyona neden olur (www.taek.gov.tr 27.07.2020). Zincirleme reaksiyonlar, nükleer enerji santralleri sayesinde kontrol altına alınabilmektedir. Dolayısıyla nükleer santraller; bir veya daha fazla sayıdaki nükleer reaktörde, yakıt niteliğindeki ağır radyoaktif elementlerin kullanılarak elektrik üretiminin gerçekleştirildiği tesislerdir. Bu santrallerde ağır radyoaktif elementler aracılığıyla çok yüksek güce sahip enerji açığa çıkarıldığı için diğer santrallerden farklı ve daha sıkı güvenlik tedbirlerinin uygulanması gerekir. Günümüzde elektrik üreten nükleer reaktörlerin tamamı fisyona dayalı çalışmaktadır (www.teoridergisi.com 27.07.2020).

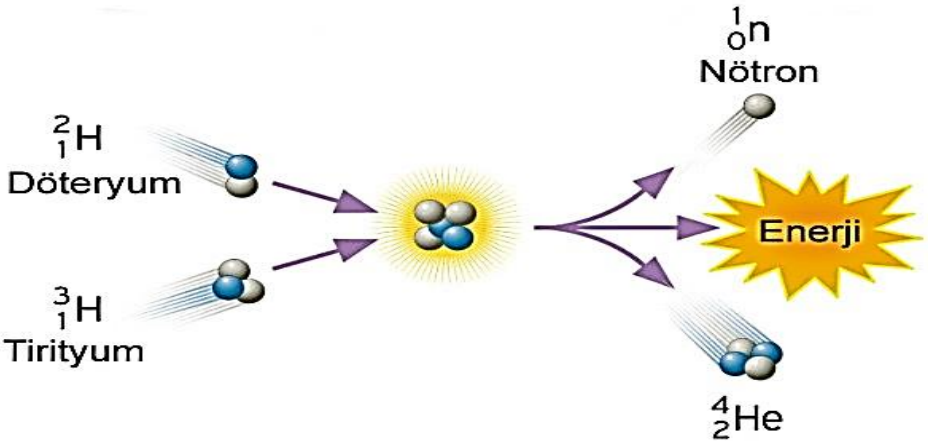
Şekil 2. Fisyon Tepkimesi ve Zincirleme Tepkime



Kaynak: www.nepud.enerji.gov.tr 02.09.2016.

Nükleer enerji üretmenin diğer bir yöntemi ise füzyondur. Füzyon, iki farklı element çekirdeğinin birleşmesi sonucu daha ağır bir atom çekirdeğinin meydana gelmesini ifade etmektedir. Bu birleşmeye bağlı olarak da fisyonda olduğu gibi önemli büyüklükte bir enerji açığa çıkar. Mevcut teknoloji ile fisyon tepkimeleri kontrol edilebildiği için nükleer santrallerde atom çekirdeği parçalanarak elektrik üretilmektedir. Ancak füzyon tepkimeleri ile açığa çıkan enerjinin kontrolü henüz tam olarak sağlanamadığından füzyon ile elektrik üretimi halen deneysel aşamadadır. Buna rağmen teknik ilerlemeler sayesinde füzyon ile de elektrik üretiminin gerçekleşebileceği tahmin edilmektedir. Bu tepkimelerin avantajları arasında; düşük düzeyde nükleer atık barındırması, nükleer silah üretimine uygun olmaması ve sudan elde edilen döteryumu yakıt olarak kullanabilmesi yer alır. 2000'li yılların başlarındaki teknik koşullar doğrultusunda füzyon reaktörlerinden ticari elektrik üretiminin 2030-2040 yıllarından sonra gerçekleşmesi öngörülmektedir (Quaschning, 2005: 19; Kübeli, 2007: 143; Pipe, 2013: 22-23).

Şekil 3. Füzyon Kaynaşması



Kaynak: www.nepud.enerji.gov.tr 02.09.2016

Nükleer Enerjinin Tarihsel Gelişimi: Nükleer teknoloji alanındaki gelişmelerin altında bilimsel buluşlar yatmaktadır. 1885-1945 yılları arasında atomun yapısıyla ilgili önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve bilim çevresi, atom çekirdeğine yönelik çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Alman fizikçiler Fritz Strassman, Lise Meitner, Otto Hahn ve Otto Robert Frisch 1938 yılında uranyum üzerinde yaptıkları denemelerle atom çekirdeğini parçalamayı başardıklarını ilan ederek; bu süreci "fisyon" olarak isimlendirmişlerdir. Söz konusu gelişmelerin ardından, bir çekirdekten bölünen nötronların başka çekirdekleri de bölebileceği fikri, fisyon tepkimelerine ilişkin çalışmaların odak noktasını oluşturmuştur. Fisyon süreci, ilk olarak 1942 yılında Amerikan fizikçi Enrico Fermi tarafından kontrol altına alınmış ve bu duruma zincirleme tepkime adı verilmiştir. Zincirleme tepkimenin denetim altında tutulmasındaki temel ilkeler, günümüzün ticari reaktörlerinde halen geçerliliğini sürdürmektedir (Dahl, 1999: 12).

1939-1945 yılları arası nükleer teknolojilerde gerçekleşen ilerlemelerin büyük çoğunluğu, savaşın etkisiyle, nükleer silah yapımına odaklı olmuştur. Alman tarafının nükleer bilimlerde kaydetmiş olduğu ilerlemeler ve atom bombası yapımına ilişkin yaratmış olduğu endişe, ABD'yi harekete geçirmiş ve atom bombası çalışmalarına yöneltmiştir. ABD, II. Dünya Savaşı'na katıldıktan hemen sonra, 1942 yılında "Manhattan Projesi" kapsamında atom bombası çalışmalarını başlatmıştır. Bu projede, Nazi Almanya'sından kaçan fizikçiler de yer alarak; projenin

gerçekleşmesine katkı sağlamışlardır. 1942 yılındaki bu projeye karşılık, Alman fizikçilerden O. Hahn ve F. Strassman uranyum atomunu parçalamayı başarmışlardır. Atom bombası yapımındaki yarış, Almanya'nın savaştan çekilmesinin etkisiyle ABD lehine sonuçlanmıştır. Nitekim ilk atom bombası denemesinin 1945 yılında Nevada çölünde gerçekleşmesi ile "Manhattan Projesi" başarıya ulaşmıştır. Manhattan Projesi'nden hemen sonra; dünya nükleer güç ile trajik bir şekilde Japonya'da tanışmıştır. Ağustos 1945 yılında Hiroşima ve Nagasaki'de patlatılan iki atom bombasından kısa süre sonra II. Dünya Savaşı sonra ermiş ve nükleer enerjiden diğer alanlarda da faydalanma yoluna gidilmiştir (Morris, 2007: 8-10).

Dünya savaşlarının ardından 1950'li yıllar, nükleer teknolojinin daha çok barışçıl amaçlarla ve elektrik üretimine yönelik kullanılmaya başlandığı dönemlere karşılık gelmektedir. Nitekim Birleşmiş Milletler Genel Konseyi 1953 yılında "Barış için Atom" programını açıklamıştır. Bu programda, nükleer enerjinin barışçıl hedefler doğrultusuna kullanılması ve nükleer silahlanmanın bitirilmesi ifade edilmiştir. Böylece artan elektrik talebini belli ölçüde karşılayabilecek reaktörlerin yapımı üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda da İngiltere, 1956 yılında tam donanımlı ilk ticari reaktörünü faaliyete almayı başarmıştır. 50 MW kurulu güce sahip Magnox tipi bu reaktörün kurulumunu, aynı yıl Sovyetler Birliği'nde ticari kullanıma sunulan 5 MW gücündeki Obinsk isimli prototip reaktör takip etmiştir. Dünyanın en büyük enerji tüketim merkezleri arasında yer alan ABD nükleer enerjiden elektrik üretimini ilk olarak 1957 yılında, nükleer denizaltı ve gemiler için tasarlanan PWR tipi reaktörleri kullanarak gerçekleştirmiştir. Diğer taraftan enerji tüketiminin önemli bir bölümünü halen nükleerden temin eden Fransa ise, 70 MW gücünde ilk reaktörünü 1964 yılında devreye almıştır. 1950'li yıllarda aktif hale getirilen tüm reaktörler, nükleer santrallerin küresel ölçekte yaygınlık kazanmasına ve nükleer teknolojinin süratle gelişimine zemin hazırlamıştır (Ferdinand, 2000: 201; OECD NEA, 2000: 101).

Nükleer enerjinin dünyada kullanılmaya başlandığı ve santrallerdeki kurulu gücün yüksek artışlar gösterdiği dönem, 1973 petrol krizinin sonrasına denk gelmektedir. Petrol fiyatlarının yüksek düzeyde artışı, ithal petrole bağımlı olan

ülkelerde yeni ve yenilenebilir enerji kullanımını öne çıkarmıştır. Bu kapsamda 1975 yılında 72.709 MW Kurulu güce sahip nükleer reaktörler, 1980 yılında 135.285 MW kurulu güce ulaşmıştır. Beş yıllık bu süreç içerisinde 111 ünite yeni nükleer reaktörün de yapımına başlanmıştır (Altın, 2007: 18; IAEA, 2009: 21).

Nükleer enerjinin dünya genelinde yoğun talep görmeye başlamasının temel nedenlerinden biri; büyük devletlerin, iktisadi ve siyasi gücün bir simgesi olarak gördükleri bu santralleri sergileme eğilimleridir. Nitekim 1975-1985 döneminde Sovyetler Birliği 19 ve ABD 65 yeni nükleer reaktörü faaliyete geçirmiştir. 1985 yılından itibaren ise nükleer santrallerin kurulu gücü belli ölçüde hız kesmesine rağmen; santrallerin sayısı artışını sürdürmüştür (IAEA, 2009: 12). Yatırım hızında meydana gelen bu değişimde en belirgin etkiyi, 1986 yılında gerçekleşen Çernobil faciası yaratmıştır. Ancak Çernobil, her ne kadar ortaya koyduğu sonuçlar itibariyle çok fazla tartışılsa da; Çernobil'den önce 13, sonrasında ise 3 kaza meydana gelmiştir (TMMOB, 2006: 24; www.world-nuclear.org 18.10.2016). Son olarak 2011 yılında Japonya'nın kuzey bölgesi önce depremle sarsılmış, ardından büyük bir tsunami ile Fukuşima Santrali devre dışı kalmıştır. Santraldeki reaktörlerin bazı ünitelerinde gerçekleşen patlamalar, bölge için ciddi bir risk oluşturmuştur (Duman, 2011: 11).

Nükleer Enerjinin Kullanım Alanları: Nükleer enerjiden elektrik üretimi görece yeni olmakla birlikte; teknolojik gelişimi oldukça hızlıdır. Nitekim bu enerji kaynağı çok farklı alanlarda kullanılabilmekte, ancak özellikle elektrik talebinin karşılanmasında daha fazla tercih edilmektedir. Diğer taraftan askeri amaçlar ile başlayan nükleer reaktör alanındaki ilk çalışmalar, İkinci Dünya Savaşı sonrasında nükleer silah teknolojisindeki gelişmeyi teşvik etmiştir. Dolayısıyla günümüzde bazı ülkelerin sahip olduğu nükleer silahlar, çok sayıda gezegeni imha edebilecek güçtedir. ABD, Çin, Fransa, Hindistan, İngiltere, İsrail, Kuzey Kore, Pakistan ve Rusya elinde nükleer silah olduğu bilinen başlıca ülkeler arasında yer almaktadırlar. Söz konusu silahlar sadece bölgesel açıdan değil; küresel ölçekte de çok ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Çünkü çıkabilecek herhangi bir savaş durumunda bu

silahların kullanılması, taraf olan ülkelerin yanı sıra diğer ülkelerin de çok ciddi kayıplar vermesine neden olabilecektir (Temurçin ve Aliağaoğlu, 2003:27).

Atomun çekirdeğinden elde edilen enerjinin silah yapımı haricinde de kullanılabileceğinin belirlenmesinden sonra nükleer santrallerin yapımına geçilmiştir. Nükleer santrallerdeki elektrik üretim yöntemi, konvansiyonel enerji santralleri ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Atom çekirdeğinde meydana gelen parçalanmalar sonucu açığa çıkan ısı enerjisi, suya aktarılarak buhar elde edilir. Bu buhar jeneratöre bağlı olan türbine verilerek kanat hareketleri ile elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir (Yarman, 2011: 161-162). Ancak nükleer teknoloji sadece elektrik üretiminde değil; aynı zamanda sanayi, tarım ve sağlık gibi alanlarda da farklı amaçlar için kullanılabilmektedir (Palabıyık vd., 2010: 174-175).

Nükleer teknolojinin oldukça geliştiği alanların başında sağlık sektörü de yer almaktadır. Nitekim günümüz koşullarında hastalıkların belirlenmesi ve tedavi edilmesinde nükleer tıp uygulamalarının önemli bir fonksiyon üstlendiği dikkat çekmektedir. Nitekim radyoaktif maddeler vücuda, damardan veya ağızdan verilerek zararlı kanser hücrelerini çeşitli görüntüleme teknikleri aracılığıyla tespit etmek mümkündür. Ayrıca kanser gibi rahatsızlıklar tedavi edilirken kullanılan ışınlama cihazlarının tamamında nükleer teknoloji ürünü malzemeler bulunmaktadır. (www.world-nuclear.org 15.10.2016). Diğer taraftan ultraviyole radyasyon, bakterileri de yok edebildiği için cerrahi aletler ve ortamlar ile iklimlendirme sistemlerinin sterilizasyonunda kullanılmaktadır (Carvalho ve Oliveira, 2017: 19).

Nükleer teknoloji; tarım, gıda ve hayvancılık alanlarında da önemli işlevleri yerine getirmektedir. Bitki üretiminde verimliliği artıracak teknikler sayesinde hem artan nüfusun talebi karşılanabilmekte hem de daha az sulama ile yeraltı suları belli ölçüde korunabilmektedir. Ayrıca geleneksel böcek ilaçlarına göre daha güvenli olan nükleer türevli böcek tekniği ise bir taraftan mevcut zararlı canlıları bastırırken; diğer taraftan da istilacı türlerin girişini önleyebilmektedir (www.fao.org/zhc/detail-events/en/c/1039633/ 23.02.2020). Buna ilave olarak gıda kaynaklı hastalıkların önüne geçmek, bozulmaya yol açan mikroorganizmaları ortadan kaldırmak ve besinlerin raf ömrünü uzatmak için ışınlama tekniğinden faydalanılmaktadır (Gıda

Işınlama Yönetmeliği, 2019). Nükleer uygulamalar hayvancılıkta da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle hormonların düzeyini ölçüp izleyerek üreme stratejilerinin geliştirilmesinde ve hastalıkların teşhis edilerek uygun tedavi yöntemlerinin geliştirilmesinde nükleer tekniklerden yararlanılmaktadır (www.fao.org/3/a-i6176e.pdf 23.02.2020):

Nükleer teknolojiden faydalanılan bir diğer alan madenciliktir. Nitekim nükleer sondaj hatları aracılığıyla zeminin hem fiziki hem de kimyasal yapısı belirlenebilmekte ve çalışmalar da bu bulgulara göre doğru ve etkin biçimde yürütülebilmektedir (www.foronuclear.org/en/ask-the-expert/120347-applications-nuclear-technology 24.02.2020). Nükleer enerji aynı zamanda özellikle uzun süre denizde kalması gereken gemiler, denizaltılar, uçak gemileri ve buzkıranlar için de uygundur. Küçük nükleer reaktörlerle çalışan bu araçlar, söz konusu teknoloji yardımıyla fonksiyonlarını kesintisiz bir şekilde yerine getirmektedir (www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/overview/the-many-uses-of-nuclear-technology.aspx. 24.02.2020).

Nükleer reaktördeki birincil dönüşüm işlemi, radyoaktif enerjinin ısıya dönüştürülmesidir. Bu ısı, doğrudan ısıtma amacıyla kullanıldığı takdirde elektrik üretimi gerçekleştirilememektedir. Ancak birleşik üretim tekniği ile hem ısı hem de elektrik üretiminin birlikte yapılabilmesi mümkündür. Böylece buhar, bir taraftan elektrik üretimi için diğer taraftan da bölgesel ısınma için kullanılabilir (Barnert vd., 1991: 22).

Nükleer enerjinin avantaj ve dezavantajları ile ilgili olarak farklı görüşler söz konusudur. Elektrik üretiminde fosil enerji kaynakları için ikame özelliği taşıması, görece düşük maliyete sahip olması, kesintisiz güç üretebilmesi ve çevre kirliliği yaratmaması gibi faktörler nükleer enerjinin olumlu yönleri arasında gösterilirken; nükleer kazalardan ötürü yaşanan tahribatlar ve başlangıç yatırım maliyetinin yüksek olması, nükleer enerjinin olumsuzlukları arasında değerlendirilmektedir (Kırteke, 2014: 48).

Nükleer Enerjinin Avantajları: Kömür, doğalgaz veya petrole göre düşük karbon emisyon değerlerine sahip olduğu için nükleer enerji, çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle nükleerden elektrik üretimi, fosil yakıtların yol açtığı küresel ısınmanın hızlandırıcı etkilerini düşürmeye yardımcı olmaktadır. Nitekim günümüzde nükleer santraller, sera gazı salınımının yıllık olarak yaklaşık yüzde 17 azalmasını sağlamaktadır. 1 GW'lik nükleer santral, olağan işlediği bir günde, kömür ile çalışan bir santralin ürettiği radyasyonun yüzde 1'ini üretirken; hava kirliliği yaratan hiçbir madde ortaya çıkarmamaktadır (Montgomery, 2010: 204). Diğer taraftan 1 GW'lik doğalgaz ile çalışan tipik bir santral ise 6 ton kükürt dioksit, 23 ton azot oksit ve 1,8 ton karbon monoksit üretmektedir (TAEK, www.taek.gov.tr 20.10.2016).

Nükleer santraller, alt yapısı gerektiği gibi kurulduğu ve yönetildiğinde bir ülkenin enerji açısından dışa bağımlılığını da belli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca petrol ve doğalgaz arzında zaman zaman meydana gelen sıkıntıların neden olduğu üretim ve aksaklıklarının da daha az yaşanmasına katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla enerji kaynaklarının çeşitlilik kazanması bakımından nükleer santrallerin önemli bir fonksiyon üstlendiği ifade edilebilir (Samsun Ticaret ve Sanayi Odası, 2008: 29). Nükleer enerjinin temel üstünlüklerinden bir diğeri ise; az miktarda yakıttan yüksek miktarlarda enerji elde edilmesine olanak tanımasıdır. Nitekim 1 kilogram kömür ile genellikle 3 kWh, 1 kg petrolden de 4 kWh elektrik enerjisi üretilebilmekteyken; hafif su soğutmalı nükleer reaktörde aynı miktarda zenginleştirilmiş uranyum yakıtı kullanılarak 50.000 kWh elektrik enerjisi üretilebilir (TAEK, 2000: 21).

Atık miktarının az olması ve atıkların geri dönüşümü, nükleer enerjinin başka bir avantajlı yönünü oluşturmaktadır. 1.000 MW gücündeki bir nükleer santralden yılda yaklaşık 30 ton büyüklüğünde atık çıkar. Radyoaktif fisyon atıklarının yüzde 3'ü tükenmiş yakıttan ayrıştırılıp camlaştırılarak güvenli bir şekilde depolanabilir. Diğer taraftan gelişmiş teknolojiler sayesinde yanmış yakıt atıklarının önemli bir bölümünün geri dönüştürülerek tekrar yakıt üretiminde kullanılabilmesi de mümkündür (Temurçin ve Aliağaoğlu, 2003: 27).

Tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarına bağımlı kalınması durumunda enerji üretimi sekteye uğramaktadır. Nükleer enerji ise aynı zamanda sürdürülebilir bir kaynak özelliği taşımaktadır. Çünkü rüzgar ve güneş santrallerinin kesintisiz bir biçimde ve yüksek performansta çalışması söz konusu olmadığından, süreklilik arz eden elektrik talebini karşılayamama olasılığı vardır. Ancak nükleer enerji bu olasılığı ortadan kaldırmakta ve kesintisiz elektrik üretimine olanak tanımaktadır (Pipe, 2013: 5).

Yakıt maliyeti açısından da nükleer enerji santralleri; kömür, petrol ve doğalgaz yakıtlı santrallere göre önemli bir avantaj sunmaktadır. OECD ülkelerinde bir nükleer santralin yakıt maliyetleri genellikle kömür yakıtlı santrallerin üçte biri ve doğalgaz çevrim santrallerinin ise dörtte bir ile beşte biri arasındadır. ABD Nükleer Enerji Enstitüsü verilerine göre; yakıt maliyeti kömür yakıtlı santral maliyetinin yüzde 78'ini, doğal gaz yakıtlı santral maliyetinin yüzde 89'unu oluşturmakta iken; nükleer santral için uranyum yaklaşık olarak maliyetin yüzde 14'ü kadardır (Aydın, 2014: 185).

Ayrıca petrol ve doğalgazın aksine uranyumun dünya genelindeki rezerv dağılımı daha dengelidir. Bu nedenle yakıt tedariki, maliyeti, kullanım miktarı ve depolama imkanları açısından nükleer enerji önemli avantajlar sunmaktadır. Yeni nesil reaktörlerin geliştirilmesi ile güvenlik sorunları tamamen ortadan kaldırıldığı takdirde nükleer enerjinin toplam enerji tüketimi içerisinde payını artırması olasılığı yüksektir (Montgomery, 2010: 199-200).

Nükleer Enerjinin Dezavantajları: Nükleer enerjinin beraberinde getirdiği önemli avantajlara rağmen taşıdığı belirli riskler de bulunmaktadır. Bu riskler; kaza olasılığı durumunda canlı yaşamına yönelik ortaya çıkabilecek tehditler ile nükleer atıkların yol açabileceği sorunlardan oluşmaktadır.

Nükleer santralde herhangi bir şey yakılmadığından, yanma neticesinde hava kalitesini olumsuz etkileyen zehirli gazlar ve kül ortaya çıkmamaktadır. Bundan dolayı çevreyi kirletmedikleri söylenebilmektedir. Ancak, çekirdek bölünmesi esnasında bir dizi radyoaktif parçacık ortaya çıkarak bozulmakta ve radyasyon

(ışınım) yaymaktadır. Yayılan radyasyonun ise tümöre ve gen bozukluklarına yol açabildiği; vücuttaki dokulara zarar vererek ölümlere yol açabileceği öne sürülmektedir. Örneğin 1.000 MW gücündeki bir nükleer reaktörde oluşabilecek bir kaza, neticede 1.000 adet Hiroşima'ya atılan bomba büyüklüğünde radyasyon etkisi yapabilmektedir (Altın, 2004: 5-6).

Nükleer santraller, hem tesiste çalışanların radyasyona maruz kalma riskini hem de atmosfere radyoaktif gaz salınımını mümkün olduğunca azaltacak şekilde tasarlanmasına rağmen; yine de radyasyon kaçağı olabilmektedir. Nitekim İngiltere'nin kuzeyindeki Sellafield santralinde meydana gelen bu şekildeki kaçaklar sonucunda, 1950'li yıllardan günümüze kadar İrlanda Denizi'nde ciddi boyutlarda bir radyoaktif kirlilik oluşturmuştur (www.world-nuclear.org 20.10.2016).

Diğer taraftan nükleer atıkların insana ve çevreye zarar vermeden yok edilmesi oldukça önemli bir sorundur. Bu atıkların dış ortamla teması halinde geri döndürülemez problemler ortaya çıkabilir. Söz konusu sorunu tamamen ortadan kaldırmak için nükleer atıklar, 500 metre ile 1.200 metre yerin altına yapılan özel depolara gömülmektedir. Nükleer atıklar son derece yavaş bozulduğundan bunların radyoaktifliği binlerce yı1 (240 bin) sürebilmesi; söz konusu suların yeraltı suları ile teması durumunda zehirin yeryüzüne çıkmasına yol açabilecektir (Palabıyık vd., 2010: 184).

Nükleer santrallerde ortaya çıkan radyoaktif nitelikteki atıklar silah üretiminde de kullanılabilir. Dolayısıyla söz konusu teknolojinin kullanımı ile nükleer silahların yaygınlık kazanması ihtimali doğmaktadır. Nükleer silahlar, imha gücü yüksek araçlar olup; konvansiyonel patlayıcılardan farklı olarak tüm canlı yaşamına zarar verme potansiyeli taşımaktadır (Ateşoğlu Güney, 2013: 7-8).

Nükleer santrallerde düşük de olsa bir kaza olasılığı bulunmaktadır ve doğal afetler de bu olasılığı artırabilmektedir. Dolayısıyla deprem, heyelan, çığ düşmesi ve tsunami gibi risk unsurları, santrallerin yer seçiminde belirleyici rol oynamaktadır. Bu yüzden nükleer santrallerin özellikle nüfus yoğunluğu yüksek yerleşim bölgelerinden daha uzak noktalara konumlandırılmasında fayda bulunmaktadır.

Günümüze kadar çevreye zarar verebilecek çeşitli kazalar meydana gelmesine rağmen; en büyük kazayı Çernobil Faciası oluşturur. Söz konusu kaza sonucunda, geniş bir bölgenin ekosistemi zarar görmüş, çok sayıda insan ise hayatını kaybetmiştir. Fukuşima'da yaşanan radyoaktif kaçağın da benzer etkilere sahip olduğu görülmüştür (Özdaşlı, 2016: 47-48).

Avrupa'da faaliyet gösteren araştırma enstitülerinden Alman Max Planck Institute'da yapılan bir çalışmaya göre; günümüz koşullarında Çernobil ve Fukuşima benzeri bir felaket yaşama olasılığı 200 kat daha fazladır. Nitekim yaptıkları simülasyonlar da her 10-20 yılda bir nükleer kazaların gerçekleşebileceğini ortaya koymaktadır. Bu kazalar neticesinde radyoaktif parçacıkların yüzde 25'inin 2.000 km'den daha uzak alanlara yayılabileceği ileri sürülmüştür. Örneğin Batı Avrupa'da gerçekleşebilecek bir kaza halinde, ortalama 28 milyon insanın yüksek dozda radyasyona maruz kalabileceğine dikkat çekilerek, ülkelerin ortak bir uyarı sistemi oluşturması gerektiği belirtilmiştir (IAEA, 2009: 12-13).

Ağır radyoaktif elementlerin yer altı rezervlerinden çıkarılmasında geniş bir arazi kullanımı söz konusu için, oldukça fazla miktarlarda atık madde oluşmaktadır. Örneğin 1 ton uranyum çıkarabilmek için yaklaşık 20 bin ton büyüklüğünde atık meydana gelmektedir. Ayrıca atık niteliğindeki kayaların da önemli bir bölümü radyoaktiftir. Maden arama işlemi sonlandırıldığında ise genellikle kullanılmayan madenleri sel basabilir. Bu durum, ağır metaller içeren kirlenmiş maden suyunun yer altı sularına karışmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca toprak yığınlarının gerekli tedbirler alınmadan kapatılması halinde rüzgar akımları, radyoaktif maddelerin solunum ve sindirim sistemine karışmasına yol açabilir. Dolayısıyla maden çevresinde yaşayan insanlar için belirli düzeyde bir risk söz konusu olup; akciğer kanseri, lösemi, mide kanseri ve kalıtsal bozukluklar ortaya çıkabilmektedir (Minj, 2010: 12-13).

Diğer taraftan bir nükleer santralin teknik ömrü yaklaşık 30-40 yıldır ve bu süre sonunda sökülmektedir. Reaktör sökümü ise oldukça pahalı bir işlemdir. İşlem süresi, yaklaşık reaktörün inşası için gereken süreye denk gelebilmektedir. Söküm maliyeti reaktörden reaktöre göre değişmesine rağmen; Dünya Nükleer Birliği

(WNA) başlangıç yatırım maliyetinin 15'ine kadar çıkabileceğini ifade etmektedir. Bu çerçevede, 1970'lerde devreye alınmış nükleer reaktörler yavaş yavaş söküm evresine gelmektedirler (Yarman, 2011: 89).

1.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar, özellikle son dönemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmıştır. Bu bağlamda yenilenebilir enerjiye yönelik yapılan çalışmaların ve yatırımların önemli ölçüde hız kazandığı görülmektedir. Bu kaynaklar arasında ise hidroelektrik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen ve biyokütle enerjisi yer almaktadır.

1.4.1. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji santralleri; yenilenebilir, dışa bağımlılığı azaltan, uzun ömürlü, işletme gideri düşük ve verimliliği yüksek enerji üretim birimleridir (Başkaya, 2010: 669).

Hidroelektrik Enerjinin Elde Edilmesi: Hidroelektrik enerji dolaylı olarak güneş ışınımından oluşan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş ısısından güç alan sular bir döngü içerisinde hareket eder. Bu bağlamda güneş; ilk aşamada deniz, göl veya nehirlerdeki suları ısıtarak su buharına dönüştürür. Oluşan su buharı, rüzgarın da yardımıyla sürüklenerek atmosferik koşullarda soğur ve tekrar su damlacıklarına dönüşür. Bu damlacıklar yeryüzüne yağmur veya kar halinde düşer. Yağmur suyu tekrar nehirler yoluyla tüm sürecin yeniden başladığı denizlere akar. Böylece su enerjisi kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır (Dalkır ve Şeşen, 2011: 15).

Hidroelektrik santraller, akarsuların taşıdığı kinetik enerjiyi elektriğe dönüştürürler. Akarsuların sahip olduğu kinetik enerji miktarı ise suyun akış yüksekliği ve düşüş hızına bağlı olarak değişmektedir. Büyük bir nehrin üzerine rezervuarda suyu tutan bir baraj inşa edilir. Baraj rezervuarlarında toplanan su, iletim kanalları ve yüksek basınca dayanıklı çelik borular vasıtası ile santral sahasına getirilir. Kanal ya da borular içindeki su ise türbin kanatlarına çarparak enerjisini

kanatlara verir. Kanatlar, jeneratöre bağlı olan türbin milinin dönmesini sağlar ve bu hareketi elektriğe dönüştürür (TMMOB Hidroelektrik Santraller Raporu, 2011: 26).

Hidroelektrik santraller, elektrik üretim kapasitelerine göre küçük ölçekli santraller ve büyük ölçekli santraller olmak üzere iki temel grupta incelenmektedir. Küçük ölçekli sistemlerde bir set bulunmamakta ve su bir depoda biriktirilmektedir. Günümüzde kullanılan bu ölçekteki hidroelektrik sistemler, genellikle mülk sahipleri ve küçük firmalar tarafından işletilmekte olup, kurulu güçleri 10-20 MW arasındadır. Söz konusu sistemler, enerji iletim hatları aracılığıyla merkezi enerji şebekesine bağlanılabileceği gibi bölgesel bir yerleşim alanının ya da bir üretim biriminin enerji ihtiyacını gidermek üzere de kullanılabilmektedir. Büyük ölçekli hidrolik santrallerin gücü ise 50 MW'nin üzerindedir (Erdener vd., 2013: 87).

Hidroelektrik Enerjinin Tarihsel Gelişimi: Hidroelektrik enerji milattan önceki dönemlerden itibaren suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden faydalanmak amacıyla pek çok medeniyet tarafından kullanılmıştır. Akarsular üzerine kurulan büyük çarklar, özellikle un yapımında önemli bir fonksiyon üstlenmiştir. Bu sistemlerin tasarımları ile günümüzde kullanılan bazı türbinler önemli ölçüde benzerlik göstermektedir (Olgun, 2009: 51).

Su enerjisinin elektrik üretimi amaçlı kullanımı, 1750-1754 döneminde Leonard Euler tarafından geliştirilen türbin teorisi ile başlamıştır. 1700'lü yılların II. yarısında İngiltere'de gerçekleştirilen Sanayi Devrimi ise bu alanda yaşanacak gelişmeler için elverişli bir zemin hazırlamıştır. Sanayi Devrimi ile birlikte gelişen çelik üretim teknolojisi, buhar makinesi ve çimento sayesinde barajlar çok hızlı, ucuz ve sağlam olarak yapılmaya başlanmıştır. Bir İngiliz inşaatçısı Joseph Aspdin, 1824'te öğütülmüş kireç taşı ve kili fırınlayarak Portland çimentosunu keşfetmiş ve ardından Fransız Joseph Monier ince demir çubuklardan yaptığı iskeleti ve çimentolu harcını birlikte kullanarak, ilk beton saksıları inşa etmiştir. Bu keşif sayesinde çelik takviyeli betonarme yapı tekniği ortaya çıkmıştır (Aydın, 2014: 186).

Hidroelektrik mühendisliğinde bir sonraki önemli adım; 1832 yılında Fransız mühendis Benoit Fourneyron tarafından icat edilen su türbini olmuştur. Bu buluşlar sonucu 1878 yılında, İngiliz mühendis ve sanayici William Armstrong ilk

hidroelektrik güç düzenini tasarlamıştır. Dünyada ilk hidroelektrik santral ise Jacob F. Schoellkopf tarafından 1879'da Niagara Şelalesinde tesis edilmiştir. 1881 yılında Niagara şehri, bu santralde üretilen elektrikle aydınlatılmış ve insanoğlu güçlü bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjiyle tanışmıştır. Yedi yıl içerisinde de Amerika Birleşik Devletleri'nde küçük hidroelektrik santrallerin sayısı 200'ü aşmıştır. Dünyada hızlı bir şekilde, büyük hidroelektrik santrallerinin inşaatları yirminci yüzyılın ortalarına kadar özellikle ABD'de yapılmıştır. Dünyanın ilk en büyük hidroelektrik santrali (1.344 MW) 1936 yılında Hoover Barajı üzerinde devreye alınmıştır ve ardından 1942'de 6.188 MW kapasitesinde Grand Coulee Barajının inşaatı tamamlanmıştır (Plachkova, 2013).

Hidroelektrik Enerjinin Avantajları: Hidroelektrik enerjinin açığa çıkarılmasında temel unsur su olduğu için; bu enerji türü hem çevreye duyarlı hem de uzun vadede en ucuz kaynak olma özelliği taşımaktadır. Elektrik üretimi aşamasında küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine yol açan bir gaz emisyonuna neden olmamaktadır. Ayrıca elektrik üretimine ilave olarak hidroelektrik santraller; bölgenin su ihtiyacının karşılanmasında, sel ve taşkın risklerinin azaltılmasında, iklim koşullarının yumuşamasında, balıkçılık faaliyetlerine olanak tanımasında, turizmin gelişim göstermesinde ve tarım arazilerinin de sulanmasında önemli fonksiyonlar üstlenmektedir (Başkaya, 2010: 669).

Hidroelektrik sistemler fosil yakıtlı termik santraller ile kıyaslandığında işletim kolaylığı ve esneklik avantajına sahiptir. Maksimum enerji ihtiyacı söz konusu olduğunda hızlı bir şekilde devreye girebilir ve gereken hallerde de kısa süre içerisinde devreden çıkarılabilir. Ayrıca diğer santraller genellikle, üretime geçmek için elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Hidroelektrik santraller ise elektrik şebekesinin tamamen devre dışı olması durumunda bile şebekeden beslenmeden işletmeye alınabilmektedirler (Ünver vd., 2015: 63).

Hidroelektrik santrallerin ekonomik ömürleri oldukça uzundur. Ayrıca diğer elektrik üretim tekniklerine göre düşük işletme giderlerine ve yüksek verime sahiptir. Tamamen yerli kaynaklar ile elektrik üreten bu santrallerin geliştirilmesi, enerji alanındaki dışa bağımlılık sorununu belli ölçüde azaltarak ülkenin ekonomik

güvenliğinin tehdit altına girmesine de engel olabilmektedir. Diğer taraftan bir yakıt maliyeti bulunmadığı için söz konusu santraller ucuz elektrik üretimine katkıda bulunarak enerji piyasasında rekabetçi koşulların oluşmasına yardımcı olur. Nitekim hidroelektrik santrallerde ilave 1 milyar kWh elektrik üretmek demek; yaklaşık 215 milyon ton m^3 doğalgaz veya 500 bin ton daha az kömür ithal etmek anlamına gelmektedir (Yıldız, 2011: 25).

Hidroelektrik Enerjinin Dezavantajları: Hidroelektrik santraller çevre kirliliği yaratmamaktadır, ancak bu santrallerin doğal çevreye olumsuz etkileri olduğu konusunda bazı eleştiriler bulunmaktadır (Sevim, 2015: 216). Nitekim yeni bir baraj inşa edildiğinde ulaşım için yol çalışmalarının yapılması ve elektrik üretim hatlarının çekilmesi; bölgedeki ağaçların yok edilmesine, bitki örtüsünün bulunduğu büyük bir alanın sular altında kalmasına, yaban hayatı açısından da daha önce orada yaşayan canlıların yer değiştirmesine veya yok olmasına neden olabilmektedir. Aynı zamanda su altında kalan alanlardaki bitkilerin çürümeye başlaması, büyük miktarlarda karbondioksit ile metan gazının ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Atak ve Öztok, 2013: 4-5).

Hidroelektrik santrallerin iklim koşulları üzerinde meydana getirdiği etki de önemli tartışma alanlarından biridir. Özellikle büyük çaptaki barajlar, etrafındaki alanların iklimini büyük ölçüde değiştirmektedir. Bulunduğu bölgeye yaptığı ılımanlaştırıcı etki sebebiyle barajlar, nem oranını artırdığı gibi; kışları kar yağışını azaltabilmekte hatta kesebilmektedir. Bu da tarımsal faaliyetler açısından olumsuz bir sonuç ortaya çıkarmaktadır (Arslan, 2017: 628; www.ozelliklerinedir.com/baraj-ve-hidroelektrik-santrallerinin-hes-yararlari-ve-zararlari-artilari-eksileri-nelerdir/ 12.06.2020). Ayrıca baraj alanları, büyük bir bölgeyi su altında bıraktığı gibi; toprağın tuzlanmasını da beraberinde getirmektedir. Diğer taraftan barajlar nedeniyle tarihi yapıların, tarım arazilerinin ve fiziki güzelliklerin bir bölümü ya da tamamı geri gelmeyecek şekilde yok olabilmektedir. Örneğin Brezilya'daki Tucurai Barajı, büyük bir Amazon yağmur ormanı bölgesini sular altında bırakmıştır. Sonuç olarak 2.400 km^2 orman alanı yok olmuş ve 30.000 insan da evlerini terk etmek zorunda kalmıştır. Çin'deki Three Georges Barajı ise milyonlarca köyü elektrikle

buluşturmuş olmasına rağmen; 19 şehir sular altında kaldığı için 2 milyon insan başka bir yerleşim yerine taşınmıştır (Pipe, 2013: 15).

Son olarak büyük ölçekli hidroelektrik santrallerin yatırım maliyetleri yüksek ve inşaat süreleri de oldukça uzundur. Maliyeti yükselten ve inşaat süresini uzatan temel faktör ise baraj inşaatıdır (World Energy Council Turkish National Committee, 2007: 85-86).

1.4.2. Rüzgar Enerjisi

Teknolojisi ve kullanımı çok hızlı gelişme gösteren, aynı zamanda fosil yakıtlar ile rekabet gücü de giderek artan rüzgar enerjisi, elektrik üretiminde önemli bir konuma sahiptir. Doğal döngüler neticesinde bu kaynağın sürekli var olması, türbinlerin kurulum sürecindeki kolaylıklar, teknik açıdan geliştirilebilir özellikler taşıması ve maliyetlerdeki düşme eğilimi, rüzgar enerjisinin yaygınlık kazanmasına olanak tanımaktadır. Aynı zamanda temiz bir kaynak olması da tercih sebeplerini artırmaktadır (Peker, 2001: 37).

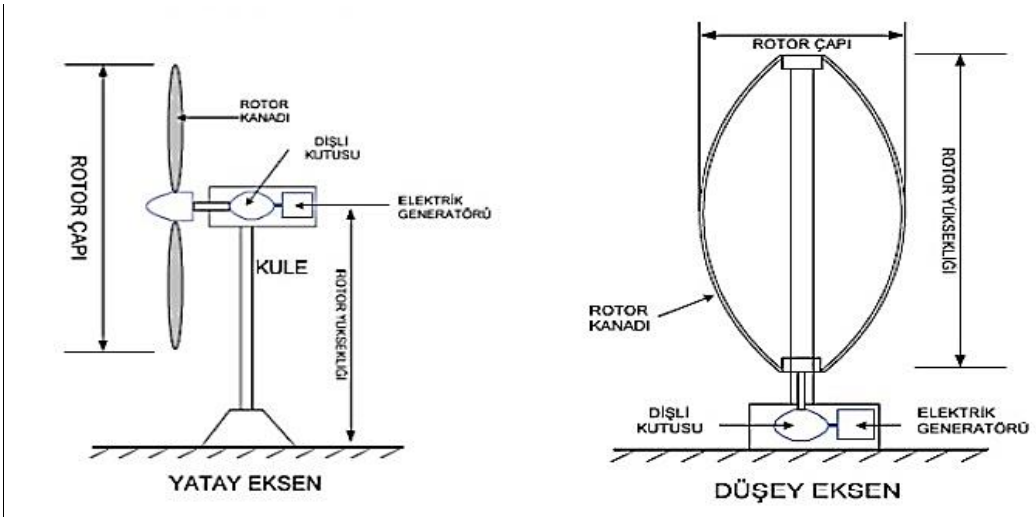
Rüzgar Enerjisinin Oluşumu: Rüzgar, güneş enerjisinin dünya yüzeyini farklı düzeylerde ısıtmasına bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık, yoğunluk ve basınç farklarından meydana gelmektedir. Havanın ısınması, alçak bir basınç alanı oluştururken; havanın soğuması ise yüksek bir basınç alanı yaratmaktadır. Rüzgar enerjisi ise birbirine komşu iki bölge arasındaki bu basınç farkından ötürü ortaya çıkan ve daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru ilerleyen hava akımını ifade etmektedir. Söz konusu hava akımı hareketleri yeryüzünde rüzgarların oluşmasını sağlamaktadır. Hava hareketinin bir yerden diğer bir yere taşınmasındaki hız artışı; kuvvetli rüzgar, fırtına ve kasırgaların meydana gelmesine neden olabilmektedir (Altuntaşoğlu, 2006: 53).

Yerden belli yükseklikteki direklere iyi yerleştirilmiş rüzgar türbinleri, hava akımını elektrik enerjisine çevirmektedir. Rüzgar türbini; kinetik enerjiyi ilk olarak mekanik enerjiye, ardından da elektrik enerjisine dönüştüren bir jeneratörden oluşmaktadır. Kinetik enerji rotorda mekanik enerjiye çevrilmekte, rotor milinin devir hareketi ile oluşan enerji de gövdedeki jeneratöre aktarılmaktadır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi, aküler yardımıyla depolanmakta veya doğrudan

tüketicilere ulaştırılmaktadır. Rüzgar türbinleri yerdeki engellerin oluşturduğu hava türbülansının azalması ve daha fazla güç toplanabilmesi için yerden genelde 100-130 metre ya da daha yukarıda bulunmaktadır (Turanlı Orakçı, 2012:19; Aydın, 2014: 192; Varınca ve Varank, 2005: 369).

Günümüzde küresel rüzgar enerjisi pazarında boyut ve tiplerine göre çok çeşitli rüzgar türbinleri mevcut olsa da; türbinler genel olarak dönme eksenine göre yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgar türbinleri olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde dönme ekseni rüzgar yönüne paraleldir ve türbin kanatları rüzgar yönüyle dik açı yapmaktadır. Ticari amaçlı türbinler genel olarak yatay eksenlidir ve bunların çoğu rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanmaktadır(www.enerjiportali.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/ 10.06.2020). Dikey eksenli rüzgar türbinlerinde ise ana mil dik durur ve kanatlar onun etrafında dönmektedir. Dört kanadı olan bu türbinler, uzun kuleler yapılmasını gerektirmez, ancak kanatları döndürebilmek için kuvvetli hava akımlarına ihtiyaç vardır (www.ekonomiksolar.com/index.php 10.06.2020). Dikey eksenli rüzgar türbinleri genellikle deneysel amaçlı üretildiği için ticari amaçlarla kullanımı çok fazla yaygın değildir (www.enerjivedunya 10.06.2020).

Şekil 4. Rüzgar Türbinlerinin Genel Yapısı



Kaynak: Şenel ve Koç, 2014: 71-72.

Rüzgar türbinleri daha çok yıl boyunca kuvvetli ve sürekli hava akımlarının olduğu alanlara gruplar halinde yerleştirilmektedir. Bu gruplar ise rüzgar çiftliği

olarak adlandırılmaktadır (www.ekonomiksolar.com/index.php 10.06.2020). Rüzgar çiftliklerinin kurulduğu yerler genellikle; dağ yamaçları ve geçitler, dar nehir vadilerinin kıyıları, açık ovalar ve sıra tepeler, göl ve deniz kıyılarıdır. Verimi en üst düzeye çıkarmak ve birbirlerinin rüzgarına engel olmamak için türbinler çoğunlukla sıralar hâlinde dizilmektedir (Montgomery, 2014: 254).

Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi: Rüzgar enerjisinin kullanımına ait ilk uygulamalara VII. yüzyılın başlarından itibaren başta Persler olmak üzere Doğu medeniyetlerinde rastlanmaktadır. Söz konusu uygulamalar yel değirmenleri şeklinde olup, derin seviyelerdeki suları çıkarma ve tahıl öğütme amacıyla kullanılmıştır. Avrupa medeniyetleri ise rüzgar enerjisinin kullanımı ile ilgili bilgilere ancak haçlı seferleri sırasında sahip olabilmişler ve ardından kendi ülkelerinde yel değirmenlerini yaygınlaştırmışlardır (Özgener, 2002: 160).

Dünyada rüzgar enerjisinden elektrik üreten ilk türbin Danimarkalı mühendis Paul La Cour tarafından 1891 yılında kurulmuştur. Böyle bir teknoloji geliştirilmesine rağmen; modern sanayileşmenin başlarında daha düşük maliyet ile kesintisiz güç sağladığı için fosil yakıt kullanan sistemler tercih edilmiştir. Ancak bu süreçte de rüzgar teknolojisine yönelik çalışmalar sürdürülmüş ve 1942 yılında S. Morgan Smith tarafından ABD'de 17,5 m kanat çaplı ve 50 kW güçlü büyük bir rüzgar türbini kurulmuştur. Ardından 1957 yılında üretilen 24 m kanat çaplı ve 200 kW güce sahip Gedser rüzgar türbini kullanılmaya başlanmıştır. Bu türbin aynı zamanda modern rüzgar türbinlerinin de öncüsü olarak kabul edilmektedir (Şenel ve Koç, 2015: 47).

Gedser türbinleri 1967 yılına kadar kullanılmasına rağmen; 1960'lı yılların ikinci yarısında petrol fiyatlarının düşmesi sonucu ortaya çıkan maliyet farkı, rüzgar türbinlerinin gelişim hızını belirli bir süre sekteye uğratmıştır. Ancak 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizleri sonucunda rüzgar türbinlerinin kullanımı tekrar gündeme gelmiş ve özellikle gelişmiş ülkeler iktisadi, ekolojik ve güvenlik gerekçeleri ile bu teknolojiyi tekrar gündeme almışlardır (Sevim, 2015: 219).

Çevre sorunlarını ile ilgili toplumsal bilinçlenmenin özellikle 1990'lı yıllardan itibaren artmaya başlaması, yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasını ve yaygınlaşmasını sağlayan temel faktörlerden biri olmuştur. Böylece fosil yakıtların ekolojik dengeler ve doğal kaynaklar açısından meydana getirdiği etki daha fazla tartışılmaya açılmıştır. Böylece, atmosferde kirlilik oluşturmayan rüzgar enerjisi gibi teknolojilerin yaygınlık kazanması kolaylaşmıştır. Nitekim 1990'ların sonu itibariyle rüzgar enerjisinden elektrik üretimi, en hızlı büyüme kaydeden araçlardan biri haline gelmiştir (www.eie.gov.tr 18.01.2017).

Rüzgar Enerjisinin Avantajları: Rüzgar enerjisinin tercih edilmesinde; insan ve çevre sağlığına duyarlı olması, yerli kaynaklardan beslenmesi, süreklilik arz etmesi, kurulum ve işletme maliyetinin düşüklüğü, sera gazı salınımına yol açmaması, dışa bağımlılığı azaltması ve kuruldukları arazilerde tarım yapılabilmesine de olanak tanıması gibi temel unsurlar yer almaktadır (İlkılıç, 2009: 27).

Günümüzde gelişmişlik düzeyi birbirinden farklı tüm ülkeler için temel çevre problemi; zehirli gaz emisyonundan dolayı artan küresel ısınma sorunudur. Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi; fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan zararlı gazların oluşumuna neden olmamakta, atmosferik ısınmaya yol açmamakta, fosil yakıt tüketimini azaltmakta ve radyoaktif etkilere sahip bulunmamaktadır. Özellikle enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı ekonomilerde yakıt maliyeti ve fiyatı risklerini belli ölçüde minimize etmekte, bağımlılıktan kaynaklanan iktisadi, politik ve tedarik risklerini de düşürmektedir (Oskay, 2014: 79-80).

Rüzgar enerjisi sektörü aynı zamanda belli ölçüde istihdam da yaratarak ekonomik ve toplumsal gelişmeye katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda türbin, kanat ve diğer bileşenlerin imalatını yapan sektörlerin büyümesi, üretilen elektriğin dağıtımını yapan işletmelerin artması, alana yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin niteliksel ve niteliksel olarak gelişmesi, montaj, bakım ve servis işletmelerinin ortaya çıkması, eğitim, finans ve pazarlama gibi işkollarının ilerlemesini mümkün hale getirmektedir. Böylece gerek yerel gerekse ulusal düzeyde işsizlik oranlarının düşmesi açısından rüzgar enerjisi destekleyici bir etki yaratmaktadır (Bayraç, 2011: 41).

Diğer enerji üretim birimlerinin planlanması ve projelendirilerek yapımının tamamlanması, uzun bir süreç ve büyük bir mali yatırım gerektirmektedir. Ancak rüzgar türbinlerinin faaliyete geçmesi ise inşaat başlangıcından itibaren görece çok daha kısa sürede mümkün olmaktadır. Ayrıca rüzgar; teknolojik gelişimi hızlı, dışa bağımlılığı düşük ve kısa sürede kullanıma geçebilen bir gibi kaynak olduğu gibi yine kısa bir süre içerisinde de sökülebilen bir güç kaynağıdır (Acar ve Doğan, 2008: 680, Koçaslan, 2010: 57).

Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları: Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek amacıyla kurulacak türbin sahaları, geniş alanların kullanımını gerektirebilir. Nitekim 1 MW elektrik üretimi için yaklaşık 700–1000 m^2 arazi gerekmektedir (Peker, 2001: 38).

Rüzgar çiftlikleri belli ölçüde gürültüye sebep olmaktadır. Rüzgarın hızına bağlı olarak değişen gürültü seviyesi, oldukça düşük frekanslara sahip olmasına rağmen; yakın çevredeki yapılarda titreşime yol açabilmektedir. Türbinlerinden kaynaklanan gürültü ve sesin aynı zamanda insanları da olumsuz yönde etkilediği varsayılmaktadır. Bu bağlamda gürültünün asabilik, memnuniyetsizlik, sıkıntı, konuşma ve duyma yetilerinde bozulma gibi sonuçlar meydana getirdiği ifade edilmektedir. Gürültünün sürekli olması halinde ise duyma kaybının kalıcı hale gelme ihtimali bulunmaktadır (The European Wind Energy Association, 2003: 180).

Rüzgar türbinleri elektromanyetik alana tesir ederek radyo-tv alıcılarında bozulmaları beraberinde getirmektedir. Bu durum türbin kanatlarının hareketlerinden kaynaklanmakta olup; kanatlar dönerken radyo dalgalarını geri yansıtmakta ve parazit oluşumuna sebep olabilmektedir (Özen vd., 2015: 88).

Türbinler, doğal hayat ve habitat açısından da çeşitli etkiler ortaya çıkarabilmektedir. Söz konusu etkiler; canlı türlerine, mevsime ve yer özelliğine bağlı olarak değişim gösterir. Rüzgar türbinleri özellikle göç eden kanatlılar için ciddi sorunlara yol açmaktadır. Kuşlar rüzgar türbinlerine doğru sürüklenerek pervanelerin hızından kaçamamakta ve ölmektedirler. Ayrıca doğru akım üretiminden dolayı akü ve konventör bulunması zorunluluğu, hem manyetik kirliliğe

sebep olmakta hem de akü nedeniyle çevre sorunları yaratabilmektedir. Ayrıca, telefon, radyo ve televizyon gibi iletişim araçlarının sinyallerini de bozabilmek ihtimali bulunmaktadır (Külebi, 2007: 111).

Rüzgar türbinlerinin en önemli dezavantajı; hava akımının şiddetine doğrudan bağlı oldukları için kesikli güç üretim sistemi olmaları ve yıl içinde ortalama 2.500-3.000 saat civarında elektrik üretimi yapabilmeleridir. Böyle bir ortamda enerji talebini kesintisiz bir şekilde karşılayabilmek için rüzgar türbinlerinin hidroelektrik ve doğalgaz santralleri gibi sürekli çalışabilen enerji üretim birimleri ile desteklenmesi gerekir (Sevim, 2015: 220).

1.4.3. Güneş Enerjisi

Güneşin sağladığı ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları belirleyen temel enerji kaynağıdır. Dünyadaki bütün madde ve enerji akışları, doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisi sayesinde mümkün olabilmektedir. Güneş enerjisi hem serbest bir mal hem de sürekli ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Varınca ve Gönüllü, 2007: 127).

Güneş Enerjisinin Oluşumu: Güneş enerjisi, güneş ışınlarından elde edilen enerjidir. Güneşin içinde, kesintisiz olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon tepkimeleri gerçekleşmekte ve meydana gelen kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek tüm boşluğa yayılmaktadır. Dünya atmosferinin dışında güneşin radyasyon şiddeti yaklaşık 1.370 W/m^2 değerindedir, ancak bu enerjinin oldukça küçük bir bölümü (0-1.100 W/m^2) yeryüzüne ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşabilen ısınım değerinin düşük olmasının başlıca sebebi; atmosferdeki karbondioksit, ozon ve su buharının güneş ışınlarını belli ölçüde absorbe etmesidir. Ayrıca güneş ışınlarının aldığı mesafenin fazla olması da önemli bir unsurdur. Bu enerjinin dünyaya ulaşan küçük bir bölümü bile küresel olarak tüketilen enerji miktarının binlerce katı büyüklüğündedir (Oğulata, 2002: 1556).

Güneş enerji sistemleri, güneş ışığından ısı ve elektrik üretilmesine dayalı bir teknolojidir. Bu teknolojiler; tasarım, uygulama alanı ve teknik özellikleri itibariyle büyük çeşitlilik göstermekle birlikte; ısıl güneş teknolojileri ve fotovoltaik sistemler

(güneş pilleri) olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir (Çakar vd., 2009: 239).

Isıl güneş teknolojilerinde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretmek amacıyla da kullanılabilmektedir. Elektrik üretiminde yararlanılan ısıl güneş teknolojileri; parabolik oluklu güneş kolektörleri, stirling destekli çanak kolektörler ve güneş kuleleridir (Sevim, 2015: 217). Parabolik oluklu güneş kolektörleri ve güneş kulelerinin temel çalışma prensibi; güneş ısısını sistem akışkanına doğru aktarmak suretiyle elde edilen buharı kullanarak türbin-jeneratör bölümünde elektrik enerjisi üretmektir. Stirling destekli çanak kolektör sistemlerinin temel çalışma prensibi ise; çanak kolektörlere düşen güneş ışınlarının stirling motoruna aktarılması sonucunda motorun ısı enerjisinin mekanik enerjiye ve sonrasında jeneratör sistemi yardımı ile elektriğe dönüşmesine dayanmaktadır (Çıtıroğlu, 2000: 34-35).

Fotovoltaik sistemler güneş ışığını herhangi bir ısıl işleme tabi tutmadan doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Bu sistemler; güneş ışığını elektriğe dönüştürmede bir veya iki tabakalı yarı iletken materyalden oluşan hücreler kullanır. Fotovoltaik hücrelerde yaygın olarak kullanılan yarı iletken materyal ise kumdan elde edilen silikondur. Güneş ışığı, hücre üzerine geldiğinde tabakalar boyunca elektrik akımı üreten bir alan oluşur. Işık yoğunluğu arttıkça oluşan elektrik akımı da artmaktadır. Fotovoltaik sistemler havanın bulutlu olması durumunda bile elektrik üretebilir, hatta az bulutlu günlerde güneş ışığının yansıması nedeniyle tam açık günlerdekine kıyasla daha fazla elektrik üretilebilmektedir (Varınca ve Varank, 2005: 152-153).

Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi: Güneş enerjisinden yararlanabilmek amacıyla yapılan çalışmaların tarihi, çok eskilere dayanmaktadır. Örneğin Sokrates (MÖ. 400) güney yönüne daha fazla pencere yapılarak evlerin daha iyi ısıtılması gerektiğini, kuzey kısımların ise yüksek inşa edilerek rüzgarın önlenebileceğini ifade etmiştir (Akova, 2003: 57). Arşimet (MÖ. 215) ise içbükey aynalar yardımıyla güneş ışınlarını 30-40 metre uzaklıktaki Sirakuza'yı kuşatan Roma gemilerine odaklayarak onları yakmayı başarmıştır (Altuntop ve Erdemir, 2013: 70).

Güneş enerjisi eski çağlardan beri insanlar tarafından kullanılıyor olmasına rağmen; modern anlamda bu alandaki gelişmeler 18. ve 19. yüzyıllarda ortaya çıkmıştır. Dünyadaki ilk güneş kolektörü 1767 yılında İsviçreli Horace De Saussure tarafından yapılmış, daha sonra bu kolektör 1830'larda Sir John Herschel tarafından Güney Afrika seferinde yemek pişirmek üzere kullanılmıştır. Fotovoltaik etkisini ise Fransız fizikçi Edmond Becquerel, 1839'da iki metal plaka arasında meydana gelen elektrik akımı üzerine yaptığı bilimsel çalışması ile saptamıştır (Prevenslik, 2003: 323).

Fotovoltaik etkinin bulunmasından sonra bilim dünyası farklı yöntemler geliştirerek bu etkiyi basit bir şekilde ortaya çıkarmak üzere çeşitli araştırmalar yapmıştır. 1873'de İngiliz bilim adamı Willoughby Smith selenyumun fotoiletken yapıda olduğunu keşfetmiştir. Amerikan bilim adamı Charles Fritts 1884'de selenyumu çok ince bir altın katmanıyla kaplayarak dünyada ilk defa çalışan güneş pilini icat etmiştir (Würfel, 2005: 9).

Fransız bilim adamı Auguste Mouchout, Sanayi Devriminde kömürün sınırlı bir kaynak olduğunu belirterek alternatif enerji kaynakları hakkında araştırmalar yapmıştır. Mouchout, 1860'da geliştirdiği bir cihaz sayesinde suyun kaynaması için gereken ısıyı güneş enerjisinden elde etmiş ve kaynama sonucu oluşan buharla bir türbini çalıştırmıştır. Bu sistem o dönemde dünyada güneş enerjisiyle çalışan ilk sistemdir. Aynı yıllarda Fransız mühendis Charles Tellier, güneş enerjisi üzerine gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda yoğunlaştırmasız ve yansıtmasız güneş makinesinin tasarımını gerçekleştirmiştir (World Energy Council Turkish National Committee, 2009: 9-10).

Güneş enerjisinin ticari amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar ABD'de başlatılmıştır. Aubrey Eneas 1892 yılında gerçekleştirdiği güneş makinesi deneyleri sonrasında ilk güneş enerjisi şirketini (The Solar Motor Co.)1900 yılında kurmuş ve çalışmalarını da 1905 yılına kadar devam ettirmiştir. Aynı dönemde fotovoltaik güneş enerjisi üzerine araştırmalar da yoğunluk kazanmıştır. Özellikle Albert Einstein'ın 1905'de yayımlanan ve 1921 Nobel Fizik Ödülü kazanan fotoelektrik etki

hakkındaki makalesi, bu sahadaki önemli dönüm noktalarından birisidir (World Energy Council Turkish National Committee, 2009: 11-13).

Fosil yakıtların kullanımı ve taşınmasında yaşanan devrimsel nitelikteki gelişmelere bağlı olarak 1914 yılından sonra güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar 50 yıllık bir duraklama dönemine girmiştir. Fakat 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerinin neden olduğu enerji sorunu, yenilenebilir enerjiyi tekrar gündeme taşımıştır. Böylece güneş enerjisi teknolojileri ilerletilerek maliyetlerin düşürülmesi ve verimliliğin artması için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. İlk endüstriyel boyuttaki enerji üretimi, Los Angeles'ta Luz Corporation tarafından kurulan parabolik aynalı sistem ile 1984 yılında sağlanmıştır. 1990'lı yıllarda Kaliforniya'da 10 MW ve Ürdün'de 30 MW kapasitesinde olmak üzere iki adet güneş kulesi kurulmuştur (Kapluhan, 2014: 74). 2000'li yıllara gelindiğinde ise güneş enerjisi üzerine yapılan yatırımlar önemli ölçüde artış göstermiş ve fotovoltaik teknoloji dünya çapında kullanılabilecek bir enerji kaynağı hale gelmiştir.

Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları: Hayatın her alanında güneşin faydalarından yararlanmak mümkündür. Doğal etkisi, ısı etkisi ve elektrik etkisiyle güneş, dünyadaki enerji döngüsünün vazgeçilmez bir kaynağıdır. Güneş enerjisi; tarımsal teknolojilerde, sanayide, sinyalizasyon ve otomasyon sistemlerinde, ulaşım-iletişim araçlarında, aydınlatmada ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabileceği gibi günümüzde en çok da binalarda tercih edilmektedir. Binalarda ısıtma, soğutma, sıcak su elde etme ve elektrik üretme ihtiyacı için özellikle güneş enerjisine başvurulmaktadır. Ayrıca, uydularda, hesap makinelerinde, saatlerde, meteoroloji istasyonlarında, sokak ve trafik lambalarında, tarımsal sulama ve kırsal alanlarda gerek ısıtma gerekse elektrik ihtiyacını karşılamak üzere yaygın olarak güneş enerjisinin kullanıldığı görülmektedir (Çolak vd., 2008: 40).

Güneş ışığı özellikle onun ısı etkisinden faydalanmak üzere kullanılmaktadır. Bu amaçla geliştirilen güneş enerjili sıcak su sistemleri, oldukça basit ve düşük maliyetli olduğu için çok fazla tercih görmektedir (Danacı ve Gültekin, 2009: 243). Ancak özellikle son dönemlerde güneş enerjisi, elektrik üretmek amacıyla da başvurulan önemli bir kaynak haline gelmiştir.

Güneş enerjisinden elektrik üretmek üzere kullanılan farklı yöntemler bulunmakta, ancak şu an için en gelişmiş yöntemi güneş pilleri (fotovoltaik) vasıtasıyla doğrudan elektrik üretme sistemleri oluşturmaktadır. Bu sistemlerden üretilen elektrik, ısıl sistemlere göre daha ucuz ve kolay olduğu için fotovoltaikler ön plana çıkmış durumundadır. Güneş pilleri ilk olarak uzay programları için geliştirilmiş olmakla birlikte; daha sonra elektrik üretiminin geleneksel araçlarla çok fazla yapılmadığı veya yerleşim merkezlerine oldukça uzak olan yerlerde elektrik üretmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Altuntop ve Erdemir, 2013: 74).

Sonuç olarak güneş enerjisinin; düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık düzeyine göre farklı kullanım alanları bulunur. Düşük sıcaklık (20-100°C) uygulamalarına; konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi, yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi, seraların ısıtılması ve tarım ürünlerinin kurutulması, orta ısı (100-300°C) uygulamalarına; sanayide güneş ocakları ve fırınlarının çalıştırılması, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, küçük motorlar ve buhar jeneratörlerin işletilmesi, yüksek ısı (>300°C) uygulamalarına ise; metallerin eritilmesi ve elektrik üretiminin yapılması örnek verilebilir (Çıtıroğlu, 2000: 34).

Güneş Enerjisinin Avantajları: Güneş enerjisinin en önemli avantajı; yenilenebilir ve sınırsız olmasıdır. Fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan zehirli gazlar ve katı atıklar çok ciddi çevre sorunlarına yol açarken; güneş enerjisi çevre dostu temiz bir enerji kaynağıdır (Köroğlu vd., 2010: 98).

Teknik alandaki hızlı gelişmelere bağlı olarak güneş enerjisi ile elektrik üretiminin maliyeti ise her geçen gün düşmekte olduğundan kullanım alanı giderek genişlemektedir. Ayrıca yerleşim merkezlerine yakın ya da uzak her noktada bu teknolojilerin kullanımı da mümkün olup karmaşık bir yapısı bulunmamaktadır. Diğer taraftan yakıt maliyeti gerektirmeden güneş enerjisi ile ısıtma/soğutma, endüstriyel uygulamalar ve elektrik üretimi yapılabilmektedir. Bunlarla birlikte sabit bir yapıya sahip oldukları için bakım-onarımları kolay, yıpranma payları ve işletme maliyetleri de düşüktür (Akova, 2008: 33).

Güneş enerjisi ile çalışan sistemler ihtiyaçlar doğrultusunda bulunduğu yerden kolaylıkla taşınarak bir başka yere aktarılabilir. Elektrik şebeke hattı bulunmayan ya da şebeke hattı kurma maliyetlerinin yüksek olduğu kırsal yörelerde, güneş enerji sistemleri enerji ihtiyacının karşılanmasına olanak tanımaktadır. Talebin artması durumunda ise modüller sayesinde hızlı ve kolay bir şekilde mevcut sistemler genişletilebilir. Ayrıca yakıt sorununun olmaması ve uzun yıllar sorunsuz çalışması gibi nedenlerle güneş enerjisi santrallerinin dünya genelinde kullanımı sürekli artmaktadır (Varınca ve Varank, 2005: 151).

Güneş pilleri diğer elektrik üretim sistemlerine göre daha güvenilir ve uzun ömürlüdür. Dayanıklı malzeme yapısı sayesinde; nem, yüksek ısı, kar, buz, fırtına ve şimşek gibi zor hava koşullarına karşı da dayanıklıdırlar. Bireysel kullanıma uygun olması nedeniyle her hane, kendi enerji ihtiyacını çatısına kurduğu güneş pilleri ile karşılayabilir (www.termodinamik.info 18.09.2019).

Güneş Enerjisinin Dezavantajları: Günümüzde güneş pilleri teknolojisindeki ilerlemelere rağmen; ilk yatırım maliyetlerinin halen yüksek olması güneş enerji santrallerinin önemli dezavantajlarından birisidir. Güneş pili yapımında en çok silisyum, galyum arsenit ve kadmiyum tellür gibi inorganik yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. İnorganik teknolojiye dayanan silikon içerikli güneş pillerinin maliyetleri konvansiyonel enerji kaynaklarına göre oldukça yüksektir. Söz konusu maliyetlerin düşürülebilmesi için organik teknoloji kullanılarak güneş pillerinin üretilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Ancak organik güneş pillerinin verimleri, silikon esaslı güneş pillerine göre oldukça düşüktür ve henüz ticari bir ürün olarak yeterli seviyeye ulaşmamıştır (Sevim, 2015: 218).

Güneş enerjisine ilişkin bir diğer sorun da; ışınların dağınık olmasından ötürü bunları toplamak için geniş yüzeylere ihtiyaç duyulmasıdır. Ayrıca havanın bulutlu olduğu ve günün gece saatlerinde güneş enerjisinden yeterli elektriği üretebilmek de mümkün olamamaktadır. Bu sorun, gündüz elde edilen enerjinin depolanmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Akümülatörler sayesinde depolama yapılabilmekte, ancak akümülatör maliyetlerinin yüksek olması enerji maliyetini artırmaktadır (Önal, 2010: 18; Akova, 2008: 33).

Kurulması için geniş bir araziye (1 kW güç elde etmek için yaklaşık 10 m^2) ihtiyaç duyulan güneş enerjisi sistemlerinin çoğunda verim, arzu edilen düzeyde değildir. Günümüzde kullanılan ısıtma sistemlerinin verimi yaklaşık yüzde 60'larda seyrederken; fotovoltaik panellerde elde edilen en yüksek verim yüzde 15-20'lere ulaşmaktadır (www.iea-shc.org 11.02.2017). Aynı zamanda bu teknoloji; toz ya da kum fırtınaları, yağmur, yıldırım veya kar alan bölgeler ile sismik faaliyetlerin gerçekleştiği yerlerde düşük verimde çalışmaktadır. Bu nedenle büyük güç santrallerinin kurulumu için fotovoltaik sistemler yeterince yaygınlaşamamış ve daha çok yerel enerji ihtiyacının karşılanması için tercih görmüştür (Montgomery, 2014: 260).

Güneş enerjisi teknolojisi, ulaştırma sektöründe de henüz beklentileri tam olarak karşılayamamaktadır. Gelişmekte olan bir teknoloji olup, mevcut koşullarda sıvı ve gaz yakıtlara kullanımı daha zordur. Örneğin; otomobillerde güneş pillerinin yarattığı güç, fosil yakıt kullanılan araçlara oranla çok düşük düzeydedir. Güneşin olmadığı durumlarda güneş enerjisi ile hareket eden araçların çalışmaması gibi bir sorun da bulunmaktadır. Gelecek yıllarda yaşanacak olan teknolojik ilerlemeler, bu sorunların bazılarını ortadan kaldırmaya yardımcı olacak olsa da; coğrafya, jeoloji ve meteorolojiden kaynaklanan kısıtları tamamen yok edemeyecektir (Montgomery, 2014: 260-261).

Güneş enerjisi çevre dostu olmasına rağmen; güneş panellerinin imalatı sırasında çevreye zarar verebilecek maddeler kullanılmaktadır. Bu maddelerden en çok kullanılan ve tartışılan; kadmiyum tellürün içinde bulunan kadmiyum metalidir. Söz konusu metalin zararı; ekolojik besin zincirinde birikmesidir. Bununla birlikte fotovoltaik hücrelerde bulunan diğer inorganik maddeler de kullanım ömrü bittikten sonra çevre kirliliğine neden olabilmektedir (Erdener vd., 2013: 84).

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yapılan bir araştırmanın bulgularına göre; güneş enerjisinden elektrik üretim işlemi, küresel ısınma ile bağıntı içerisindedir. Güneş enerji sistemleri küresel ısınmaya hem neden olmakta hem de ısınma sürecini hızlandırmaktadır. Çünkü fotovoltaik paneller olmadan güneş ışınlarını toplamak ve kontrol altında tutmak mümkün değildir. Güneş panelleri ise

elektrik üretmek için normalden 4-5 kat daha fazla ışın çekmektedir. Bu durumun özellikle güneş panellerinin yoğun bölgelerde aşırı sıcaklıklara neden olacağı ileri sürülmektedir (www.realnewsrightnow.com 18.09.2019).

1.4.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, tabiatın insanlığa sunmuş olduğu doğal bir enerji kaynağıdır. Bu enerji hem düşük karbondioksit emisyon oranı ile hava kirliliği yaratmamakta, hem de doğru ve etkin bir biçimde kullanıldığında tamamen yenilenebilir kaynak olarak günümüzde artan enerji ihtiyacını belli ölçüde karşılamaktadır (Arslan vd., 2011: 21).

Jeotermal Enerjinin Oluşumu: Jeotermal enerji; yer kabuğunun farklı derinliklerinde birikmiş yüksek ısının oluşturduğu, sıcaklığı atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre bileşiminde daha fazla erimiş mineral, tuz ve gaz içeren sıcak su ve buhar enerjisidir. Ayrıca bazı alanlarda bulunan "sıcak kuru kayalar"daki ısı da ortama su enjekte etmek suretiyle kullanılabilir hale getirilebilmektedir (Koçak, 2001: 219).

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli unsurlar; ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan ve akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaçlardan oluşmaktadır. Yenilenebilir nitelikteki bu enerjinin ortaya çıkmasındaki ısı kaynağını; yer kabuğunun derinliklerinde bulunan magma oluşturur. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının hareket edebildiği çatlaklı kayaçlardır. Rezervuarların üzerinde çoğunlukla geçirimsiz tabakalar yer almaktadır. Jeotermal akışkan da genellikle su olup; sıcaklık ve basınçtan ötürü rezervuarda ya buhar ya da sıvı halde bulunur. Akışkanı oluşturan bu sular meteorik kökenli oldukları için yeraltındaki hazneler sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenmektedir. Ancak bilinçsiz ve aşırı tüketim jeotermal enerjinin sürekliliğine zarar verebilmektedir (Ağırkaya, 2015: 8; Gelen, 2009: 60).

Yer altındaki jeotermal suların bir bölümü fay hatları aracılığıyla kendisine bir yol bularak kendiliğinden yüzeye çıkabilir. Diğer taraftan yüzeye bu şekilde ulaşamayan yer altındaki jeotermal sıvı ise yürütülen ancak sondaj faaliyetleri ile kullanılır hale getirilebilir. Jeoloji, jeofizik ve jeokimya çalışmalarının bir arada

yürütülmesi sonucu hem sondaj alanları hem de suyun sıcaklığı, hacmi ve kimyasal içeriği tespit edilir (Ağırkaya, 2015: 8). Çeşitli araştırma tekniklerinin uygulanmasına bağlı olarak jeotermal enerjinin oluşturduğu uygun jeolojik koşullarda yapılan sondajlar ile aşırı derecede ısınmış sular, yaş ve kuru buhar şeklinde yeryüzüne çıkarılmaktadır. Bu jeotermal akışkan, üzerindeki basıncın azalmasıyla su ve buhar fazlarına ayrılmaktadır. Ayrılan buhar, jeotermal santrallere gönderilerek, elektrik enerjisinin elde edilmesinde kullanılmakta, atık su ise diğer ısıtma sistemlerinde kullanılmakta veya yer altına geri basılmaktadır (Arslan vd., 2011: 22).

Jeotermal Enerjinin Tarihsel Gelişimi: Jeotermal enerjinin kullanımı oldukça eskilere dayanmasına rağmen; endüstriyel alanda ilk kez Fransız mühendis Francisco Larderel, 1827 yılında borik asit elde edebilmek amacıyla bu kaynaktan faydalanmıştır. Doğal buhardan elde edilen sıcaklık, yıllarca kimya endüstrisinin çeşitli dallarında kullanılmış, ancak 19. yüzyılın sonlarına kadar bu buhardan kuvvet elde etmek için bir çalışma yapılmamıştır. 1904'de Ginori Conti ilk defa, jeotermal kuyusundan çıkan doğal buhar ile Larderello'da (İtalya) bir makinenin pistonunu hareket ettirmiştir. Atılan bu adımın ardından 1913'de kuyudan çıkan buharı doğrudan kullanmak üzere ilk buhar türbini kurulmuş ve 250 kilovatlık elektrik jeneratörüne bağlanmıştır. Larderello'daki jeotermal kaynaklardan üretilen elektriğin ticari kullanımı ise 1914 yılında gerçekleşmiştir (Lund, 2004: 11-12).

1930'lu yıllarda İzlanda'nın başkenti Reykjavik çevresindeki sıcak su kaynaklarının bir hastane ve okulun yüzme havuzunu ısıtmak amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Sonuç başarılı olunca, sistem genişletilerek bütün şehir için benzer bir uygulamaya gidilmesi kararlaştırılmıştır. Ancak bu defa daha büyük bir kaynağa ihtiyaç duyulduğu için Reykjavik'in 16 km doğusunda bulunan bir jeotermal kuyudaki derinlik seviyesi 135 metreden yaklaşık 360 metreye çıkarılmıştır. Projenin uygulanmasına 1931 yılında başlanmış olmasına rağmen; II. Dünya Savaşı yürütülen çalışmaların yarım kalmasına neden olmuştur. Yapımına 1943 yılında yeniden devam edilen söz konusu proje, aynı yıl içerisinde de tamamlanmıştır (Sür, 1970: 27).

1958 yılına kadar İtalya'daki jeotermal elektrik santrali dünyanın tek endüstriyel üreticisi konumunda olmuştur. Aynı yıl içinde Yeni Zelanda, sıvı ağırlıklı sıcak su rezervuarlarını kullanarak Wairakei alanındaki güç santrallerini ticari amaçla işletmeye almıştır. Amerika Birleşik Devletleri, Pasifik Gas ve Elektrik Şirketi'nin 1960 yılında 11 MW'lık üniteyi harekete geçirmesiyle, ilk kez kuru buhar kullanımı sonucunda jeotermal enerjiden elektrik üreten üçüncü ülke olmuştur (DiPippo, 1999: 1). 1967'de ise çift akışkanlı çevrim santrali ile Rusya önemli bir adım atmış ve ardından bu teknolojinin dünya genelinde yayılması sonucunda düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlarından enerji üretimi gerçekleşmiştir (Lund, 2004: 11).

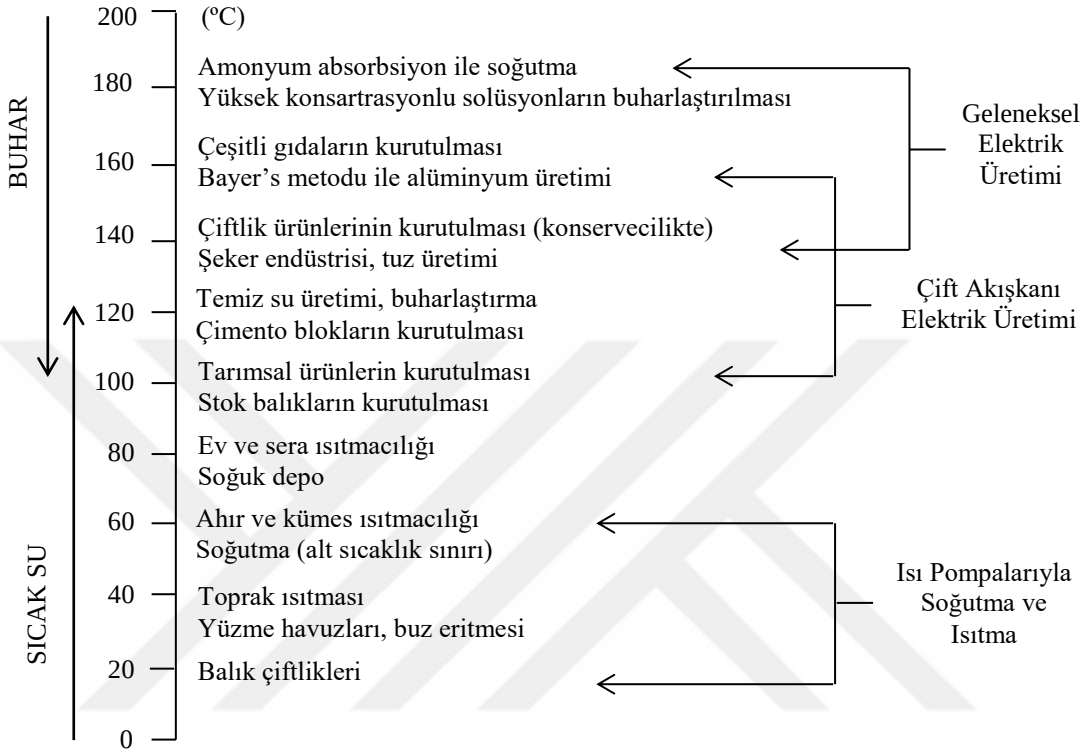
1900'lü yıllardan itibaren farklı gelişmişlik düzeyindeki çok sayıda ülke, jeotermal enerji ile ilgili çalışmalarına hız vermiştir. Bunun en büyük nedeni; üretim ve tüketim faaliyetlerinin artmasına bağlı olarak enerji talebinin yükselmesidir. Fosil yakıt arama, çıkarma ve işletme maliyetlerinin görece fazla olması, rezervlerin sınırlılığı ve çevresel sorunlar, insanları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Böylece özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkeler, kendi doğal kaynaklarını harekete geçirmeye çalışmışlardır (Akova, 2008: 119). Bu bağlamda jeotermal enerji hem elektrik üretimi hem de iklimlendirme faaliyetlerinde kullanılmakta ve enerji gereksiniminin karşılanmasına belli ölçüde yardımcı olmaktadır.

Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları: Tarihin ilk çağlarından beri jeotermal akışkanın ilkel yollarla temizlik ve sağlık gibi amaçlar için kullanıldığı, günümüze ulaşan yapı kalıntıları ve kayıtlardan anlaşılmaktadır. Nitekim Roma İmparatorluğu döneminde hükümdarlar İtalya'nın volkanik bölgelerindeki sıcak su kaynaklarının bulundukları yerlere hamamlar yaptırmışlardır. Günümüzde bile bu kaynakların çevrelerinde modern dinlenme tesisleri ve kaplıcalar bulunmaktadır (Sür, 1970: 5).

Günümüzde jeotermal enerjinin yaygın olarak çeşitli alanlarda kullanılması, teknolojinin gelişmesi sonucunda mümkün hale gelmiştir. Başta elektrik enerjisi üretimi olmak üzere, ısıtmada, soğutmada, endüstride ve kaplıca turizminde jeotermal enerji önemli bir kaynak konumuna gelmiştir. Jeotermal akışkanları çeşitli ısı derecelerine göre uygulama alanlarını Şekil 5'teki Lindal Diyagramı

göstermektedir (Christopher ve Armstead, 1973: 146; Arnorsson, 2000: 2; Kılıç, 2013: 48).

Şekil 5. Lindal Diyagramı



Kaynak: Arnorsson, 2000: 2.

Jeotermal enerji kaynaklarının doğrudan olmayan kullanımı ise elektrik üretimi yoluyla gerçekleşmektedir. Akışkanın ısı derecesine göre çeşitli elektrik enerjisi üretim teknolojileri yaygınlaştırılmıştır. Bu kaynağın elektrik üretimi için modern kullanımı; kuru buharlı, flaş buharlı ve çift akışkanlı çevrim santralleri olmak üzere üç temel teknolojik yönteme dayanmaktadır. Yöntemlerin her birinde sondaj kuyuları ve pompalar aracılığıyla su buharı veya sıcak su yüzeye taşınarak buhar türbinini çalıştırmak için kullanılır. Yüksek sıcaklık ve kuru buhar içeren jeotermal akışkanları, elektrik üretimi için en elverişli sistemleridir. Bunların ısı dereceleri 250-380ºC arasında değişmektedir (Aksoy, 2007: 57). Jeotermal enerji kaynaklarının uygulama alanları, bölge koşullarına ve özellikle akışkanın ısı değerlerine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla bulunduğu yerde değerlendirilmesi, maliyet ve verimlilik açısından önemli avantalar sunacağı için, jeotermal akışkan, kaynağa en yakın bölgede kullanılmalıdır (Kılıç ve Kılıç, 2013: 49).

Jeotermal Enerjinin Avantajları: Jeotermal enerji; uzun ömürlü, yenilenebilir, son derece istikrarlı, çevreyle dost ve yerli bir güç kaynağıdır. Fosil yakıtların kullanımı sonrasında önemli ölçüde katı ve gaz şeklinde atıklar çıktığı halde; jeotermal enerjiye dayalı modern bir elektrik santralinde buhar dışında bir zehirli gaz emisyonu söz konusu değildir. Özellikle giderek gelişen çift akışkanlı çevrim santrallerinde, yoğunlaşmayan gazların arınması sonucu daha önce değerlendirilmiş jeotermal akışkanla birlikte reenjekte edilmektedir. Bu hem rezervuar basıncının yeniden sağlanması hem de bölgedeki nehirlerin ve yer altı sularının kirlenmesinin önlenmesi için yapılmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2009: 93).

Jeotermal kaynaklarının enerji verimi oldukça yüksektir ve doğrudan elde edilebildiği için maliyeti diğer enerji kaynaklarına göre düşüktür. Jeotermal hâlihazırda kilovat başına fiyat açısından fosil yakıtlarla rekabet edebilecek durumdadır ve bu nedenle toplumsal açıdan daha ucuzdur. Son yıllarda geliştirilen yeni teknolojiler sayesinde daha düşük (80-180°C) sıcaklıklarda bile elektrik üretimi yapılabilmektedir. Elektrik üretimi ile entegre sistemler ise jeotermal enerjinin aynı anda birden fazla amaçla kullanılmasına olanak tanımaktadır (Koçak, 2001: 220).

Jeotermal enerji santralleri, konvansiyonel enerji kaynaklarına dayalı elektrik santrallerine göre daha pratik olup; ekonomik ve teknik açılardan da avantajlara sahiptir. Her şeyden önce bu santraller büyük alanlar işgal etmemekte, herhangi bir depolama veya nakil işlemi de gerektirmemektedir. Ayrıca kullanım esnasında patlama, yangın ve zehirlenme gibi risk faktörleri düşük olduğu için son derece güvenilir kabul edilmektedir. Jeotermal akışkanın bileşimindeki kimyasal maddelerin, uygun teknikler yardımıyla ayrıştırılması, hammadde arzını artırarak ekonomiye de katkı sağlayabilmektedir. Bu yöntemlerle; ağır su, amonyum bikarbonat, amonyum sülfat, borik asit ve kuru buz gibi sanayide kullanılan maddeler elde edilmektedir (Aksoy, 2007: 58).

Jeotermal akışkanların, içerdiği mineraller sayesinde birçok hastalığa ve organ rahatsızlıklarına iyi gelebildiği ileri sürülmektedir. Kaplıca tedavisi için belirli bir yaş kısıtlaması olmadığından çocuklar ve yaşlılar da termallerin sunduğu destekleyici sağlık hizmetlerinden yararlanabilmektedir. Çocuklarda özellikle astım ve saman

nezlesi gibi üst solunum yolu rahatsızlıklarında; yaşlılarda ise deri hastalıkları ve eklem problemlerinde termal sular tercih edilebilmektedir (Canik vd., 2000: 8).

Yenilenebilir enerji kaynakları iklim koşullarından etkilenmesine rağmen; jeotermal enerji, doğası gereği çevre koşullarından bağımsızdır. Jeotermalin sürekli güç üretebilmesi ve hava değişimlerinden etkilenmemesi önemli avantajlarıdır. Bu anlamda jeotermal enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en kararlı olanıdır ve dolayısıyla yüksek bir kullanılabilirliğe sahiptir. Kullanıma hazır niteliği sayesinde istenildiği an harekete geçirilebilmektedir (Arslan vd., 2011: 21-22).

Jeotermal enerji tamamen yerli bir kaynak olduğu için ülke ekonomisine ve milli sermayeye doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu kaynakların doğru, etkin, verimli ve faydalı bir biçimde kullanılması ile beraber ülkenin enerji bakımından dışa bağımlılığı azaltılarak cari açığın düşürülmesine katkıda bulunulur (Koçak, 2001: 221).

Jeotermal Enerjinin Dezavantajları: Ülkelerin önemli bir bölümü jeotermal kuyulardan çıkarılan suların tekrar alındıkları derin formasyonlara geri enjekte edilmesini yasal olarak zorunlu kılmaktadır. Suyun yüksek basınçla kırıklı kaya katmanlara pompalanması ise küçük şiddetli depremlerin oluşumuna yol açabilmektedir (Ayetül, 2008: 60). Nitekim Colorado'daki Rock Flats alanında 3.000 m derinliğe yapılan reenjekte işlemi, bölgeye yakın şehirlerde pek çok sayıda depremin yaşanmasına neden olmuştur. Benzer şekilde Wairakei'de yaşanan depremler de reenjeksiyon faaliyetlerine son verilmesine yol açmıştır (Badruk, 2003: 355).

Sıcak yer altı suları içilebilir olduğu gibi aynı zamanda zehirleyici ve öldürücü de olabilmektedir. Magmaya yakın noktalardan çıkarak yüzeye kadar çeşitli maddeleri eriterek geldiği için bu sular ağır metaller içerebilmektedir. Yüzeye yakın jeotermal akışkanlar ise mineraller bakımından zengin olmamakla birlikte; arsenik, cıva, bor ve lityumun yanı sıra mikrobiyota türlerini de barındırabilmektedir. Ayrıca zehirli olan karbondioksit ve hidrojen sülfit gibi gazların da mutlaka yakalanması gerekir. Diğer taraftan jeotermal santrallerin inşaatları, düşük kaliteli malzemelerle

ve akışkanların yüzeye kaçışına izin verecek şekilde yapıldığı takdirde çevresel zararlar ortaya çıkabilir (Montgomery, 2014: 268).

Jeotermal sistemlerde en büyük dezavantaj; kaynak sıcaklığının artmaması durumunda elektrik enerji santrallerden elde edilen toplam gücün sınırlı kalmasıdır. Bu durum kullanılan buharın, düşük ısı ve basınca sahip olmasından kaynaklanır. Ayrıca çift akışkanlı çevrim santrallerde, türbini döndürmek için kullanılan buhar, su buharından daha düşük bir yoğunlukta olduğu için birim zamanda daha az elektrik üretilmektedir (Montgomery, 2014: 267).

Jeotermal enerji santralleri sermaye yoğun teknolojilerdir. Bu nedenle özellikle santral veya ısıtma şebekesinin ilk kurulum süreci yüksek yatırımlar gerektirir. Ayrıca santrallerin yapımından önce, kaynağın aranması, ilgili arazinin kiralanması ve sondaj izinlerinin alınması gerektiği için kaynağın aranması ile üretime başlanması arasında 5-6 yıl gibi uzun bir süre geçmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2013: 55).

Jeotermal enerji her ne kadar yenilenebilir bir kaynak şeklinde nitelendirilse de; bazı jeotermal sahaların aşırı kullanımı, akışkan ve ısı üretimiyle ilgili belli bir tükenme sürecine girildiğini göstermektedir. Örneğin, Yeni Zelanda'nın Wairakei sahasında ortalama 140 MW üretim gerçekleştirilmekte, ancak yapılan çalışmalar sonucunda bu sahanın bir 50 yıl daha kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla jeotermal kaynaklar kendi doğal beslenmeleri kadar kullanıldıkları takdirde tam yenilenebilir kaynak olarak tanımlanabilir (Serpen, 2003: 436).

1.4.5. Hidrojen Enerjisi

Renksiz, kokusuz, şeffaf ve tamamen zehirsiz olan hidrojen, aynı zamanda doğadaki en hafif kimyasal elementtir. Hidrojen doğada tek başına bulunan bir enerji kaynağı türü olmayıp; su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi değişik hammaddelerin ayrıştırılması ile elde edilen sentetik bir yakıt türüdür (Dinçer, 2002: 265).

Hidrojen Enerjisinin Üretimi: Evrende en bol bulunan elementlerden biri olan hidrojen, aynı zamanda güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının da yakıtıdır. Çekirdeğinde bir proton ve çevresinde yalnız bir elektron bulunduğundan nükleer parçacıktan bir basamak yukarıdadır ve bu nedenle

son derece reaktiftir. Yüksek reaktiflik oranı nedeniyle hidrojen, doğada genellikle diğer elementlere bileşik yapmaktadır. Örneğin, suyun içinde oksijen ile ve organik maddelerde de karbon ile bileşik oluşturmaktadır. Dolayısıyla hidrojenin açığa çıkarılarak enerji üretmek amacıyla kullanılabilmesi için bir takım dönüşüm süreçlerinden geçmesi gerekmektedir (Açıkgöz, 2009: 34).

Hidrojen üretimine ilişkin farklı kaynaklar ve yöntemler bulunmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı ile, suyun elektrolizi ile veya biyokütle aracılığıyla hidrojen açığa çıkarılabilmektedir. Üretiminin ısıl işlem yönteminde fosil yakıtlar kullanılırken; kimyasal ve biyolojik işlemlerde ise yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır (Demircan ve İşcan, 2009: 27).

Hidrojenin açığa çıkarılmasında yukarıda belirtilen farklı kaynaklardan yararlanılabilmekte, ancak genelde su ve hidrokarbonlar tercih edilmektedir. Günümüz koşullarında hidrokarbon içeren fosil yakıtların kullanılması ile gerçekleştirilen hidrojen üretimi, karbon salınımına neden olduğu için çevresel açıdan olumsuz etkileri beraberinde getirmektedir. Diğer taraftan fosil yakıtlar sınırlı bir rezerve sahip olduğundan suyun elektrolizine yönelik teknikler üzerinde yapılan çalışmalar giderek daha fazla ağırlık kazanmaktadır (Baykara, 2002).

Hidrojen Enerjisinin Tarihsel Gelişimi: 16. yüzyılda F.B. Paracelsus, güçlü asitlerin metallerle tepkimesinde, çabuk ateş alan bir gazın ortaya çıktığını gözlemlemiştir. Fakat o dönemde bu yanıcı gazın yeni bir element olduğunun farkına varamamıştır. 1671'de İrlandalı kimyager ve fizikçi Robert Boyle ise demir tozu ve seyreltik asit çözeltilerini reaksiyona sokarak hidrojen gazı üretimini gerçekleştirmiştir. 1781 yılında Henry Cavendish, hidrojenin havayla birleşerek yandığında, atık olarak suyun ortaya çıktığını deney yoluyla keşfetmiş, böylece oksijen ve hidrojenden su üreten ilk bilim adamı olmuştur. Fransız Antoine Lavoisier 1783 yılında Cavendish'in çalışmalarını tekrarlamış ve genişletmiştir. Lavoiser, Cavendish'in bulduklarını tekrarlarken, yandığı zaman su üreten bu gaza hidrojen adını vermiştir (Şenaktaş, 2005: 26).

Hidrojenden elektrik enerjisi üretebilmek için 1838 yılında Alman kimyager Christian Friedrich Schönbein yakıt hücrelerinin çalışma prensibini ortaya atmıştır.

Bu prensipten yola çıkarak 1839'da William Robert Grove ilk çalışan yakıt pilini icat etmiştir. 1866 yılında Ernst Werner Von Siemens'in dinamo elektriğini bulması ve mekanik çalışmayla da elektrik üretebilmesi, pillere olan bağımlığı ortadan kaldırmıştır. Ancak ilerleyen yıllarda bazı bilim adamları tarafından artan enerji ihtiyacı için yakıt pilinin verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2003: 19).

1970'li yıllarda hidrojene enerji taşıyıcısı olarak bakılmaya başlanmış ve bu tarihten sonra ciddi bir şekilde hidrojen ile ilgili tartışmalar hız kazanmıştır. Ünlü Türk bilim adamı Nejat Veziroğlu, 1974 yılında Miami Enerji Konferansı'nda hidrojenin petrolün yerine geçecek bir enerji olacağını dünyada ilk defa dile getirmiştir. Enerji ve çevre sorunlarının tartışıldığı bu uluslararası forumda ayrıca Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliği'nin (IHEA) kurulması kararlaştırılmıştır (Şenaktaş, 2005: 26; Veziroğlu, 2000: 1143).

Günümüzde hidrojen ile ilgili çalışmaların büyük bölümü, "hidrojen ekonomisi" kapsamında yapılmaktadır. Hidrojenle ilgili çalışmaların ise beş bileşeni bulunmaktadır. Bunlar; hidrojen üretimi, üretilen hidrojenin depolanması, nakliyesi, elektriğe veya ısıya dönüştürülmesi ve kullanımı şeklinde sıralanabilir. Söz konusu bileşenlerin her biri ayrı bir araştırma ve tartışmanın konusunu oluşturmaktadır (Montgomery, 2014: 293).

Hidrojen Enerjisinin Kullanım Alanları: Hidrojeni itici güç sağlayacak bir enerji kaynağı olarak kullanmayı hedefleyen fikir ve buluşların geçmişi 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. 1783 yılında taşımacılık sektöründe hidrojenin kaldırma kuvvetinden faydalanılarak, Fransızlar balonları havalandırmıştır, Almanlar da zeplinleri hareket ettirmişlerdir. 1930'lu yıllarda, bir çeşit prototip hidrojen ateşlemeli motor geliştiren ve bu motoru; otomobilleri, otobüsleri ve kamyonları çalıştırmak için kullanan Alman mühendis Rudolf Erren ise yakıt amaçlı olarak hidrojeni kullanma yoluna gitmiştir. Erren'in çalışması Almanya, Britanya ve Avustralya hükümetlerinin iş birliği ile desteklenmiş, ancak II. Dünya Savaşı'nın etkileri sonucunda bu proje büyük bir darbe almıştır (Montgomery, 2014: 289-290).

1950'li yıllarda ABD Hava Kuvvetleri, yüksek irtifa ve uzun menzilli bir casus uçağında hidrojeni kullanmak üzere çalışmalar başlatmış ve uçak 1956'da denenmiştir. Yakıt verimliliğini ve uçuş süresini iki katına çıkarabilmek için de daha hafif olduğundan sıvı hidrojen kullanılmıştır. Fakat o yıllarda petrol fiyatlarının çok düşük olmasının yanı sıra hidrojenin sıvılaştırılması, kullanıldığı araç üzerinde depolanması ve pompalanması oldukça maliyetli ve teknik açıdan zor olduğu için söz konusu çalışmalar ilerletilememiştir. Bununla birlikte 1957 yılında, SSCB tarafından dünyanın ilk yapay uydusu Sputnik'in fırlatılması, dikkatleri roket tahrik yöntemlerine çekerek hidrojenli uçak programının sona ermesine neden olmuştur (Momirlan ve Veziroğlu, 2002: 168; Montgomery, 2014: 291).

Geniş kullanım alanına sahip olan hidrojen günümüzde; alevli ve katalitik yanmaya, doğrudan buhar üretimine, hidridleşme ile kimyasal dönüşüme ve yakıt hücresiyle elektrik üretimine imkan sağlayan bir yakıt türü haline gelmiştir. Alevli yanma özelliği ile hidrojen içten yanmalı motorlarda, gaz türbinlerinde ve ocaklarda yakıt olarak kullanılabilmektedir. Doğrudan buhara dönüşüm özelliği, buhar türbinlerinin çalışmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde endüstriyel buhar üretimi de yapılmaktadır. Ayrıca katalitik yanma özelliği; mutfak ocaklarında, su ısıtıcılarında ve sobalarda hidrojenden yararlanılmasına olanak tanımaktadır. Hidridleşme özelliği hidrojenin, emniyetli biçimde depolanması açısından önem taşımaktadır. Aynı zamanda hidrojen, yakıt pillerinde elektrokimyasal çevrim yöntemi ile doğrudan elektrik enerjisi üretilebilmektedir (Şahin, 2009: 5; Ültanır, 1998: 206).

Yakıt pilleri (fuel cell), hidrojen ile havadaki oksijeni birleştirerek doğrudan izotermal bir yöntem ile elektrik enerjisi üretmektedir. Yakıt pilleri güç üretimi bakımından büyük potansiyel taşımaktadır. Bu bağlamda piller, mobil cihazların ihtiyacını giderecek derecede düşük veya bir yerlerşim yerine yetebilecek kapasitede yüksek güç üretebilmektedir. Ayrıca özellikle otomobiller olmak üzere çeşitli ulaşım vasıtalarında da tercih edilebilecek bir araçtır. Bundan dolayı yakıt pilleri, ulaştırma sektöründen endüstriyel alanlara dek yelpazesi, geniş bir kullanım ve uygulama özelliğine sahiptir (Durgun vd., 2006: 8).

Hidrojen enerjisi; gaz altı kaynak uygulamalarında, cam ve kuvars imalatında, plastik ve sentetik iplik (elyaf) sanayisinde, çelik endüstrisinde, metalürjide, nükleer fisyon ve füzyon işlemlerinde, elektrik santrallerinde ısınan jeneratör sargılarının son soğutulmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, petrolün rafine edilmesi ve gübre yapımında kullanılan amonyak ve metanol üretiminde, bitkisel sıvı yağların hidrojenasyonunda, metalürji ve gıda sektörlerinde de hidrojenden faydalanılmaktadır (Veziroğlu, 2004: 257).

Diğer taraftan hidrojen enerjisinin bir araç yakıt olarak kullanılmasını sağlayacak tekniklerde de kayda değer gelişmeler yaşanmaktadır. BMW, Chrysler, Ford, GM, Toyota ve Honda gibi büyük otomobil üreticileri hidrojen yakıtlı otomobilleri üretip denemişlerdir. 2000'li yılların başından itibaren de bazı seçili modeller yollarda görülmeye başlamıştır. Bu gelişmenin ardından, hidrojen yakıtılı motorların üretimi gerçekleştirilmiş ve araçlar üzerinde çeşitli testler uygulanmıştır (Ültanır, 1998: 204).

Hidrojen Enerjisinin Avantajları: Hidrojen enerjisi, doğada en çok bulunabilen, son derece temiz ve verimli bir kaynaktır. Oksijenden kolayca elde edilebilmekte, yeniden oksijen ile kimyasal tepkimeye girdiğinde de su buharına dönüşmektedir. Diğer fosil yakıtlara baktığımızda hidrojenin yanması sonucunda karbondioksit, karbon monoksit veya sülfür gibi canlı ve doğa yaşamını tehlikeye atan atıklar çıkmamakla birlikte sadece saf su meydana gelmektedir (Tozsin, 2009: 37).

Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksektir ve zehirli etkisi yoktur. Bilinen tüm yakıtlar içinde, birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Örneğin 1 kg hidrojen; 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiyi içermektedir. Petrol türevi yakıtlarla kıyaslandığında verimliliği ortalama 1,33 kat daha yüksektir (Erdener vd., 2013: 24).

Yakıt olarak hidrojen, araç motorlarında kullanılması neticesinde enerji türüne dönüşebildiği gibi, yakıt pillerinde de elektrik üretimi sağlamaktadır. Yakıt pillerinin amacı; farklı yerlerde kullanılmak üzere elektrik akımı üretmektir. Bu kullanım

alanları; otomobil ve otobüs gibi araçlarda elektrik motoruna güç vermek, dizüstü bilgisayarlara enerji sağlamak ya da bir evi hatta şehri aydınlatmak olabilir. Ayrıca, yakıt pilleri yüksek verimlilikte çalışırlar (yüzde 50'nin çok daha üzerinde), salınım düzeyleri düşüktür, küçük aygıtlardan büyük elektrik santrallerine kadar daha geniş bir yelpazede kullanılabilecek nitelikte elektrik üretebilmektedir (Durgun, 2004: 8).

Hava ulaşımında da kullanılmasına yönelik yapılan araştırmalar, hidrojenin önemli avantajlara sahip olduğunu göstermiştir. Kalkış esnasında bir uçağın kendi ağırlığını, yükün ağırlığını ve gideceği yer için ihtiyaç duyulan yakıtın ağırlığını kaldırması gerekmektedir. Hidrojen birim ağırlıkta jet yakıtına göre 2,5 kat daha fazla enerji içermektedir. Bu bir uçak için hidrojenin daha hafif bir yakıt olduğu anlamına gelir. Uçaklarda hidrojenin basınçlı gaz veya sıvı halde kullanımı mümkündür. Sıvı hidrojen, aynı zamanda yüksek hızlı süpersonik uçaklarda motorların ve dış yüzeyin soğutulması için de kullanılabilir (www.enerjiuretimsistemleri.blogspot.com 01.08.2020; Açıkgöz, 2009: 34).

Yakıt pilleri de ulaşım araçlarında hidrojenin kullanımı açısından alternatif bir yöntemdir. Bu yöntemde yakıt pili, elektrik üretmesi sonucunda elektrik motorunu çalıştırarak aracın hareket etmesini sağlamaktadır (www.enerjiuretimsistemleri.blogspot.com 01.08.2020). Her ne kadar çalışma prensipleri ilk bakışta benzer olsa da yakıt hücreleri normal pillere göre daha üstün güç kaynaklarıdır. Normal pillerin depoladıkları enerji kısıtlıdır ve kimyasal reaksiyon tamamlandıktan sonra piller ya atılır ya da yeniden şarj edilmeleri gerekmektedir. Yakıt hücreleri ise sürekli yenilenme için tasarlanmışlardır, dışarıdan yakıt ve oksijen sağlandığı sürece çalışmaya devam etmektedir. Fazla hareketli parça içermemeleri ve ayrıca içlerinde yanma olayının gerçekleşmemesi, ömürlerini ve verimliliklerini artırmakta, aynı zamanda içten yanmalı motorlara da üstünlük sağlamaktadır (Durgun, 2004: 10).

Hidrojen gerekli güvenlik önlemlerinin alınması ile günümüzde petrokimya endüstrisinde de güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Fiziksel özelliklerinden dolayı hidrojenin güvenlik karakteri diğer yakıtlardan oldukça farklıdır. Hidrojen düşük yoğunluklu olduğu için bir kaçak anında yer seviyesinde birikinti halinde kalmayarak

atmosfere hızlı bir şekilde yükselmekte ve dağılmaktadır. Böyle bir durumda havalandırma yardımı ile ortamın güvenliği sağlanabilmektedir (Ün, 2003: 19-20).

Hidrojen, diğer fosil yakıt türlerine nazaran daha hafiftir. Benzin veya doğal gaz ile karşılaştırıldığında hidrojenin patlaması için daha yüksek konsantrasyonda bulunması gerekmektedir. Hidrojenin patlaması için yakıt/hava oranı yüzde 13-18'dir ve bu oran doğal gazın sahip olduğu orandan 2 kat, benzinin sahip olduğu orandan 12 kat büyüktür. Yakıtlar içinde hidrojen birim depolanan enerji başına en düşük patlama enerjisine sahiptir. Hidrojenin alev alması için havada hacimce yüzde 4-75 miktarı arasında olması gerekmektedir. Örneğin doğal gaz için yüzde 5,3-15, propan için yüzde 2,1-10 ve benzin için yüzde 1-7,8'dir. Hidrojenin herhangi bir kaçak anında yanabilirlik alt sınırı; benzinden 4 kat, propandan 1,9 kat ve doğal gazınkinden de çok az büyüktür. Bu nedenlerle özellikle garaj gibi kapalı ortamlarda yangın tehlikesini azaltmaktadır (Erdener vd., 2013: 46-47).

Hidrojen Enerjisinin Dezavantajları: Hidrojen enerjisi, dünyanın artan enerji gereksinimini büyük ölçüde karşılayabilecek bir potansiyele sahip olduğu için gelişmiş ülkeler bu enerji kaynağı üzerinde araştırma-geliştirme faaliyetlerini yoğunlaştırmışlardır. Ancak üretimi, depolanması, taşınması ve yakılması ile ilgili her aşamada, çözüm gerektiren bazı sorunlar bulunmaktadır (İder, 2003: 101-102).

Bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen farklı yöntemler kullanılarak elde edilebilmekte, ancak günümüz koşullarında en düşük maliyetli üretim, fosil yakıtlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan bu yöntem fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmadığı gibi aynı zamanda hava kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca doğada bol olmasına karşın enerji üretiminde kullanılan hidrojen gazının son derece saf olması gerekir (Tutar ve Eren, 2011: 8). Saflaştırma işlemi maliyeti oldukça artıran önemli bir süreçtir. Bu nedenle saf hidrojen üretiminin maliyeti; petrol ve doğalgaza göre yaklaşık 4 kat daha yüksektir. Hidrojenin elde edilmesinde kullanılan diğer bir teknik olan elektroliz yöntemi ise daha basit olmasına karşın daha pahalı bir yöntemdir (www.kaynakelektrik.com/2018/02/11/hidrojen-enerjisi-alternatif-olabilir-mi/).

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılması durumunda, geri tutuşma ve erken ateşleme gibi bazı teknik sorunları da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla, yanma odasına gönderilen hava-yakıt karışımının motor silindirine girmeden önce tutuşmasından, motorda emme manifoldu içinde geriye doğru alev tutuşması meydana gelir. Böylece emme sisteminde yer alan elemanlar zarar görmekte ve bu da emniyet sorunları doğurmaktadır. Motorun yüksek yükte çalışması durumunda ise yanma odasındaki sıcak noktalar karışımın erken ateşlenmesine sebep olabimektedir (Oral ve Çelik, 2005: 34).

Hidrojen teknolojisinin gelişimindeki önemli engellerden biri de depolama ve taşıma sırasında karşılaşılan sorunlardır. Hidrojen enerjisini gaz biçiminde depolanması sadece oda sıcaklığındaki yüksek basınca dayanıklı tanklarda yapılabilir. Günümüzde 350 bar basınca dayanabilen ve aynı zamanda gerekli güvenlik standartlarını sağlayan özel kompozit maddeden depolama tankları geliştirilmiştir. Bu yeni tankların maliyetleri oldukça yüksek olup; ağırlıklarının sadece yüzde 10-12'si kadar hidrojen depolama kapasitesine sahiptirler (Erdener vd., 2013: 40).

Düşük yoğunluğu nedeniyle hidrojen, -252 °C'nin altında sıvı hale gelmektedir. Sıvı hidrojenin çok düşük sıcaklıklarda depolanması ise oldukça iyi izole edilmiş tanklarda yapılabilir. Hidrojen sıvı halde olduğu için, eşdeğer ağırlıktaki benzinden üç kat fazla enerji içerir, ancak eşdeğer enerji içeriği 2,7 kat fazla hacim gerektirmektedir. Tank ve izolasyon dâhil toplam ağırlığın en fazla yüzde 16'sı kadar hidrojen depolanabilmektedir. Dolayısıyla büyük ölçekte depolama oldukça pahalı bir yöntemdir; çünkü hidrojen enerjisinin yaklaşık yüzde 25'i sıvılaştırma işleminde harcanmaktadır. Ayrıca hidrojenin petrole göre dört kat fazla hacim kaplaması; bu teknolojinin binek otomobillerde yaygınlaşmasının önündeki önemli engellerden biridir. Hidrojen enerji kaynağının sıvı halde depolanması ve ulaşım araçlarında kullanılması için ağırlık sorununun çözülmesi gerekmektedir (Sevim, 2015: 224).

Yalıtıma rağmen tanka ısının sızması da başka bir dezavantajdır. İyi yalıtılmamış kaplarda sıvı hidrojenle temas eden hava sıvılaşır ve hidrojene karışarak

yangın tehlikesi oluşturabilir. Sıvı hidrojen döküldüğünde ise çevresindeki hava atmosferle denge halinde sıvılaşır, yaklaşık yüzde 50 oranında hidrojen-oksijen karışımı oluşur ve bu karışım bir yangına veya patlamaya neden olabilir. Ayrıca moleküler ağırlığının, yoğunluğunun ve viskozitesinin çok düşük olmasından dolayı hidrojen depo ve boru malzemeleri içine rahatlıkla sızarak metalleri kırılganlaştırır. Bu da sıvı hidrojenin boru hatlarıyla doğrudan taşınmasını imkânsız hale getirmektedir (Baykara, 2002).

1.4.6. Biyokütle Enerjisi

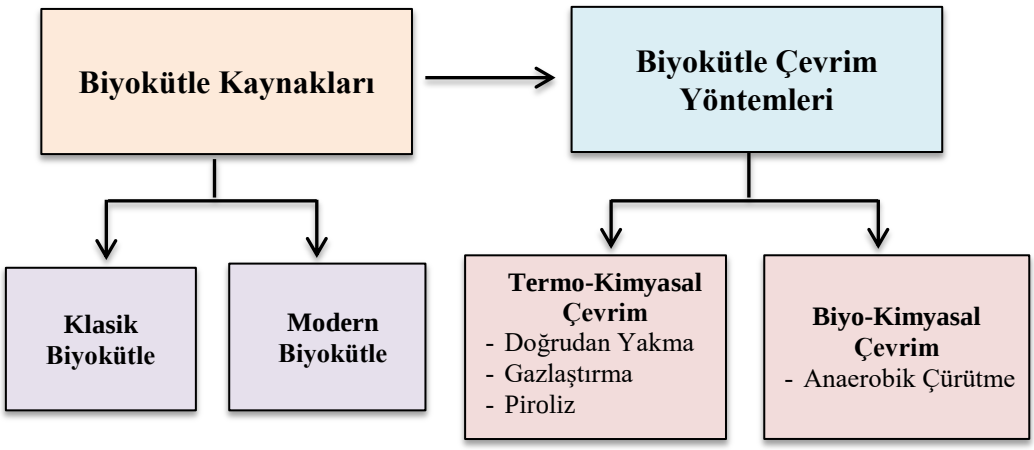
Biyokütle enerjisi; sürdürülebilir enerji üretimine olanak vermesi ve çevre dostu olması özellikleri ile tüm dünyada geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Organik maddelerden üretilen biyokütle enerjisinden aslında binlerce yıldır ısınma ve yemek pişirme amacıyla faydalanılmaktadır. Biyokütle; tükenmez bir kaynak olması, çevre üzerinde istenmeyen bir etkiye sebep olmaması ve özellikle her yerde var olabilmesi nedeniyle önemli bir enerji kaynağı konumundadır (Kapluhan, 2014: 97).

Biyokütle Enerjisinin Oluşumu ve Kullanım Alanları: Bitki veya hayvanlardan elde edilen, biyolojik kökeni fosil olmayan ve yenilenebilir özellik taşıyan her türlü doğal madde biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle biyokütle; yüzyıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkileri, hayvan atıklarını, tarım, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddelere verilen ortak isimdir (Acaroğlu, 2008: 351).

Biyokütle kaynaklardan katı, sıvı veya gaz halde biyoyakıtlar elde etmek için günümüzde biyo-kimyasal ve termo-kimyasal dönüşüm süreçleri uygulanmaktadır. Verimi nispeten düşük olan geleneksel biyokütle kaynakları kapsamında; özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yemek pişirmede, ısıtmada ve aydınlatmada kullanılan odun, bitki ve hayvan artıkları yer almaktadır. Modern biyokütle ürünlerinin kullanım alanları ise temel olarak iki kategoride değerlendirilmektedir (Deloitte, 2014: 5; Christy, 2008: 21):

- Biyoetanol ve biyodizel gibi ulaşımda kullanılan sıvı yakıtların üretimi,
- Organik atıkların yakma, piroliz ve gazifikasyon gibi metotlar ile oksijen varlığında veya oksijensiz yakılması ile enerji üretilmesi.

Şekil 6. Biyokütle Kaynaklarından Enerji Üretiminde Ana Süreçler



Kaynak: Deloitte, 2014: 7.

Biyokütle enerji kaynaklarının doğrudan yakma yöntemi, en fazla bilinen ve en yaygın enerji üretim biçimidir. Bu yöntemle 100 MW ve üzerine dek bir büyüklükte çevrim santralinde enerji üretimi yapılabilir. Doğrudan yakma işlemi ile ortaya çıkan yüksek ısı ve basınçtaki buhar, türbinler aracılığıyla elektrik üretim sürecinde kullanılır (Yaman vd., 2001: 3).

Gazlaştırma; biyokütlenin içinde bulunan karbonu sentez gaz haline dönüştürme yöntemidir. Bu süreçte karbon içerikli biyokütle kaynağı sınırlandırılmış oksijenin gazlaştırma odasına verilmesiyle yakılmaktadır. Gazlaştırma sürecinde biyokütlenin sahip olduğu enerjinin yaklaşık yüzde 85'i gaza dönüştürülebilmektedir. Gazlaştırma sürecinin sonunda elde edilen gazın temel bileşenleri; karbonmonoksit ve hidrojenden oluşmaktadır. Gazlaştırma tesisine giren atıkların özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre de belirli miktarlarda metan, karbondioksit, sülfürdioksit ve etilen gibi maddeler açığa çıkmaktadır. Bu noktadan sonra üretilen sentez gazı ise; yanmalı motorlarda, mikro-türbinlerde, ısı motoru veya gaz türbinlerinde kullanılarak ısı ve güç üretilmektedir (Deloitte, 2014: 10; Aydın, 2014: 219).

Piroliz süreci; tarımsal ürünlerin oksijensiz bir ortamda ısıtılarak farklı enerji formlarına dönüştürülmesidir. Bu süreç sonunda düşük maliyetli ve taşıması kolay biyoyağ üretilirken, artık olarak da sentez gazı ve biyokömür oluşmaktadır. Üretilen biyoyağ; üretimden sonra tekrardan işlenebilmesi, yüksek enerjisi ve taşıma kolaylığı açılarından avantajlı bir yakıt türüdür (Deloitte, 2014: 10).

Anaerobik çürütme; çeşitli organik atıkların oksijensiz bir ortamda fermantasyona uğratılmasını ifade etmektedir. Organik kökenli kaynaklara dayanan bu enerji üretim yöntemi, özellikle belediye katı atıklarının enerjiye dönüştürülmesi sürecinde kullanılmaktadır. Süreç sonunda elde edilen biyogaz, motor veya çevrim santrallerinde yakılarak güç ve ısı üretimi sağlanabilmektedir (www.enerjiportali.com 01.08.2020; Olgun ve Çoban, 2002).

Biyokütlenin tüm türleri dikkate alındığında, temel kullanım alanları; gıda, yem, yakıt, hammadde, elyaf, lif ve gübre şeklinde sıralanabilir. Küresel ölçekte biyokütle; tuğla ve kiremit yapımında, metal ve gıda işleme süreçlerinde, dokuma endüstrisinde, lokanta ve benzeri birçok kuruluşta, evlerde ve sanayide kullanılmaktadır. Günümüzde bu kaynakların kullanımındaki artışın başlıca kaynakları arasında ise nüfus artışı, kentleşme ve çevresel problemler yer almaktadır. Teknolojik gelişmeler sayesinde enerji talebindeki artışın bir bölümü biyokütle enerjisi ile karşılanabilecek niteliktedir. Çünkü biyokütle enerjisi, yenilenemez kaynaklara alternatif bir kaynaktır, kullanımı kolaydır ve ekonomik açıdan oldukça düşük maliyetlidir. Bu nedenle biyokütle enerjisi özellikle gelişmekte olan ülkeler için önemli bir üretim faktörü konumundadır (Rosillo-Calle vd., 2007: 2-3)

Biyokütle Enerjisinin Tarihsel Gelişimi: Biyolojik kökenli kaynaklar, insanlığın ilk dönemlerinden bugüne kadar enerji üretimi amacıyla kullanılan yenilenebilir kaynakların başında gelmektedir (Karayılmazlar vd., 2011: 64). Örneğin Romalılar, biyokütle kaynaklarını özellikle de orman malzemelerini Fransa, İspanya ve Kuzey Afrika gibi uzak bölgelerden getirerek; mimari, gemi yapımı, ısınma-pişirme ve metalürji gibi birçok alanda kullanmışlardır (Rosillo-Calle vd., 2007: 2).

Biyokütle enerjisi, daha çok geleneksel yöntemlerle temel ihtiyaçları karşılamak için kullanılan bir enerji kaynağı olmasına rağmen; endüstriyel alanda ilk kez içten yanmalı motorlarda kullanılmıştır. N.A. Otto 1897'de motor tasarım çalışmalarında alkolden yararlanmış, daha sonra seri üretimi yapılan ilk otomobilin yaratıcısı Henry Ford, kenevir bitkisinden üretilen alkolü yakıt olarak kullanmayı planlamıştır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabileceği düşüncesi ise 1900'lü

yılların başında Alman mucit Rudolf Diesel'e aittir. Diesel'in icat ettiği motor tamamen yer fıstığı yağıyla çalışmıştır. Dr. Diesel, bitkisel yağlarla beslenen motorların petrole olan bağımlılığı kaldırabileceği gibi tarımın gelişmesine de önemli katkı sağlayacağını belirtmiştir. Fakat o dönemlerde petrol sorunsuz bir sektör olduğundan bu tür yakıtlar gerekli ilgiyi görememiştir. Diesel'in 1913 yılında icat ettiği motor "dizel" olarak adlandırılmış ve gerekli düzenlemeler yapılarak petrol yakıtıyla da çalışabilecek duruma getirilmiştir. 1930'lu yıllarda yakma tekniğine dayalı biyokütle santralleri, II. Dünya Savaşı sonrasında ise biyokütlenin yakıt olarak kullanımına yönelik tesisler kurulmuştur. Ancak, 1955'ten sonra petrol üretiminin artması ve fiyatların ucuzlaması nedeniyle bu alandaki çalışmalar yavaşlamıştır (Karaosmanoğlu, 2006: 117).

1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizlerinden sonra biyokütle kaynaklarına yönelik araştırma ve yatırım çalışmaları yeniden gündeme gelmiş ve modern biyokütle enerjisi üretmek amacıyla santraller kurulmuştur. Bu gelişmelerde; enerji darboğazları, artan enerji talebi, fosil yakıtların sınırlı olması ve devlet destekleri gibi faktörler etkili olmuştur. İlk biyodizel üretimi 1988 yılında, 500 ton/yıl kapasite ile bir çiftçi kooperatifinde, ilk endüstriyel ölçekteki biyodizel üretimi ise 10.000 ton/yıl kapasite ile Avusturya'da gerçekleştirilmiştir. 1990'li yıllardan günümüze kadar geçen sürede, ülkelerin çoğunda biyokütle enerji üretimi ve kullanımı ile ilgili çalışmalar sürmektedir (Karaosmanoğlu, 2006: 118). Bu kapsamda, tarımsal altyapı oluşturma, orman ve bitki alanları yaratma, biyokütle enerji santralleri kurma ve işletme gibi faaliyetler teşvik edilmekte ve buna uygun politikalar yürütülmektedir (Herzog vd., 2001: 10).

Biyokütle Enerjisinin Avantajları: Sürdürülebilir çevre açısından biyokütle enerjisi, görece temiz bir kaynaktır. İçerisinde bulunan karbon ise bitkilerin havadaki karbondioksiti yakalamasına bağlı olarak oluştuğu için, yakılması sonucunda atmosferde net karbondioksit artışına neden olmamaktadır. Ayrıca biyokütle, fosil yakıtlardan farklı olarak kanserojen madde ve kükürt içermediğinden insan sağlığına olumsuz etkileri düşüktür (Haykırı, 2003: 158). Diğer taraftan tarımsal ve hayvansal atıkların enerji üretmek amacıyla bertaraf edilmesi, potansiyel çevre sorunlarının ve

hastalıkların belli ölçüde önlenmesine yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla biyokütle enerjisi; çevre kirliğinin azaltılması, karbondioksit salınımının düşürülerek iklim değişikliğinin hafifletilmesi, sağlık harcamalarının minimize edilmesi, hava-toprak-su kalitesinin yükseltilmesi ve biyoçeşitliliğin artırılması bakımından olumlu sonuçlar yaratmaktadır (Jenkins, 1998: 41-42).

Atmosferdeki karbon miktarı artışına engel olabilmek için, fosil yakıtlar yerine; biyoyakıt gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımı önem arz etmektedir. Bu yakıtlar çeşitli atıkların değerlendirilmesi sonucu elde edildiği için, tükenme olasılığı bulunmamaktadır. Ayrıca çeşitli bitkisel, hayvansal ve evsel atıklar yardımıyla üretilebilen biyodizel, bir petrol ürünü olan motorine benzediğinden herhangi bir dizel araçta da doğrudan yakıt olarak kullanılabilir. Söz konusu yakıt, yüksek yanma noktası sayesinde güvenle depolanabildiği gibi taşıma bakımından da kullanıcılara kolaylık sağlar. Diğer taraftan kimyasal olarak yağlayıcı bir özellik taşıdığı için biyodizel kullanımı, ateşleme ve motor parçalarının ömrünü de uzatmaktadır (Erdener vd., 2013: 6).

Biyokütle enerji üretim tesisleri, kuruldukları bölgelerin gelir-istihdam düzeyinin artmasına ve göçün azalmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle tarım işçiliğine ilave bir talep yarattığından; kırsal kesimde yeni iş alanları oluşturmakta, köyden kente göç eğilimini de kırmaktadır. Ayrıca biyokütle enerjisi için gerekli olan bitkilerin daha çok çorak alanlarda yetiştirilmesi, yararlanılamayan toprakların kullanılmasını sağlayarak bölgesel kalkınmaya destek sunmaktadır (Christy, 2008: 17).

Biyokütle santrallerinin başlangıç yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen; üretim saatleri fazladır. Aynı kurulu güçte olan su, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji santrallerine göre sürekli çalışma avantajına sahiptir. Çünkü diğerlerinde enerji üretim performansını; suyun akışı, rüzgarın hızı ve güneşin ısısı belirlediği için bu teknolojilerin gün içinde yapabileceği üretim sınırlı kalmaktadır. Biyokütle santralleri ise yakıt mevcut olduğu sürece tıpkı termik santraller gibi sürekli yüksek kapasitede üretim yapabilmektedir (Deloitte, 2014: 20).

Biyokütle tesislerinde yakma işlemi sonrasında oluşan atık kül, çimentoya katkı malzemesi olarak ve/veya gübre olarak arazi alanlarının ıslahında da kullanılabilir. Biyoküller, üretilen ana ürünlere ek olarak ciddi bir gelir kaynağı yaratmaktadır. Hayvansal ve tarımsal atıkların kullanıldığı anaerobik fermantasyon sonucu organik gübrenin de kullanım alanı ve katma değeri oldukça büyüktür. Reaktör çıktısı çamurun kurutularak granül halde organik gübre haline getirilmesi ve paketlenerek taşınmaya müsait olabilmesi bu ürünün en büyük avantajlarını oluşturur (Deloitte, 2014: 21).

Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları: Biyokütle kaynakları fosil yakıtlara göre daha düşük ısıl değere sahip olup; nihai enerji dönüşümü için gerekli yatırım maliyeti ise teknoloji, kullanılan hammadde ve tesisin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca yüksek düzeyde su ve oksijen içeren heterojen nitelikli bu kaynakların yakıt kalitesi de düşüktür. Örneğin; etanolün enerji içeriği, petrol bazlı benzinden üçte bir oranında; biyodizelin enerji içeriği de dizelden yaklaşık yüzde 7-9 oranında daha azdır. Diğer taraftan akışkanlık hızı düşük olduğu için biyodizel soğuk havalarda jelleşme eğilimi gösterebilmektedir. Bu durum, araçların yakıt sistemlerinde tıkanma benzeri sorunlar yaratabilir (Kapluhan, 2014: 102).

Biyokütle enerji kaynaklarının temel hammaddesini oluşturan bitkilerin yetiştirilmesi, çok büyük ekim alanlarının kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Ancak BM 2008 "Çölleşme ve Kuraklıkla Savaşım" raporunda da ifade edildiği üzere, bu bitkilerin yetiştirilmesine ağırlık verildiği takdirde, diğer tahılların üretim miktarı düşecek ve çok sayıda gıda ürününün fiyatı da artacaktır. Aynı zamanda, büyük ölçekli biyoyakıt üretimine gitmek bir taraftan toprak erozyonuna neden olabilecek; diğer taraftan da iklim değişimini yavaşlatmada önemli fonksiyonlar üstlenen doğal orman alanlarının kaybına yol açabilecektir (Duygu, 2009: 24).

Biyokütle kaynakları aynı zamanda fosil yakıtlara göre; mevsimsel faktörlerden çok fazla etkilenmektedir. Çünkü hava koşulları, tarımsal ürün arzının temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. Bu durum, biyükütle çevrim santralleri için bir risk oluşturur. Ayrıca ticari faaliyetlerdeki dalgalanmalar ve artan gıda ihtiyacından ötürü ürün fiyatlarında meydana gelen değişiklikler de çevrim santrallerinin maliyeti açısından benzer bir sonuç yaratmaktadır (Saraçoğlu, 2008:

269). Örneğin, 2012 yılında ABD'nin Orta-Batı bölgesinde yaşanan kuraklık, mısırda mahsul azalmasına neden olurken; Brezilya'da düşen şeker fiyatları ise etanol üretiminin artmasına yol açmıştır. Özellikle nüfusun hızla arttığı gelişmekte olan ülkelerde artan gıda talebine cevap verebilme ihtiyacından dolayı, tarımsal ürünlerin biyoenerji amaçlı kullanımı düşmektedir (Deloitte, 2014: 10).

Teorik olarak biyoyakıtlar karbon nötr oldukları için yakıldıklarında, yetişirken kullandıkları karbondan daha fazlasını atmosfere salmazlar. Ancak, bu yakıtları üretmek üzere ağaçlar yakıldığı takdirde çok büyük miktarlarda karbon emisyonu gerçekleşebilir. Nitekim Güneydoğu Asya'da ormanların ve turbalık alanların yakılarak temizlenmesi; Brezilya'da ve ABD'de palmiye, şeker kamışı, soya fasulyesi ve mısır ekmek için benzer amaçlarla ağaçların yok edilmesi, karbon emisyonunu olumsuz şekilde etkilemiştir. Söz konusu alanlar yakılmasa bile kesilen bitkiler ve onların kökleri zaman içerisinde toprağa karışarak çürüdüğü için, karbondioksit ve metan gazı oluşmaktadır (Pipe, 2013: 21).

Doğal arazilerin büyük bir oranda enerji mahsul alanları haline gelmesi, endemik bitki türlerinin ve vahşi hayvanların yaşam alanlarının yok olmasına neden olmaktadır. Örneğin, 2007 yılına gelindiğinde Avrupa'nın palm yağı talebi, dünyanın farklı noktalarında özellikle de Endonezya'da yağmur ormanlarının büyük ölçüde tahrip edilmesi ile sonuçlanmıştır. Bu bölgedeki el değmemiş çok fazla doğal alan, palmiye ağacı ekmek için yakılmıştır. Dolasıyla Endonezya, iklim değişikliğini tetikleyen sürece katkı yapan bir ülke konumuna gelmiştir (Montgomery, 2014: 276).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının geneline ilişkin avantajlar ve dezavantajlar Ek 1'de yer almaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

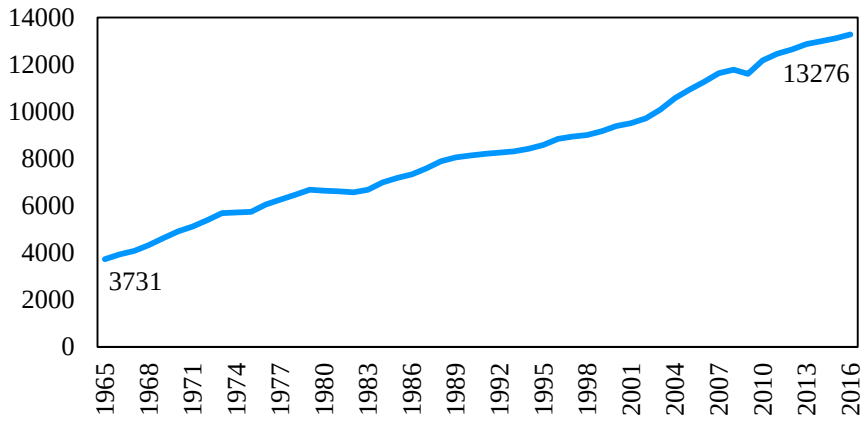
DÜNYA ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. Dünyanın Enerji Görünümü

Yaşamsal faaliyetlerin sağlıklı bir şekilde devam etmesi bakımından enerji oldukça önemli bir konuma sahiptir. Ayrıca enerji, ekonomik gelişme ve büyüme bağlamında da merkezi bir rol üstlenmektedir. Nitelim 18. yüzyılın ortalarından itibaren İngiltere'de başlayan ve ardından ABD ve Avrupa'ya yayılmış olan Sanayi Devrimi, enerjinin ağırlığını ortaya koymuştur. Ülkelerin refah düzeylerinin artması ile birlikte önemi giderek artmakta olan enerji konusu, zamanla sadece ekonomik bir argüman olmaktan da çıkmış, içinde diplomasi, hukuk ve jeopolitik gibi kavramları da alarak geniş bir çerçeve kazanmıştır.

Küresel enerji tüketimi 1965-2016 döneminde yaklaşık yüzde 256 oranında artarak, 3 milyar 731 milyon ton eşdeğer petrolden 13 milyar 276 milyon ton eşdeğer petrole yükselmiştir. Bu dönemde genel olarak enerji tüketimi artış eğilimi sergilemekle birlikte; 2008 Krizinin özellikle gelişmiş bazı ülkelerde neden olduğu ekonomik daralma, 2009 yılında belirgin bir düşüşün yaşanmasına yol açmıştır. Ancak 2010 yılından itibaren gerçekleşen toparlanma süreci ile birlikte küresel enerji tüketimi tekrar yükseliş eğilimine geçmiştir. (Grafik 1)

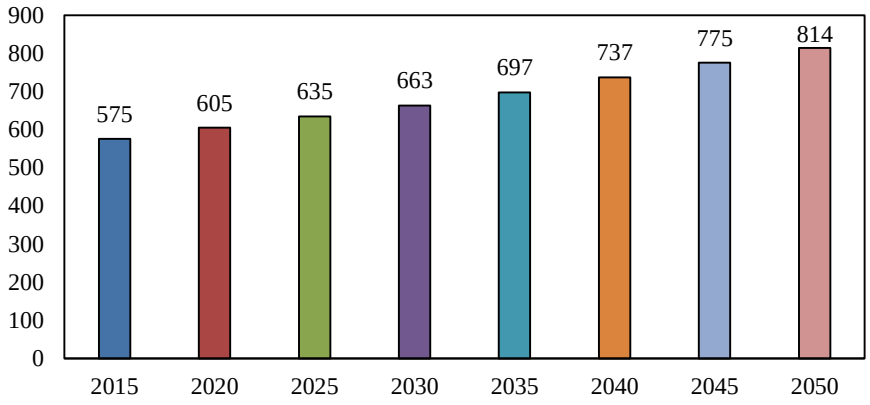
Grafik 1. Dünya Birincil Enerji Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Amerikan Enerji Bilgi Dairesi (EIA), 2015-2050 döneminde küresel enerji tüketiminin özellikle OECD üyesi olmayan ülkelerdeki hızlı ve güçlü büyüme performansına bağlı olarak yaklaşık yüzde 256 oranında artacağını öngörmektedir. Buna göre 2015 yılında 575 katrilyon btu büyüklüğündeki toplam birincil enerji tüketimi, 2050 yılında 814 katrilyon btu seviyesine ulaşacaktır. (Grafik 2)

Grafik 2. Dünya Toplam Birincil Enerji Tüketimi, 2015-2050 (katrilyon btu)



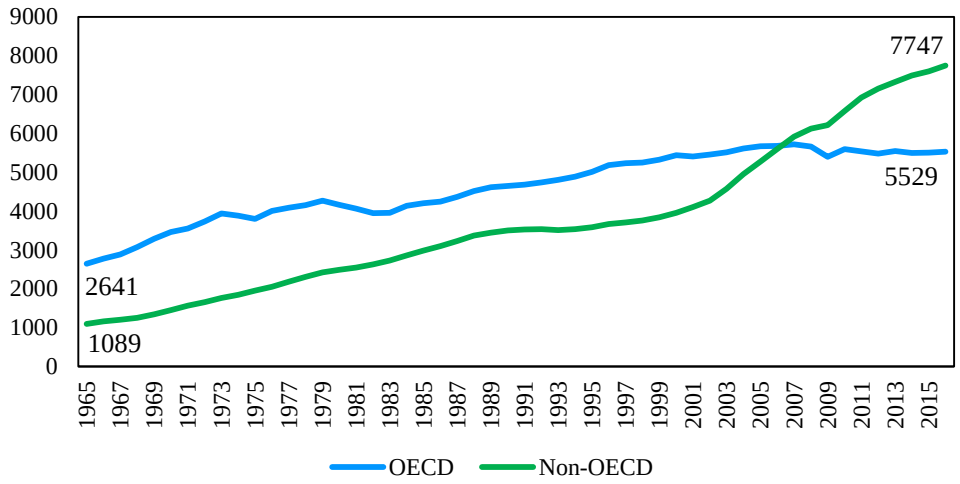
Kaynak: www.eia.gov 14.01.2018.

Grafik 3'de görüldüğü üzere, OECD üyesi ülkeler ile diğer ülkeler arasındaki toplam birincil enerji tüketimi farkı, özellikle 1980 sonrası dönemde azalmaya başlamış; bu azalma eğilimi 2000'li yıllarda ise hız kazanarak 2006 yılında söz konusu farkın kapanmasına neden olmuştur. İzleyen dönemlerde, OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji tüketimleri daha yüksek oranda artış kaydettiği için, ülkeler arasındaki birincil enerji tüketimi farkı bu kez OECD üyesi ülkelerin aleyhine açılmaya başlamıştır. Nitekim 1965 yılında toplam enerji tüketiminin yüzde 71'i OECD ülkeleri tarafından gerçekleştirilirken; söz konusu oran 2016 yılı itibariyle yüzde 42'ye gerilemiştir.

Bu sonucun ortaya çıkmasında; üretim faktörlerinin önemli bir bölümünü kullanarak belirli bir büyüklüğe ulaşan gelişmiş ülkelerin düşük bir büyüme iklimine girmeleri, 2008 Krizi gibi görece daha ağır koşullar altında yaşadıkları ekonomik şoklar ve yavaş toparlanma süreci etkili olmuştur. Diğer taraftan gelişmekte olan ülkelerdeki yüksek oranlı üretim artışları ise söz konusu ülkelerdeki enerji talebini güçlü bir biçimde harekete geçirmiştir. Ancak enerji tüketimi açısından ülkeler arasında oluşan farkı sadece büyüme hızına bağlayarak açıklamak doğru olmayabilir.

Çünkü sanayi devriminin evrilerek geldiği günümüzdeki boyutu, enerji yoğunluğunun belirgin şekilde düşmesine olanak tanımıştır. Böylece gelişmiş ülkeler enerji verimliliği yüksek araçlar sayesinde daha az enerji tüketerek daha fazla gelir elde etme imkanı bulmuşlardır.

Grafik 3. Ülkelere Gruplarına Göre Toplam Birincil Enerji Tüketimi (mtep)

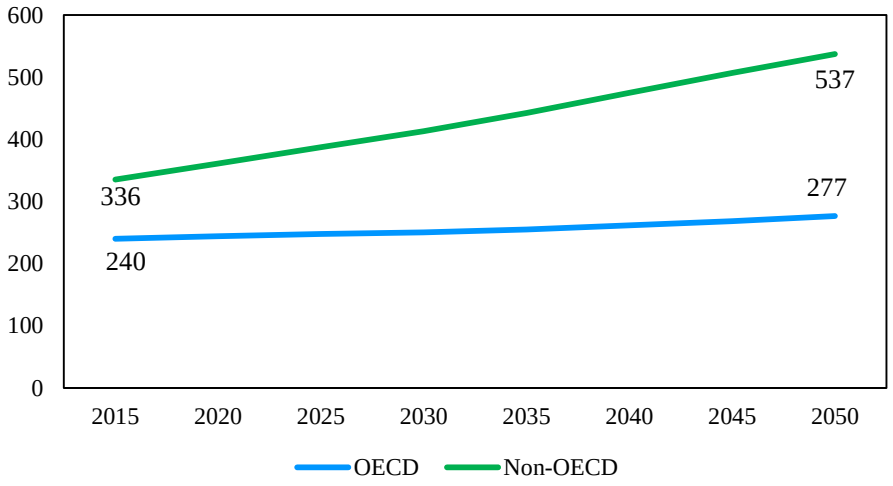


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Reel GSYH'deki artışı ifade eden ekonomik büyüme, enerji tüketiminin temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. 2015-2040 dönemi için en yüksek büyüme oranlarının ortalama yüzde 3,7 ile OECD üyesi olmayan yükselen ekonomilerde gerçekleşeceği tahmin edilirken; nüfus artışı ile ilgili problemlerinden ötürü OECD ülkelerinde ise bu oranın yüzde 1,7 ile sınırlı kalacağı beklenmektedir. Dolayısıyla söz konusu dönemde küresel büyüme hızının yüzde 3 düzeylerinde seyredeceği varsayılmaktadır. Ancak ülke gruplarına göre büyüme hızlarındaki farklılaşma, ilerleyen dönemlerde enerji tüketimi açısından OECD üyesi ülkeler ile diğer ülkeler arasındaki makasın daha fazla açılacağına işaret etmektedir (www.eia.gov 14.01.2018).

EIA, OECD ülkeleri için 2015 yılında 240 katrilyon btu büyüklüğünde olan toplam birincil enerji tüketiminin 2050 yılında 277 katrilyon btu'ya çıkacağını; OECD üyesi olmayan ülkelerde ise tüketimin 336 katrilyon btu'dan 537 katrilyon btu'ya ulaşacağını öngörmektedir. (Grafik 4)

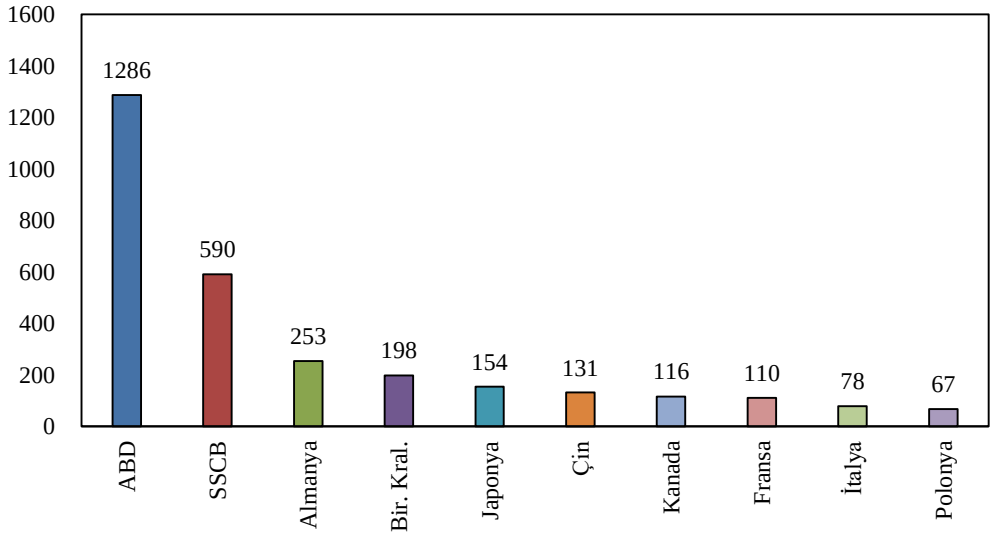
Grafik 4. Ülke Gruplarına Göre Birincil Enerji Tüketimi, 2015-2050 (btu)



Kaynak: www.eia.gov 14.01.2018

Grafik 5, 1965 yılı itibariyle birincil enerji tüketimi açısından ilk 10 ülkeyi göstermektedir. 1965 yılında birincil enerji tüketimi açısından ilk sırada Amerika Birleşik Devletleri yer alırken; bu ülkeyi sırasıyla Sovyetler Birliği, Almanya, Birleşik Krallık, Japonya, Çin, Kanada, Fransa, İtalya ve Polonya takip etmiştir.

Grafik 5. Birincil Enerji Tüketiminde İlk 10 Ülke (1965, mtep)



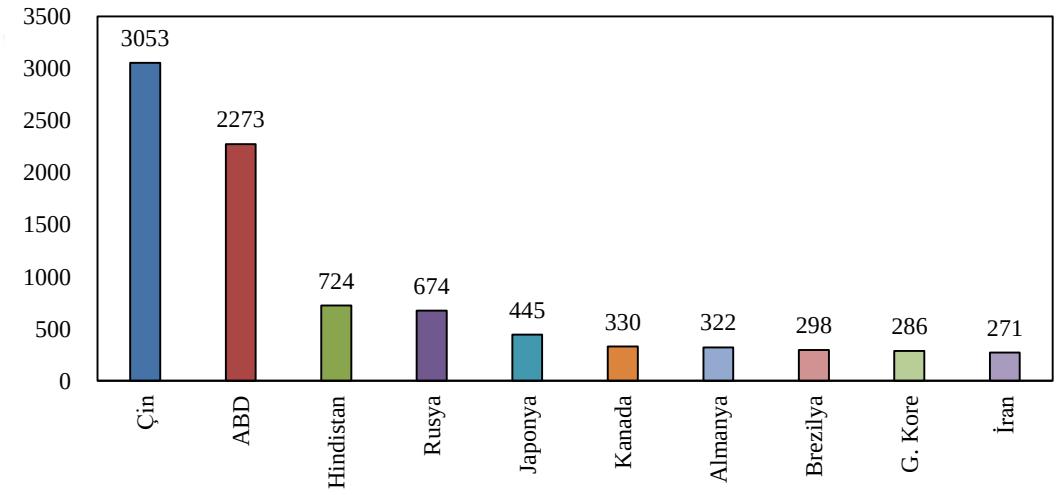
Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2016 yılına gelindiğinde birincil enerji tüketimi açısından ülke sıralamaları önemli bir değişime uğrayarak Çin ilk sıraya yükselmiştir. Çin'i sırasıyla Amerika

Birleşik Devletleri, Hindistan, Rusya, Japonya, Kanada, Almanya, Brezilya, Güney Kore ve İran izlemiştir. (Grafik 6)

Enerji tüketimi açısından ülke sıralamalarında meydana gelen değişim, aynı zamanda dünyadaki güç dengelerinin de değişimini belli ölçüde ortaya koymaktadır. Örneğin Sanayi Devriminin gerçekleştirildiği dönemlerde en fazla enerji tüketen ülkeler, dünyanın da en güçlü ekonomileri iken; bugünkü sıralama da yine dünyanın en güçlü ekonomileri açısından önemli bilgiler vermektedir.

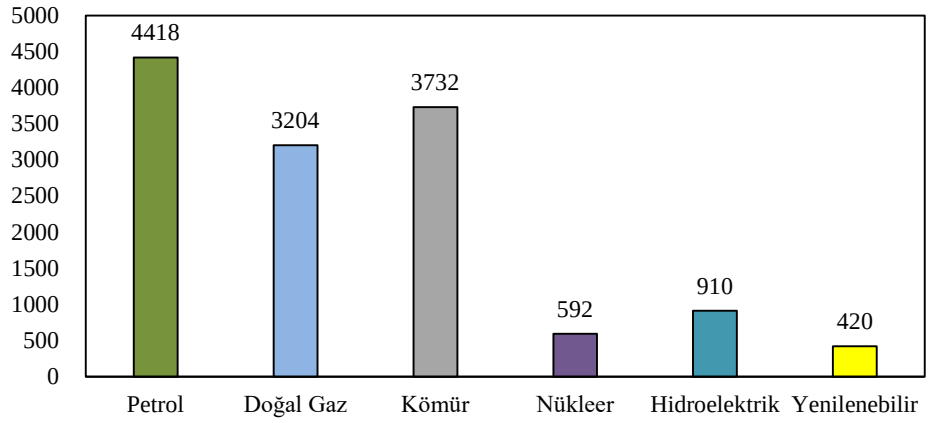
Grafik 6. Birincil Enerji Tüketiminde İlk 10 Ülke (2016, mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 7, 2016 yılı itibariyle kaynaklarına göre enerji tüketimini dünya geneli için göstermektedir. 2016 yılı verilerine göre dünyada en fazla tüketilen yakıt türü yüzde 33 ile petrol olup, petrolü sırasıyla kömür (yüzde 28), doğal gaz (yüzde 24), hidroelektrik (yüzde 7), nükleer (yüzde 5) ve yenilenebilir enerji (yüzde 3) takip etmektedir.

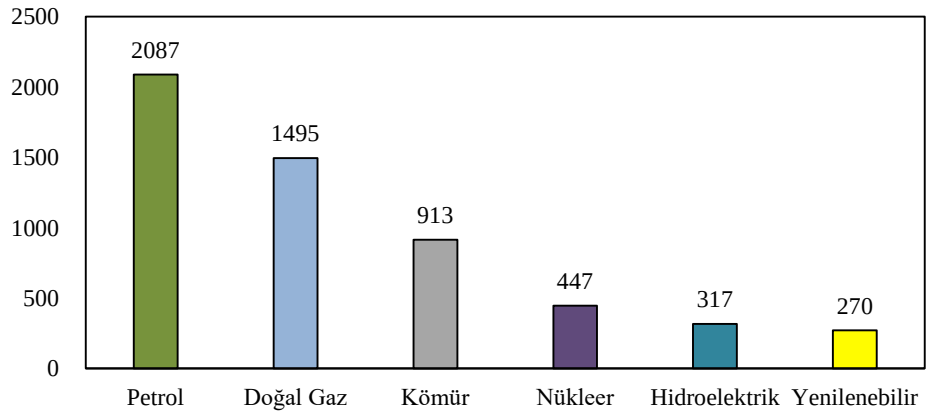
Grafik 7. Dünya Geneli İçin Kaynaklarına Göre Enerji Tüketimi (2016, mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

OECD üyesi ülkelerde kaynaklarına göre enerji tüketimi, dünya genelindeki kompozisyondan belli ölçüde ayrılmaktadır. Petrol yüzde 38 ile ilk sırada yer alırken; farklı olarak doğal gaz (yüzde 27) ikinci, kömür (yüzde 16) ise üçüncü sırada konumlanmaktadır. Bu kaynakları da sırasıyla nükleer (yüzde 8), hidroelektrik (yüzde 6) ve yenilenebilir enerji (yüzde 5) izlemektedir. (Grafik 8)

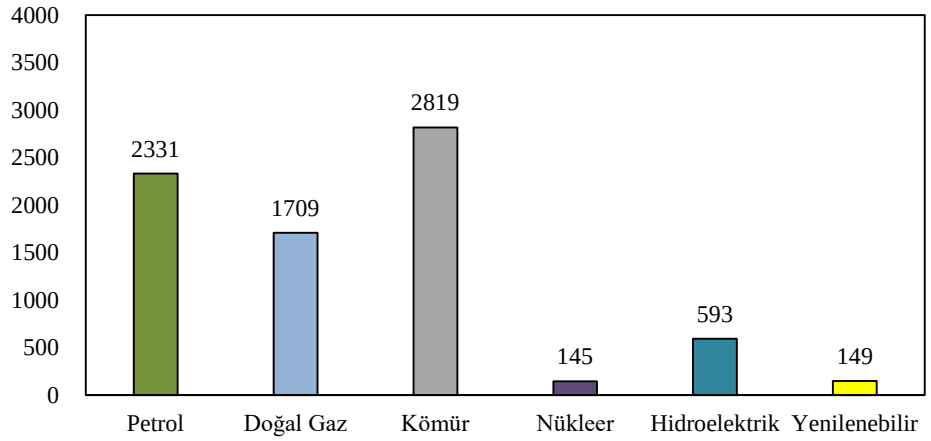
Grafik 8. Kaynaklarına Göre OECD Ülkelerinde Enerji Tüketimi (2016, mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

OECD üyesi olmayan ülkeler açısından kaynaklarına göre enerji tüketiminde kömür (yüzde 36) ilk sırada konumlanırken; kömürü sırasıyla petrol (yüzde 30), doğal gaz (yüzde 22), hidroelektrik (yüzde 8), yenilenebilir (yüzde 2) ve nükleer (yüzde 2) takip etmektedir. (Grafik 9)

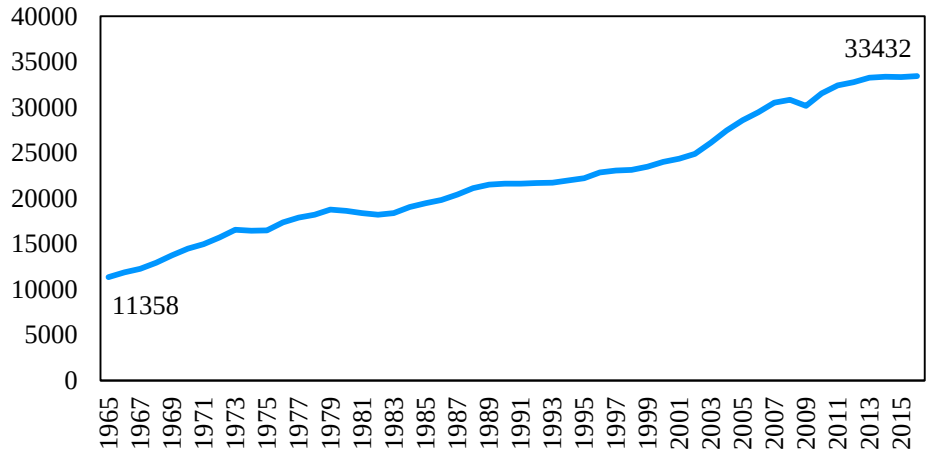
Grafik 9. Kaynaklarına Göre OECD Üyesi Olmayan Ülkelerde Enerji Tüketimi (2016, mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Enerji tüketiminin genel olarak sürekli artış eğilimi içerisinde olması ve enerji tüketiminde fosil yakıtların ağırlığını sürdürmesi, karbondioksit emisyon düzeylerinin de sürekli artış eğilimi izlemesine neden olmaktadır. Grafik 10'a göre 1965 yılında 11 milyar 357 milyon ton olan karbondioksit emisyon düzeyi, yaklaşık yüzde 194 artışla 2016 yılında 33 milyar 432 milyon ton karbondioksit seviyesine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 10. Dünya Karbondioksit Emisyonu (milyon ton karbondioksit)

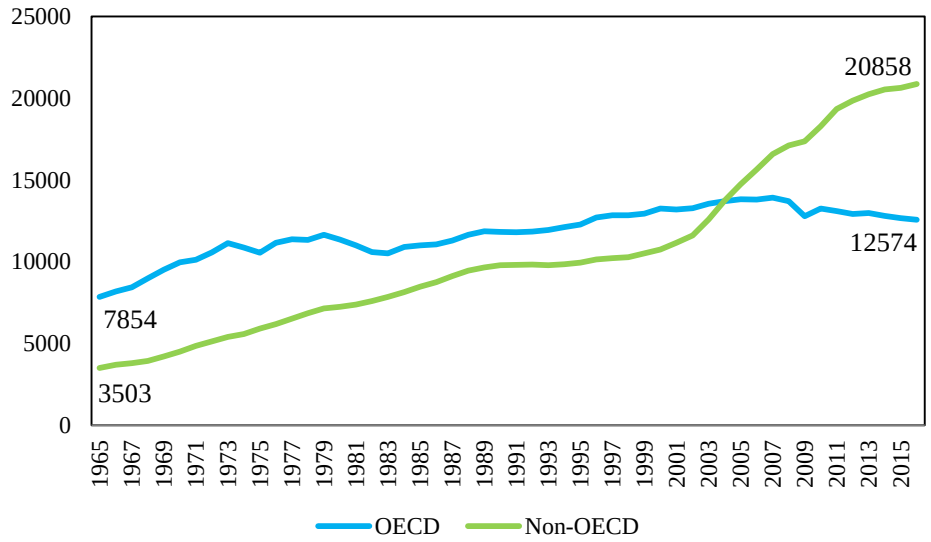


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Enerji tüketiminin OECD üyesi olmayan ülkelerde daha yüksek oranlarda artış eğilimi göstermesi ve kömürün söz konusu ülkelerde en çok tüketilen yakıt türü

olması, Grafik 11'de de görüldüğü üzere emisyon değerleri açısından her iki ülke grubu arasındaki farkın açılmasına neden olmuştur.

Grafik 11. Ülke Gruplarına Göre Karbondioksit Emisyonları



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy June 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

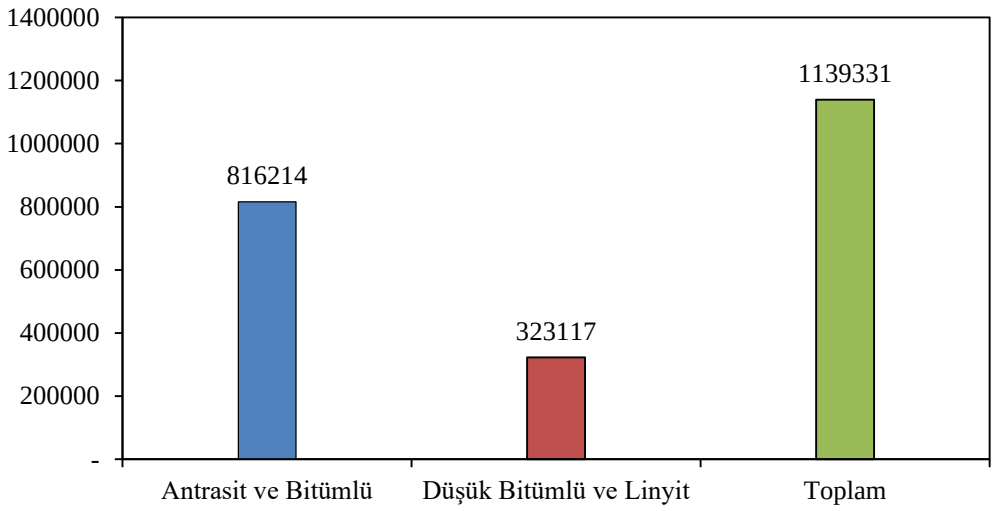
2.1.1. Kömür Rezervleri, Üretim ve Tüketimi

Küresel ölçekteki; teknik, iktisadi ve toplumsal dönüşüm açısından temel bir konuma sahip olan kömür, insanlar tarafından en az 4000 yıldır kullanılmaktadır (Pipe, 2013: 3). Kömürün bir enerji kaynağı olarak önem kazanmaya başlaması ise XVIII. yüzyılın sonlarına rastlamaktadır. Başta Büyük Britanya olmak üzere batı Avrupa ülkelerinde kömürün demir cevherini eritmek için kullanılması, zaman içerisinde Sanayi Devriminin gerçekleşmesini sağlamıştır. Çünkü modern sanayinin temeli, demir-çelik üretimine ve söz konusu sanayinin kurularak kömürün bu alanda yakıt olarak kullanılmasına dayanır (Doğanay ve Coşkun, 2017: 9). Zaman içerisinde sanayileşme ve kentleşme faaliyetlerinin yoğunluk kazanması ve karayolu taşmacılığında motorlu araçların gelişimi, petrolün kullanım alanlarını ve miktarını artırmaya başlamıştır. Kömüre göre taşınması ve depolanması daha kolay olan petrolün aynı zamanda daha yüksek bir ısıl değere sahip olması, petrole olan talebi belirgin şekilde etkilemiştir. Ayrıca dünyanın farklı bölgelerinde petrol kuyularının açılması ile birlikte fiyatların düşme eğilimine geçmesi ve içten yanmalı motor teknolojisinin ilerlemesi ile endüstrileşmiş Batı'nın enerjisini yeni bir kaynak

sağlamaya başlamıştır (Montgomery, 2014: 28-29). Diğer taraftan teknik gelişmeler ve çevresel problemler, kömür ve petrole alternatif enerji kaynaklarının da önemli hale gelmesine neden olurken; özellikle 2000'li yıllarda başta Çin olmak üzere bazı gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşen yüksek oranlı üretim artışları, kömür kullanımının tekrar ağırlık kazanmasına neden olmuştur.

BP verileri, 2016 yılı sonu itibariyle kanıtlanmış dünya toplam kömür rezervi büyüklüğünün 1 katrilyon 139 milyar 331 milyon ton olduğunu göstermektedir. Grafik 12'ye göre bu rezervin yaklaşık yüzde 72'sini antrasit ve bitümlü kömür oluştururken; kalan yüzde 28'i de düşük bitümlü kömür ile linyitten meydana gelmektedir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 12. Dünya Kömür Rezervlerinin Türlerine Göre Dağılımı (2016, milyon ton)

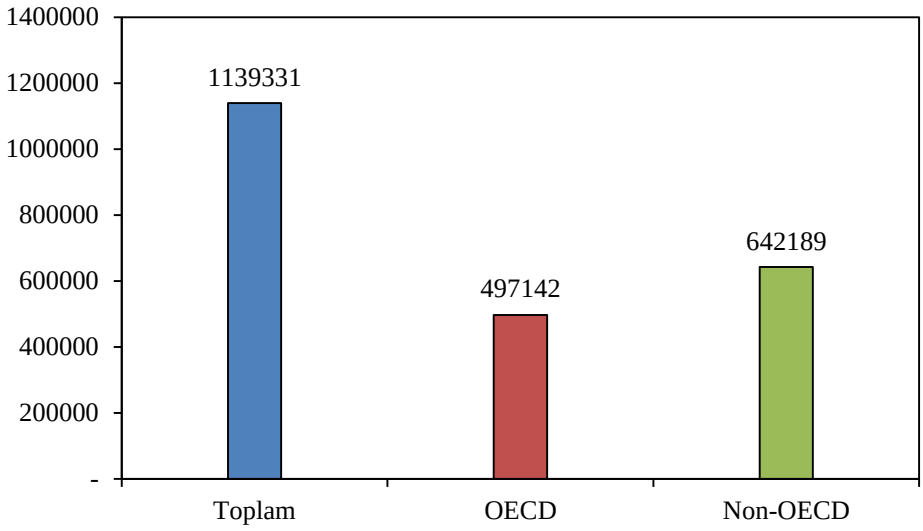


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Dünyadaki toplam kömür rezervlerinin 497 milyar 142 milyon ton ile yüzde 43,6'sına OECD ülkeleri sahip iken; kalan 642 milyar 189 milyon ton ile yüzde 56,4'ü de OECD üyesi olmayan ülkelerde bulunmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2017). Dolayısıyla OECD üyesi olmayan ülkelerin bir bölümü, üretim açısından temel girdi niteliğindeki enerji ihtiyaçlarının önemli bir kısmını maliyet ve tedarik avantajından ötürü ellerinde bol miktarda bulunan kömür ile karşılama yoluna gitmektedirler. Bu durum rekabet aritmetiğine belli ölçüde etki ettiği için

diğer ülkeler de kömür kaynaklarını tekrar harekete geçirmek zorunda kalmaktadırlar.

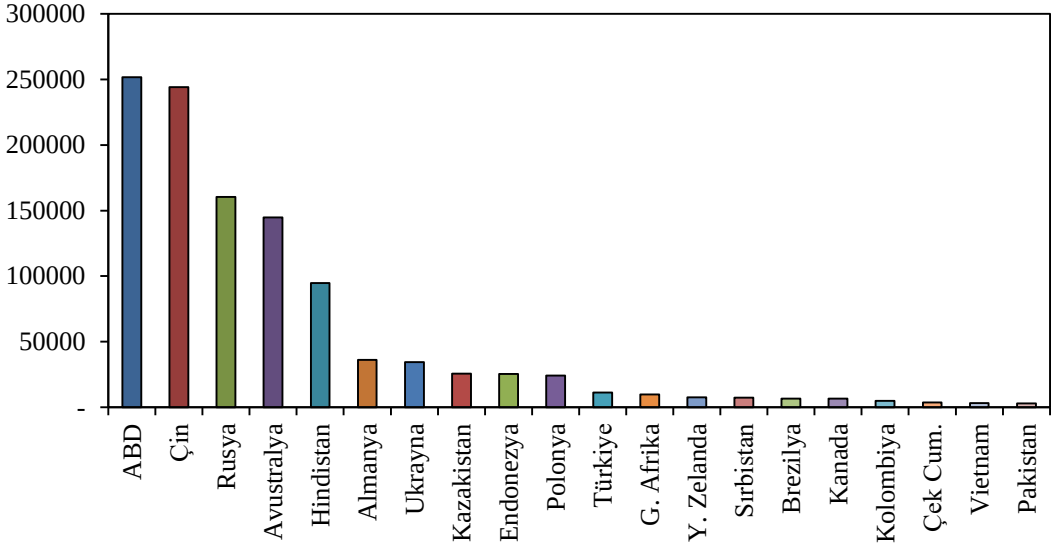
Grafik 13. Kömür Rezervlerinin Ülke Gruplarına Göre Dağılımı (2016, milyon ton)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 14, kömür rezervleri açısından ilk 20 ülkeyi göstermektedir. 2016 yılı sonu itibariyle dünya toplam kömür rezervlerinin yüzde 22,1'ine tek başına sahip olan ABD ilk sırada yer alırken; bu ülkeyi yüzde 21,4 ile Çin ve yüzde 14,1 ile Rusya Federasyonu takip etmektedir. Dolayısıyla bu 3 ülke, dünyadaki toplam kömür rezervlerinin yarısından fazlasını ellerinde bulundurmaktadırlar. Diğer taraftan yüzde 12,7 ile Avustralya 4., yüzde 8,3 ile Hindistan 5., yüzde 3,2 ile Almanya 6., yüzde 3 ile Ukrayna 7., yüzde 2,25 ile Kazakistan 8., yüzde 2,24 ile Endonezya 9. ve yüzde 2,1 ile Polonya da 10. sırada konumlanmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

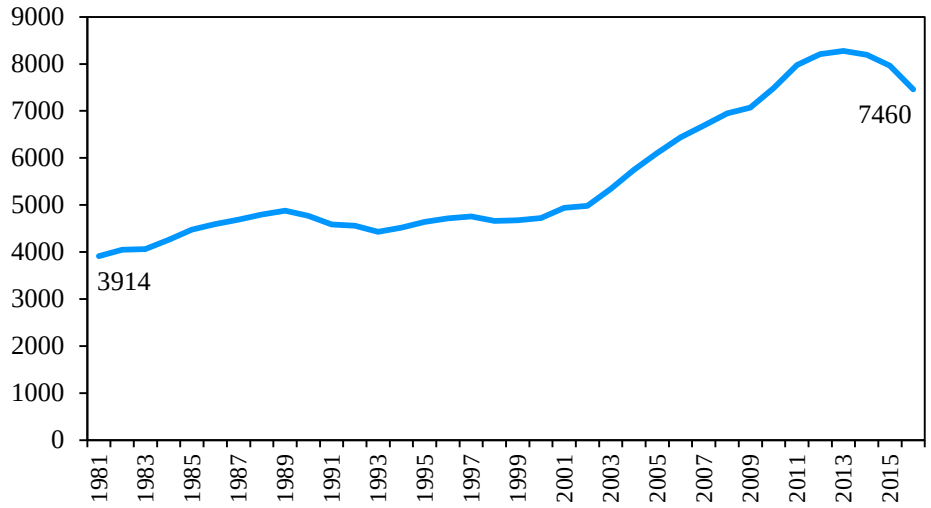
Grafik 14. Dünya Kömür Rezervleri İtibariyle İlk 20 Ülke (2016 Sonu, milyon ton)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 15 1981-2016 dönemi itibariyle dünya kömür üretiminin gelişimini göstermektedir. Bu verilere göre; küresel ölçekte kömür üretimi 1981-1989 döneminde yaklaşık yüzde 25 oranında artış gösterirken; 1990-199 döneminde ise yaklaşık yüzde 2 oranında düşüş kaydetmiştir. Kömür tüketiminin beraberinde getirdiği ekonomik ve ekolojik sorunlardan ötürü, gelişmiş ülkelerin bu kaynağın üretimini büyük ölçüde terk etmeleri, 1990'lı yıllarda böyle bir sonucun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Diğer taraftan 2000-2016 döneminde; Çin, Hindistan ve Endonezya başta olmak üzere hızlı ve güçlü bir büyüme performansı yakalayan ülkelerdeki üretim artışı, dünya kömür üretiminin yaklaşık yüzde 58 oranında yükselmesine yol açmıştır. Bu dönemde kömür üretimi 8 milyar 275 milyon ton ile 2013 yılında zirveye ulaşmış, ancak küresel iktisadi konjonktürün ve alternatif enerji kaynaklarının da etkisiyle daha sonraki yıllarda düşüşe geçmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

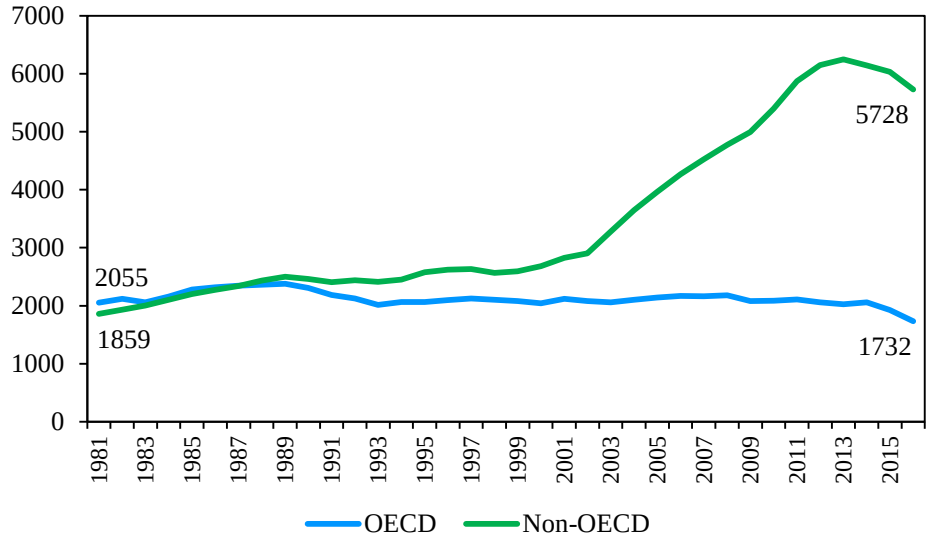
Grafik 15. 1981-2016 Dönemi Dünya Kömür Üretimi (milyon ton)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Ülke gruplarına göre kömür üretimine bakıldığında; OECD ülkeleri lehine gelişen farkın, 1989 yılından itibaren tersine döndüğü görülmektedir (Grafik 16). Nitekim OECD ülkeleri, karbon değeri yüksek olan kömür yerine 1980'li yıllardan sonra, enerji ihtiyaçlarını gidermek üzere petrol, doğal gaz, nükleer ve yenilenebilir enerji tüketimine daha fazla ağırlık vermişlerdir. Ancak gelişmiş ülkeler ile aralarındaki üretim açığını kapatarak rekabet üstünlüğü elde etmek isteyen diğer ülkeler, enerji maliyetlerini düşük tutmak amacıyla kömür kaynaklarını daha aktif kullanma yoluna gitmişlerdir. Bu eğilimin zaman içerisinde artarak güç kazanması ise OECD üyesi olmayan ülkelerde kömür üretiminin 1990-2016 döneminde yaklaşık yüzde 133 oranında artarak 2 milyar 461 milyon tondan 5 milyar 728 milyon tona çıkmasına sebep olmuştur (BP Statistical Review of World Energy 2017).

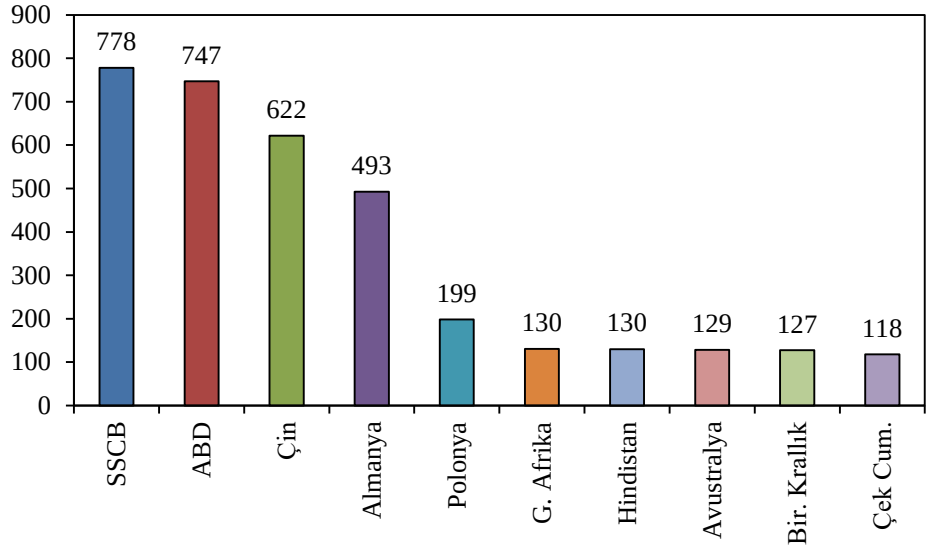
Grafik 16. 1981-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Kömür Üretimi (milyon ton)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 17, 1981 yılı itibariyle dünya kömür üretimindeki ilk 10 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 778 milyon ton ile dünya kömür üretiminin yaklaşık yüzde 19,8'ini SSCB gerçekleştirerek ilk sırada yer alırken; 747 milyon ton ile ABD (yüzde 19) ikinci, 622 milyon ton ile Çin (yüzde 15,9) üçüncü, 493 milyon ton ile Almanya (yüzde 12,6) dördüncü ve 199 milyon ton ile Polonya (yüzde 5) beşinci sırada konumlanmıştır. Bu ülkeleri de sırasıyla Güney Afrika (130 milyon ton), Hindistan (130 milyon ton), Avustralya (129 milyon ton), Birleşik Krallık (127 milyon ton) ve Çek Cumhuriyeti (118 milyon ton) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

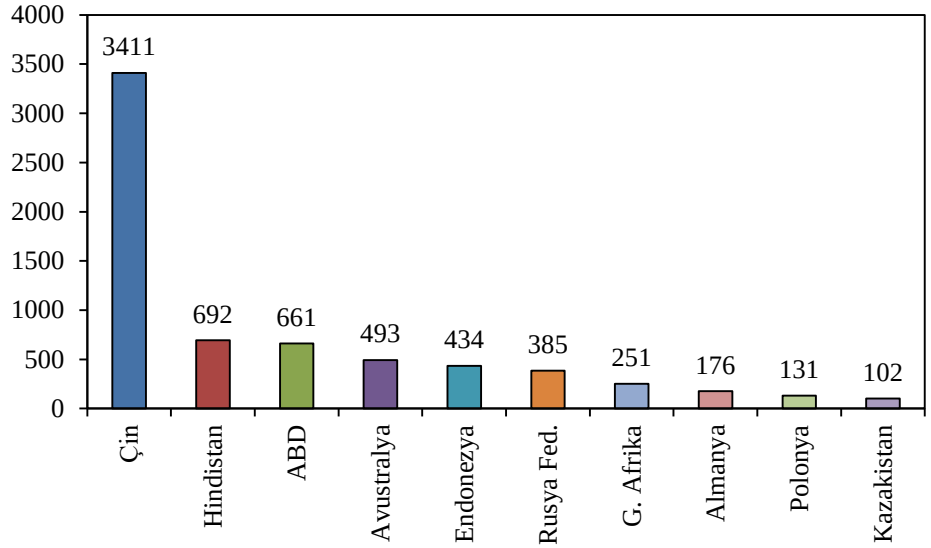
Grafik 17. 1981 Yılı Dünya Kömür Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon ton)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2016 yılına gelindiğinde 3 milyar 411 milyon ton ile Çin, dünya kömür üretiminin yüzde 45,7'sini tek başına yapar konuma gelmiştir (Grafik 18). Bu sonuç, Çin ekonomisindeki gelişmelerin enerji alanındaki yansımalarını ortaya koyan somut göstergelerden biridir. Çin'i 692 milyon ton kömür üretimi ile Hindistan (yüzde 9), 661 milyon ton ile ABD (yüzde 8,8), 493 milyon ton ile Avustralya (yüzde 6,6), 434 milyon ton ile Endonezya (yüzde 5,8), 385 milyon ton ile Rusya Federasyonu (yüzde 5,2), 251 milyon ton ile Güney Afrika (yüzde 3,4), 176 milyon ton ile Almanya (yüzde 2,4), 131 milyon ton ile Polonya (yüzde 1,8) ve 102 milyon ton ile Kazakistan (yüzde 1,4) takip etmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

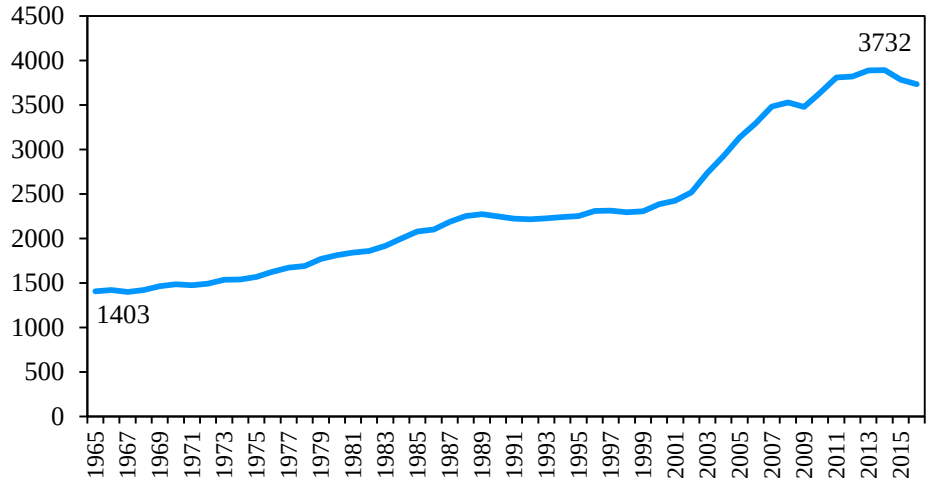
Grafik 18. 2016 Yılı Dünya Kömür Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon ton)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 19'a göre; dünya kömür tüketimi, 1965-1979 döneminde yaklaşık yüzde 26 oranında artış göstererek 1 milyar 403 milyon ton eşdeğer petrolden 1 milyar 769 milyon ton eşdeğer petrole ulaşmıştır. 1980-1989 döneminde de benzer bir oranda artışla kömür tüketimi 1989 yılında 2 milyar 272 milyon tona çıkmıştır. 1990'lı yıllarda ise kömür tüketimindeki artış oranı, gelişmiş ülkelerin diğer enerji kaynaklarına daha fazla yönelmelerinden dolayı yalnızca yüzde 2,6 oranında gerçekleşmiştir. Özellikle son dönemlerde gelişmekte olan bazı ülkelerdeki hızlı ve güçlü büyüme performansına bağlı olarak artan kömür talebi, 2000-2016 döneminde kömür tüketiminin yaklaşık yüzde 56 oranında yükselmesine neden olmuştur (BP Statistical Review of World Energy 2017).

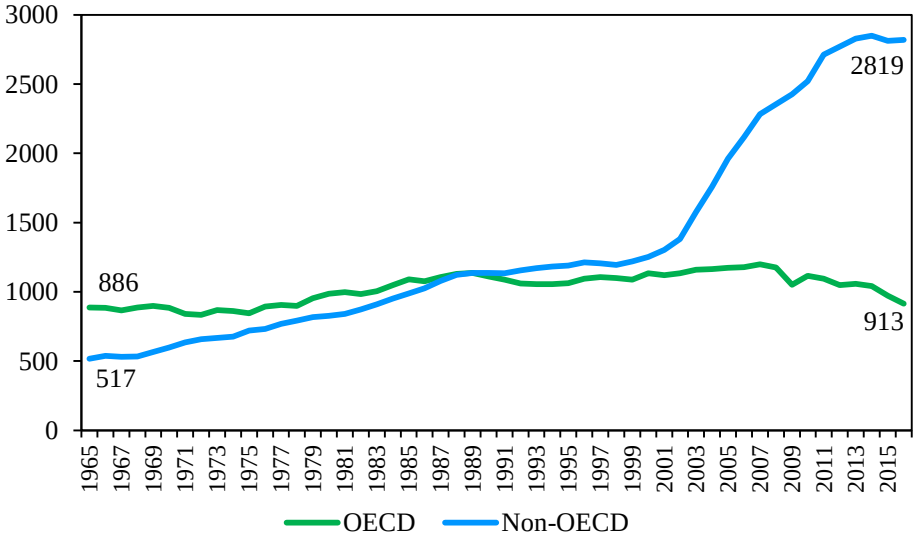
Grafik 19. 1965-2016 Dönemi Dünya Kömür Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Kömür üretiminde olduğu gibi kömür tüketiminde de 1990 yılına kadar OECD ülkeleri lehine olan fark, 1990 yılından itibaren tersine dönmüş ve 2000 yıllarda ise OECD ülkeleri ile OECD üyesi olmayan ülkeler arasındaki bu fark önemli düzeylere ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 20. 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Kömür Tüketimi (mtep)

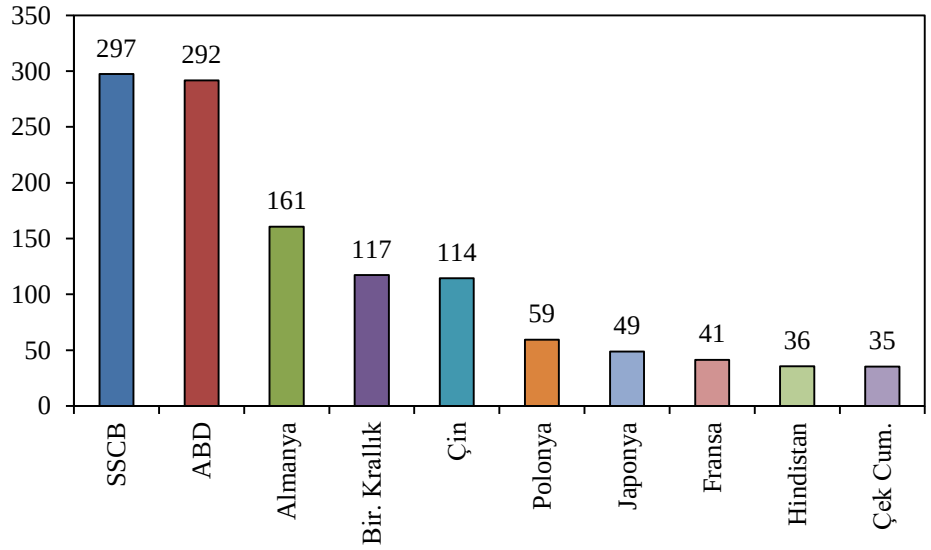


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 21, 1965 yılı itibariyle dünya kömür tüketimi açısından ilk 10 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 297 milyon ton eşdeğer petrol ile dünya kömür tüketiminin yaklaşık yüzde 21,2'sini SSCB gerçekleştirerek ilk sırada yer alırken;

292 milyon ton eşdeğer petrol ile ABD (yüzde 20,8) ikinci, 161 milyon ton eşdeğer petrol ile Almanya (yüzde 11,5) üçüncü, 117 milyon ton eşdeğer petrol ile Birleşik Krallık (yüzde 8,3) dördüncü ve 114 milyon ton eşdeğer petrol ile Çin (yüzde 8,1) beşinci sırada konumlanmıştır. Bu ülkeleri de sırasıyla Polonya (59 milyon ton eşdeğer petrol), Japonya (49 milyon ton eşdeğer petrol), Fransa (41 milyon ton eşdeğer petrol), Hindistan (36 milyon ton eşdeğer petrol) ve Çek Cumhuriyeti (35 milyon ton eşdeğer petrol) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

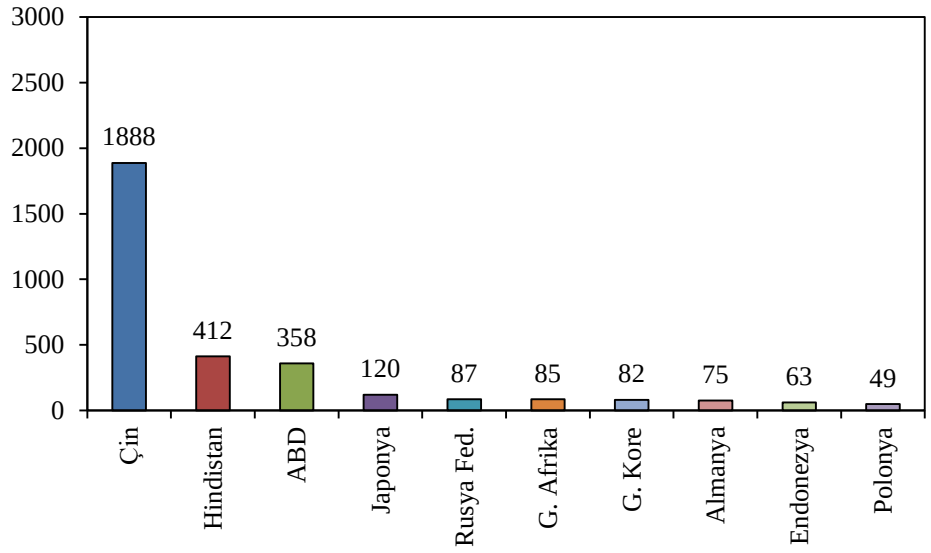
Grafik 21. 1965 Yılı Dünya Kömür Tüketiminde İlk 10 Ülke (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2016 yılına gelindiğinde, ülkelere göre kömür tüketiminin belirgin bir değişime uğradığı görülmektedir (Grafik 22). Nitekim 1965 yılında kömür tüketimi açısından 5. sırada konumlanan Çin, 2016 yılında 1 milyar 888 milyon ton eşdeğer petrol tüketimi ile dünya kömür tüketiminin yaklaşık yüzde 51'ini tek başına yapar konuma gelmiştir. Çin'i 412 milyon ton kömür tüketimi ile Hindistan (yüzde 11), 358 milyon ton ile ABD (yüzde 9,6), 120 milyon ton ile Japonya (yüzde 3,2), 87 milyon ton ile Rusya Federasyonu (yüzde 2,3), 85 milyon ton ile Güney Afrika (yüzde 2,27), 82 milyon ton ile Güney Kore (yüzde 2,2), 75 milyon ton ile Almanya (yüzde 2), 63 milyon ton ile Endonezya (yüzde 1,7) ve 49 milyon ton ile Polonya (yüzde 1,3) takip etmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 22. 2016 Yılı Dünya Kömür Tüketiminde İlk 10 Ülke (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2.1.2. Petrol Rezervleri, Üretim ve Tüketimi

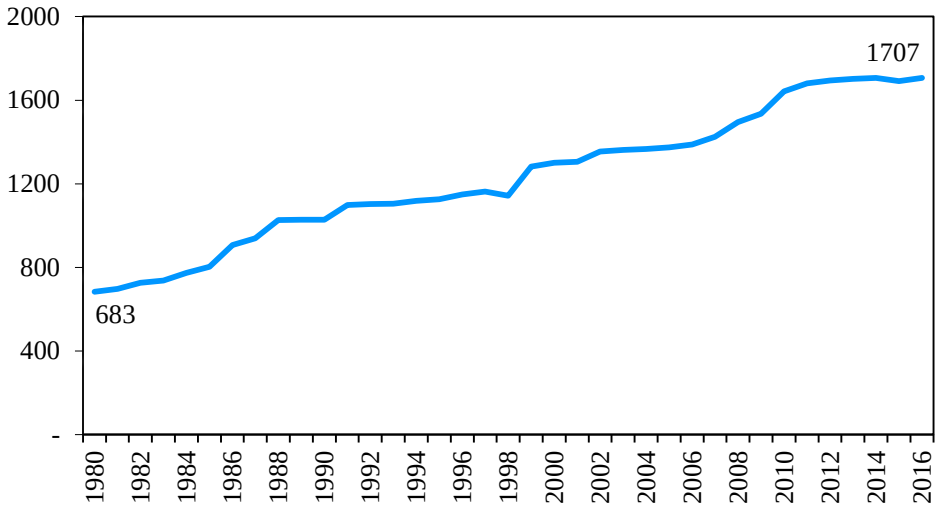
Birincil enerji tüketimi içerisinde en yüksek paya sahip olan petrol, aslında eski çağlardan beri bilinen, günümüze kadar da kullanım miktarı ve alanları açısından evrilerek gelen bir fosil yakıt türüdür. Özellikle milattan önceki dönemlerde Mezopotamya toplumları, petrolün asfalt maddesini yapılarda harç ve kaplama malzemesi olarak kullanmışlardır. Fenikeliler ise gemi yapımında bir yalıtım aracı olarak petrolden faydalanma yoluna gitmişlerdir (Saltıkgil, 1970: 36-37). Zaman içerisinde bilim ve teknoloji alanında yaşanan gelişmelere bağlı olarak petrol, endüstriyel bir ürün haline gelmiş, aynı zamanda da ısınma, ulaştırma ve aydınlatma gibi faaliyetler için temel yakıt maddesi niteliği kazanmıştır.

Petrolün endüstriyel bir ürün haline gelmesi, 1850'li yılların sonunda modern sayılabilecek teknikler yardımıyla bu yakıtın çıkarılmasına dayanmaktadır. Başlangıçta daha çok aydınlatma ve sağlık alanlarında kullanılan petrol, Sanayi Devrimi sonrasında motor teknolojisinin gelişmesi ile yakın ikamesi olmayan bir emtia konumuna gelmiştir. Nitekim 1905 yılında Alman Diesel firması tarafından içten yanmalı motorların yapımı ve bunu takip eden karayolu ve havayolu araçlarındaki ilerleme süreci sonunda petrol sanayisi oldukça hızlı bir gelişim ivmesi yakalamıştır (Türsan, 1972: 40, Yergin, 1991: 332).

Sanayi Devriminin gerçekleştirildiği dönemde en önemli güç sembollerinden biri olan kömür, petrolün taşıdığı avantajlara bağlı olarak yerini yavaş yavaş bırakmaya başlamış gerek taşıma ve depolama gerekse kullanım kolaylığı açısından dünyada yeni bir enerji kaynağı dönemi açılmıştır. Benzin ve motorin kullanarak yüksek verimlilikle çalışabilen motorların yapımı ile birlikte ise özellikle savunmacılık sektöründe büyük ölçüde petrole geçiş çalışmaları, dünya tarihi açısından çok ciddi değişim ve dönüşüm süreçlerini beraberinde getirmiştir (Doğanay ve Coşkun, 2017: 90-91).

Petrol tüketiminin küresel ölçekte yaygınlık kazanması ve öneminin zaman içinde giderek artması, bu kaynağın fiyatında meydana gelen değişmelerin hem etki alanını hem de etki derecesini değiştirmiştir. Nitekim 1970'li yıllarda meydana gelen fiyat şokları, iktisadi bakımdan birçok ülkede kriz için zemin hazırlamıştır. Ardından gerek alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalarda, gerekse petrol arzını artırmaya yönelik faaliyetlerde belirgin ilerlemeler kaydedilmiştir. Arama-çıkarma işlemlerinin yoğunluk kazanmasına ilave olarak bu işlemlere ait tekniklerde yaşanan gelişmeler rezerv büyüklüğünün zaman içerisinde değişimini sağlamıştır (Montgomery, 2014: 93). Bu gelişmeler sonucunda dünya kanıtlanmış petrol rezervlerinin büyüklüğü 1980 yılında yaklaşık 683 milyar 400 milyon varil iken; 2016 yılında yüzde 150 oranında artarak 1 trilyon 706 milyar 700 milyon varile yükselmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017). Grafik 23, dünya petrol rezervlerinin gelişimini 1980-2016 dönemi itibariyle göstermektedir.

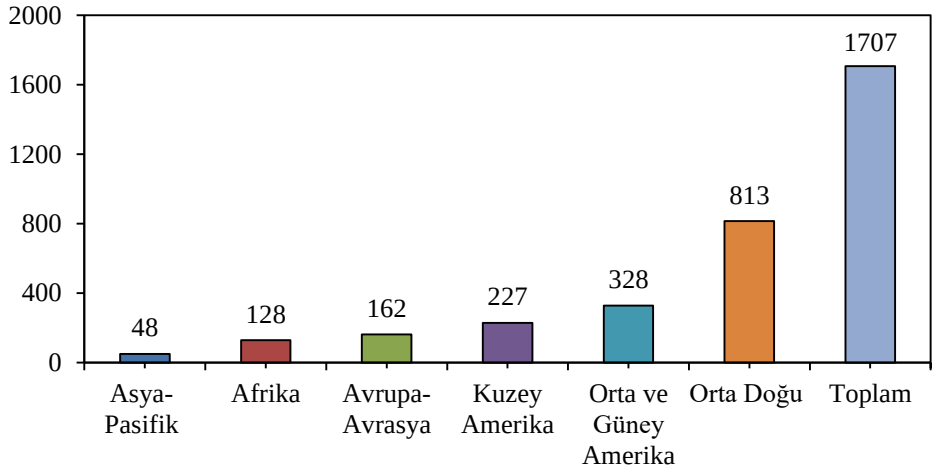
Grafik 23. 1980-2016 Dönemi Dünya Petrol Rezervleri (milyar varil)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

BP verilerine göre, 2016 yılı sonu itibariyle kanıtlanmış dünya toplam petrol rezerv miktarının yaklaşık yüzde 47,7'si Orta Doğu ülkelerinde bulunmaktadır (Grafik 24). Rezerv zenginliği bakımından Orta Doğu ülkelerini, yüzde 19,2'lik bir payla Orta ve Güney Amerika, yüzde 13,3 ile Kuzey Amerika, yüzde 9,5 ile Avrupa-Avrasya, yüzde 7,5 ile Afrika ve yüzde 2,8 ile Asya-Pasifik ülkeleri izlemektedir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 24. Dünya Petrol Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı (2016, milyar varil)

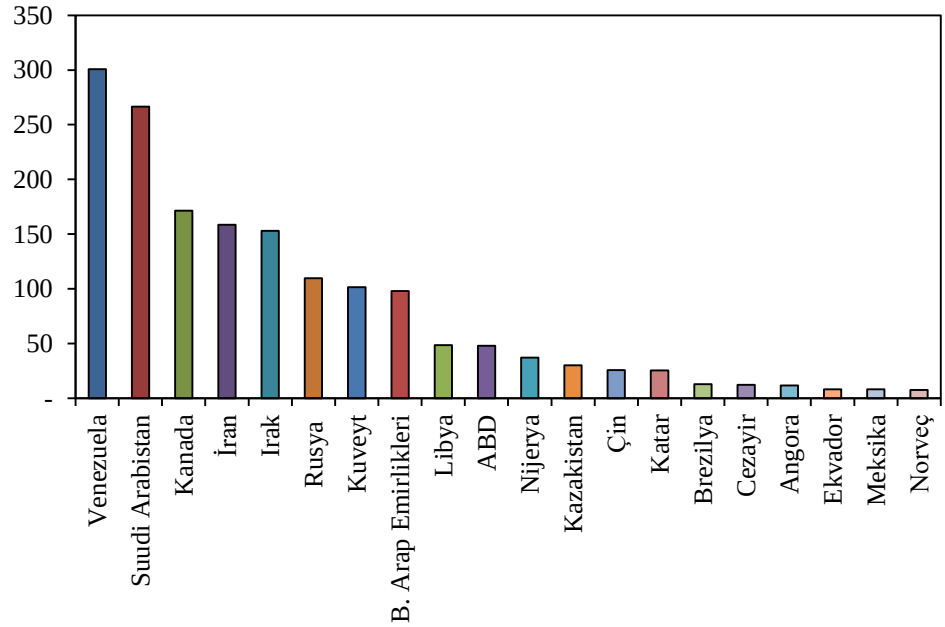


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 25, 2016 yılı itibariyle dünya petrol rezervleri açısından ilk 20 ülkeyi göstermektedir. Kanıtlanmış dünya toplam petrol rezervlerinin yüzde 47'sine tek

başına sahip olan Venezuela ilk sırada yer alırken; bu ülkeyi yüzde 36,6 ile Suudi Arabistan, yüzde 10 ile Kanada, yüzde 9,3 ile İran ve yüzde 9 ile Irak takip etmektedir. Dolayısıyla bu 5 ülke, dünyadaki toplam petrol rezervlerinin yarısından fazlasını ellerinde bulundurmaktadırlar. Diğer taraftan yüzde 6,4 ile Rusya 6., yüzde 5,9 ile Kuveyt 7., yüzde 5,7 ile Birleşik Arap Emirlikleri 8., yüzde 2,8 ile Libya 9. ve yüzde 2,8 ile ABD de 10. sırada konumlanmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 25. Dünya Petrol Rezervlerinde İlk 20 Ülke (2016, milyar varil)

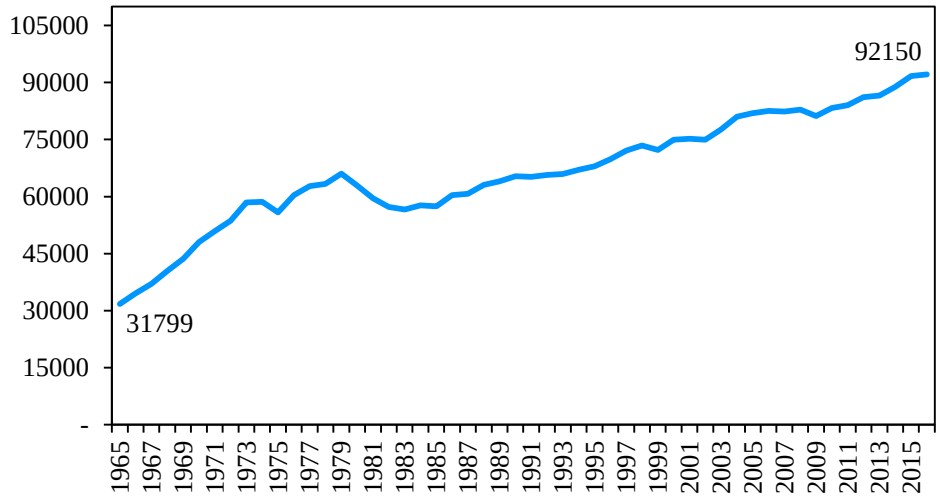


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Dünya petrol üretimi, 1965-1979 döneminde yaklaşık yüzde 108 oranında artış kaydederek 31 milyon 799 bin varil/gün seviyesinden 66 milyon 60 bin varil/gün seviyesine ulaşmıştır (Grafik 26). Ancak 1973 ve 1979 yıllarında yaşanan iki ayrı petrol krizi, petrol üretimindeki artış eğilimini olumsuz yönde etkilemiştir. İlk petrol krizi, 1973-1974 döneminde Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği'nin (OAPEC) 1973 Arap-İsrail Savaşı'nda ABD ve İsrail ile ittifak yapan ülkelere yönelik başlattığı petrol ambargosunun bir sonucudur. Krizin etkisi ile 1973-1975 döneminde petrol üretimi yaklaşık yüzde 5 oranında düşerek 58 milyon 460 bin varil/gün seviyesinden 55 milyon 822 bin varil/gün seviyesine gerilemiştir (Öztürk ve Saygın, 2017: 2).

İkinci petrol krizi, İran Devrimi'nden ötürü 1979-80 döneminde gerçekleşmiştir. Bu dönemde İran'dan ABD'ye yönelik petrol ihracatının kesilmesi ve ardından OPEC'in petrol fiyatlarını iki katına çıkarması, dünya genelinde yeni bir enerji darboğazını beslemiştir. İzleyen süreçte meydana gelen İran-Irak Savaşı, bir taraftan petrol arzında daralmaya neden olurken; diğer taraftan da petrol fiyatlarındaki artış baskısını güçlendirmiştir. Nitekim 1979-1985 döneminde petrol üretimi, yaklaşık yüzde 15 oranında düşerek 66 milyon 60 bin varil/gün seviyesinden 57 milyon 456 bin varil/gün seviyesine gerilemiştir. Bu nedenle 1986-2016 döneminde çok sayıda ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarını belli ölçüde harekete geçirmek amacıyla çalışmalar yürütmüştür. Ancak söz konusu krizlerinden sonra meydana gelen normalleşme süreci sonucunda petrol fiyatları gerilediği için, bu alanda yürütülen çalışmaların gelişimi zayıflamıştır (Bayraç, 2009: 120). Temel itibariyle küresel ekonomideki olumlu gelişmelere bağlı olarak meydana gelen talep genişlemesi, 1986 yılında 60 milyon 428 bin varil/gün olan petrol üretimini yüzde 52,5 oranında artırarak 2016 yılında 92 milyon 150 bin varil/gün seviyesine çıkarmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 26. 1965-2016 Dönemi Dünya Petrol Üretimi (milyon varil/gün)

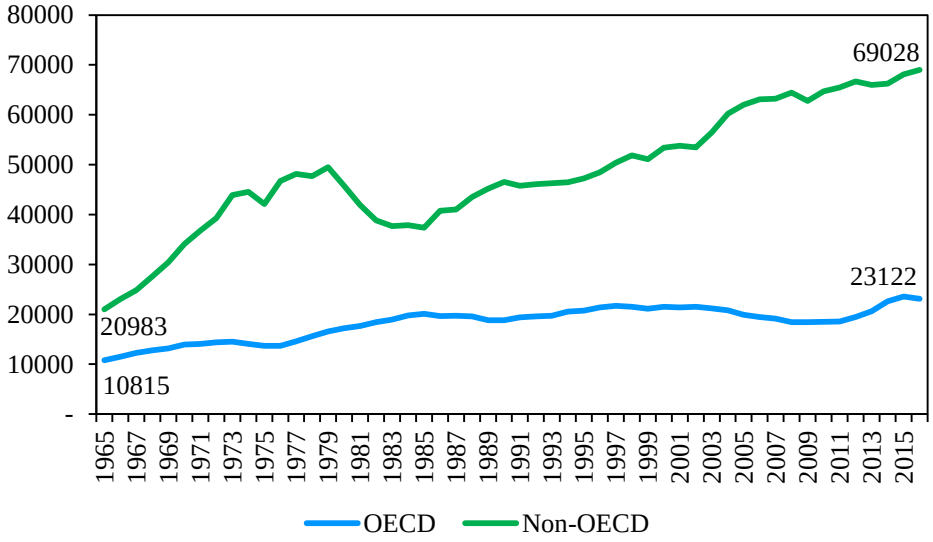


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Ülke gruplarına göre petrol arzına bakıldığında; ellerindeki sınırlı rezervlerden ötürü OECD ülkelerinde gerek üretim miktarının gerekse üretim artış hızının görece düşük seviyelerde olduğu görülmektedir (Grafik 27). Diğer taraftan rezerv üstünlüğüne sahip (yüzde 85,7) sahip OECD üyesi olmayan ülkeler ise 1980'li

yılların ikinci yarısından üretimlerini belirgin şekilde artırmışlardır. Bu durum söz konusu ülkelerde petrol üretiminin 1965-2016 döneminde yaklaşık yüzde 229 oranında artarak 20 milyon 983 bin varil/gün'den 69 milyon 28 bin varil/gün'e çıkmasına sebep olmuştur. Aynı dönem itibariyle OECD ülkelerinde ise petrol üretimi yüzde 113,8 oranında artışla 10 milyon 815 bin varil/gün'den 23 milyon 122 bin varil/gün'e ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

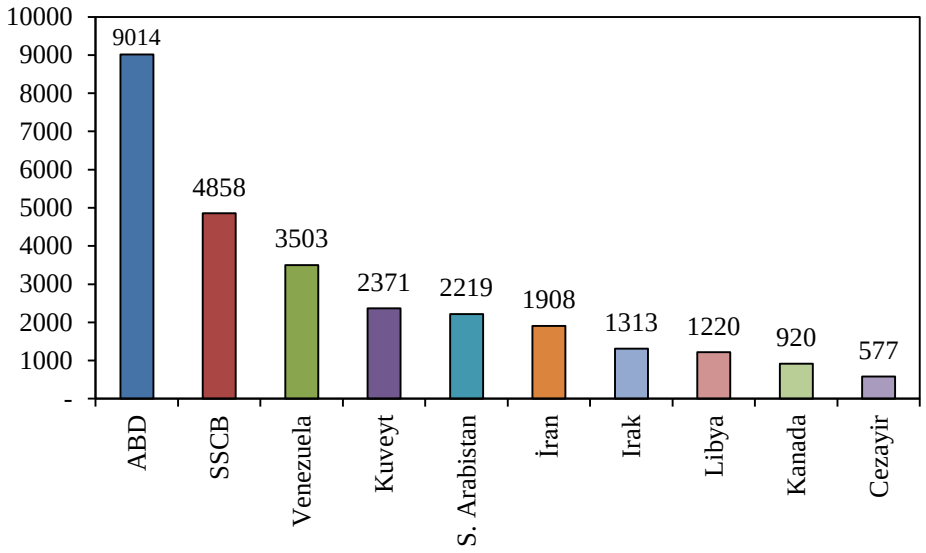
Grafik 27. 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Petrol Üretimi (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 28, 1965 yılı itibariyle dünya petrol üretimi açısından ilk 10 ülkeyi göstermektedir. 1965 yılı verilerine göre; 9 milyon 14 bin varil/gün ile dünya petrol üretiminin yaklaşık yüzde 28,3'ünü ABD gerçekleştirerek ilk sırada yer alırken; 4 milyon 858 bin varil/gün ile SSCB (yüzde 15) ikinci, 3 milyon 503 bin varil/gün ile Venezuela (yüzde 11) üçüncü, 2 milyon 371 bin varil/gün ile Kuveyt (yüzde 7,4) dördüncü ve 2 milyon 219 bin varil/gün ile Suudi Arabistan (yüzde 7) beşinci sırada konumlanmıştır. Bu ülkeleri de sırasıyla İran (1 milyon 908 bin varil/gün), Irak (1 milyon 313 bin varil/gün), Libya (1 milyon 220 bin varil/gün), Kanada (920 bin varil/gün) ve Cezayir (577 bin varil/gün) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

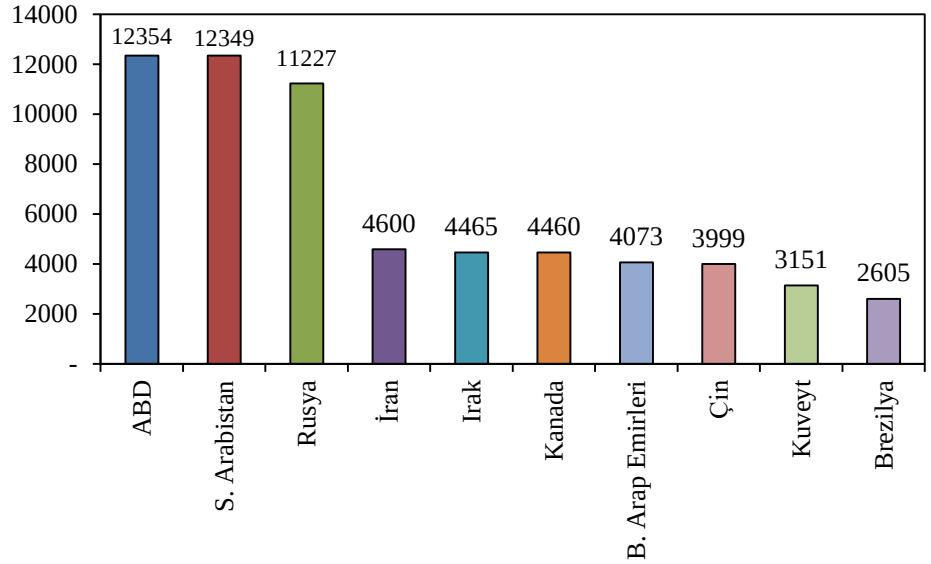
Grafik 28. 1965 Yılı Dünya Petrol Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2016 yılına gelindiğinde ise 12 milyon 354 bin varil/gün ile ABD, dünya petrol üretiminin yaklaşık yüzde 13,4'ünü gerçekleştirerek liderliğini korumayı başarmıştır (Grafik 29). Petrolün ticari ve modern teknikler aracılığıyla ilk olarak bu ülkede çıkarılması ve petrokimya endüstrisinin de yine bu ülkede kurulması, ABD'yi hem sondaj teknolojisi ve hem de petrol ürünleri sanayisi bakımından öncü bir ülke konumuna getirmiştir. Üretim değerleri itibariyle ABD, uzun yıllar SSCB ile rekabet halinde olmuştur (Doğanay ve Coşkun, 2017: 118). Sovyetler Birliği dağıldıktan sonra belli bir süre önceki üretim değerlerine ulaşamadığı için ABD, Suudi Arabistan ile yarışmaya başlamış ve Suudi Arabistan 12 milyon 349 bin varil/gün petrol üretimi ile ikinci konuma gelmiştir. Rusya Federasyonu ise 11 milyon 227 bin varil/gün üretim miktarı ile üçüncü sırada yer almıştır. Bu üç ülkeyi 4 milyon 600 bin varil/gün petrol üretimi ile İran, 4 milyon 465 bin varil/gün ile Irak, 4 milyon 460 bin varil/gün ile Kanada, 4 milyon 73 bin varil/gün ile Birleşik Arap Emirleri, 3 milyon 999 bin varil/gün ile Çin, 3 milyon 151 bin varil/gün ile Kuveyt ve 2 milyon 605 bin varil/gün ile Brezilya takip etmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

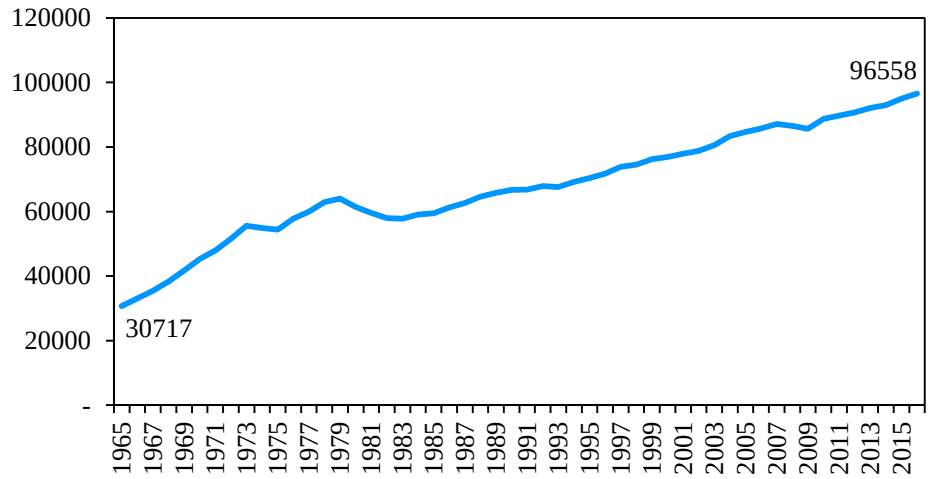
Grafik 29. 2016 Yılı Dünya Petrol Üretiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 30, 1965-2016 dönemi itibariyle dünya petrol tüketiminin gelişimini göstermektedir. Buna göre küresel ölçekte petrol talebi 1965-1979 döneminde yüzde 108,5 oranında artış göstererek 30 milyon 717 bin varil/gün seviyesinden 64 milyon 49 bin varil/gün seviyesine ulaşmıştır. 1980-1985 döneminde ise üretimde olduğu gibi petrol tüketiminde de bir düşüş gerçekleşmiştir. 1973 ve 1979 yılları, sırasıyla Arap Petrol Ambargosu ve İran Devrimi nedeniyle Batı'daki ekonomik krizi derinleştiren ve enerji kullanımında hızlı düşüşlere yol açan iki büyük petrol krizine tanıklık etmiştir (Montgomery, 2014: 93). Ayrıca küresel ekonomide 1991'de (Körfez Savaşı), 1997'de (Asya Finansal Krizi) ve 2008-2009 yıllarında yaşanan krizler, tüm dünyada enerji tüketimini olumsuz etkilemesine rağmen; 1986-2016 döneminde petrol tüketimi yaklaşık yüzde 57,7 oranında artarak 96 milyon 558 bin varil/gün düzeyine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

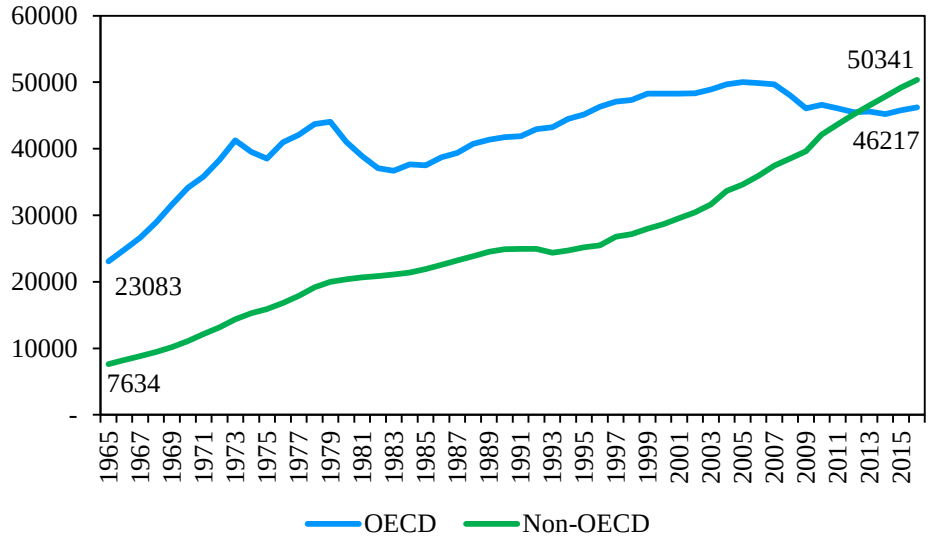
Grafik 30. 1965-2016 Dönemi Dünya Petrol Tüketimi (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Ülke gruplarına göre petrol tüketimi incelendiğinde; gerek petrol krizlerinin gerekse iktisadi krizlerin OECD üyesi ülkelerde enerji kaynaklarının kullanımı bakımından daha fazla etki yarattığı görülmektedir. Bu durum, ekonomik daralmanın söz konusu ülkelerde görece daha şiddetli gerçekleşmesinden ötürü gerçekleşmektedir. Diğer taraftan OECD üyesi olmayan ülkelerin petrol tüketimleri genel itibariyle artış ivmesi içerisinde olmuş, özellikle 1990'lı yılların ortalarından itibaren yüksek oranlı büyüme ve gelişim performansı, bu ülkelerdeki petrol tüketimini oldukça yüksek seviyelere taşımıştır (Grafik 31). Nitekim 2012 yılından sonra OECD üyesi olmayan ülkelerin petrol tüketimi, OECD ülkelerinin üzerine çıkmış; 1965 yılında dünya petrol tüketiminin yüzde 75'ini gerçekleştiren OECD ülkelerinin payı, 2016 yılı itibariyle yüzde 46,8'e gerilemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

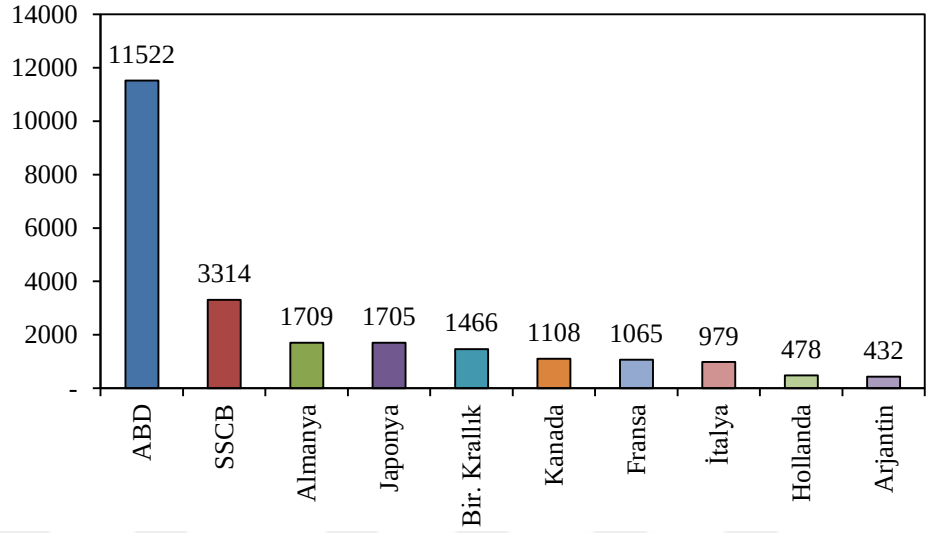
Grafik 31. 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Petrol Tüketimi (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 32, 1965 yılı itibariyle dünya petrol tüketimi açısından ilk 10 sıradaki ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 11 milyon 522 bin varil/gün ile dünya petrol tüketiminin yaklaşık yüzde 37,5'ini ABD gerçekleştirerek ilk sırada yer alırken; 3 milyon 314 bin varil/gün ile SSCB (yüzde 10,7) ikinci, 1 milyon 709 bin varil/gün ile Almanya (yüzde 5,5) üçüncü, 1 milyon 466 bin varil/gün ile Japonya (yüzde 5,5) dördüncü ve 1 milyon 466 bin varil/gün ile Birleşik Krallık (yüzde 4,8) beşinci sırada konumlanmıştır. Bu ülkeleri de sırasıyla Kanada (1 milyon 108 bin varil/gün), Fransa (1 milyon 60 bin varil/gün), İtalya (979 bin varil/gün), Hollanda (478 bin varil/gün) ve Arjantin (432 bin varil/gün) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

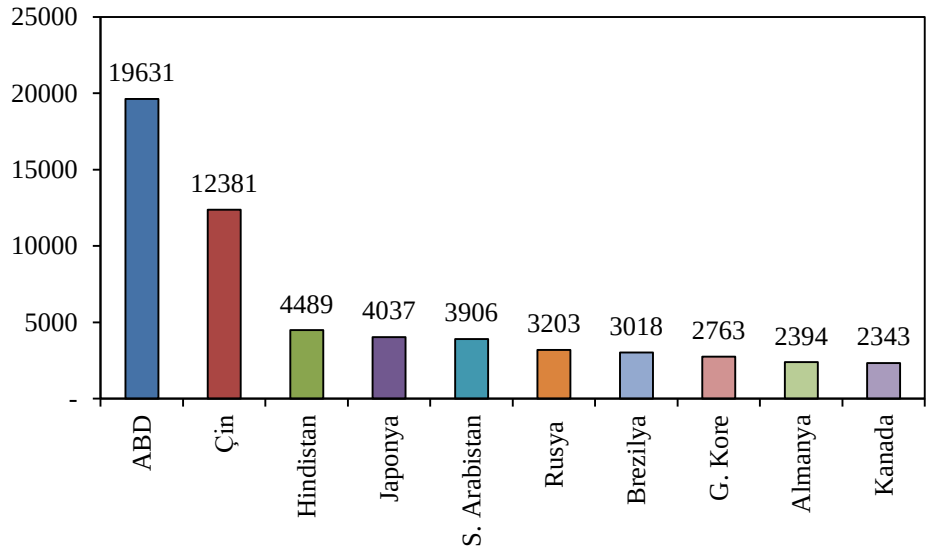
Grafik 32. 1965 Yılı Dünya Petrol Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 33'e göre; 2016 yılına gelindiğinde petrol tüketimi bakımından ABD hariç diğer ülkelerin sıralamalarında önemli farklılaşmaların gerçekleştiği görülmektedir. ABD; petro-kimya endüstrisinin gelişimi, ekonomik büyüme ve araç kullanımındaki artışa bağlı olarak günlük 19 milyon 631 bin varil petrol tüketimi ile ilk sıradaki yerini korurken; Çin ikinci sıraya yükselmiştir (Doğanay ve Coşkun, 2017: 118). Özellikle 2000'li yılların başından itibaren Çin ekonomisindeki hızlı ve güçlü büyüme performansı, enerji talebinin de yüksek oranda artmasına neden olarak bu ülkeyi üst seviyelere taşımıştır. Çin'i 4 milyon 489 bin varil/gün ile Hindistan, 4 milyon 37 bin varil/gün ile Japonya, 3 milyon 906 bin varil/gün ile Suudi Arabistan, 3 milyon 203 bin varil/gün ile Rusya, 3 milyon 18 bin varil/gün ile Brezilya, 2 milyon 763 bin varil/gün ile Güney Kore, 2 milyon 394 bin varil/gün ile Almanya ve 2 milyon 343 bin varil/gün ile Kanada takip etmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 33. 2016 Yılı Dünya Petrol Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyon varil/gün)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2.1.3. Doğalgaz Rezervleri, Üretim ve Tüketimi

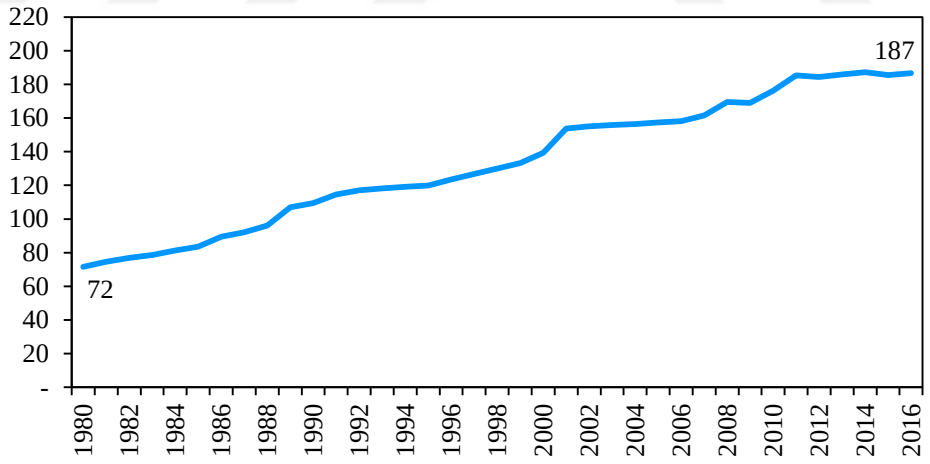
Sahip olduğu önemli avantajlar nedeniyle dünya enerji kaynakları içindeki payı hızla artan doğalgazın kullanımı oldukça eskilere dayanmaktadır. İlk olarak M.Ö. 9. yüzyılda ısınma yakıtı olarak Çin'de kullanılmaya başlanan doğalgaz, 1970'li yıllarda ise hem ısınma kaynağı hem de demirin ergitilmesinde temel enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Petro-kimya endüstrisinin gelişmesi üzerine bir sanayi hammaddesi olarak doğalgazın kullanım alanları ise zaman içerisinde giderek genişlemiştir (Doğanay ve Coşkun, 2017: 182-183).

İçeriğindeki karbon değeri diğer fosil yakıtlara göre daha düşük seviyelerde olan doğalgaz, aynı zamanda taşınması, işlenmesi ve stoklanması bakımından da belirli üstünlüklere sahip olduğu için günümüzün ön plana çıkan enerji kaynaklarından biri olmuştur. II. Dünya Savaşı'ndan sonra kaynak teknolojilerinde gerçekleşen ilerlemeler, güvenilir ve uzun mesafeli boru hatlarının yapımına imkan vererek doğalgazın taşınarak yaygınlaşmasını sağlamıştır (Faramawy vd., 2016: 35). Ayrıca 1950 sonrası dönemden itibaren hız kazanan nüfus artışı ve kentleşme eğilimi; bir taraftan konutlarda ısıtma problemini, diğer taraftan araç talebindeki yükselişle birlikte yakıt sorununu beraberinde getirmiştir. Bunlara ilave olarak petrol ve kömür gibi fosil yakıt kullanımının neden olduğu ekolojik tartışmalar da doğalgaz

tüketiminin önünü açmıştır. Nitekim 1950-1960 döneminde dünya birincil enerji tüketimi içerisinde doğalgazın payı yaklaşık yüzde 5 iken; bu oran 1980'de yüzde 10, 1990'da yüzde yaklaşık 22, 2000'de yüzde 23 ve 2016 yılı itibariyle de yüzde 24 seviyelerine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi, doğalgaz talebinde geniş ölçüde artışlara sebep olmuş ve zaman içerisinde dünya doğalgaz tüketimi yaklaşık dört kat artmıştır. Dünya doğalgaz tüketimi dikkat çekici biçimde artarken; üretim seviyesi de bu tüketime koşut bir büyüme sergilemiştir (Ertürk, 2011: 24). Ayrıca doğalgaz arama ve çıkarma teknolojileri konusunda da her geçen gün yeni gelişmelerin söz konusu olması yeni doğalgaz rezervlerinin bulunmasına yardımcı olmuştur. Nitekim Grafik 34'te görüldüğü üzere küresel ölçekteki doğalgaz rezervleri, bu alanda yapılan yatırımların ve kaydedilen teknik ilerlemelerin sayesinde 1980-2016 döneminde yüzde 160 oranında artarak 71 trilyon 6 milyar metreküpten, 186 trilyon 6 milyar metreküp seviyelerine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 34. 1980-2016 Dönemi Dünya Doğalgaz Rezervleri (trilyon metreküp)

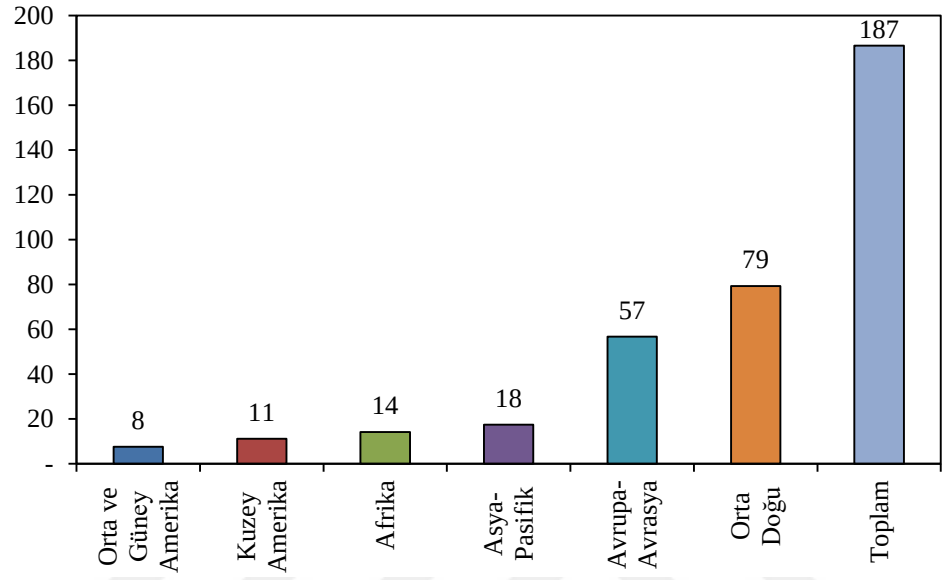


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 35, 2016 yılı itibariyle dünya doğalgaz rezervlerinin bölgesel dağılımını ortaya koymaktadır. Buna göre; küresel doğalgaz rezervinin yaklaşık yüzde 42,5'i Orta Doğu'da bulunmaktadır. Orta Doğu ülkelerini, rezerv zenginliği bakımından Avrupa-Avrasya (yüzde 30,4) takip ederken; üçüncü sırada Asya-Pasifik (yüzde 9,4)

gelmektedir. Dünya doğalgaz rezervlerinin geri kalan bölümü ise Afrika ve Amerika kıtalarında yoğunlaşmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

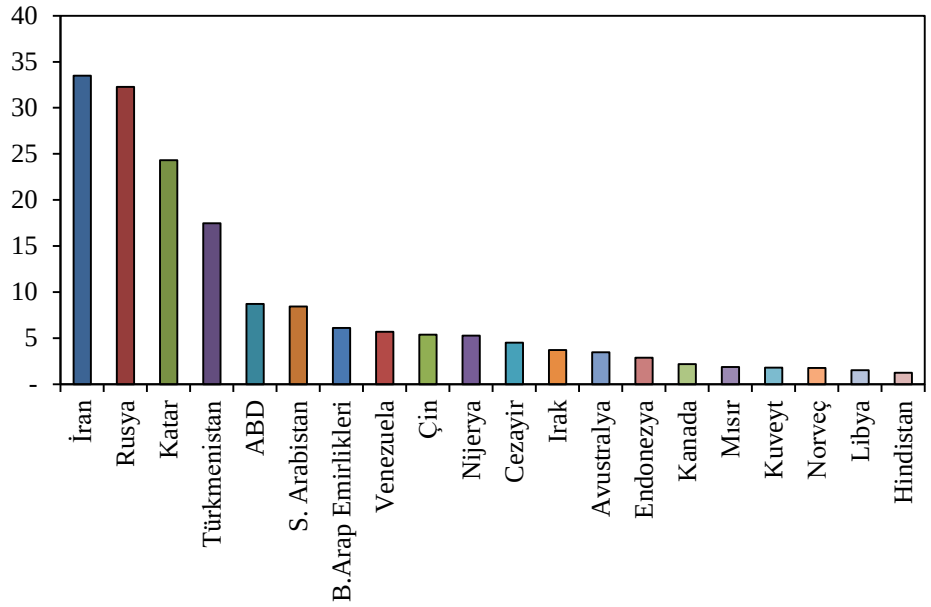
Grafik 35. Dünya Doğalgaz Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı (2016, trilyon metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Dünyadaki toplam doğalgaz rezervlerinin yüzde 18'ine tek başına sahip olan İran, ilk sırada yer alırken; bu ülkeyi yüzde 17,3 ile Rusya Federasyonu, yüzde 13 ile Katar ve yüzde 9,4 ile Türkmenistan takip etmektedir. Dolayısıyla bu 4 ülke, dünyadaki toplam doğalgaz rezervlerinin yarısından fazlasını ellerinde bulundurmaktadırlar. Diğer taraftan yüzde 4,7 ile ABD 5., yüzde 4,5 ile Suudi Arabistan 6., yüzde 3,3 ile Birleşik Arap Emirlikleri 7., yüzde 3,1 ile Venezuela 8., yüzde 2,9 ile Çin 9. ve yüzde 2,8 ile Nijerya da 10. sırada konumlanmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

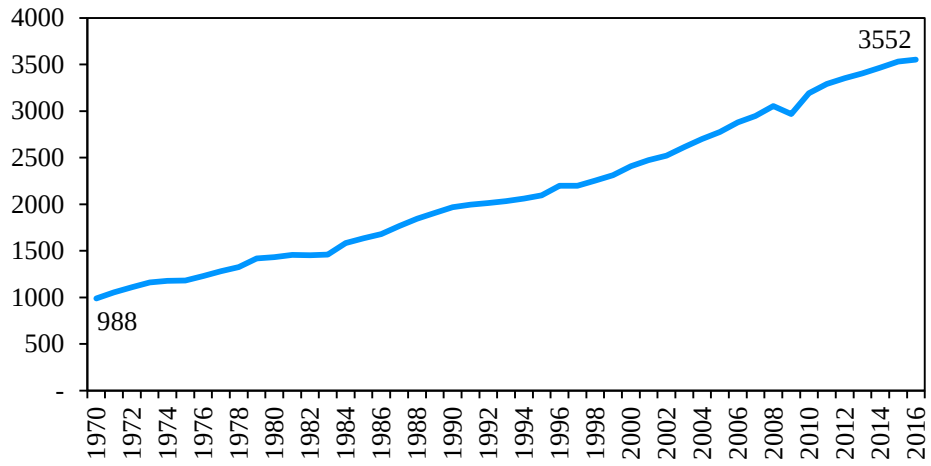
Grafik 36. Dünya Doğalgaz Rezervleri İtibariyle İlk 20 Ülke (2016, trilyon metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Dünya doğalgaz üretimi, rezervlerdeki artışa bağlı olarak sürekli yükseliş göstermiştir (Grafik 37). Fosil enerji kaynaklarından petrol ve kömürün kullanımı yıllar itibariyle artarken; bu durum beraberinde ekolojik sorunları da tetiklemiştir. 1973–1979 petrol krizlerinden sonra yaşanan hem enerji darboğazı hem de çevre bilincinin gelişmesiyle birlikte dünya, karbon değeri daha az yakıtlara yönelme eğilimine girmiş, çözüm arayışları ise fosil yakıtlar arasında enerji verimliliği daha yüksek ve çevre kirliliğine daha az neden olan doğalgaz kullanımını getirmiştir (Sevim, 2015: 129). Nitekim 1980 yılında 1 trilyon 432 milyar metreküp olan dünya toplam doğalgaz üretim miktarı, 2016 yılında yaklaşık yüzde 148 oranında artış ile 3 trilyon 552 milyar metreküp seviyesine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

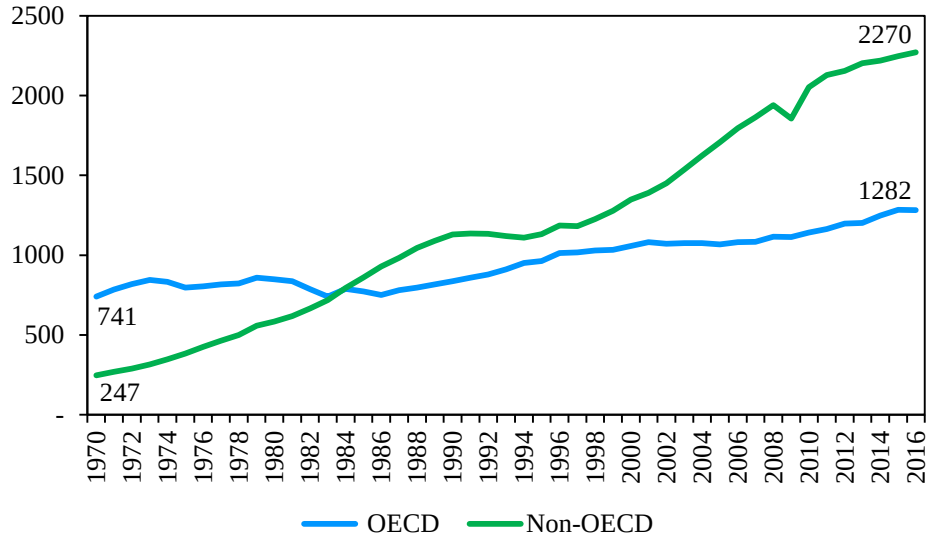
Grafik 37. 1970-2016 Dönemi Dünya Doğalgaz Üretimi (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Ülke gruplarına göre doğalgaz üretimine bakıldığında; OECD ülkeleri lehine gelişen farkın, 1983 yılından itibaren tersine döndüğü dikkat çekmektedir. Bu döneme kadar gelişmiş ülkelerin teknolojik avantajlarını kullanarak doğalgaz üretiminde ve tüketiminde üstünlük göstermelerine karşın; 1983 yılından sonra söz konusu kaynakların rezerv üstünlüğüne sahip olan OECD üyesi olmayan ülkeler, üretimi görece daha fazla yapmaya başlamışlardır. Nitekim 2016 yılı itibariyle kanıtlanmış doğalgaz rezervlerinin yaklaşık yüzde 90,5'i OECD üyesi olmayan ülkelerde bulunmaktadır. Bu durum Grafik 38'de de görüldüğü üzere OECD üyesi olmayan ülkelerde doğalgaz üretiminin 1983-2016 döneminde yaklaşık yüzde 216 oranında artarak 718 milyar metreküpten 2 trilyon 270 milyar metreküpe çıkmasına sebep olmuştur. Diğer taraftan aynı dönem itibariyle OECD ülkelerinde ise doğalgaz üretimi, yüzde 73 artışla 740 milyar metreküp seviyesinden 1 trilyon 282 milyar metreküp düzeyine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

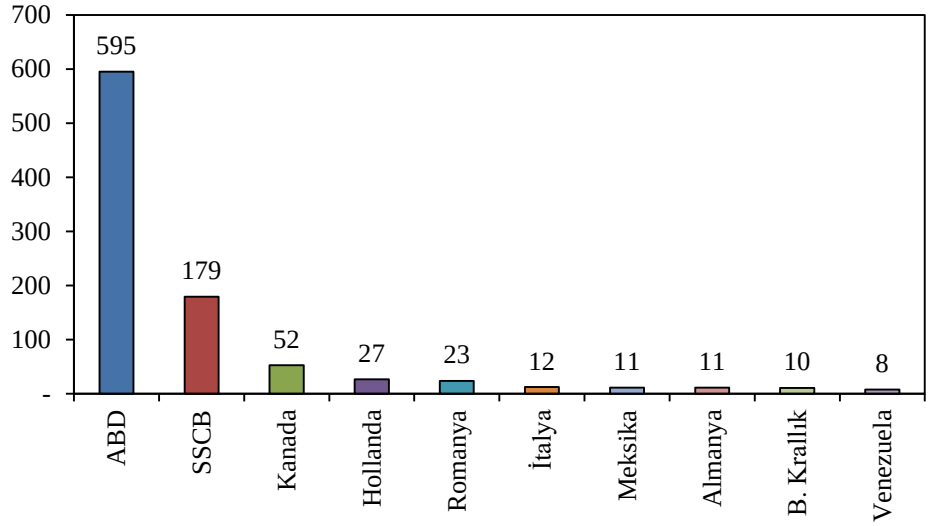
Grafik 38. 1970-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Doğalgaz Üretimi (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 39, 1970 yılı itibariyle dünya doğalgaz üretimindeki ilk 10 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 595 milyar metreküp ile dünya doğalgaz üretiminin yaklaşık yüzde 60,2'sini ABD tek başına gerçekleştirirken; 179 milyar metreküp ile SSCB (yüzde 18) ikinci, 52 milyar metreküp ile Kanada (yüzde 5,3) üçüncü, 27 milyar metreküp ile Hollanda (yüzde 2,7) dördüncü ve 23 milyar metreküp ile Romanya (yüzde 2,37) beşinci sırada konumlanmıştır. Bu ülkeleri de sırasıyla İtalya (12 milyon), Meksika (11 milyon), Almanya (11 milyon), Birleşik Krallık (10 milyon) ve Venezuela (8 milyon) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

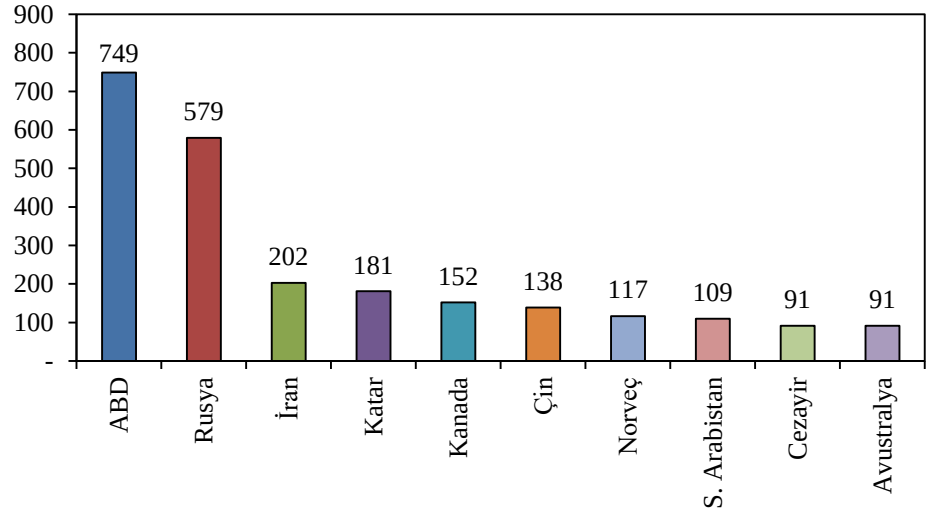
Grafik 39. 1970 Yılı Dünya Doğalgaz Üretiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2016 yılına gelindiğinde 749 milyar metreküp ile ABD, dünya doğalgaz üretiminin yüzde 21'ni gerçekleştirerek sıralamadaki yerini korumuştur (Grafik 40). Geleneksel olmayan gaz üretim teknolojilerinde yaptığı çalışmalar ise 2000'li yıllarda kaya gazı üretimini mümkün hale getirmiştir. Böylece kaya gazı üretimi işlemlerinde yaşanan gelişmeler sonucu, doğalgazın ülkedeki kullanım payı önemli ölçüde artış kaydetmiştir (Clark vd., 2012: 4-5). Bu durum 2016 yılında da ABD'yi doğalgaz üreten ülkeler listesinde ilk sırada tutmayı başarmıştır. Doğalgaz üreten ülkeler sıralamasında Rusya ise 579 milyar metreküp ile ikinci sırada yer almıştır. Bu iki ülkeyi 202 milyar metreküp doğalgaz üretimi ile İran, 181 milyar metreküp ile Katar, 152 milyar metreküp ile Kanada, 138 milyar metreküp ile Çin, 117 milyar metreküp Norveç, 109 milyar metreküp ile Suudi Arabistan ve 91 milyar metreküp ile Cezayir ve Avustralya takip etmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

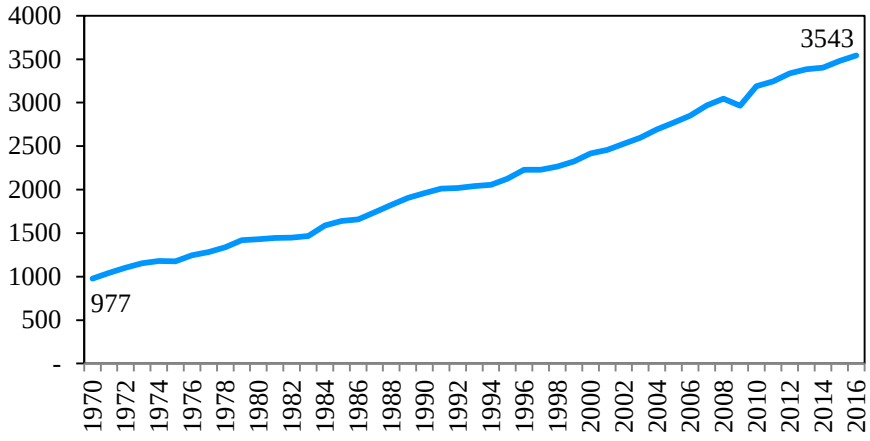
Grafik 40. 2016 Yılı Dünya Doğalgaz Üretiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Diğer fosil yakıtlara göre ısıl değerinin daha yüksek olması, kullanım kolaylığı açısından önemli avantajlar taşıması ve çevresel olumsuzluklarının düşük seviyelerde seyretmesi doğalgaz tüketiminin giderek artmasını beraberinde getirmektedir (Chandler, 2000: 182-185). Ayrıca boru hattı taşımacılığı ve çevrim santralleri gibi doğalgazın kullanımını kolaylaştıran ve yaygınlaştıran teknolojilerin ucuzlaması; 1980 yılında 1 trilyon 431 milyar metreküp olan dünya toplam doğalgaz tüketim miktarını, 2016 yılında yaklaşık yüzde 147 oranında artırarak 3 trilyon 543 milyar metreküpe yükseltmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

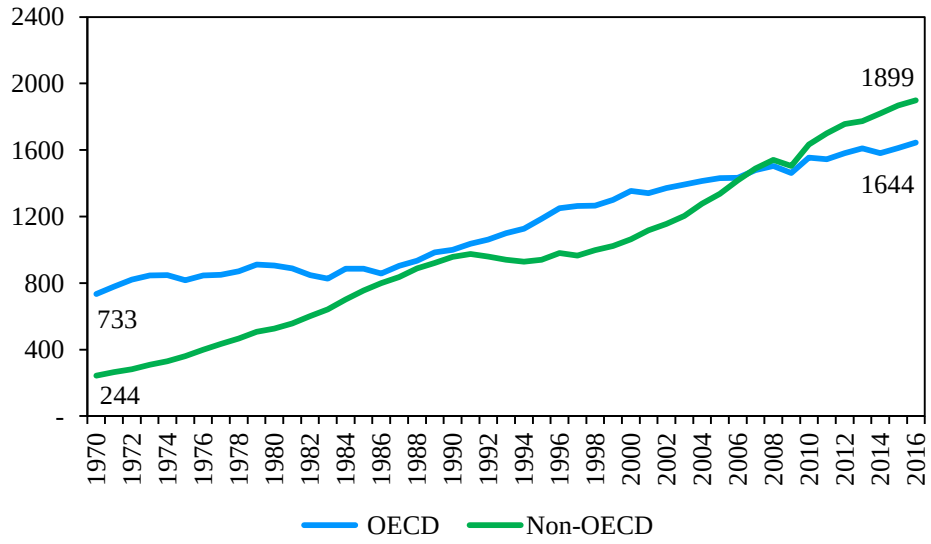
Grafik 41. 1970-2016 Dönemi Dünya Doğalgaz Tüketimi (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Doğalgaz tüketimi ülke gruplarına göre incelendiğinde; OECD ülkeleri lehine olan farkın, 2007 yılından itibaren tersine döndüğü ve dünya toplam doğalgaz tüketiminde meydana gelen artışın büyük bölümünün özellikle son dönemlerde çok hızlı ve güçlü bir performansı sergileyen gelişmekte olan ülkelerden kaynaklandığı görülmektedir (Grafik 42). Ayrıca 2008 yılında yaşanan küresel kriz sonrasında OECD üyesi ülkeler yavaş bir toparlanma süreci sergilerken; gelişmekte olan ülkeler ise büyüme performanslarını belli ölçüde sürdürmeyi başarmışlardır (Tezcan, 2014: 123). Bu nedenle OECD üyesi olmayan ülkelerde doğalgaz tüketimi 2007-2016 döneminde yaklaşık yüzde 27,5 oranında artarak 1 trilyon 489 milyar metreküp seviyesinden 1 trilyon 899 milyar metreküp düzeyine çıkmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 42. 1970-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Doğalgaz Tüketimi (milyar metreküp)

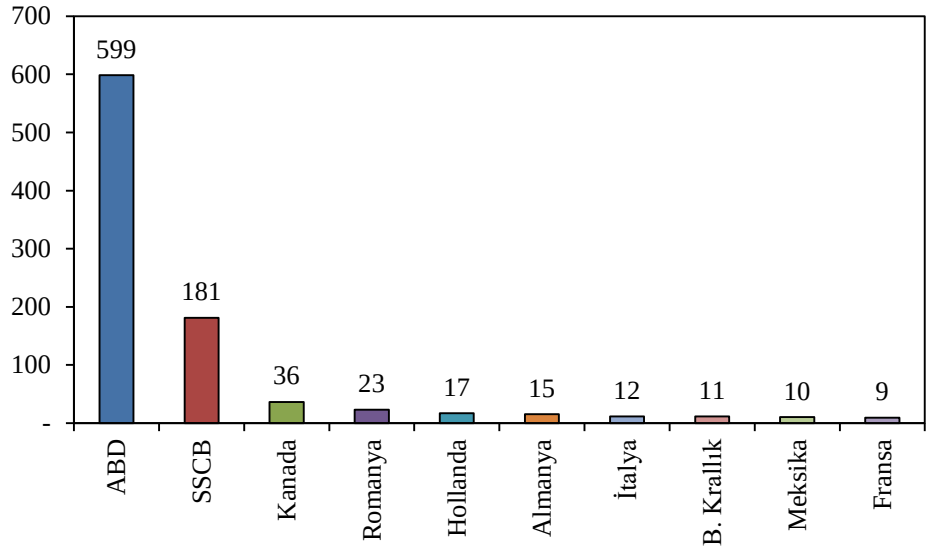


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 43, 1970 yılı itibariyle dünya doğalgaz tüketimi açısından ilk 10 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 599 milyar metreküp ile üretimde olduğu gibi dünya doğalgaz tüketiminin de yarısından fazlasını (yüzde 61) gerçekleştiren ABD, ilk sırada yer alırken; 181 milyar metreküp ile SSCB (yüzde 18,5) ikinci sırada konumlanmıştır. Bu iki ülkeyi ise sırasıyla Kanada (36 milyar metreküp), Romanya (23 milyar metreküp), Hollanda (17 milyar metreküp), Almanya (15 milyar metreküp), İtalya (12 milyar metreküp), Birleşik Krallık (11 milyar metreküp),

Meksika (10 milyar metreküp) ve Fransa (9 milyar metreküp) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

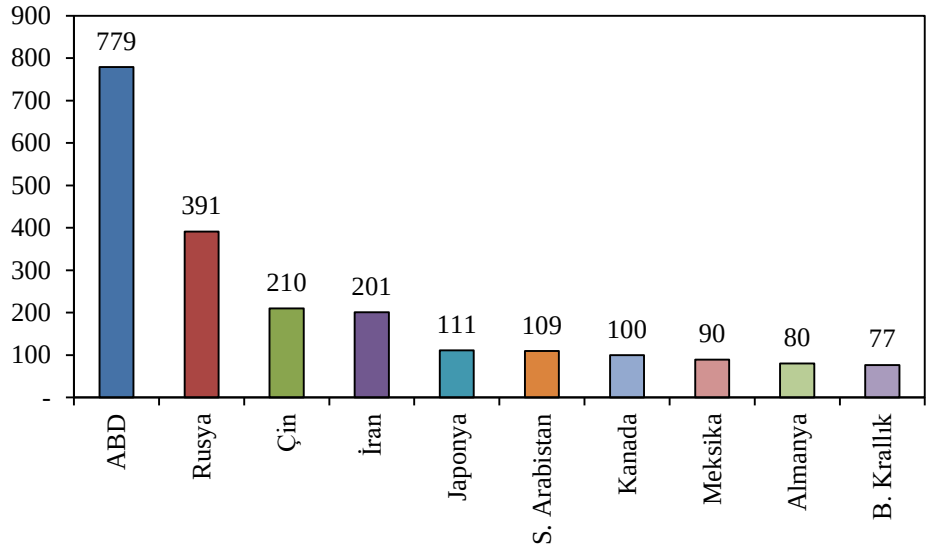
Grafik 43. 1970 Yılı Dünya Doğalgaz Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Yüksek bir enerji değerine sahip olması, çevrim santrallerinde elektrik üretimini hem kolaylaştırması hem de ucuz hale getirmesi, motorlu araçlar için alternatif bir yakıt seçeneği sunması ve konutlarda ısınma sorununu büyük ölçüde çözebilmesi nedeniyle doğalgaz tüketimi 2016 yılında da artış eğilimini sürdürmüştür. Nitekim 779 milyar metreküp (yüzde 22) ile ABD dünyanın en fazla doğalgaz tüketen ülkesi olurken; bu ülkeyi 391 milyar metreküp (yüzde 11) ile Rusya, 210 milyar metreküp (yüzde 5) Çin, 201 milyar metreküp ile İran, 111 milyar metreküp ile Japonya, 109 milyar metreküp ile Suudi Arabistan, 100 milyar metreküp ile Kanada, 90 milyar metreküp ile Meksika, 80 milyar metreküp ile Almanya ve 77 milyar metreküp ile Birleşik Krallık takip etmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 44. 2016 Yılı Dünya Doğalgaz Tüketiminde İlk 10 Ülke (milyar metreküp)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2.1.4. Nükleer Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Temel itibariyle ucuz ve temiz elektrik enerjisi üretmek, tarım ve tıp alanlarında iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapmak üzere kullanılan nükleer teknolojiye aynı zamanda askeri alanda savunma ve saldırı amaçlı olarak da başvurulmaktadır. İlk olarak 1932 yılında J. Chadwick[6] tarafından nötronun yapısını keşfetmek üzere başlatılan çalışmalar, beraberinde yeni nükleer araştırmaları getirmiştir. II. Dünya Savaşı'nın etkisiyle nükleer bilim hızlı bir şekilde gelişim göstermiş ve 1945 yılında barışçıl olmayan hedefler doğrultusunda ilk kez ABD tarafından kullanılmıştır (Er ve Sunal, 2008: 193).

Dünyada nükleer teknolojinin sivil amaçlı kullanımı ise savaştan sonra ilerlemiş ve yaygınlaşmıştır. Atomun çekirdeğinden elde edilen enerjinin nükleer silahlar dışında da kullanılabileceğinin keşfedilmesinin ardından nükleer santraller inşa edilmeye başlamıştır. Elektrik enerjisi üretmek amacıyla ilk nükleer santral 1950 yılında ABD'de faaliyete geçirilmiştir. ABD'nin ardından Eski Sovyetler Birliği, Fransa ve İngiltere gibi ülkelerde de nükleer santraller kurulmuştur. Nükleer

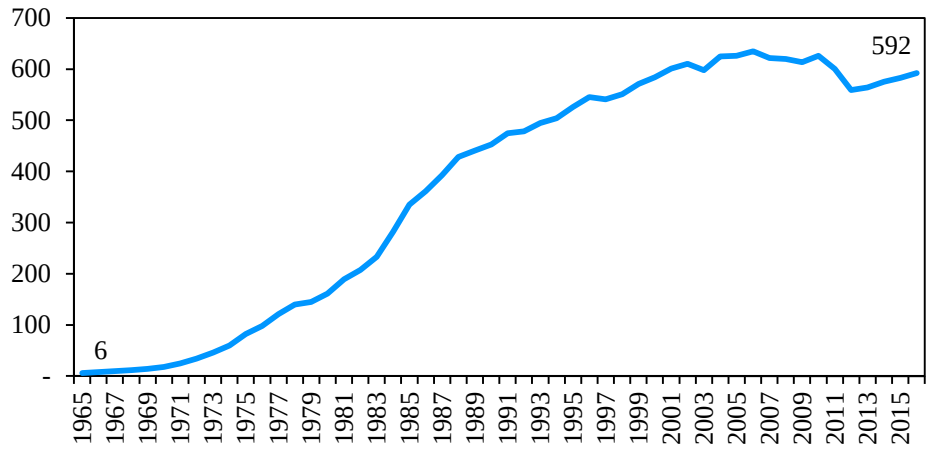
[6] James Chadwick: İngiliz asıllı fizikçi. Nötronun varlığını kanıtlayarak atom çekirdeğinin yapısının anlaşılmasına ilk ışık tutmuştur.

enerjinin teknik olarak güvenilir ve ekonomik olarak kullanılabilir bir enerji kaynağı durumuna dönüştürülmesi, görece ucuz elektrik üretiminin yaygınlaşmasını sağlamıştır. 1960 yılında SSCB, İngiltere, ABD ve Fransa'da toplam 17 adet nükleer enerji santrali çalışır durumda olduğu gibi, bunu takiben 1970'e kadar nükleerden elektrik enerjisi üreten ülke sayısı da yirmili rakamlara ulaşmıştır (TAEK, 2010:1).

1970'lerde özellikle petrol gibi fosil yakıtların arzında ve fiyatında yaşanan sorunlar, nükleer güç santrallerine olan talebi artırmış ve bu santrallerin kurulma sürecini birçok ülkede başlatmıştır. Sonraki on yılda dünya ekonomisindeki duraklama, nükleer enerji talebindeki büyümeyi kısıtlamıştır. Bunun yanı sıra ABD Three Mile Island (1979) ve Rusya Çernobil (1986) kazalarının etkisi ile nükleer tesislerin güvenliği hakkında ciddi endişeler oluşmuştur. Bütün bunlar 1990'larda nükleer enerjinin gelişim ivmesini olumsuz yönde etkilese de bazı ülkeler reaktör yapımına devam etmişlerdir. Böylece nükleer enerji üretimi, geçmiş yıllara göre sınırlı da olsa artış eğilimini sürdürmüştür (www.taek.gov.tr 28.09.2019).

Günümüzde nükleer teknolojinin barışçıl amaçlarla kullanımı giderek gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Özellikle bilimsel araştırmalardan sanayi alanına, tarımdan tıbbi faaliyetlere ve elektrik enerjisi üretiminden uzay çalışmalarına varıncaya kadar geniş bir spektrumda nükleer, önemli bir teknoloji haline gelmiştir. Bu bağlamda 2016 yılı dünya nükleer enerji tüketimi yaklaşık 592 milyar 100 milyon ton petrol eşdeğeri seviyelerine kadar ulaşmıştır. Bu tüketimin yüzde 73,6'sını ise ABD, Fransa, Çin, Rusya Federasyonu, Güney Kore ve Kanada'dan oluşan toplam altı ülke gerçekleştirmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 45. 1965-2016 Dönemi Dünya Nükleer Enerji Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Son dönemlerde nükleer enerjide en önemli kırılma 2011 yılından sonra ortaya çıkmıştır. 11 Mart 2011 yılında Japonya'da meydana gelen 8,9 şiddetindeki deprem sonucu oluşan tsunami felaketi, Fukuşima Nükleer Santrali'nin 6 reaktörden 4'ünde ağır hasarlara yol açmıştır. Reaktörlerin üçünde çekirdek erimesi meydana gelirken; bir atık havuzunda da yangın çıkmıştır (Acton ve Hibbs, 2012: 4). Kaza ile birlikte yeniden hız kazanan nükleer enerji tartışmaları üzerine, bazı Avrupa ülkeleri teknik ömürleri tamamlanan nükleer santralleri aşamalı olarak kapatma yönünde kararlar almışlardır (Yalgın, 2012). Ayrıca Portekiz, İrlanda, Lüksemburg, Danimarka, Yunanistan, İspanya, Finlandiya, Belçika, İsviçre, Hollanda, İngiltere, İskoçya ve Yeni Zelanda gibi ülkeler, kamuoyunun da baskısıyla nükleer enerji yatırımlarından tamamen vazgeçtiklerini açıklamışlardır (Ekşi, 2014: 1789-1790). Nitekim 2010 yılında toplam 625 milyar 900 milyon ton eşdeğer petrol olan nükleer enerji tüketimi, yüzde 12 oranında bir azalma kaydederek 2012 yılında 559 milyar 200 milyon ton eşdeğer petrol düzeyine gerilemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Her ne kadar son zamanlarda nükleer teknoloji konusundaki olumsuz görüşler yeniden güç kazansa da; yakıt maliyetlerinin düşüklüğü, enerjide dışa olan bağımlılığı azaltması ve temiz bir yakıt olması nedeniyle yakın gelecekte nükleerin tekrar önem kazanacağına dair olumlu görüşler de bulunmaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu kayıtlarına göre; 2017 yılı itibariyle dünyada 449 adet ticari nükleer enerji reaktörü 30 ülkede faaliyet göstermektedir. Aktif nükleer santral sayısı en fazla

olan ülkeler sırasıyla; ABD (99 adet), Fransa (58 adet), Japonya (42 adet), Çin (38 adet), Rusya Federasyonu (37 adet), Güney Kore (24 adet), Hindistan (22 adet), Kanada (19 adet), Ukrayna (15 adet), İngiltere (15 adet) ve İsveç (10 adet) şeklinde sıralanmaktadır (World Nuclear Association, The Nuclear Fuel Report 2017).

Tablo 4. Dünya Genelinde Nükleer Santrallerin Bulunduğu Ülkeler (2017)

Ülkeler	Nükleer Enerji ile Elektrik Üretimi		Kullanılmakta Olan Nükleer Reaktörler		İnşaat Halindeki Nükleer Reaktör		Planlanan Nükleer Reaktör	
	TWh	%	Sayı	MW (net)	Sayı	MW	Sayı	MW
Arjantin	7.7	5.6	3	1627	1	27	2	1950
Ermenistan	2.2	31.4	1	376	0	0	1	1060
Bangladeş	0	0	0	0	1	1200	1	1200
Beyaz Rusya	0	0	0	0	2	2388	0	0
Belçika	41.3	51.7	7	5943	0	0	0	0
Brezilya	15.9	2.9	2	1896	1	1405	0	0
Bulgaristan	15.8	35.0	2	1926	0	0	0	0
Kanada	97.4	15.6	19	13,553	0	0	2	1500
Çin	210.5	3.6	38	34,647	20	21,546	39	46,100
Çek Cum.	22.7	29.4	6	3904	0	0	2	2400
Mısır	0	0	0	0	0	0	2	2400
Finlandiya	22.3	33.7	4	2764	1	1720	1	1250
Fransa	384.0	72.3	58	63,130	1	1750	0	0
Almanya	80.1	13.1	7	9444	0	0	0	0
Macaristan	15.2	51.3	4	1889	0	0	2	2400
Hindistan	35.0	3.4	22	6219	6	4350	19	17,250
Endonezya	0	0	0	0	0	0	1	30
İran	5.9	2.1	1	915	0	0	4	2200
Japonya	17.5	2.2	42	39,952	2	2756	9	12947
Ürdün	0	0	0	0	0	0	2	2000
Güney Kore	154.2	30.3	24	22,505	4	5600	1	1400
Meksika	10.3	6.2	2	1600	0	0	0	0
Hollanda	3.8	3.4	1	485	0	0	0	0
Pakistan	5.1	4.4	5	1355	2	2322	1	1170
Polonya	0	0	0	0	0	0	6	6000
Romanya	10.4	17.1	2	1310	0	0	2	1440
Rusya	179.7	17.1	37	28,961	5	3634	26	28,390
Slovakya	13.7	54.1	4	1816	2	942	0	0
Slovenya	5.4	35.2	1	696	0	0	0	0
G. Afrika	15.2	6.6	2	1830	0	0	0	0
İspanya	56.1	21.4	7	7121	0	0	0	0
İsveç	60.6	40.0	8	8376	0	0	0	0
İsviçre	20.3	34.3	5	3333	0	0	0	0
Türkiye	0	0	0	0	1	1200	3	3600
Ukrayna	81.0	52.3	15	13,107	0	0	2	1900
BAE	0	0	0	0	4	5600	0	0
İngiltere	65.1	20.4	15	8883	0	0	11	15,600
Amerika	805.3	19.7	99	99,647	2	2500	14	3100
Vietnam	0	0	0	0	0	0	4	4800
Dünya	2,490	10,6	449	394,137	57	61,640	157	162,087

Kaynak: World Nuclear Association, The Nuclear Fuel Report 2017 verileri kullanılmıştır.

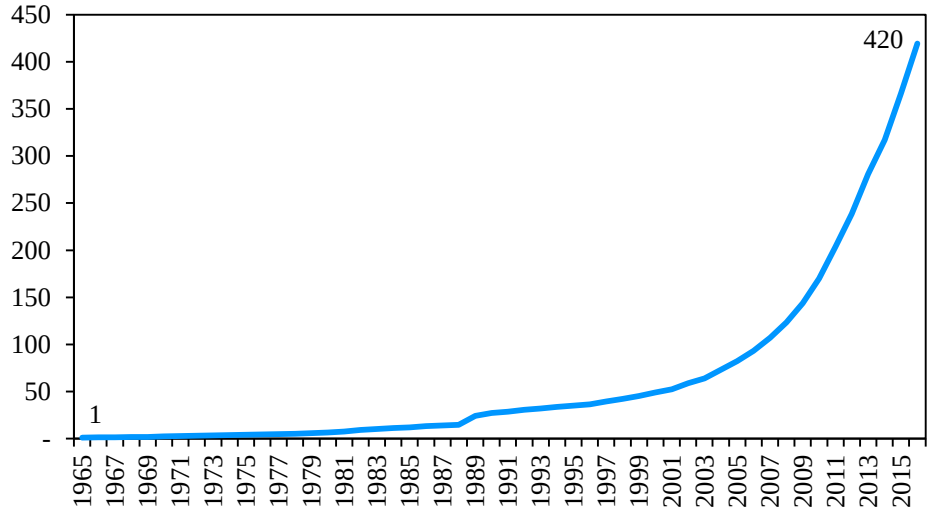
2.1.5. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Yenilenebilir enerji; doğanın kendi döngüsel süreçleri içerisinde oluştuğu için süreklilik arz eden temiz enerjiyi ifade etmektedir (www.arena.gov.au 07.05.2018). Eski çağlardan günümüze kadar su ısıtma, tahılları öğütme, gıda ürünlerini kurutma ve yelkenli gemiler başta olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları, 19. yüzyılda dinamonun icadıyla birlikte elektrik üretiminde de kullanılmaya başlanmıştır. Ancak buharlı makinelerin üretim sürecine dahil olmasının ardından gerçekleşen Sanayi Devrimi, Avrupa ve Amerika'da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Kömür ve petrol egemenliğine dayalı enerji çağı, 1970'li yıllara kadar sorunsuz bir şekilde devam etmiş olmasına rağmen; yaşanan petrol şokları ve dengesiz rezerv dağılımı gibi sorunlar enerji kaynakları konusunda bir güvensizlik ortamına neden olmuştur. Böylece ülkeler, enerji maliyetlerini düşürme, enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve alternatif enerji kaynaklarına yönelme noktasında önemli adımlar atmışlardır (Altuntaşoğlu, 2005: 250). Bu bağlamda ilk aşamada enerji tasarrufunun sağlanması ve enerji yoğunluğunun düşürülmesine yönelik politikalar ön plana çıkmıştır. Enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla aynı zamanda fosil yakıtlara kıyasla çevreye de daha az zarar veren su, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmış ve yaygınlaşmıştır (Şen, 2002: 16). Nitekim özellikle 1990'lı yıllarda artan çevre bilinci ile birlikte yenilenebilir enerji alanındaki çalışmalar ivme kazanmıştır. 2000'li yıllarda ise teknolojik ilerlemeler, finansal gelişmeler ve yeni pazar imkanları, yenilenebilir enerji kaynaklarını fosil yakıtlar açısından önemli bir rakip haline getirmiştir (Ren21, 2014: 5-6).

Yenilenebilir enerji, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını kendi kaynaklarıyla karşılayarak dışa bağımlılığın azaltılmasına, kaynakları çeşitlendirerek sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanmasına ve enerji tüketimi neticesinde çevreye verilen zararların en aza indirilmesine imkan tanımaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017: 7). Günümüzde fosil yakıtlara olan bağımlılık oldukça yüksek düzeyde olmasına rağmen, yıllar itibarıyla yenilenebilir enerjinin kullanım oranlarının giderek arttığı görülmektedir (Grafik 46). Bu bağlamda 1965 yılında 1 milyon 100 bin ton eşdeğer

petrol olan dünya yenilenebilir enerji tüketimi, 2016'da 419 milyon 600 bin ton eşdeğer petrol seviyesine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy, 2017).

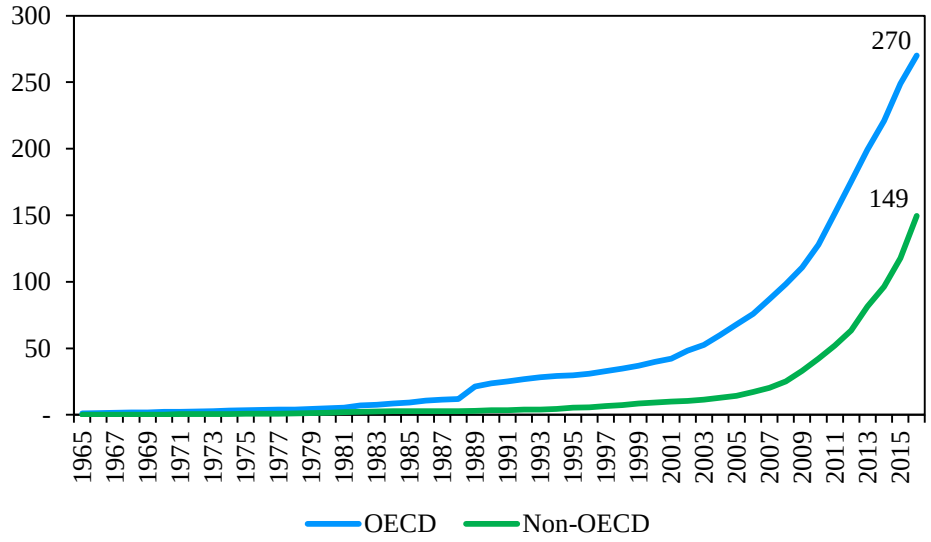
Grafik 46. 1965-2016 Dönemi Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 46'da görüldüğü üzere özellikle 1990'lı yıllarda artan yenilenebilir enerji tüketimi, 2000'li yıllarda belirgin şekilde hızlanma kaydetmiştir. Ülke gruplarına göre yenilenebilir enerji tüketiminin izlediği eğilim bakımından ise OECD ülkeleri ile diğer ülkeler arasında büyük bir benzerlik görülmektedir (Grafik 47). Ancak ülkelerin teknolojik üretim yapıları, bu alana ayırdığı kaynakların büyüklüğü ile çevresel standartlar bakımından taşıdığı farklılıklar, OECD ülkelerinde daha fazla yenilenebilir enerji tüketimini beraberinde getirmektedir.

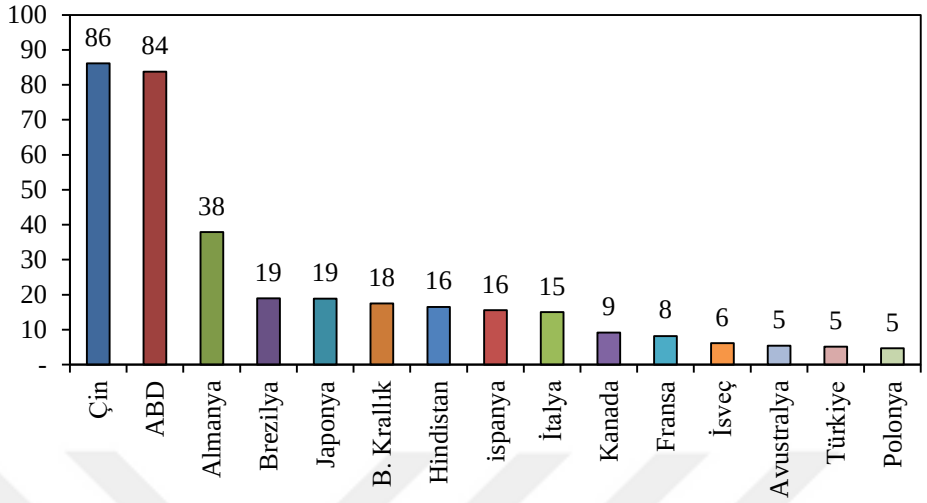
Grafik 47. 1965-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 48, 2016 yılı itibariyle dünya yenilenebilir enerji tüketimi bakımından ilk 15 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 86 milyon ton petrol eşdeğeri ile Çin ve 84 milyon ton petrol eşdeğeri ile ABD dünya toplam yenilenebilir enerji tüketiminin yaklaşık yüzde 40,5'ini birlikte gerçekleştirmektedir. Diğer taraftan yüzde 9 ile Almanya 3., yüzde 4,5 ile Brezilya 4., yüzde 4,4 ile Japonya 5., yüzde 4,1 ile Birleşik Krallık 6., yüzde 3,9 ile Hindistan 7., yüzde 3,7 ile İspanya 8., yüzde 3,5 ile İtalya 9. ve yüzde 2,1 ile Kanada da 10. sırada konumlanmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2017).

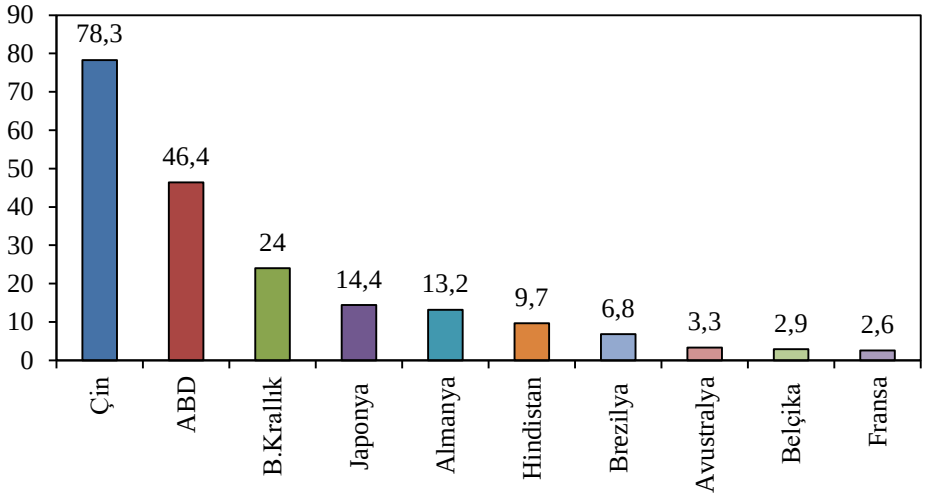
Grafik 48. 2016 Yılı Dünya Yenilenebilir Enerji Tüketiminde İlk 15 Ülke (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 49, 2016 yılı itibariyle yenilenebilir enerji yatırımları bakımından ilk 10 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 78,3 milyar dolar ile Çin'in bu yatırımlarda lider konumda yer aldığı görülmektedir. Çin'i sırasıyla; ABD (46,4 milyar), Birleşik Krallık (24 milyar), Japonya (14,4 milyar), Almanya (13,2 milyar) Hindistan (9,7 milyar), Brezilya (6,8 milyar), Avustralya (3,3 milyar), Belçika (2,9 milyar) ve Fransa (2,6 milyar) gibi ülkeler takip etmektedir (United Nations Environment, 2017: 22-23).

Grafik 49. 2016 Yılı Dünya Yenilenebilir Enerji Yatırımında İlk 10 Ülke (milyar dolar)



Kaynak: UN Environment, Bloomberg New Energy Finance 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

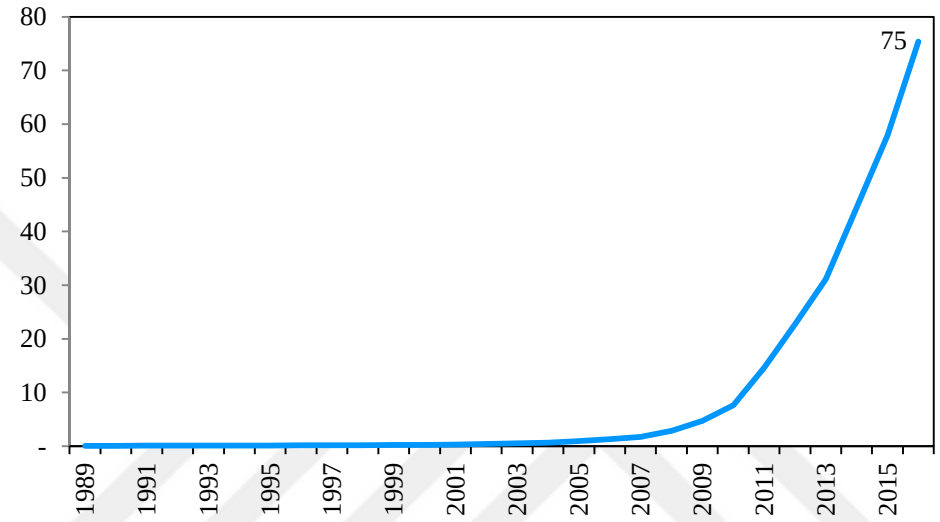
Güneş Enerjisi Tüketimi: Güneş, belli sınırlar içerisinde kendini sürekli yenileyebilen bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra; son yıllarda fosil yakıtlardan oluşan çevresel etkilerin azaltılmasında da kullanılan temiz ve yenilenebilir nitelikteki alternatif enerji kaynağıdır. Güneşin ışınım enerjisinden yararlanmak amacıyla yapılan çalışmalar oldukça eski tarihlere dayanmaktadır. Milattan önce başlayan bu çalışmalar, zamanın teknolojisi ve bilgi birikimi ile harmanlanarak günümüze kadar sürmüştür. 17. yüzyılda Galileo'nun Avrupa'da yüzyıllardır kullanılan mercekleri geliştirmesi sonucu güneş ile ilgili araştırmalar yapmak kolaylaşmış ve dolayısıyla güneşin bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının önü açılmıştır (Akova, 2008: 34). Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik akımının üretilmesi ise 1839 yılında Fransız fizikçi Becquerel'in platin tabakalar üzerinde yaptığı bilimsel çalışmalara dayanmaktadır. Fotovoltaik etkilerin saptandığı bu çalışmalar sonrasında önemli teknolojik ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak fosil yakıtların kullanımı ve taşınmasında yaşanan devrimsel nitelikteki gelişmelerden ötürü kömür ve petrolün artan önemi, güneş enerjisine yönelik çalışmaların hızını zayıflatmıştır (Önal, 2010: 14).

1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizleri, insanları tekrar yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalara sevk etmiştir. Bu çalışmalar, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha düşük maliyetli olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır. Böylece ilk aşamada başta sıcak su üretimi olmak üzere çeşitli ısıtma işlemlerinde güneş ısıl toplayıcılarının gerek miktarı gerekse verimliliği yükselmiştir. İkinci aşamada ise fosil yakıt tüketiminin tetiklediği küresel ısınma sorununa karşı güneşten elektrik üretimine yönelik faaliyetler hız kazanmıştır. Bu kapsamda ilk endüstriyel uygulamalar, 1984 yılında ABD'de ve 1990 yılında ise Ürdün'de gerçekleştirilmiştir (Kapluhan, 2014: 74).

2000'li yılların başında güneş enerjisine ilişkin çalışmalar ve yatırımlar artarak devam etmiştir. Özellikle fotovoltaik teknolojisinde yaşanan ilerlemeler, güneş panellerinde maliyetlerin düşürülmesi ve verimliliğin de yükseltilmesi ile birlikte güneşten elektrik üretimi, farklı gelişmişlik düzeyindeki ülkelerde yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Bazı ülkeler güneş ışınları potansiyeli ile öne çıkarken; bazı

ülkeler de sahip oldukları teknolojik altyapı ile ön plana çıkmışladır. Nitekim 2002 yılında yaklaşık 3 bin ton petrol eşdeğerinde olan dünya güneş enerjisi tüketimi, 2016'da 75 milyon 4 bin ton petrol eşdeğer seviyesine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy, 2017).

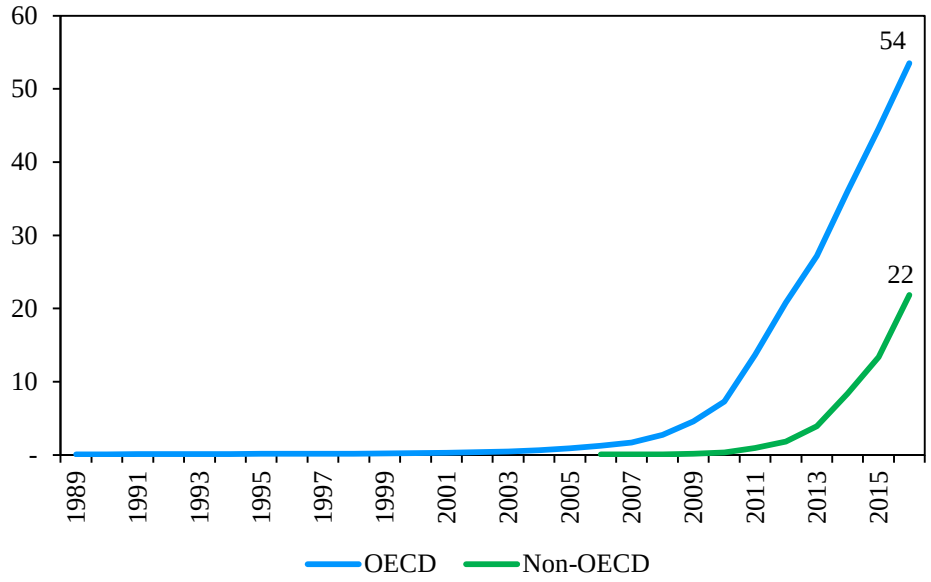
Grafik 50. 1989-2016 Dönemi Dünya Güneş Enerjisi Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 51, ülke gruplarına göre güneş enerjisi tüketimini 1989-2016 dönemi itibariyle göstermektedir. OECD ülkeleri özellikle 2000'li yıllardan itibaren, karbondioksit emisyonlarını azaltmak ve çevre kirliliğini önlemek amacıyla enerji arz güvenliğini alternatif enerji kaynaklarını daha fazla harekete geçirerek sağlamak istemektedirler. Diğer taraftan son yıllarda hızlı ve güçlü bir büyüme performansı sergileyen OECD üyesi olmayan ülkelerin de bu alandaki yatırımlarını artırdığı dikkat çekmektedir. Nitekim söz konusu ülkelerde yüksek teknoloji ve maliyet gerektiren yenilenebilir enerji projeleri giderek avantajlı hale gelmektedir (BP Statistical Review of World Energy 2017). Nitekim OECD üyesi olmayan ülkelerde de güneş enerjisi tüketimi, OECD ülkeleri ile benzer bir gelişim eğilimi sergilemektedir.

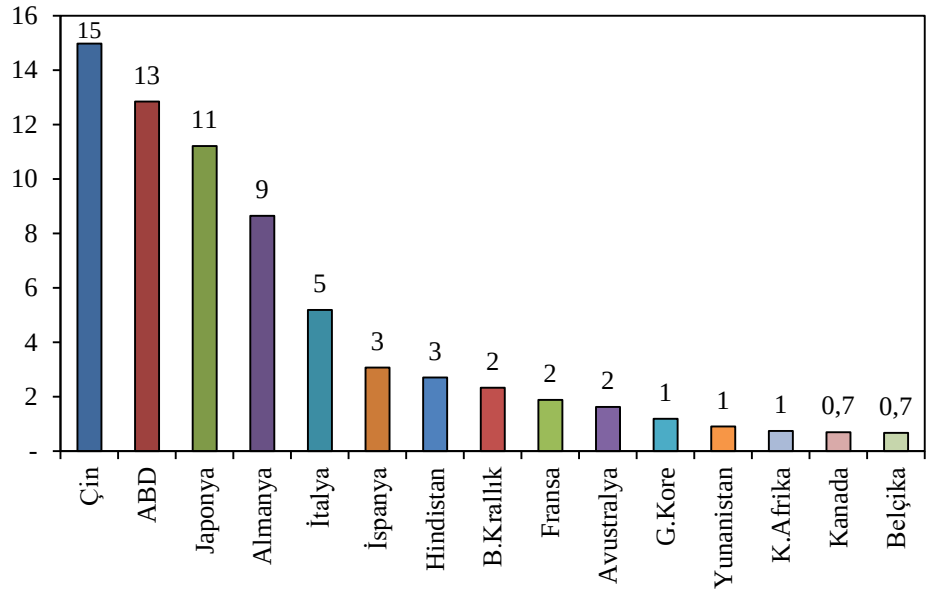
Grafik 51. 1989-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Güneş Enerjisi Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 52, 2016 yılı itibariyle güneş enerjisi tüketimi bakımından ilk 15 ülkeyi göstermektedir. Buna göre; 15 milyon ton petrol eşdeğeri ile dünya güneş enerjisi tüketiminin yaklaşık yüzde 19,8'ini Çin tek başına gerçekleştirirken; 13 milyon ton petrol eşdeğeri ile ABD (yüzde 17) ikinci, 11 milyon ton petrol eşdeğeri ile Japonya (yüzde 14,8) üçüncü, 9 milyon ton petrol eşdeğeri ile Almanya (yüzde 11,4) dördüncü ve 5 milyon ton petrol eşdeğeri ile İtalya (yüzde 6,8) beşinci sırada konumlanmıştır. Bu ülkeleri de sırasıyla İspanya (3 milyon), Hindistan (3 milyon), B. Krallık (2 milyon), Fransa (2 milyon) ve Avustralya (2 milyon) izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 52. 2016 Yılı Dünya Güneş Enerjisi Tüketiminde İlk 15 Ülke (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

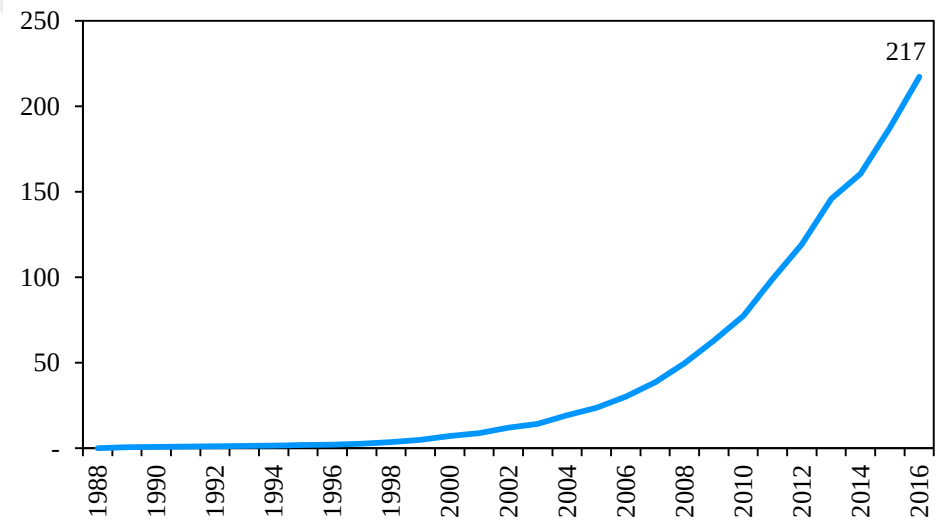
Rüzgar Enerjisi Tüketimi: Rüzgar enerjisi, yenilenebilir özelliğe sahip olan ve çevre bakımından da temiz bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Tarih boyunca rüzgar gücünden çok çeşitli şekillerde faydalanılmıştır. Bu konudaki ilk uygulamaların, yelkenlerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması ile M.Ö. 2000 yıllarında başladığı tahmin edilmektedir. Buharlı gemilerin icadına kadar yelkenliler, kıtalararası ulaşım ve ticarette en önemli rolü oynamışlardır (Doğanay, 1991: 189).

Yel değirmenleri prensiplerine göre çalışan ilk modern rüzgar türbinini, 1891 yılında Danimarkalı bir mühendis tasarlamıştır. İlk alternatif akım ile çalışan modern rüzgar türbini ise 1942 yılında ABD'de, ardından 5 yıl sonra da Danimarka'da inşa edilmiştir. Bu tarihten sonra rüzgar gücünün bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına yönelik atılan adımlar önemli ölçüde artış kaydetmiştir. Ancak 1965'lerde petrol fiyatlarının düşmesi sonucu rüzgar türbinlerinin birim yatırım maliyeti, fosil yakıt esaslı teknolojilere göre daha yüksek düzeylere çıktığı için, bu teknoloji hedeflenen noktalara gelememiştir. 1970'lerdeki petrol krizleri, güneş enerjisinde olduğu gibi rüzgar enerjisinde de çalışmaların yeniden hız kazanmasına yol açmış ve günümüzde

rüzgar türbinleri çevre ve enerji güvenliği açısından çağdaş mühendislik ürünleri haline gelmiştir (Sevim, 2015: 219).

Enerji talebinin karşılanmasında yenilebilir kaynakların ön plana çıkmaya başlaması sonucu önemli boyutlara ulaşan türbinler, daha büyük güçler üreten makineler haline gelmiştir. Bu tür teknolojik ilerlemelere bağlı olarak 2000 yılında 7 milyon 100 bin ton eşdeğer petrol olan dünya rüzgar enerjisi tüketimi, 2016'da 217 milyon 100 bin ton eşdeğer petrol seviyesine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy, 2017).

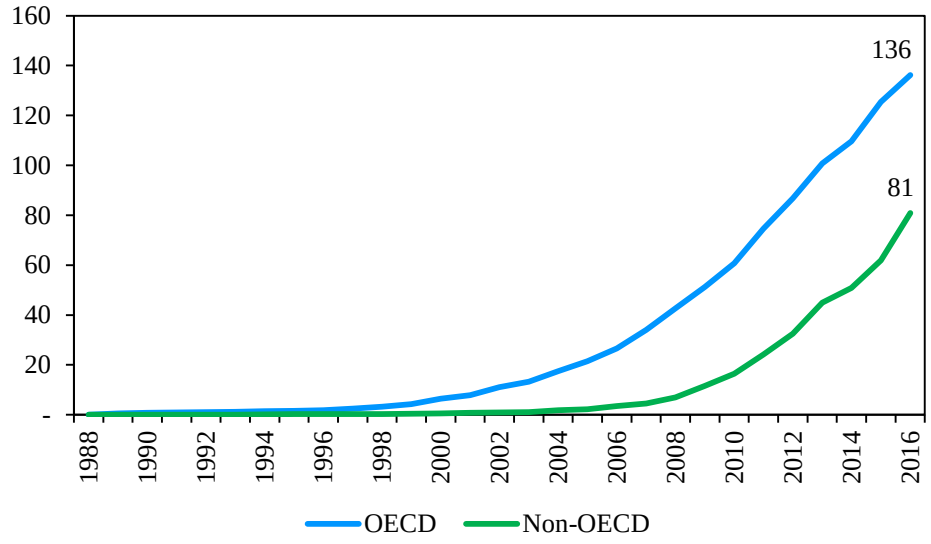
Grafik 53. 1988-2016 Dönemi Dünya Rüzgar Enerjisi Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 54, 1988-2016 dönemi itibariyle ülke gruplarına göre rüzgar enerjisi tüketimini göstermektedir. Buna göre; 1990 yılında 800 bin ton eşdeğer petrol olan OECD ülkeleri rüzgar enerjisi tüketimi, sürekli artış eğilimi kaydederek 2016 yılında 136 milyon 200 bin ton eşdeğer petrole çıkmıştır. 2000'li yılların ortasına kadar önemli bir değişikliğin gözlenmediği OECD üyesi olmayan ülkelerde ise rüzgar enerjisi tüketimi, 2005 yılında 2 milyon 200 bin ton eşdeğer petrol iken; 2016 yılında 80 milyon 900 bin ton eşdeğer petrol düzeyine yükselmiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

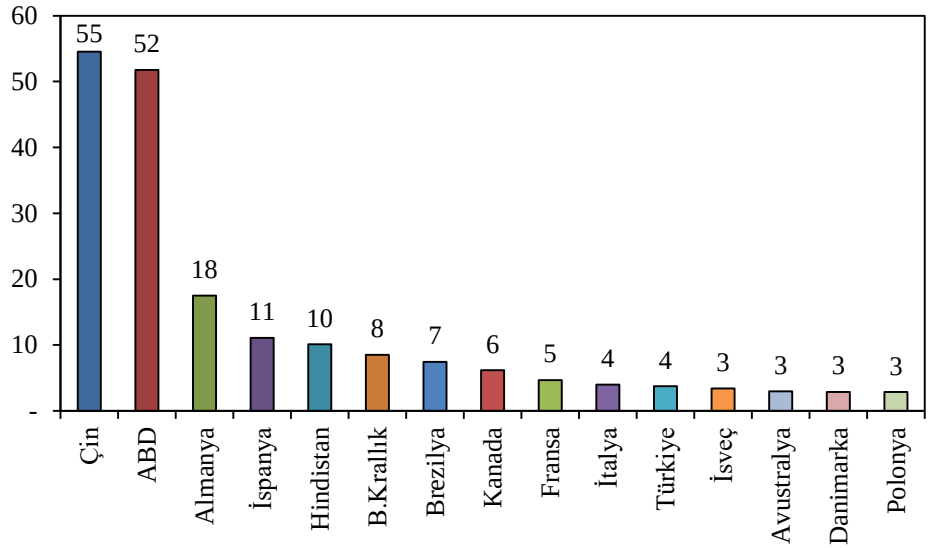
Grafik 54. 1988-2016 Dönemi Ülke Gruplarına Göre Dünya Rüzgar Enerjisi Tüketimi (mtep)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

2016 yılı sonu itibariyle dünya rüzgar enerjisi tüketiminin ülkelere göre sıralamasında; Çin, ABD, Almanya, İspanya, Hindistan ve Birleşik Krallık gibi ülkelerin ilk sıraları paylaştığı görülmektedir. Aynı yıl yaklaşık 55 milyon ton eşdeğer petrol tüketimi ile Çin, dünya tüketiminin yaklaşık yüzde 25,1'ini ve 52 milyon ton eşdeğer petrol ile ABD de yüzde 23,8'ini yapmıştır. Dolayısıyla sadece bu iki ülke dünya toplam rüzgar enerjisi tüketiminin neredeyse yarısını (yüzde 48,9) gerçekleştirmiştir. Bu ülkeleri 18 milyon ton eşdeğer petrol ile Almanya, 11 milyon ton eşdeğer petrol ile İspanya, 10 milyon ton eşdeğer petrol ile Hindistan ve 8 milyon ton eşdeğer petrol ile Birleşik Krallık izlemiştir (BP Statistical Review of World Energy 2017).

Grafik 55. 2016 Yılı Dünya Rüzgar Enerjisi Tüketiminde İlk 15 Ülke (milyon ton eşdeğer petrol)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE'NİN ENERJİ POLİTİKALARI

3.1. Türkiye'nin Enerji Görünümü

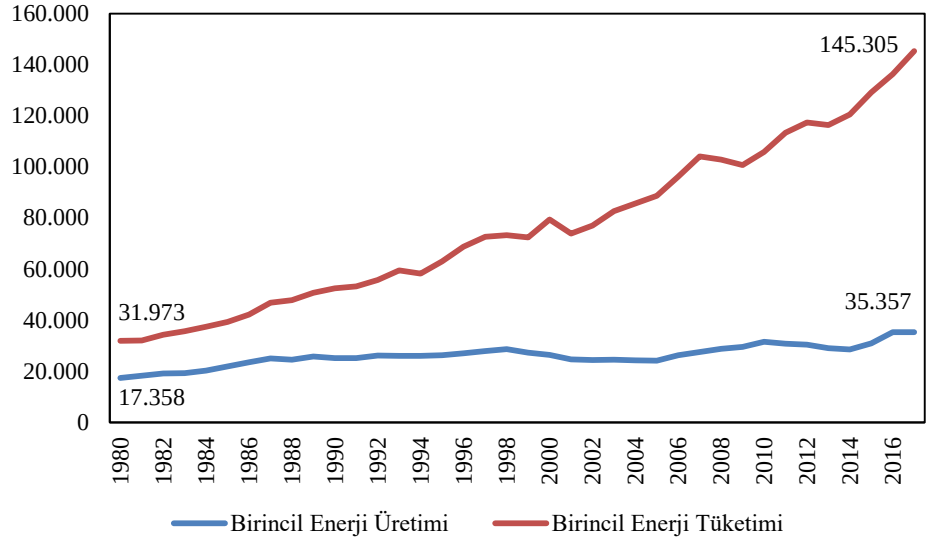
Yapısal değişim ve dönüşüm açısından 24 Ocak Kararları Türkiye ekonomisi için önemli bir konuma sahiptir. Bu kararlar ile birlikte ihracata dayalı birikim modeline geçiş yapılarak, piyasalara devlet müdahalesinin en aza indirilmesi ve serbest pazar ekonomisinin güçlendirilmesi yönünde adımlar atılmıştır (Kazgan, 2005: 196). Söz konusu adımlara bağlı olarak 1980-1993 döneminde gerçekleşen temel ekonomik gelişmeler şu şekilde sıralanabilir (Tecer, 2003: 84-85):

- Sübvansiyonlar ve devalüasyonun da etkisiyle ihracat hacmi belirgin şekilde artış göstermiştir.
- Ödemeler bilançosunun görünmeyen işlemler hesabındaki turizm gelirleri, tek yanlı transferler, dış taşımacılık ve müteahhitlik hizmetleri gibi kalemlere ait gelirler yükselmiştir.
- İhracatın kompozisyonu sanayi ürünleri lehine değişim göstermiştir.
- Faiz oranı ve döviz kuruna ilişkin rasyonel politikalar hayata geçirilmiştir. Gelişmiş bir sermaye piyasasının oluşturulması yönünde yapılan düzenlemeler sayesinde menkul kıymet işlemleri yoğunluk kazanmıştır.
- Küresel ekonomik sisteme büyük ölçüde entegre olunmuştur. Bu durum yabancı sermaye girişlerini olumlu yönde etkilemiştir.
- Sektörel gelişmeler ve gelir artışı ile birlikte altyapı ve konut yatırımları artış kaydetmiştir.

Ekonomik ve toplumsal göstergelerde genel olarak ortaya çıkan ilerlemeler sonucu bu dönemde ülkenin birincil enerji tüketimi yüzde 86 oranında artarak 31 milyon 973 bin ton eşdeğer petrolden 59 milyon 471 bin ton eşdeğer petrol seviyesine yükselmiştir. Ancak Türkiye, özellikle fosil yakıtlar bakımından sınırlı rezervlere sahip olduğu için birincil enerji üretimi yaklaşık yüzde 50 oranında artış

göstererek 17 milyon 358 bin ton eşdeğer petrolden 26 milyon 90 bin tona çıkabilmiştir. Grafik 56'da görüldüğü üzere bu durum, enerji üretimi ile enerji tüketimi arasındaki farkın da açılmasına yol açmıştır.

Grafik 56. 1980-2017 Dönemi Türkiye'nin Birincil Enerji Üretimi ve Tüketimi (bin ton eşdeğer petrol)



Kaynak: www.eigm.gov.tr 05.02.2020

24 Ocak Kararları ile devletin ekonomik faaliyetler içerisindeki etkinliği azaltılmak istenmesine rağmen; bütçe açığının önemini koruması, olağan kamu gelirlerinin ise bu açığı kapatamamasından ötürü yüksek faiz ile içeriden ve dışarıdan borçlanmak zorunda kalınması, ancak biriken borçların da sürdürülemez hale gelmesi, ülkeyi 1994 yılında bir kriz ortamına götürmüştür (Alpago, 2002: 120). Ayrıca yüksek faiz uygulaması bir taraftan sermaye girişlerini özendirirken; diğer taraftan da üretken yatırımları olumsuz yönde etkilemiştir. Borçlanma maliyetlerini düşürmeye yönelik uygulamalar ise bir anda hızlı bir sermaye çıkışı ile sonuçlanarak ülkedeki döviz rezervlerini yok edecek bir şok yaratmıştır (Ekzen, 2009: 120). Böylece 1993 yılında yaklaşık yüzde 7,9 oranında büyüme kaydeden Türkiye ekonomisi 1994 yılında yüzde 6,1 oranında küçülmüştür. Birincil enerji tüketiminde bir kırılmaya yol açan bu durum, ekonomideki toparlanma süreci ile birlikte tekrar belli ölçüde düzelme eğilimine girmiştir.

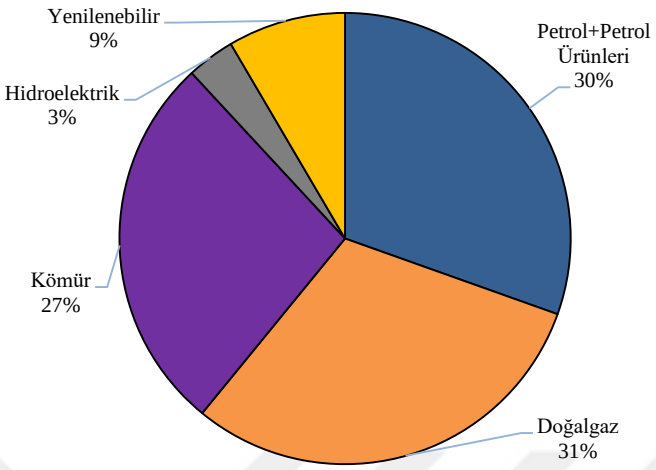
Temel makroekonomik göstergelerde ortaya çıkan iyileşmeler ile birlikte 1990'lı yılların sonuna kadar enerji tüketimi artış eğilimini sürdürmüştür. Ancak

yapısal sorunların tam olarak çözülememesinden dolayı iç ve ve dış dengelerin kırılganlığını da sürekli olarak beslenmiştir. Bu sorunlara, düzenleme ve denetlemeden kaynaklanan finansal sektördeki problemler de eklenince Türkiye ekonomisi 1990'lı yılların sonlarında ve 2000'li yılların başlarında peş peşe krizler yaşamıştır. Söz konusu krizler, enerji tüketiminde de keskin değişimleri beraberinde getirmiştir. Ancak yönetsel istikrarın yakalanması, maliye ve para politikaları arasında belli bir uyumun sağlanması, yapısal sorunların çözümüne yönelik adımların atılması ve olumlu dış konjonktürün de etkisiyle Küresel Kriz sürecine kadar kesintisiz bir büyüme performansı yakalanmıştır (Özcan, 2019: 29-30). Üretim ve gelir artışı ile birlikte enerji tüketimi de sürekli olarak yükselmiştir. Nitekim 2001-2007 döneminde birincil enerji tüketimi yaklaşık yüzde 41 oranında artarak 73 milyon 850 bin ton eşdeğer petrolden 104 milyon 67 bin ton eşdeğer petrole çıkmıştır. Ancak krizin olumsuz etkilerinden ötürü birincil enerji tüketimi 2009 yılında 100 milyon 739 bin ton eşdeğer petrol seviyelerine gerilemiştir.

Eylül 2008 döneminde ABD'de başlayan ve kısa süre içerisinde diğer ülkelere yayılan Küresel Kriz; resesyon, işsizlik, sabit yatırımlarda azalma ve finansal sektör düzensizliklerini içeren çeşitli yıkıcı etkiler ortaya çıkarmıştır. Dünya genelinde toplam talebin zayıflaması, aynı zamanda ülkelerin ihracat gelirlerine de olumsuz şekilde yansımıştır (Demir, 2013: 120). Bu durum Türkiye ekonomisinin 2009 yılında yüzde 4,8 oranında küçülmesine neden olmuş, böylece birincil enerji tüketimi 2007-2009 döneminde yaklaşık yüzde 3,2 oranında düşerek 100 milyon 739 bin ton eşdeğer petrole gerilemiştir. Ancak krizden sonra genişletici para ve maliye politikalarının etkisiyle gerek dünya genelinde gerekse Türkiye'de toparlanma sürecine girilerek enerji tüketimi yeniden artış eğilimine geçmiştir.

Grafik 57'de görüldüğü üzere 2017 yılı itibariyle Türkiye'de en fazla tüketilen enerji kaynağı doğalgaz iken; bu kaynağı sırasıyla petrol-petrol ürünleri, kömür, yenilenebilir ve hidroelektrik takip etmektedir. Fosil yakıtların toplam enerji tüketimi içerisindeki payı ise yüzde 88 düzeylerindedir. Ancak Türkiye bu kaynakların önemli bir bölümünü ithal etmek zorundadır.

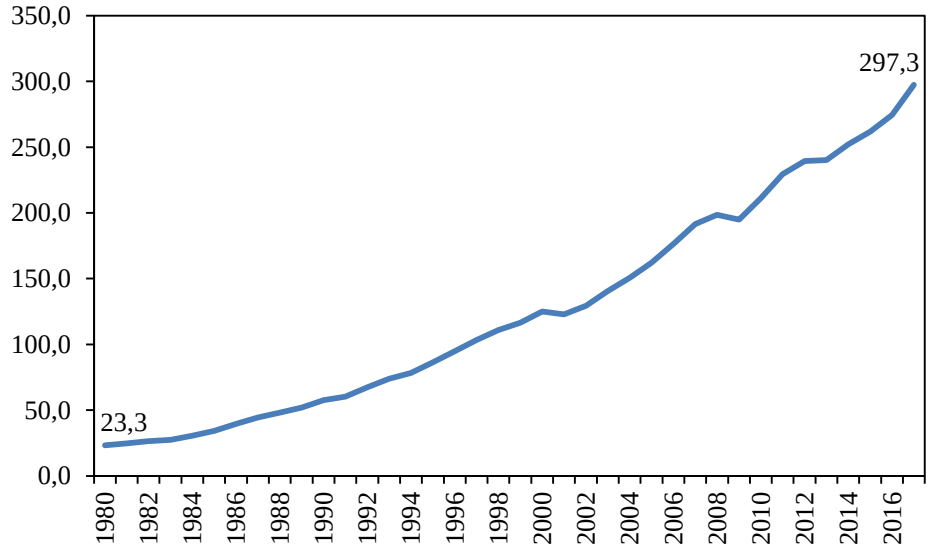
Grafik 57. Kaynaklarına Göre Türkiye'de Birincil Enerji Tüketimi (2017, %)



Kaynak: www.eigm.gov.tr 05.02.2020

Türkiye; artan gelir, sanayileşme, kentleşme ve nüfus gibi temel faktörlere bağlı olarak daralma süreçleri hariç enerji ve elektrik tüketimi sürekli artış kaydeden ülkelerden biri konumundadır. Nitekim 1980-2017 döneminde ülkenin elektrik tüketimi 23,3 TWh'den 297,3 TWh seviyesine yükselmiştir.

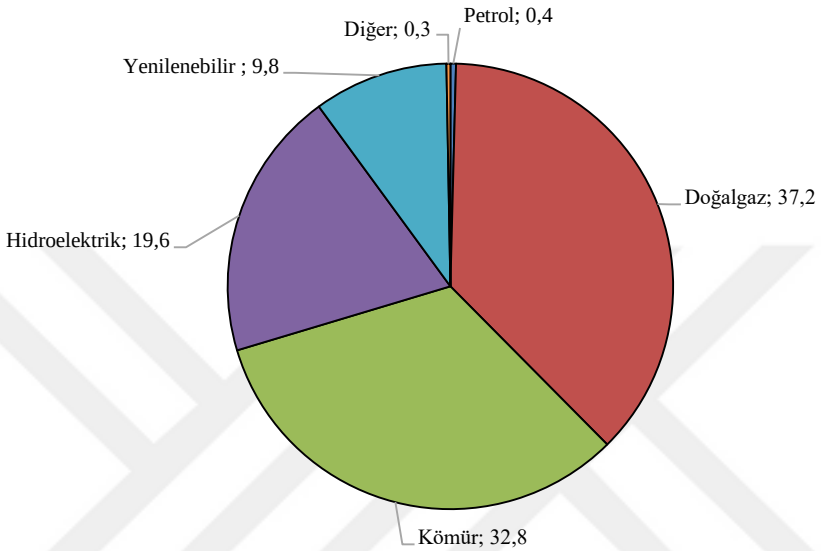
Grafik 58. 1980-2017 Dönemi Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimi (TWh)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Türkiye'de artan talebi karşılamak üzere elektrik üretiminde ilk sırayı yüzde 37 pay ile doğalgaz alırken; bu kaynağı yüzde 33 pay ile kömür, yüzde 20 pay ile hidroelektrik, yüzde 10 pay ile yenilenebilir enerji kaynakları takip etmektedir.

Grafik 59. Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimi (2017, %)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

3.1.1. Kömür Rezervleri, Üretimi ve Tüketimi

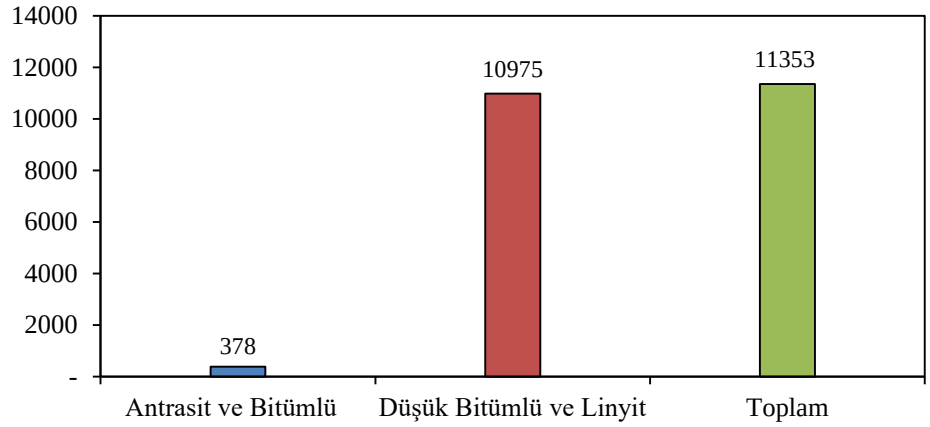
Türkiye'de kömür işletmeciliği, özellikle gelişmiş bazı Batı ülkelerine göre oldukça geç başlamış olmasına rağmen; 19. yüzyılın ilk yarısında kömür madenlerinin keşfedilmesi ile birlikte bu alandaki çalışmalar yavaş yavaş hız kazanmıştır (Yıldırım ve Öğreten, 2009: 325). Isınma ve buharlı makinelerin harekete geçirilmesi bakımından önemli bir fonksiyon üstelenen kömür, ilk kez 1829 yılında Zonguldak havzasında bulunmuş, ancak teknoloji ve sermaye yetersizliği gibi faktörlerden dolayı o dönemde buradaki potansiyel tam olarak harekete geçirilememiştir (Öğreten, 2006: 152). Gerek hane halkı kullanımı gerekse sınai üretim açısından kömürün taşıdığı üstünlüklerden ötürü bu madenin üretimi zorunlu hale gelince İngilizler ile anlaşılarak Zonguldak bölgesinde modern tesisler kurulmuştur. Yabancı sermayeli işletmelerin bölgeye girmesinin ardından 1880'de

kömür üretimi yaklaşık 60 bin tondan 900 bin tona kadar yükselmiştir (Yorulmaz, 1998: 284).

Osmanlı İmparatorluğu'nun son dönemlerinde yabancı ve azınlık sermayeli maden işletmeleri ağırlıklı bir paya sahip iken; Cumhuriyet'in kurulmasından sonra hükümet, bu sektörde yerli sermaye ile kalkınmayı sağlayacak düzenlemeleri hayata geçirmiştir. Nitekim 1927 yılında; Amasya-Çeltek, Yozgat-Yerköy, Kütahya-Tunçbilek ve Aydın-Nazilli ocakları çalıştırılmaya başlanmış, 1935'te ise Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) kurulmuştur. Programlı ve bilimsel bir şekilde yer altı kaynaklarını araştıran MTA, günümüzde de çalışmalarını aktif olarak sürdürmektedir. Bu kapsamda MTA tarafından 1939-1984 döneminde 40.000 km² büyüklüğünde bir alan taraması yapılmış ve toplam 1.459.000 metrelik sondaj sonucunda 117 adet linyit sahası keşfedilmiştir. Söz konusu çalışmalara bağlı olarak 8,3 milyar ton linyit rezervi olduğu tespit edilmiştir. 1984-2004 dönemi ise kömür arama çalışmaları bakımından durağan bir dönemi temsil etmektedir. Enerji talebinin karşılanmasında yerli kaynaklara daha fazla ağırlık verilmesini beraberinde getiren politikalar üzerine 2005 yılından itibaren kömür arama çalışmaları tekrar artırılmış ve 2017 yılı Aralık dönemine kadar toplam 2.271.826 metrelik sondaj çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar; 4'ü büyük rezervli (Karapınar-Ayrancı, Eskişehir-Alpu, Afyon-Dinar, Tekirdağ-Malkara) olmak üzere 13 adet yeni kömür sahasının keşfedilmesi ve 3 sahada da rezerv artışının sağlanması ile sonuçlanmıştır (www.mta.gov.tr 04.09.2018).

Grafik 60, 2017 yılı itibariyle Türkiye'deki kömür türleri rezervlerinin dağılımını göstermektedir. Buna göre; toplam 11 milyar 353 milyon büyüklüğündeki kömür rezervinin yaklaşık yüzde 3,3'ünü antrasit ve bitümlü kömür oluştururken; kalan yüzde 96,7'si ise düşük bitümlü kömür ile linyitten meydana gelmektedir (BP Statistical Review of World Energy 2018). Dünya geneli dikkate alındığında Türkiye, linyit kömür açısından rezerv ve üretim miktarları itibariyle orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilmektedir. Diğer taraftan ısıl değeri düşük olmasından dolayı, üretilen linyitlerin büyük bir kısmı termik santrallerde değerlendirmektedir (www.enerji.gov.tr 22.09.2018).

Grafik 60. Türkiye Kömür Rezervlerinin Türlerine Göre Dağılımı (2017, milyon ton)

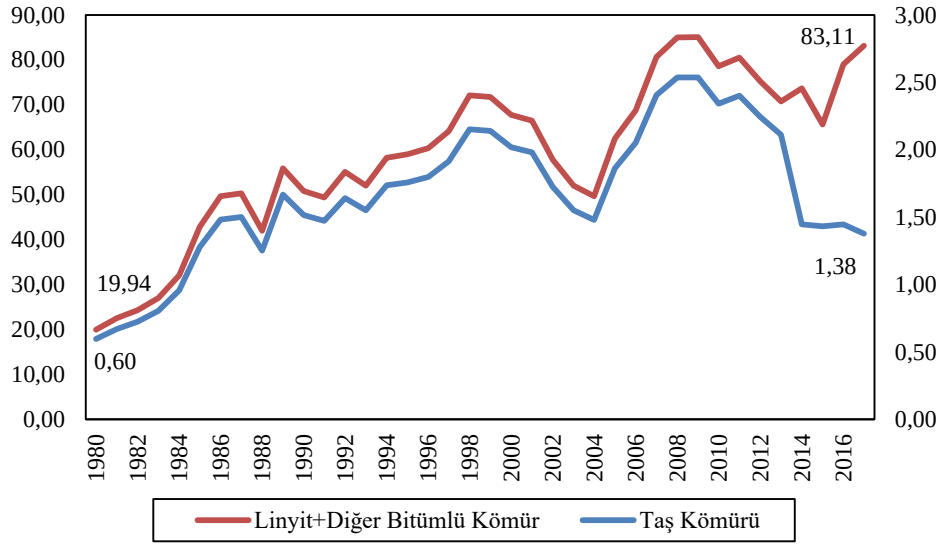


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2018 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Kömür üretim faaliyetleri, özellikle 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizleri ile birlikte yükselişe geçmiştir. Nitekim 1980 yılında yaklaşık 21 milyon ton olan toplam kömür üretimi, 1998 yılında yaklaşık 74 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten sonra doğal gaz alım anlaşmaları nedeniyle kömür üretimi azalmış, 2004'te 51 milyon ton seviyesine düşmüştür (Kömür Sektör Raporu, 2013: 20). 2005 yılında yerli kaynakların ön plana çıkarılması ve dışa bağımlılığın azaltılması hedefleri çerçevesinde; yeni kömür sahalarının bulunması ve bilinen sahaların geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. Böylece tekrar yükselen kömür üretimi 2008 yılında 87 milyon seviyelerini aşmıştır (www.enerji.gov.tr 22.09.2018).

2008 yılında gerçekleşen küresel kriz nedeniyle uluslararası boyutlarda gerçekleşen iktisadi dalgalanmalar, ekonomik dengelere belli ölçüde yansımış ve 2010 yılından itibaren kömür üretimi düşüş eğilimine girmiştir. Ancak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yerli kömürden elektrik üretilmesini destekleme çalışmaları kapsamında getirdiği yeni teşvikler, linyit ve düşük bitümlü kömür üretiminin 2015 döneminden sonra belirgin şekilde artmasına sebep olmuştur (www.enerji.gov.tr 22.09.2018). Nitekim tekrar yükselen kömür üretimi 2015 yılına göre yüzde 26 oranında artarak 2017'de 84 milyon 490 bin ton seviyesine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2018).

Grafik 61. 1980-2017 Dönemi Türkiye Kömür Üretimi (milyon ton)



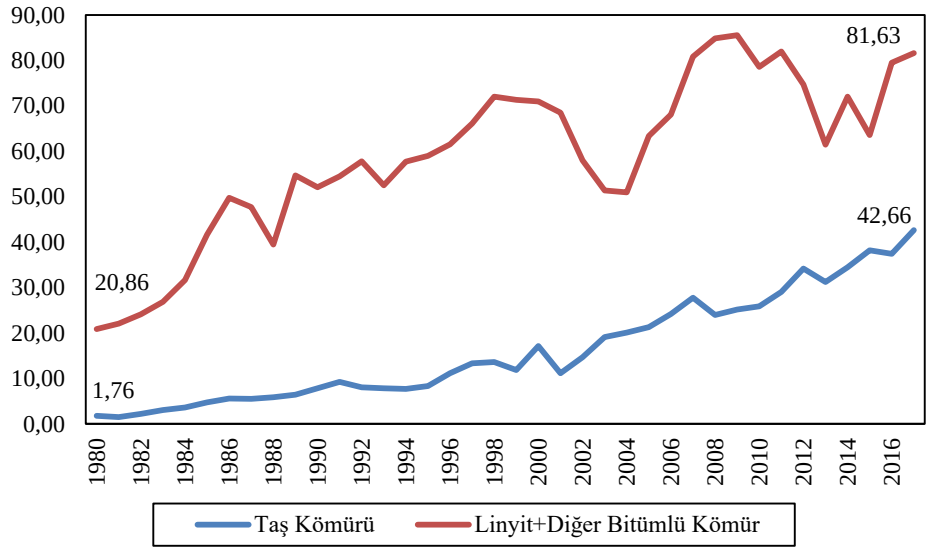
Kaynak: EIA

Not: Taş Kömürü serisi antrasit, metalürjik kömür ve bitümlü kömür üretimi toplamını içerirken; diğer seri ise linyit ile birlikte düşük bitümlü kömür üretimi toplamını vermektedir.

Grafik 61'e göre; 1980-2017 döneminde taşkömürü ve linyit üretimi benzer eğilim göstermektedir, ancak rezervlerinin düşük seviyede olmasından ötürü kalorifik değeri daha yüksek olan taş kömürü üretimi görece zayıftır. Nitekim 2017 yılı itibariyle linyit ve düşük bitümlü kömür üretimi toplamı 83 milyon 110 bin ton iken; antrasit ve metalürjik kömür üretimi toplamı 1 milyon 380 bin ton seviyelerindedir.

Ekonomik büyüme, kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışı, kömür de dahil olmak üzere tüm enerji kaynaklarına olan talebi olumlu yönde etkilemektedir. Bu bağlamda kömür tüketimi, 1980-2017 döneminde yaklaşık yüzde 450 üzerinde artış kaydederek yaklaşık 22 milyon 600 bin ton seviyesinden 124 milyon 290 bin ton seviyesine yükselmiştir. Söz konusu dönemde kömür tüketiminde meydana gelen kırılmaların ise özellikle ekonomik gelişmelerden kaynaklandığı dikkat çekmektedir (BP Statistical Review of World Energy 2018). Bu çerçevede 1980'li yılların sonlarında, 2000'li yılların başlarında ve küresel kriz sonrası süreçte özellikle linyit ve düşük bitümlü kömür üretiminin azaldığı dikkat çekmektedir.

Grafik 62. 1980-2017 Dönemi Türkiye Kömür Tüketimi (milyon ton)

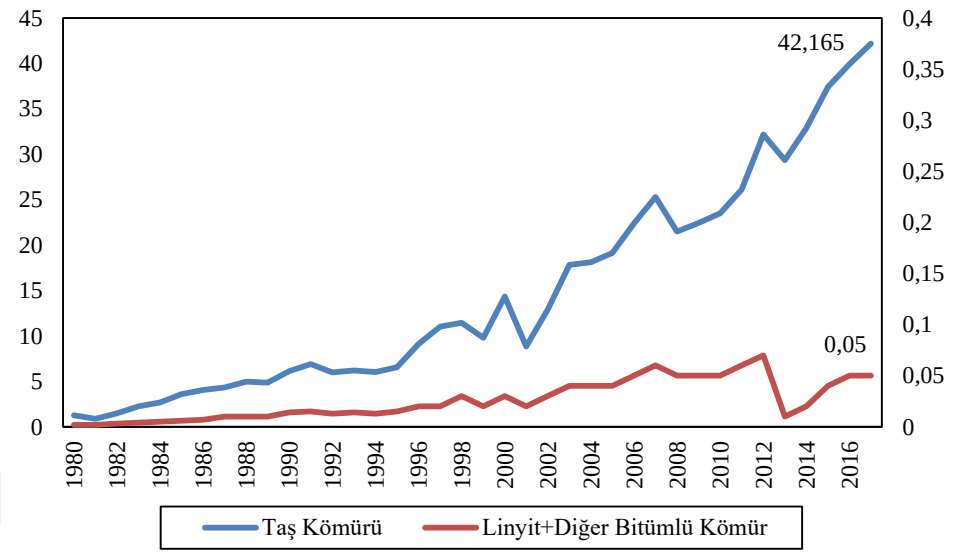


Kaynak: EIA

Not: Taş Kömürü serisi antrasit, metalürjik kömür ve bitümlü kömür üretimi toplamını içerirken; diğer seri ise linyit ile birlikte düşük bitümlü kömür üretimi toplamını vermektedir.

Türkiye'de toplam kömür üretimi, tüketimi karşılayamadığı için ithalat kaçınılmaz hale gelmektedir. Ancak linyit üretiminin oldukça yüksek seviyelerde olmasından dolayı ithalat, taş kömürü ağırlıklıdır. Nitekim Grafik 63'e göre; 2017 yılı itibariyle dışarıdan taşkömürü alımı 42 milyon 165 bin ton seviyelerinde iken; linyit alımı 50 bin ton düzeylerinde gerçekleşmiştir. Diğer taraftan enerji tüketiminin düşük olmasından ötürü kömür ithalatı 1980'li yılların başında oldukça düşük seviyelerde iken; gelir, nüfus, sanayi, maliyet ve kentleşme gibi faktörlere bağlı olarak kömürde dış alımlar özellikle 2000'li yıllarda önemli ölçüde artış kaydetmiştir. Nitekim 1980 yılında yaklaşık 1,3 milyon ton olan kömür ithalatı, 1990 yılında yaklaşık 6,2 milyon tona, 2000 yılında 14,4 milyon tona ve 2017 yılında ise 42,2 milyon ton seviyesine ulaşmıştır. İthalattaki bu artışın başlıca sebebi; elektrik üretimini düşük maliyetle gerçekleştirebilme amacından kaynaklanmaktadır (Türkiye Taşkömürü Sektör Raporu, 2018: 27-28).

Grafik 63. 1980-2017 Dönemi Türkiye Toplam Kömür İthalatı (milyon ton)

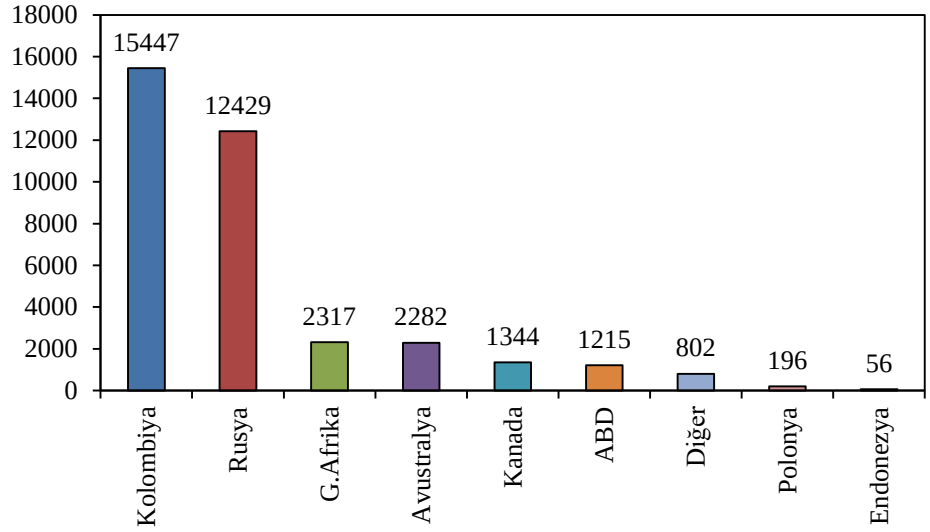


Kaynak: EIA

Not: Taş Kömürü serisi antrasit, metalürjik kömür ve bitümlü kömür üretimi toplamını içerirken; diğer seri ise linyit ile birlikte düşük bitümlü kömür üretimi toplamını vermektedir.

2016 yılı verilerine göre; en fazla kömür ithalatı yapılan ülkeler Kolombiya ve Rusya olmuştur. Bu ülkelerden sırasıyla 15 milyon 447 bin ton ve 12 milyon 429 bin ton büyüklüğünde yapılan kömür alımı, toplam kömür ithalatının yaklaşık yüzde 77,2'sine karşılık gelmektedir. Diğer taraftan bu iki ülkeyi 2 milyon 317 bin ton ile Güney Afrika, 2 milyon 282 bin ton ile Avustralya, 1 milyon 344 bin ton ile Kanada, 1 milyon 215 bin ton ile ABD, 196 bin ton ile Polonya ve 56 bin ton ile Endonezya izlemiştir (Türkiye Taşkömürü Sektör Raporu, 2018: 28).

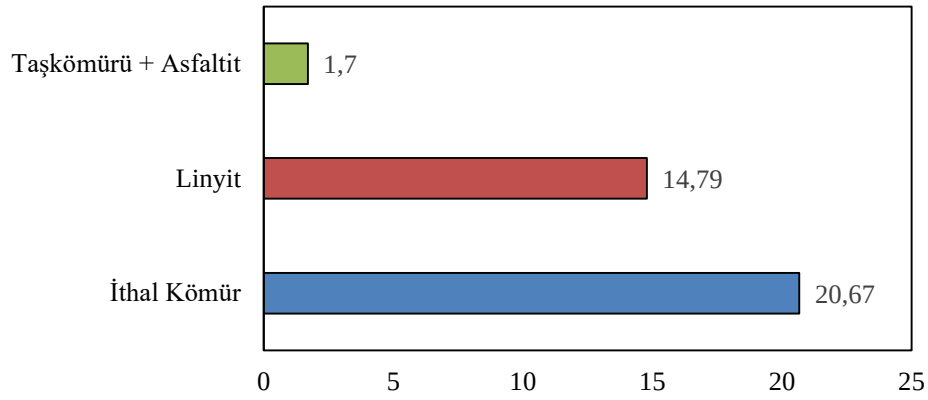
Grafik 64. Türkiye'de Kömür İthalatında Ülke Payları, 2016 (milyon ton)



Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu 2018 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Türkiye'de çıkarılan kömür; elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde, ısı enerjisi elde etmek üzere sanayi sektöründe ve ısınma ihtiyacını karşılayabilmek için de konut ve işyerlerinde tüketilmektedir. 2017 yılına ilişkin verilere göre kömür türlerinin elektrik üretimindeki payı Grafik 65'de gösterilmektedir. Buna göre; yerli kömürün elektrik üretimindeki toplam payı yaklaşık yüzde 16,49 seviyelerinde olup; rezerv büyüklüğünün daha fazla olmasından ötürü linyitin oransal ağırlığı taşkömürü ve asfaltitten daha fazladır. İthal kömür ise yüzde 20,67 ile elektrik üretiminde yerli kömür türlerine göre daha yüksek bir pay edinmektedir. Dolayısıyla Türkiye'deki elektrik üretiminde kömürün (yerli+ithal) toplam payı, yüzde 37,16 seviyelerindedir (www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar-0 30.12.2019).

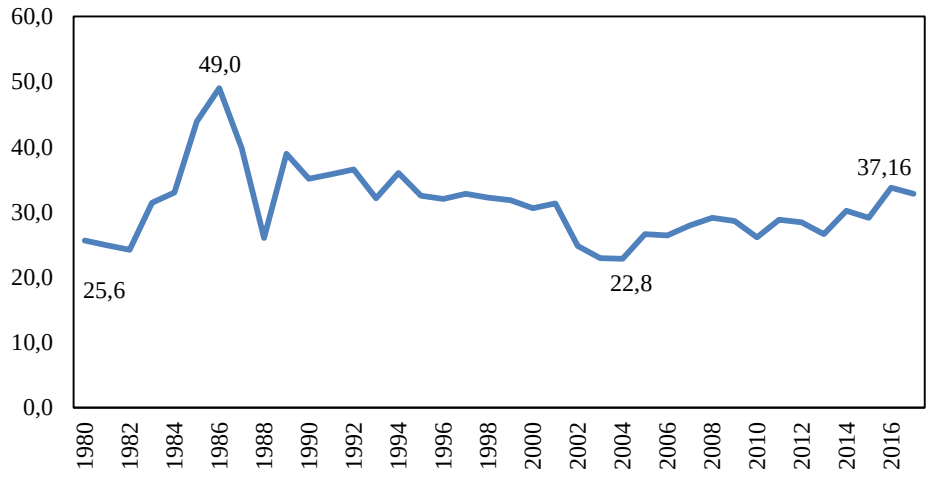
Grafik 65. Kömür Türlerinin Elektrik Üretimindeki Payı (2017, %)



Kaynak: www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar-1 30.12.2019

2017 yılı itibariyle kömürün elektrik üretimindeki payı yüzde 37,16 seviyelerinde olmasına rağmen; bu değer günümüze kadar değişerek gelmiştir. Grafik 66, elektrik üretiminde kömür kullanımının gelişimini 1980-2017 dönemi itibariyle göstermektedir. Buna göre; 1982-1986 döneminde kömürün payı önemli ölçüde yükselerek yüzde 49 seviyelerine kadar çıkmış, ancak 1980'lerin sonlarına doğru doğalgaz çevrim santralleri ile birlikte hidroelektrik santrallerinin de devreye girmesinden ötürü 2004 yılına kadar kömürün payı azalma eğilimi kaydetmiştir (www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar-1 30.12.2019).

Grafik 66. 1980-2017 Dönemi Elektrik Üretiminde Kömürün Payı (%)



Kaynak: www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayiplar-1 30.12.2019

3.1.2. Petrol Rezervleri, Üretimi ve Tüketimi

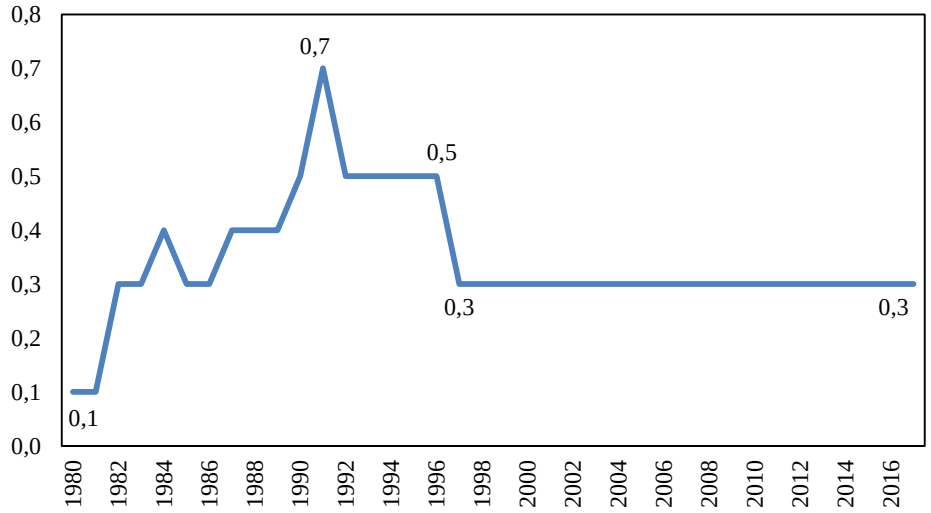
Osmanlı İmparatorluğu döneminde petrol aramalarına yönelik ilk çalışmalar, 19. yüzyılın sonuna doğru Sultan II. Abdülhamid tarafından İskenderun bölgesinde başlatılmıştır. Söz konusu bölgede İngiliz ve Alman iş birliğinde gerçekleştirilen küçük sondaj çalışmaları, kuvvetli gaz emarelerinin ortaya çıkmasıyla sonuçlanmıştır. 1900'lü yılların başlarında ise Alman ve Türk mühendisler tarafından yapılan araştırmalar neticesinde, Türkiye ve Irak sınırları içerisinde birçok noktada petrol olabileceği yönünde bir rapor hazırlanmış olmasına rağmen; teknik, ekonomik ve siyasi koşullarından dolayı üretim aşamasına geçilememiştir (Göksu, 1966: 71).

Cumhuriyet döneminde petrol arama faaliyetleri ile ilgili olarak gerekli çalışmaları yapması için hükümet tarafından ülkeye davet edilen Lüksemburglu bir jeolog, petrol sahaları hakkında hazırlamış olduğu raporu 1925 yılında İktisat Vekâleti Maden Umum Müdürlüğü'ne teslim etmiştir. Bu bağlamda ilk olarak ülke sınırları içerisindeki kıymetli madenlerin arama/işletme hakkını hükümete tahsis eden 1926 tarihli 792 Sayılı Petrol Kanunu çıkarılmıştır. Ardından 1933 yılında Petrol Arama ve İşletme Dairesi kurularak Mardin'de bir petrol kuyusu açılmıştır (Yurtoğlu, 2017: 148-150). Devlet adına arama ve sondaj faaliyetlerini yürütme görevi, 1935'te Maden ve Tetkik Arama Enstitüsü'ne verildikten sonra 1935-1950 döneminde Trakya, İskenderun, Adana ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde sondajlı etüt faaliyetleri yürütülmüştür. Bu faaliyetler sonucunda Raman ve Garzan bölgelerinde ilk petrol keşifleri gerçekleştirilerek Batman'da günlük kapasitesi 6.250 varil olan rafineri inşası için Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nın kurulması kararlaştırılmıştır (www.mta.gov.tr 08.10.2018).

1970'lerde meydana gelen petrol krizleri, tüm ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de enerji arz güvenliği açısından potansiyeli riskleri belirgin şekilde ortaya koymuştur. Bunun üzerine 1960-1975 döneminde yavaşlayan petrol arama/çıkarma faaliyetleri, 1970'li yılların ikinci yarısından itibaren tekrar canlanmaya başlamıştır (Atalay, 2003: 173-174). Nitekim başarılı sondaj çalışmaları sonucu 1990 yılında rezervlerin büyüklüğü yaklaşık 700 milyon varil seviyelerine ulaşmıştır. Ancak bu

dönemden sonra yeni petrol sahalarının keşfedilememesi sonucu rezerv büyüklüğü giderek düşmüş ve 300 milyon ton varil seviyesine gerilemiştir.

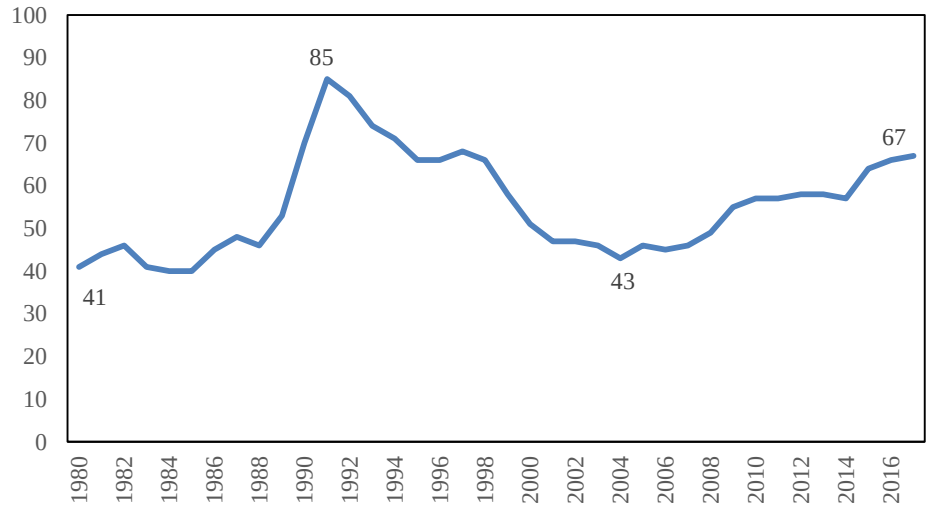
Grafik 67. 1985-2017 Dönemi Türkiye Petrol Rezervleri (milyar varil)



Kaynak: EIA International Energy Statistics

Grafik 68, 1980-2017 dönemi itibariyle Türkiye'deki petrol üretiminin gelişimini göstermektedir. Buna göre; rezervlerdeki artışa bağlı olarak 1991 yılına kadar artış eğilimi sergileyen petrol üretimi, 41 bin varil/gün seviyesinden 85 bin varil seviyesine yükselmiştir. Nitekim 1990'lı yılların başlarında Adıyaman bölgesinde Karakuş Sahası'nın keşfedilmesi, bu sonucun ortaya çıkmasında etkili olmuştur (www.tpao.gov.tr/uploads/TP-2018-YILLIK-RAPORU.pdf 03.01.2020). Ancak zamanla bu sahalarda verimin azalması, kuyulardan çıkan su yüzdesinin artması, petrol üretiminin düşmesine yol açmış ve 2004 yılında 43 bin varil/gün düzeyine gerilemiştir (Atalay, 2003: 174). 2004 yılından sonra ise yerli enerji kaynaklarının daha fazla harekete geçirilmesine yönelik çalışmalar, 2017 yılında günlük petrol üretimini 67 bin varil seviyesine çıkarmıştır.

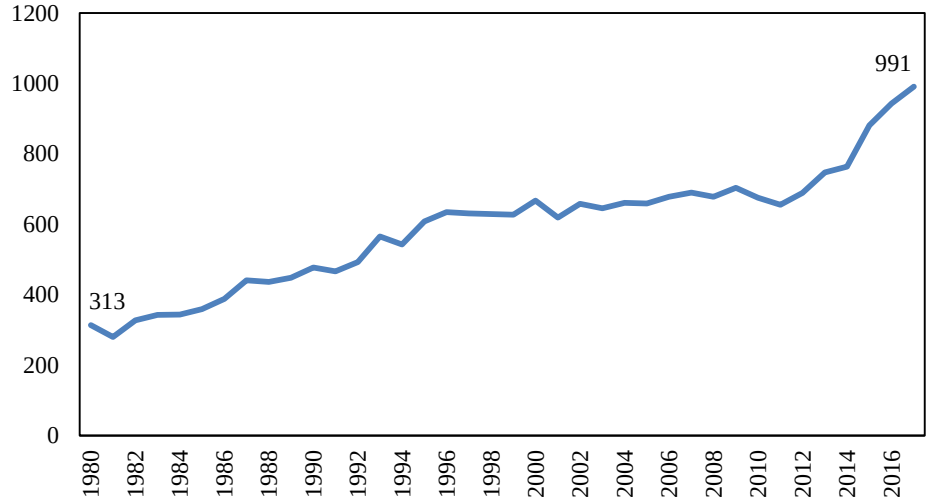
Grafik 68. 1980-2017 Dönemi Türkiye Ham Petrol Üretimi (bin varil/gün)



Kaynak: EIA International Energy Statistics

Petrol, gerek temel bir enerji kaynağı olmasından gerekse petrokimya endüstrisinin başlıca girdileri arasında yer almasından ötürü ikame edilebilme gücü zayıf bir yakıttır. Bu nedenle; sanayileşme, büyüme, nüfus artışı ve kentleşme gibi unsurlar petrole yönelik talebe hız kazandırmaktadır. Türkiye ekonomisi de 1980-2017 döneminin genelinde gösterdiği büyüme performansına ilave olarak ortaya çıkardığı teknik, sosyal ve demografik değişimler ile petrol tüketimini artırmıştır. Nitekim söz konusu dönemde Türkiye'de petrol tüketimi yaklaşık yüzde 217 oranında yükselerek 313 bin varil/gün'den 991 bin varil/gün'e ulaşmıştır. Petrol tüketimi açısından olumsuz sonuçların ortaya çıktığı dönemlerde ise ekonomik daralmaların merkezi bir konuma sahip olduğu dikkat çekmektedir.

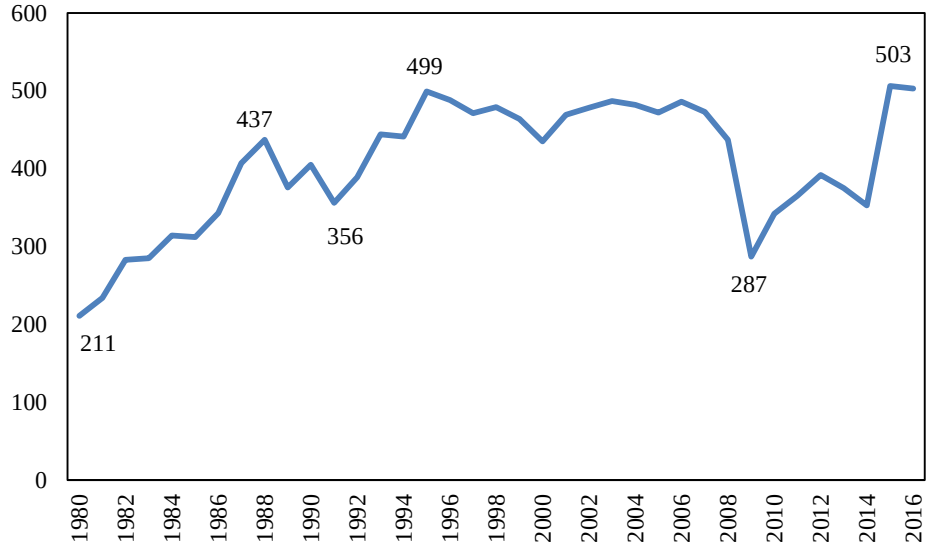
Grafik 69. 1980-2017 Dönemi Türkiye Ham Petrol Tüketimi (bin varil/gün)



Kaynak: EIA International Energy Statistics

Türkiye, üretim faktörleri itibariyle zengin bir potansiyele sahip olmasına rağmen; günümüze kadar yapılan araştırmalar hidrokarbon kaynakları açısından ülkenin yeterli rezerve sahip olmadığını göstermiştir. Dolayısıyla yurtiçi petrol üretimi, toplam petrol tüketiminin oldukça düşük bir bölümünü karşılayabildiği için talebin büyük bir bölümü ithalat ile karşılanmaktadır. Nitekim 1980 yılında 211 bin varil/gün olan petrol alımı, 2017 yılında 503 bin varil/gün seviyesine çıkmıştır. Söz konusu alımlarda meydana gelen kırılmaların ise başta milli gelir olmak üzere petrol fiyatlarına bağlı olarak gerçekleştiği ifade edilebilir. Ekonomik daralma süreçlerinin ardından yaşanan toparlanma süreçleri ise petrol tüketimi ve petrol ithalatının artması ile sonuçlanmaktadır.

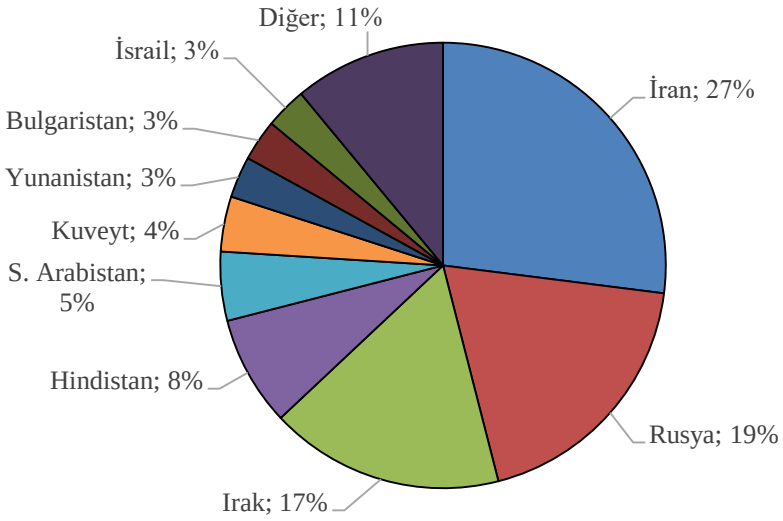
Grafik 70. 1980-2016 Dönemi Türkiye Ham Petrol İthalatı (bin varil/gün)



Kaynak: EIA International Energy Statistics

2017 yılı verilerine göre; yüzde 27'lik bir pay ile İran, Türkiye'nin petrol ithal ettiği ülkeler arasında ilk sırada konumlanmıştır. İran'ı yüzde 19 ile Rusya, yüzde 17 ile Irak, yüzde 8 ile Hindistan, yüzde 5 ile Suudi Arabistan ve yüzde 4 ile Kuveyt takip etmiştir. Yunanistan, Bulgaristan ve İsrail ise yüzde 3 ile bu ülkeleri izlemiştir (www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=39 03.01.2020).

Grafik 71. Ülkelere Göre Türkiye'nin Petrol İthalatı (2017, %)



Kaynak: TPAO, www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=39 03.01.2020

Ham petrol, motorin, fuel-oil, havacılık yakıtları, denizcilik yakıtları ve diğer tüm petrol ürünlerinin ithalatında 11 milyon 492 bin ton ile İran ilk sırada yer alırken; bu ülkeyi 8 milyon 47 bin ton ile Rusya 2., 7 milyon 57 bin ton ile Irak 3., 3 milyon 510 bin ton ile Hindistan 4., 2 milyon 275 bin ton ile Suudi Arabistan 5., 1 milyon 724 bin ton ile Kuveyt 6., 1 milyon 444 bin ton ile Yunanistan 7., 1 milyon 315 bin ton ile Bulgaristan 8., 1 milyon 181 bin ton ile İsrail 9. ve 1 milyon 146 bin ton ile İtalya 10. sırada konumlanmaktadır. Dolayısıyla ülkemiz yurt içinde tüketilen toplam petrol ürünlerinin yaklaşık yüzde 92'sini bu 10 ülkeden ithal edilmektedir (EPDK Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2017: 8).

Tablo 5. Ülkelere Göre Petrol Ürünlerinin İthalat Miktarları (2017, milyon ton)

Ülke	Ham Petrol	Motorin Türleri	Fuel Oil Türleri	Havacılık Yakıtları	Denizcilik Yakıtları	Diğer Ürünler	Toplam	Pay (%)
İran	11.493	-	-	-	-	-	11.493	27
Rusya	2.074	3.784	-	-	-	2.190	8.047	19
Irak	7.058	-	-	-	-	-	7.058	17
Hindistan	-	3.489	-	22	-	-	3.511	8
S. Arabistan	1.820	359	-	0,9	-	96	2.276	5
Kuveyt	1.724	-	-	-	-	-	1.725	4
Yunanistan	163	1.237	-	44	-	-	1.444	3
Bulgaristan	-	1.316	-	-	-	-	1.316	3
İsrail	-	1.175	5	-	1	-	1.182	3
İtalya	126	972	49	-	-	-	1.147	3
Diğer	1.308	1.124	775	130	0,2	119	3.456	8
Genel Toplam	**25.767**	**13.456**	**829**	**197**	**1**	**2.404**	**42.653**	**100**

Kaynak: T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 2017 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

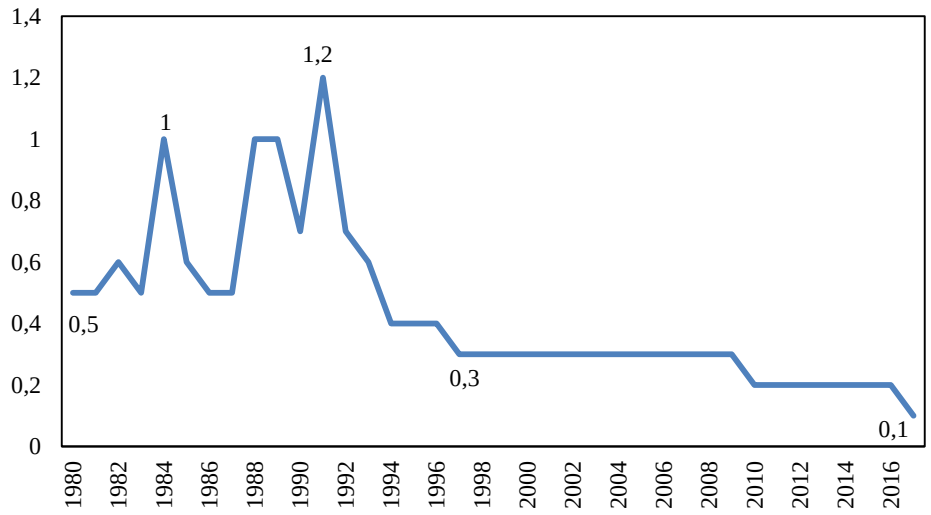
3.1.3. Doğal Gaz Rezervleri, Üretim ve Tüketimi

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerinden sonra, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de alternatif enerji kaynakları arayışı ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda giderek gelişen sanayi ve şehirlerin artan enerji ihtiyaçları sonucunda doğal gaz, sahip olduğu avantajlar nedeniyle Türkiye'nin önemli enerji kaynaklarından birisi haline gelmeye başlanmıştır.

Türkiye'de doğalgaz üretimine yönelik faaliyetler ilk olarak, TPAO bünyesinde 1975 yılında Mardin Çamurlu sahasında ve 1976 yılında Kırklareli Kumrular bölgesinde başlamıştır, ancak bu alanlardaki rezerv ve üretim miktarının düşük olmasından ötürü söz konusu faaliyetler ilerletilememiştir. Ardından 1980'li yılların ilk yarısında BOTAŞ, talep tahmini ve temin planlamasına gitmiş ve 1986 yılında da SSCB ile doğalgaz ticareti konusunda bir uzlaşı sağlanmıştır. Böylece farklı tüketim merkezlerine doğalgazın ulaştırılması ve yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (TMMOB Enerji Raporu, 2006: 22).

Türkiye'nin birincil enerji kaynakları içinde en düşük rezerve sahip olduğu fosil yakıt türü doğalgazdır. Keşfedilen doğalgaz sahaları ise Güneydoğu Anadolu, Trakya ve Kuzey Marmara bölgelerinde bulunmaktadır (Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu, 2017: 39-40). EIA verilerine göre; 2017 yılı itibariyle Türkiye'de kanıtlanmış toplam doğalgaz rezervi büyüklüğünün 0,1 trilyon fit küp (tfc)[7] olduğu belirtilmektedir. Diğer taraftan gerek söz konusu bölgelerde ve gerekse farklı sahalarda Türkiye'nin doğalgaz arama faaliyetleri devam etmektedir.

Grafik 72. 1980-2017 Dönemi Türkiye Doğalgaz Rezervleri (tfc)

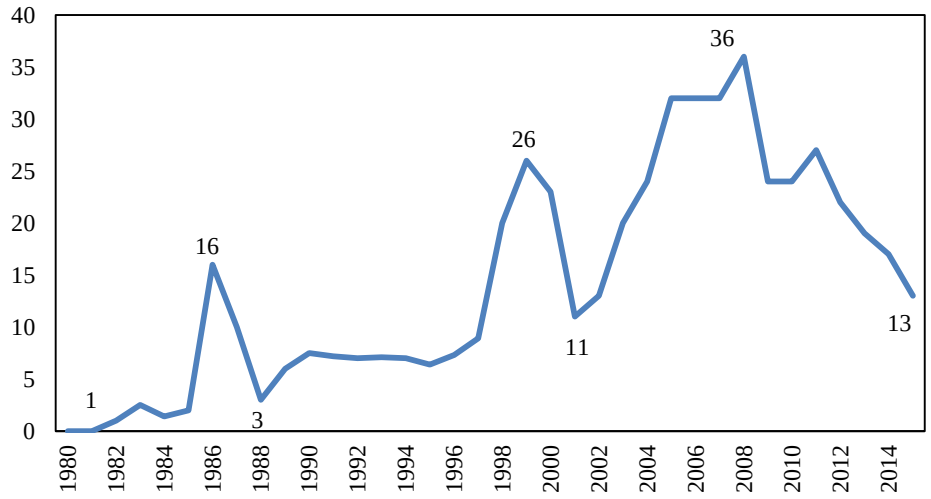


Kaynak: EIA International Energy Statistics

[7] 1 fit küp yaklaşık 0,02831685 m^3'e eşittir.

Türkiye'de doğalgaz keşfi ilk olarak 1970 yılında Hamitabat ve Kumrular bölgesinde TP tarafından gerçekleştirilmiş ve ticari bakımdan satışı ise 1976 yılında yapılmıştır (www.tpao.gov.tr/?mod=projeler&contID=94 04.01.2020). Ancak altyapı ve pazar eksikliği nedeniyle doğalgaz tüketiminin belirli bir süre sınırlı düzeylerde kaldığı görülmektedir. 1980'li yıllarda ise uzun mesafeli boru hatlarının yapılması ve teknik gelişmeler sayesinde Türkiye'deki doğalgaz üretimi, 1981-1986 döneminde 1 milyar fit küp (bfc) seviyesinden 16 milyar fit küp seviyesine ulaşmıştır. Bu gelişmeye bağlı olarak doğalgaz talebi de yüksek oranda artmış, ancak rezervlerin sınırlı büyüklükte olmasından ötürü 1986-1988 döneminde üretim miktarı keskin bir şekilde düşüş göstermiştir. Diğer taraftan, 1997 yılında deniz aramalarındaki tek keşif olan Kuzey Marmara sahasının devreye girmesi ile doğal gaz üretimi belli ölçüde artmasına rağmen; aynı nedenle üretim 1999-2001 döneminde yaklaşık yüzde 58 oranında azalma göstermiştir. 2002 yılından itibaren TPAO tarafından kurulan ortaklıklarla Trakya bölgesinde gerçekleştirilen yeni doğal gaz keşifleri ve eski sahalarda açılan yeni üretim kuyularının devreye girmesi sonucu 2001'de düşen doğal gaz üretimi tekrar yükselişe geçmiş ve 2008 yılında 36 milyar fit küp üretim ile tarihin en yüksek düzeyine ulaşmıştır (Akgül ve Yıldız, 2013: 444-445). Bu dönemden sonra yurtiçi üretilebilir doğal gaz rezervlerinde yeni keşiflerin yapılamaması ve zamanla mevcut sahalarda verimin azalması sonucu doğalgaz üretimi sürekli azalma göstererek 2015 yılında 13 milyar fit küp seviyesine kadar gerilemiştir (EPDK Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, 2017: 2).

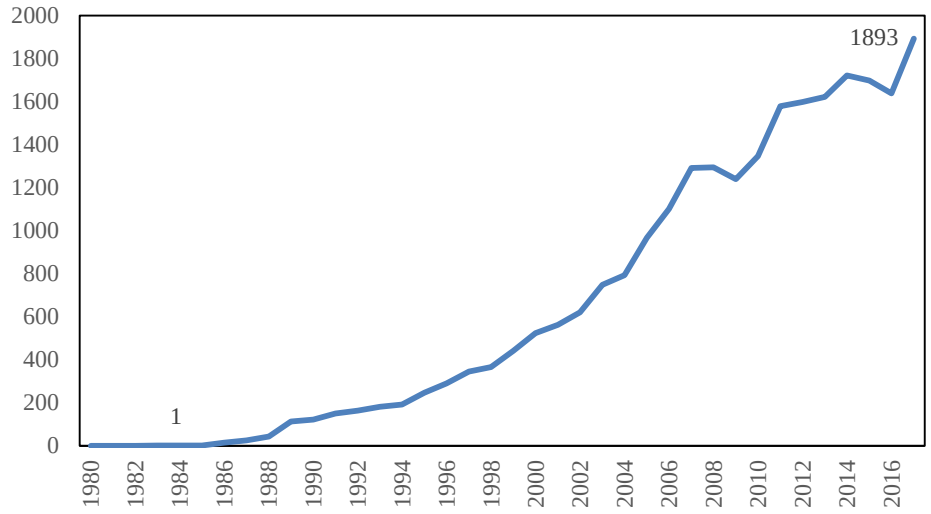
Grafik 73. 1980-2015 Dönemi Türkiye Doğalgaz Üretimi (bfc)



Kaynak: EIA International Energy Statistics

Alternatif fosil yakıt türlerine göre düşük maliyetli olması ve kullanım kolaylığı sunmasından dolayı Türkiye'de doğalgaz talebi kısa süre içerisinde hız kazanmıştır. Ayrıca elektrik üretiminde güçlü bir ikame seçeneği oluşturduğu için doğalgaz tüketimi Grafik 74'te de görüldüğü üzere 1984-2017 döneminde belirgin şekilde artış kaydederek 1 milyar fit küp düzeyinden 1 trilyon 893 milyar fit küp seviyesine ulaşmıştır. Diğer taraftan doğalgaz, boru hatları yardımıyla pek çok yerleşim merkezine kolaylıkla ulaştırılabilmekte, içeriğindeki düşük karbon değerinden ötürü çevreye çok ciddi zararlar vermemekte, sabit ve yüksek bir ısıl değere sahip olduğu için yüksek verimlilik ile kullanılabilmektedir. Türkiye aynı zamanda hidrokarbon kaynaklara sahip olan ülkelere çok yakın bir noktada bulunduğu için söz konusu yakıtı kesintisiz ve ekonomik bir şekilde temin edebilme imkanına sahiptir. Tüm bu unsurlar Türkiye'de doğalgaz kullanımının giderek artması ile sonuçlanmaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006: 18). Diğer enerji kaynakları tüketiminde olduğu gibi doğalgaz tüketiminde de meydana gelen kırılmalar, iktisadi gelişmeler ile yakından ilişkilidir. Nitekim küresel krizin, tüm dünya genelinde olumsuz etkilerini en ağır şekilde hissettirdiği 2009 yılında Türkiye ekonomisindeki yüzde -4,7 oranında gerçekleşen daralma, doğalgaz tüketimini azaltmıştır. Büyüme performansının düştüğü 2016 yılında da benzer bir durum ortaya çıkmıştır.

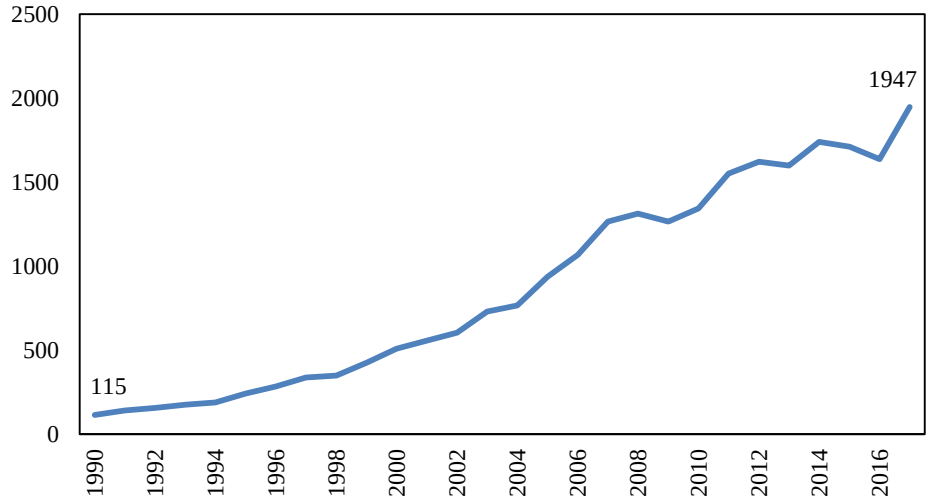
Grafik 74. 1980-2017 Dönemi Türkiye Doğalgaz Tüketimi (tfc)



Kaynak: EIA International Energy Statistics

Yukarıda belirtilen temel nedenlere bağlı olarak Türkiye'de doğalgaz tüketimi artış eğilimi sergilemesine rağmen; yurtiçi rezerv ve üretim miktarları sınırlı olduğu için ithalat, zorunluluk arz etmektedir (EPDK Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, 2017: 6).

Grafik 75. 1987-2017 Dönemi Türkiye Doğalgaz İthalatı (tfc)

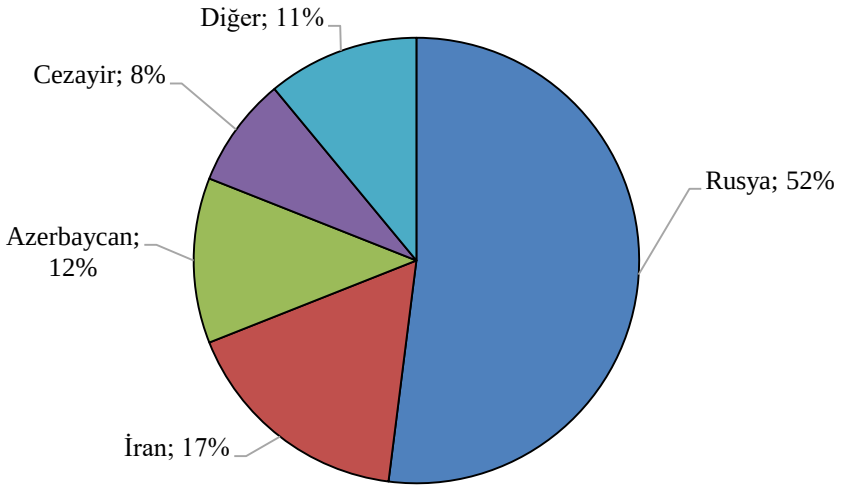


Kaynak: EIA International Energy Statistics

Türkiye, doğalgaz tüketiminin yaklaşık yüzde 99,3'ünü ithalat yoluyla karşılamaktadır. 2017 yılına ilişkin verilere göre; Rusya yüzde 52'lik bir pay ile

Türkiye'nin doğalgaz alımında birinci sırada konumlanmaktadır. Rusya'yı sırasıyla İran (yüzde 17), Azerbaycan (yüzde 12) ve Cezayir (yüzde 8) takip etmektedir (www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=43 05.01.2020).

Grafik 76. Ülkelere Göre Türkiye'nin Doğalgaz İthalatı (2017, %)



Kaynak: TPAO, www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=43 05.01.2020

3.1.4. Nükleer Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren, kesintisiz ve düşük maliyetlerle enerji elde etme arayışı, farklı gelişmişlik düzeyindeki tüm ülkeler için en temel gereksinimlerden biri haline gelmiştir. 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizleri ile bu arayışlar hız kazanmış ve çok sayıda ülke, nükleer teknolojiyi de söz konusu ihtiyaca cevap verebilecek bir kaynak olarak kullanmaya başlamışlardır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012: 5).

Nükleer enerji; enerji arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılığın düşürülmesi ve cari açığın azaltılması açısından önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede 1960'lı yıllarda Mersin'de 300 MW gücünde bir nükleer santralin devreye alınması planlanmış ve ilk olarak Çekmece'de 1 MW'lik nükleer araştırma reaktörü işletmeye açılmıştır (Kaya ve Göral, 2016: 423). Ayrıca 1967–1974 yılları arasında da çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen; bu denemelerde istenilen başarının sağlanamadığı görülmektedir. Nükleer santral

kurulması yolunda ikinci deneyim ise; 1980'li yıllarda yap-işlet-devret modeli ile yapımı planlanan 600 MW gücündeki Mersin-Akkuyu santralidir. Ancak 1987'de gerçekleşen SSCB'deki Çernobil faciası, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de nükleer teknolojiyi olan ilgiyi azaltmıştır. 1998 yılında da yine bir nükleer santral yapımı için çalışma başlatılmış, ancak maliyetlerin yüksek olmasından ötürü bu çalışma Bakanlar Kurulu kararı ile iptal edilmiştir (İşeri ve Özen, 2012: 172). Sonuç olarak sürdürülebilir kalkınma için nükleer enerjinin kullanımı, Türkiye'de çeşitli tartışmaları da sürekli beraberinde getirmiştir. Nitekim 1968'den 2000'li yıllara kadar farklı teknik ve boyutlarda kurulması gündeme gelen nükleer santral kurma girişimleri; ekonomik, sosyal ve çevre gibi faktörlerden dolayı başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Külebi, 2007: 198).

Türkiye'nin dördüncü nükleer santral kurma deneyimi, 2000'li yılların ikinci yarısında tekrar gündeme gelmiştir. 2007 yılında TBMM'de kabul edilen bir yasa ile nükleer santral ihalesine çıkılmıştır. 2010 yılında da Mersin'in Akkuyu bölgesinde toplam 4 reaktörden meydana gelen VVER-1200 tipi santralde, 4.800 MW elektrik üretebilmek için Rus Devlet Atom Enerjisi Kuruluşu olan Rosatom ile bir anlaşma imzalanmıştır. Her ne kadar ilk ünitenin 2019, diğer üç ünitenin ise belirli aralıklarla faaliyete alınması planlanmış olsa da siyasi ve teknik nedenlerden ötürü belirlenen takvimde değişikliğe gidilmiştir (Kumbaroğlu, 2011: 91-92). Bu gelişmelerin ardından 2013 yılında, her biri 1.120 MW gücündeki 4 reaktör ünitesine sahip ikinci nükleer santralin Sinop'ta kurulması için bir Japon firması ile anlaşmaya varılmıştır. Fransız AREVA ve Japon Mitsubishi şirketlerinin ortak girişimi ile geliştirilen ATMEA-I tipi santralde basınçlı su reaktörü kullanılacak olup bu teknolojinin dünyada ilk defa denenmesi öngörülmüştür (TMMOB Nükleer Enerji Raporu, 2016: 72-74). Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı'nın öngörüsüne göre, 2023 yılına kadar Akkuyu ve Sinop Nükleer Santrallerinin işletmeye alınması durumunda, yılda yaklaşık 80 milyar kWh ile bugünkü kurulu gücümüzün yüzde 20'si nükleer santrallerden üretilecek elektrikten oluşacaktır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012: 7,26).

Nükleer santral yapımının yanı sıra bu santrallerde yakıt olarak kullanılacak ağır radyoaktif elementlerin rezerv tespiti ve üretimine yönelik çalışmalar da yürütülmektedir. Bu bağlamda MTA tarafından Türkiye'de toplam 12.614 ton uranyum ve 374.000 ton tenör ortalaması düşük (yaklaşık yüzde 0,21) toryum rezervinin olduğunu belirlemiştir. Dünyanın ikinci büyük toryum rezervlerine sahip olan Türkiye'de rezervlerin özellikle Eskişehir-Beylikahır bölgesinde yer aldığı ifade edilmektedir (MTA, 2017: 13,21).

3.1.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi

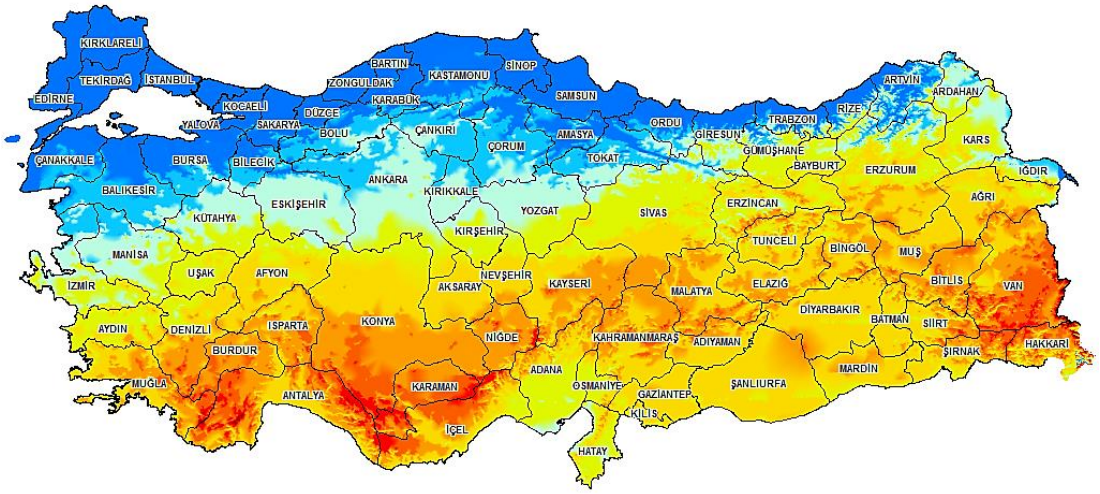
Cumhuriyetin kuruluşundan sonra sanayi alanında gerçekleşen ilerlemeler ve hızlı kentleşme süreci, elektriğe olan talebin belirgin biçimde artmasına neden olmuştur. Ancak elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtlar itibariyle Türkiye'nin büyük ölçüde dışa bağımlı olması, 1960'lı yıllarda güneş enerjisinin alternatif bir kaynak olabileceği düşüncesini güçlendirmiştir (Selçuk ve Tran, 1975: 103). Özellikle gelişmiş ülkelerde güneş teknolojisinde meydana gelen gelişmelere bağlı olarak Türkiye'de de bu kaynak ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Nitekim 1970'lerin ortalarında ODTÜ, İTÜ, Yıldız ve Ege Üniversiteleri tarafından yürütülen söz konusu çalışmalar sonucunda 1975 yılında İzmir'de güneş kolektörleri üretilmiştir. Bu tarihten itibaren de ülke içinde güneş kolektörlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Hepbaşlı vd., 2004: 551).

1978 yılında Ege Üniversitesi bünyesinde Güneş Enerjisi Enstitüsü kurulmuş ve 1980 yılında güneş piline entegre olarak çalışan ısı pompasının ilk kurulumu gerçekleştirilmiştir. 1983 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin başlatmış olduğu araştırmalar, güneş pilleriyle güç üreten ilk santralin 1998 yılında Didim Araştırma Laboratuvarı'nda kurulması ile sonuçlanmıştır (Alaçakır, 1999: 254). Türkiye'de güneş enerjisi de dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili en somut gelişmeler 2000'li yıllarda gerçekleşmiştir. Özellikle 2005 yılında yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, bu alandaki faaliyetlerin ilerlemesi için elverişli bir ekosistem yaratmıştır (Cebeci, 2017: 87). Söz konusu kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılarak düşük maliyetli, kaliteli ve güvenilir elektrik

üretiminin yaygınlaştırılması, çevre kirliliğinin azaltılması ve atıkların kazanılması amaçlanmıştır (www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FMevzuat%2F5346+Yenilenebilir+enerji+elektrik+üretimi+amaclı+kullanımına+iliskin+kanun.pdf 08.01.2020).

Türkiye, sahip olduğu coğrafi konumundan ötürü güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olan ülkeler arasında yer almaktadır. Nitekim toplam güneşlenme süresi yıl geneli itibariyle toplam 2 bin 738 saat olup; ortalama günlük 7,5 saat seviyesindedir. Bu değerlere göre Türkiye, Almanya'dan yüzde 60 oranında daha fazla güneş ışınımından yararlanmaktadır (Taktak ve Ilı, 2018: 2). Şekil 7 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'nı göstermektedir.

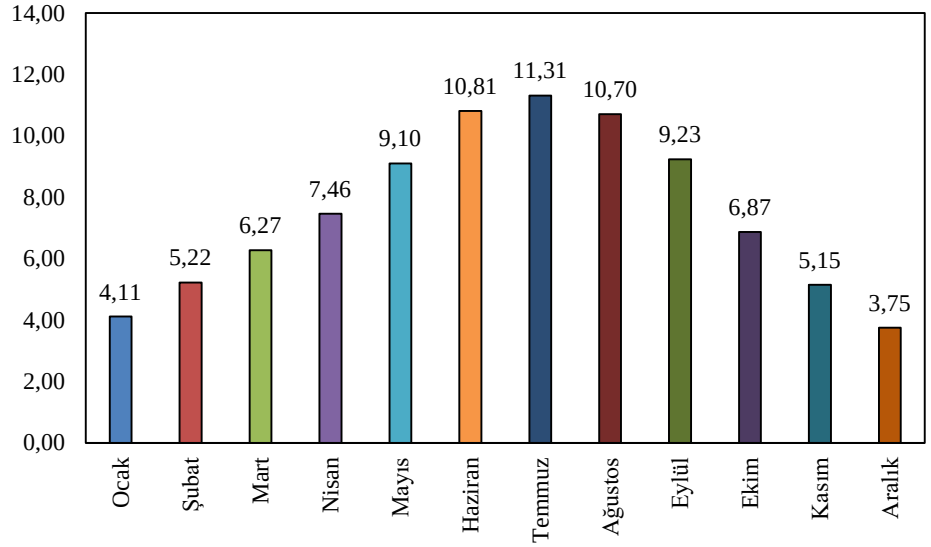
Şekil 7. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)



Kaynak: www.yegm.gov.tr/MyCalculator/ 08.01.2020

GEPA verilerine göre; kuzeyden güneye doğru ilerledikçe toplam güneş radyasyonu 1400-1450 KWh/m^2-yıl seviyesinden 1800-2000 KWh/m^2-yıl seviyesine doğru yükselmektedir. Diğer taraftan güneşlenme sürelerinin ise Haziran, Temmuz ve Ağustos dönemlerinde nispeten fazla olduğu görülmektedir. Nitekim 11,31 saat ile bu sürenin en yüksek olduğu ay Temmuz; 3,75 saat ile Aralık da en düşük olduğu aydır (Grafik 77).

Grafik 77. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat)



Kaynak: www.yegm.gov.tr/MyCalculator/ 08.01.2020

Elektrik İşleri Etüt İdaresi; 110 gün gibi oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Türkiye'de, gerekli büyüklükte yatırımlar gerçekleştirilirse yılda birim m^2'den ortalama 1.100 kWh'lik elektrik üretimi yapılabileceğini öngörmüştür. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerlerinin coğrafi dağılımına göre; Güneydoğu Anadolu bölgesi ilk sırada yer almakta olup, bu bölgeyi sırasıyla Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgesi takip etmektedir (Kılıç, 2015: 31).

Tablo 6. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (2006)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (KWh/m^2-Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Kaynak: www.yegm.gov.tr/MyCalculator/ 08.01.2020

Türkiye'de güneş enerjisi; diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha hızlı yaygınlaşabilecek bir özellik taşımaktadır. 2018 yılı verilerine göre ülkemizde;

lisanssız 4.703 MW ve lisanslı 23 MW olmak üzere toplam fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücü 4.726 MW düzeyindedir. Ayrıca 2017 yılında güneş enerjisinden; 2,9 milyar kWh elektrik ve 20.000.000 m²'lik toplam kurulu güneş kolektör alanından ise yaklaşık 823.000 tep ısı enerjisi üretilmiştir (https://www.temsan.gov.tr/Sayfa/gunes/38 22.02.2019).

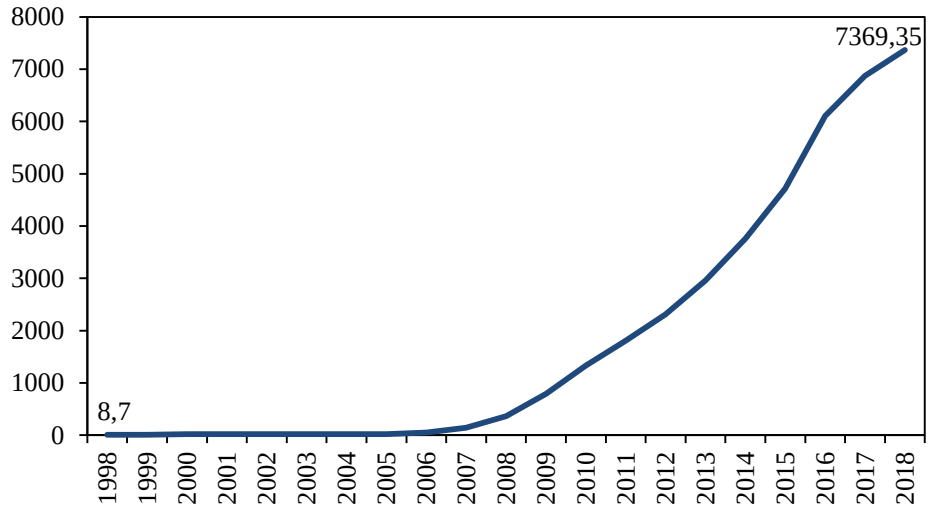
3.1.6. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinin harekete geçirilmesine yönelik girişimler, ilk olarak 1984 yılında İzmir-Çeşme'de başlatılmıştır. Ancak rüzgar teknolojisi, söz konusu dönemde maliyet ve verimlilik açısından yatırım yapılabilirlikten uzak olduğu için bu doğal kaynağın kullanımı ülke genelinde yaygınlık kazanamamıştır (İlkılıç, 2009: 29). Ancak söz konusu sorunların son dönemlerde belli ölçüde aşılması ile birlikte büyük rüzgar çiftliklerinin kurulmaya başladığı görülmektedir.

Ticari kapsamda elektrik üretimi yapabilecek olan ve toplam 1.5 MW gücündeki ilk rüzgar santrali, 1998 yılında Çeşme-Germiyan'da kurulmuştur. Ayrıca aynı dönemde her biri 600 kW gücünde toplam 12 adet rüzgar santrali yine Çeşme'de devreye alınmıştır. 2000 yılında ise Bozcaada'da her biri 600 kW gücündeki 17 adet RES üretime geçmiştir. Yap-işlet-devret modeli çerçevesinde gerçekleştirilen bu yatırımların 20 yıllık işletme döneminden sonra devlete aktarılması planlanmıştır. Ancak söz konusu santraller yenilenebilir enerjiye ait bir yasal zemin yokken kurulmuş ve çalıştırılmıştır (Kısar, 2016: 24).

Yenilenebilir enerji alanındaki yasal boşluk 2005 yılında doldurularak devlet, rüzgar santrallerinden üretilen elektriğe alım garantisi vermiştir. Buna ek olarak teknik ilerlemeler, azalan maliyetler ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın sübvansiyonları sonucu rüzgar enerjisine yönelik yatırımlar da hız kazanmıştır (Bayraç, 2011: 53). Böylece 2006-2018 döneminde rüzgar santrallerinin kurulu gücü ve enerji üretimi, 51 megavattan 7 bin 369 megavat seviyelerine ulaşmıştır (TÜREB İstatistik Raporu, 2019: 5).

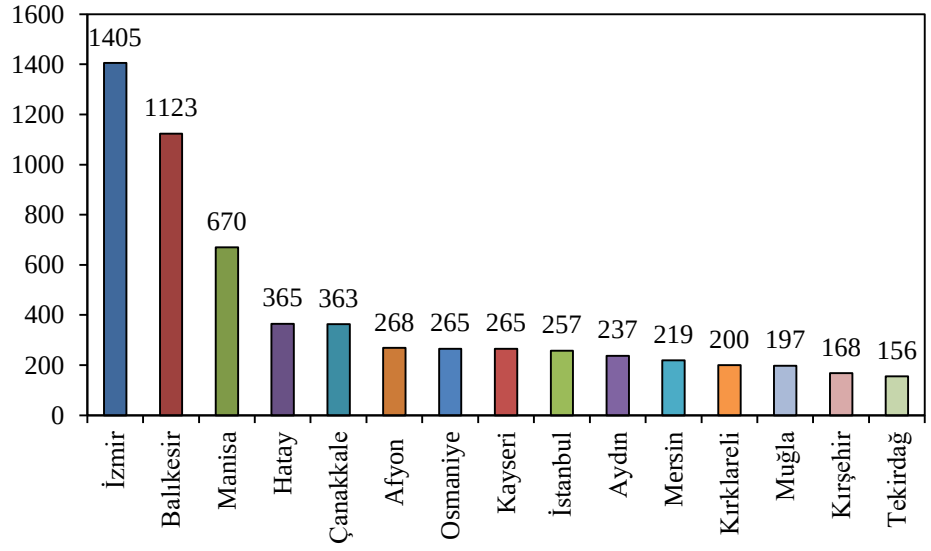
Grafik 78. 1998-2018 Dönemi Türkiye Rüzgar Enerjisinin Gelişimi (MW)



Kaynak: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği İstatistik Raporu 2019 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Rüzgar santrallerinin illere göre kurulu gücü Grafik 79'da gösterilmektedir. Buna göre 1405 MW ile İzmir (yüzde 19) ilk sırada yer almaktadır. İzmir'i sırasıyla; 1123 MW ile Balıkesir (yüzde 15,2), 670 MW ile Manisa (yüzde 9,1), 365 MW ile Hatay (yüzde 4,9), 363 MW ile Çanakkale (yüzde 4,9), 268 MW ile Afyon (yüzde 3,6), 265 MW ile Osmaniye (yüzde 3,6), 265 MW ile Kayseri (yüzde 3,6), 257 MW ile İstanbul (yüzde 3,5) ve 237 MW ile Aydın (yüzde 3,2) takip etmektedir (TÜREB İstatistik Raporu, 2019: 18).

Grafik 79. Rüzgar Enerji Santrallerinin İllere Göre Dağılımı (2018, MW)



Kaynak: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği İstatistik Raporu 2018 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, yerli ve yenilenebilir enerji üretimini artırmak üzere 2017 yılında 1000 MW'lık Rüzgar Enerjisi Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA RES-1) adı altında bir ihale gerçekleştirmiştir. İhaleyi kazanan firma tarafından toplam yerlilik oranı en az yüzde 65 olacak şekilde türbin üretimi yapacak bir fabrikanın kurması planlanmıştır. Bu fabrikanın ise 21 ay içerisinde üretime geçmesi ve tek vardiyada minimum 150 adet/yıl veya 400 MW/yıl türbin üretebilecek bir kapasitede kurulması hedeflenmiştir (www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar 07.02.2020). Diğer taraftan Bakanlık, aynı zamanda 1200 MW gücünde ilk deniz üstü rüzgar enerjisi santrali için ihale çalışmalarını başlatmıştır. Bu santraldeki ilk elektrik üretiminin ise 2023 yılında gerçekleştirilmesi öngörülmüş ve toplam yatırım tutarı da tahmini 3 milyar dolar olarak hesaplanmıştır (www.haberturk.com 11.02.2019).

3.1.7. Türkiye'de Hidroelektrik Enerji

Türkiye su kaynakları bakımından zengin olanaklara sahip bir ülke değildir. Nitekim coğrafi konumundan ötürü her mevsim yağış düşmediği için baraj ve hidroelektrik santraller kurmaya daha fazla gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda kamu-özel kesim işbirliği ile ülkedeki hidroelektrik potansiyelinin geliştirilmesi üzerinde durulmakta, özel kesimin yetersiz kaldığı durumlarda ise devlet, baraj ve santral projelerini destekleyerek yatırımların kesintiye uğramasını engellemektedir (www.dsi.gov.tr 07.02.2020). Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından hidroelektrik santraller (HES); çevre dostu, yenilenebilir, artan talepleri karşılayabilen, yüksek verimlilikte (yüzde 90'ın üzerinde) çalışabilen, yakıt masrafı olmayan, enerji fiyatlarında dengeleyici konuma sahip, uzun ömürlü (200 yıl), yatırım geri ödeme süresi kısa (5-10 yıl), işletme giderleri oldukça düşük (yaklaşık 0,2 cent/kWh) ve dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynak şeklinde tanımlanmıştır (DSİ, 2008: 75-76).

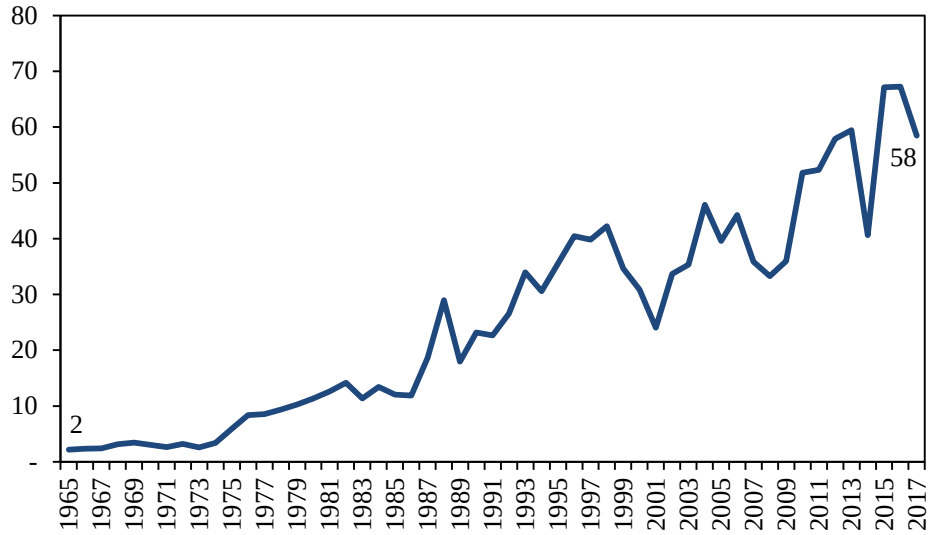
Türkiye'de ilk HES 1902 yılında Tarsus'ta faaliyete geçmiştir. 60 KW'lik bir güce sahip olan bu tesis ile o dönemdeki toplam enerji talebinin yaklaşık yüzde 0,2'si karşılanmıştır (Kaya, 2011: 211-212). İlk santralin kurulmasının ardından 1914 yılında İstanbul Silahtar Ağa santrali yapılarak elektrik enerjisi üretimine geçilmiştir

(Dinçer vd., 2017: 556). Ülkenin enerji ihtiyacını belirlemek, hidroelektrik ve diğer enerji kaynakları ile ilgili araştırma ve incelemeler yapmak amacıyla 24 Haziran 1935 tarihinde Elektrik İşleri Etüt İdaresi kurulmuştur (Topçu, 2011: 225). İçme suyu gereksinimini gidermek üzere 1936 yılında inşa edilen Çubuk-1 Barajı'ndan sonra elektrik üretmek amaçlı ilk büyük HES ise 1956 yılında faaliyete geçen Seyhan Barajı'dır (Kabalcı vd., 2010). İlerleyen dönemlerde bu tip santrallerin yapımına devam edilmiştir. 1954 yılında, su kaynaklarının planlanması, yönetimi, işletilmesi ve geliştirilmesinden sorumlu DSİ'nin kuruluşuyla hidroelektrik projelere ağırlık verilmiş ve bu dönemin sonunda toplam enerji üretimi içinde hidroelektrik enerjinin payı önemli seviyelere ulaşmıştır (Tutuş, 2006: 319).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hareket geçirilmesi bakımından 2000'li yıllarda önemli gelişmeler yaşanmıştır. İlk olarak enerji kaynaklarını; yeterli miktarda, kaliteli, kesintisiz, makul fiyatlar ile ve çevreye duyarlı bir şekilde tüketicilere kullandırabilmek için rekabet koşulları altında özel hukuka tabi faaliyet gösterebilecek, güçlü mali dengelere sahip, istikrarlı ve şeffaf bir enerji piyasanın oluşturulması için 2001 yılında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kurulmuştur (www.enerjiportali.com/enerji-piyasasi-duzenleme-kurumu-epdk-nedir/ 08.02.2020). Ardından 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin 5346 sayılı Kanun çıkarılarak; söz konusu kaynaklardan elektrik üretiminin yaygınlaştırılması, bu kaynakların iktisadi, güvenilir ve kaliteli şekilde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, çevresel dengelerin korunması ve bu amaçlara ulaşılmasını sağlayacak imalat sektörlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır (www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5346.pdf 08.02.2020). Böylece yasal şartları taşıyan özel sektör firmalarının da fosil olmayan enerji kaynakları aracılığıyla elektrik üretimi yapabilmesi için ihtiyaç duyulan gerekli zemin oluşturulmuştur.

Yasal adımlara bağlı olarak HES'lerin sayısı artış göstermesine rağmen; bu santrallerin çevresel ve toplumsal bazı olumsuz etkilerinden ötürü elektrik üretimi potansiyelin altında kalmaktadır. Grafik 80, 1965-2017 dönemi için hidrolik kaynaklardan elde edilen elektrik üretiminin gelişimini göstermektedir.

Grafik 80. 1965-2017 Dönemi Türkiye Hidrolik Enerji Üretimi (TWh)



Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2018 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Grafik 80, elektrik üretiminin özellikle ekonomik büyüme ile yakından bağlantılı olduğu konusunda bir izlenim vermektedir. Nitekim kriz ve durgunluk dönemlerinde elektrik üretimi belirgin şekilde düşüş göstermiştir.

3.1.8. Türkiye'de Jeotermal Enerji

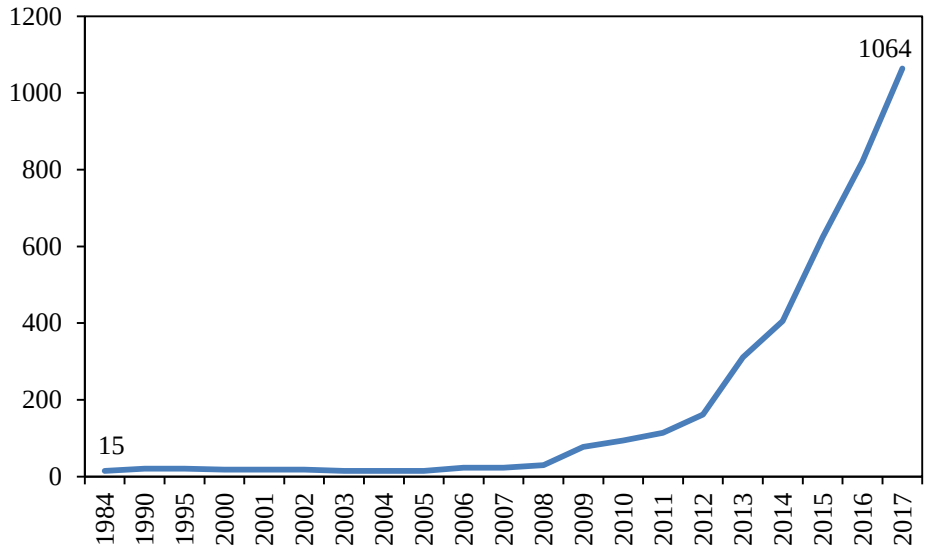
Türkiye'de jeotermal enerji kaynaklarına yönelik ilk arama faaliyetleri, 1962 yılında MTA tarafından başlatılmıştır. Bu tarihten yaklaşık bir yıl sonra ilk jeotermal sondaj kuyusu İzmir-Balçova'da açılmış ve 40 m derinlikte 124°C sıcak su ve buhar bulunmuştur. MTA'nın başlangıçtaki jeolojik araştırmaları, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) iş birliği çerçevesinde elektrik üretim potansiyeline sahip yüksek sıcaklıklı akışkan üretilen sahalar üzerinde odaklanmıştır (Erkul, 2012: 121). Elektrik üretimine uygun ilk yüksek sıcaklığa sahip (198°C) jeotermal rezervuar ise 1968 yılında Denizli-Kızıldere sahasında keşfedilmiştir. 1974 yılında da burada kurulu santralden çevredeki üç köyün elektrik ihtiyacı sağlanmıştır. Ticari ölçekli ilk güç üretimine ise 1984 yılında 15 MW kurulu kapasite ile başlanmıştır (Canik vd., 2000: 5).

1970-80 döneminde Türkiye'nin farklı bölgelerinde orta sıcaklığa sahip sahaların keşfedilmesi sonucu jeotermal enerji, konut ve seraları ısıtmak amacıyla

kullanılmaya başlamıştır. 1990'lı yıllarda ise ısıtma uygulamaları yaygınlık kazanarak; Afyon, Kırşehir, İzmir il merkezleri ile Edremit, Bigadiç, Salihli, Sandıklı, Kızılcahamam, Sarayköy, Simav, Sorgun, Kozaklı ve Diyadin'de merkezi sistem şehir ısıtmaları gerçekleştirilmiştir (Şimşek, 2015: 6).

Gerek elektrik üretimi amaçlı gerekse diğer sebeplerden ötürü jeotermal enerji arama çalışmaları her ne kadar 1990-2004 döneminde oldukça yavaşlama gösterse de; 2005 yılındaki 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretim Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile özel sektörün bu kaynaklara ilişkin faaliyetleri belirgin biçimde artmıştır (Dağıstan, 2013: 3). Nitekim bu faaliyetlere bağlı olarak 1984-2017 döneminde Türkiye'nin Kurulu jeotermal güç kapasitesi 15 megavattan 1.064 megavat seviyelerine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2018).

Grafik 81. 1984-2017 Dönemi Türkiye'nin Kurulu Jeotermal Güç Kapasitesi (MW)

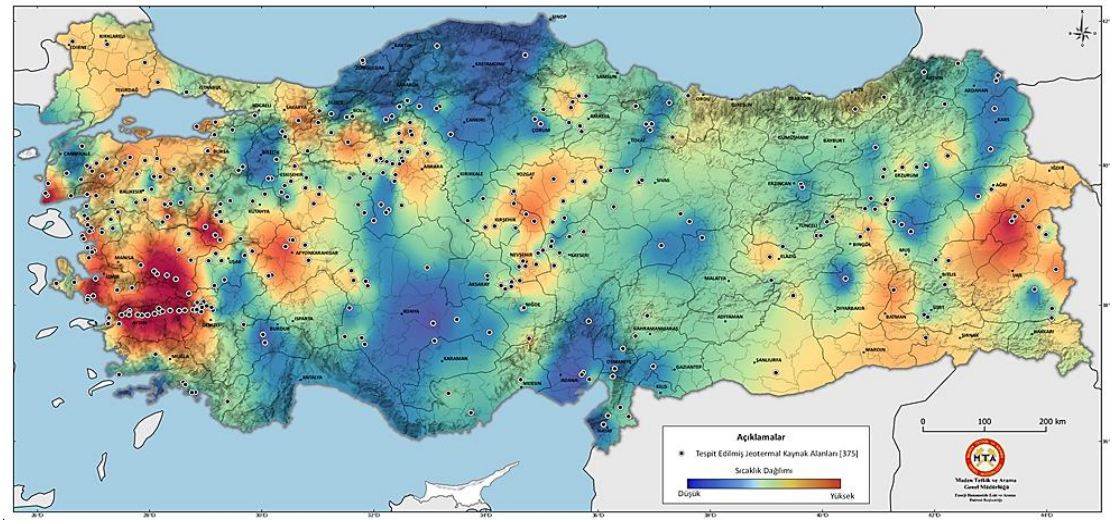


Kaynak: BP Statistical Review of World Energy 2018 verileri kullanılarak elde edilmiştir.

Türkiye, jeolojik ve coğrafi konumundan dolayı aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal enerji potansiyeli itibariyle dünya genelinde ilk sıralarda konumlanmaktadır. Nitekim jeotermal enerji santrali kurulu gücü bakımından Türkiye; ABD, Endonezya, Filipinler'i takip etmektedir. Jeotermal

potansiyelin yüzde 78'i Batı Anadolu'da, yüzde 9'u Orta Anadolu'da, yüzde 7'si Marmara bölgesinde, yüzde 5'i Doğu Anadolu'da ve yüzde 1'i de diğer bölgelerde yer almaktadır (www.mta.gov.tr 28.01.2020). Ancak bu kaynakların yüzde 90'ı düşük ve orta sıcaklıklı olup; ısıtma, termal turizm ve çeşitli endüstriyel uygulamalar için uygun nitelik taşırken, yüzde 10'u ise elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir özelliktedir (Akkuş ve Alan, 2016: 27).

Şekil 8. Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Alanları ve Sıcaklık Dağılımı



Kaynak: www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari 28.01.2020

3.2. 2000'li Yıllardaki Kalkınma Planlarında Enerji Hedefleri ve Sonuçları

Günümüzde enerji ile ilgili olarak ortaya çıkan ve giderek ağırlaşan problemler hemen hemen bütün ülkeleri etkilemektedir. Türkiye'nin enerji konusunda gelecekte karşılaşılacak sorunları en aza indirmek, özel sektör yatırımcılarına güven vermek ve ekonomiye bir düzen getirmek amacıyla kalkınma planları içerisinde ülkemizin enerji hedefleri belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak da 2000-2023 yıllardaki kalkınma planlarında belirlenen enerji hedefleri ve sonuçları değerlendirilmiştir.

3.2.1. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005)

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı dönemi; sosyal refah düzeyinin yükseldiği, kesintisiz ve istikrarlı bir büyüme performansının sergilendiği, AB

üyeliğine yönelik süreç içerisinde temel değişim ve dönüşümlerin gerçekleştirildiği, dünya ile birçok noktada bütünleşmenin sağlandığı ve Türkiye'nin gerek dünyada gerek bölgesinde daha güçlü, etkin ve saygın bir konum üstlendiği dönem olmuştur (www3.kalkinma.gov.tr/PortalDesign/PortalControls/WebContentGosterim.aspx?Enc=51C9D1B02086EAFBD8FB4D720EB6A172 22.03.2019).

2001-2005 dönemini kapsayan bu planda öncelikli hedeflerinden biri, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyacını; sürekli, kesintisiz, minimum maliyetlerle ve güvenli bir şekilde karşılayabilmek olmuştur. Enerji alt sektörlerinde ise değişen ekonomik konjonktür ve artan özelleştirme faaliyetleri ile uyumlu olarak özel sektörün daha fazla rol oynayacağı bir yapının tesis edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda başta elektrik ve doğalgaz sektörleri olmak üzere, enerji kaynaklarının üretiminden tüketimine kadar geçen her aşamada piyasanın güçlendirilmesi için gerekli olan tüm yasal ve kurumsal değişikliklerin yapılması hedeflenmiştir (DPT, 2000: 145-146).

Doğalgazın, diğer fosil yakıt türlerine göre daha temiz, ekonomik ve verimli olmasından dolayı tüketim payının artırılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmüştür. Bu doğrultuda bölgesel özel gaz dağıtım şirketlerinin kurularak doğalgaz kullanımının ülke çapında yaygınlık kazanmasını beraberinde getirecek yatırımlara devam edilmiştir (DPT, 2000: 146).

Plan, enerji transferi konusunda Türkiye'yi merkezi bir konuma getirecek ham petrol ve doğalgaz boru hattı yatırımlarına da açıklamalar getirmiştir. Bu çerçevede Hazar bölgesindeki Kazakistan, Türkmenistan ve Azerbaycan'da üretilen ham petrolün Akdeniz'e, buradan da Avrupa pazarlarına iletilmesini sağlayacak Bakü-Tiflis-Ceyhan Boru Hattı Projesi'nin plan döneminde tamamlanması öngörülmüştür. Diğer taraftan yeni doğalgaz boru hattı yatırımlarının ise arz kaynaklarının çeşitlendirilmesine imkan verecek şekilde gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca sanayinin yoğun, çevresel sorunların fazla ve nüfusun kalabalık olduğu yerlerdeki enerji ihtiyacını karşılamak üzere doğalgaz dağıtımının yaygınlaştırılmasına değinilmiş, özellikle ekonomik nedenlerden ötürü depolama birimleri yatırımlarına gidilmesinin önemine vurgu yapılmıştır (DPT, 2000: 166).

Enerji kaynaklarının farklılaştırılması hedefleri çerçevesinde madencilik faaliyetlerinin artırılması, üretilen hammaddelerin katma değer yaratılarak nihai mallara dönüştürülmesi, özellikle sanayinin hammadde ve enerji talebinin sürekli, güvenli ve ekonomik olarak karşılanması amaçlanmıştır. Arama çalışmalarına ve bu çalışmaların ileri teknikler kullanılarak gerçekleştirilmesine önem verilerek, bilinen maden kaynaklarının da geliştirilmesi gerektiğine işaret edilmiştir (DPT, 2000: 117-118).

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı döneminde; yurtiçi elektrik talebinin yüzde 9 oranında artış göstererek dönem sonunda 195,1 milyar kWh'e, kişi başına elektrik tüketiminin de 2.773 kWh'e ulaşması tahmin edilmiştir. Bu dönem itibariyle elektrik santralleri kurulu gücünün ise 15.392 MW artış kaydederek 42.783 MW'a, üretim kapasitesinin ise 234 milyar kWh seviyesine ulaşacağı belirtilmiştir (DPT, 2000: 152).

Sekizinci Kalkınma Planı Uygulama Sonuçları: Sekizinci Kalkınma Planı döneminde, ekonomik büyüme ve nüfus artışına bağlı olarak hem birincil enerji hem de elektrik enerjisi tüketimi belirgin şekilde yükselmiştir. Nitekim 2001 yılında 66,9 milyon ton eşdeğer petrol olan birincil enerji tüketimi, yaklaşık yüzde 27 oranında artarak 2005 yılında 84,9 milyon ton eşdeğer petrol düzeyine ulaşmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2019). Diğer taraftan elektrik tüketimi ise aynı dönemde yaklaşık yüzde 33 oranında artarak 97 milyar Kwh'den 129 milyar Kwh'ye çıkmıştır (EIA, International Energy Statistics).

Doğal monopol özelliği taşıyan elektrik iletim ve dağıtım faaliyetlerini düzenlenmek, elektrik üretimi ve satış piyasalarını da rekabete açmak üzere 20.02.2001 tarihinde 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu çıkarılmıştır. Bu kanun sayesinde ilk olarak Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu kurulmuş, ardından 4646 Sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu ile kurumun ismi Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) şeklinde değiştirilmiştir. Aynı yıl içinde çıkarılan 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu, petrol piyasasının; 5307 Sayılı Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) Piyasası Kanunu da sıvılaştırılmış petrol gazları piyasasının EPDK'nın görev ve yetki alanına dahil edilmesini sağlamıştır (www.epdk.org.tr 21.04.2019).

4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun uygulamasına ilişkin sahada ortaya çıkan eksiklikleri gidermek ve serbest piyasa mekanizmasını güçlendirmek amacıyla 2004 yılında Elektrik Enerjisi Sektörü Reformu ve Özelleştirme Stratejisi Belgesi hayata geçirilmiştir. Böylece belirli bir takvim dahilinde elektrik dağıtım ve üretim tesislerinin özelleştirilmesi kararlaştırılmış ve enerji arz güvenliği konusunda alınması gereken diğer tedbirler tespit edilmiştir (DPT, 2006: 25).

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilerek daha fazla kullanılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, zehirli gaz emisyonlarının düşürülmesi, atıkların geri kazanımı ve çevresel dengelerin korunması amacıyla 2005 yılında 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun çıkarılmıştır (www.resmigazete.gov.tr 21.04.2019). Ancak hazırlıkları tamamlandığı halde Enerji Verimliliği Kanunu yasalaştırılamamıştır (www3.kalkinma.gov.tr/DocObjects/View/13744/plan9.pdf 06.01.2020).

Rusya ile Türkiye arasında yapılan doğalgaz ticaret anlaşması kapsamında yıllık 16 milyar metreküp taşıma kapasitesine sahip Samsun-Ankara doğalgaz iletim hattı 2003 yılında devreye alınmıştır. Ayrıca Hazar bölgesinde çıkarılan petrolün boru hattı aracılığıyla Gürcistan üzerinden Ceyhan'a taşınması ve buradan da tankerler aracılığıyla uluslararası pazarlana ulaştırılması için 50 milyon ton/yıl kapasiteli Bakü-Tiflis-Ceyhan Petrol Boru Hattı projesi de 2006 yılında faaliyete geçmiştir (www.enerji.gov.tr 21.04.2019)

3.2.2. Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013)

2007-2013 dönemini kapsayan Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda ekonomik büyümenin ve sosyal kalkınmanın istikrarlı bir yapıda sürdürülmesi ve küresel ölçekte rekabet gücüne sahip olma amacı güdülmüştür. Bu amaç dahilinde ekonomik kalkınmanın ve sosyal gelişmenin ihtiyaç duyduğu enerjinin sürekli, güvenli ve asgari maliyetle temin edilmesi hedeflenmiştir. Planda enerji alanı ile ilgili Türkiye'nin mevcut jeostratejik konumunun etkin bir biçimde kullanılmasıyla enerji

üreticisi ve tüketicisi ülkeler arasında transit ülke olunması, bu şekilde jeostratejik konumunun daha da güçlendirilmesi planlanmıştır (DPT, 2006: 69).

Dokuzuncu Kalkınma Planı'nın 2007-2013 dönemi için enerji talebi hedefleri Tablo 7'da yer almaktadır. Buna göre; 2006 yılında 96.560 btep olan birincil enerji tüketiminin her yıl ortalama yüzde 6,2 oranında artarak 2013 yılında 147.400 btep seviyesine ulaşacağı öngörülmüştür. Diğer taraftan elektrik talebinin ise söz konusu dönemde ortalama yüzde 8,1 oranında bir artış kaydederek 171.450 GWh'den 295.500 GWh düzeyine yükseleceği tahmin edilmiştir. Enerji talebinde bu değişikliğin kaynağı olarak da sosyoekonomik koşullardaki gelişmeler gösterilmiştir. Ayrıca doğalgaz tüketiminin toplam enerji tüketimi içerisindeki oransal ağırlığının yüzde 28'den yüzde 34'e; petrol ürünlerinin payının da yüzde 37'den yüzde 31'e düşeceği beklentisi ifade edilmiştir (DPT, 2006: 58-59).

Tablo 7. Dokuzuncu Kalkınma Planı Enerji Hedefleri

	2006	**2013**	**2007-2013**
Birincil Enerji Talebi (btep*)	96.560	147.400	6,2
Elektrik Enerjisi Talebi (GWh**)	171.450	295.500	8,1

Not: * ve ** sırasıyla; bin ton eşdeğer petrol ve gigawatt saati temsil etmektedir.
Kaynak: DPT Dokuzuncu Kalkınma Planı, 2006.

Türkiye ekonomisinin rekabet gücünü artırmak ve toplumsal refah düzeyini yükseltebilmek için plan döneminde enerji altyapısına yönelik olarak belirlenen amaçlar şu şekilde sıralanabilir (DPT, 2006: 69-70):

- Enerji tüketiminin neden olacağı çevresel olumsuzluklarının minimum seviyelerde tutulması, enerji kaynaklarının verimli ve tasarruflu bir biçimde kullanılması,
- Kamu kesimi tarafından gerçekleştirilen elektrik üretim ve dağıtım birimlerinin, 2004 yılında yürürlüğe geçen Strateji Belgesi doğrultusunda hızlı bir şekilde özel sektöre devredilmesi,
- Enerji arz güvenliği çerçevesinde ülke ve kaynak çeşitlendirilmesine gidilmesi,

- Elektrik üretiminde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması,
- Özelleştirmeler sonucu piyasa aktörlerinin kamu kesimine yük getirmeyecek şekilde yeni yatırımları yapabilmesini sağlayacak yasal zeminin oluşturulması,
- Özelleştirilmeyen elektrik iletim sistemlerine yönelik kamu yatırımlarının, güvenliği ve güvenilirliği koruyacak biçimde sürdürülmesi,
- Enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesine katkıda bulunabilmek için petrol stoklarının korunması ve ihtiyaca cevap verecek miktar ve büyüklükte depolama birimlerinin kurulması,
- Yurtiçi doğalgaz dağıtım faaliyetlerinin yaygınlaştırılması,
- Kamu kesimi yatırımları kapsamında hidroelektrik santral projelerinin minimum maliyetler ile süratli bir şekilde tamamlanması,
- Elektrik üretiminde nükleer enerjiden faydalanılması, nükleer santral ile ilgili konularda kamuoyunu bilgilendirmek üzere plan ve programların yapılması,
- Enerji üretim merkezleri ile tüketim merkezleri arasındaki konumundan ötürü ülkenin jeostratejik öneminin güçlendirilmesi,
- Uluslararası petrol pazarlarında Ceyhan temel dağıtım noktalarından biri olduğu için, petrol fiyatlarının belirlenmesinde etkili bir noktaya gelinmesi,
- Doğalgaz iletim hatlarını tamamlamak suretiyle Avrupa'ya gaz satışında etkin bir konum kazanılması,
- Farklı ülkeler ile elektrik alım-satımı yapılmasını sağlayacak altyapının kurulması.

Dokuzuncu Kalkınma Planı Uygulama Sonuçları: Küresel kriz, kalkınma planı hedeflerinde belli ölçüde sapmaya yol açtığı için, Türkiye'nin enerji tüketimi tahmin edilen oranın altında bir büyüme kaydetmiştir. Nitekim 2006-2013 döneminde birincil enerji talebi yaklaşık yüzde 29 oranında artarak 94,3 mtep'den 121,5 mtep seviyesine çıkmıştır (BP Statistical Review of World Energy 2019). Diğer taraftan elektrik tüketimi ise 2006 yılında 142 milyar Kwh iken; yaklaşık yüzde 39 oranında artarak 198 milyar Kwh düzeyine ulaşmıştır (EIA International Energy Statistics).

Enerji piyasalarının serbestleştirilmesine yönelik atılan adımlar başarılı sonuçlar vermiş ve özel kesimin elektrik enerjisi kurulu güç içerisindeki payı söz konusu dönemde yüzde 41,5'den yüzde 56,6'ya yükselmiştir. Ayrıca özel sektörün elektrik üretimindeki oransal ağırlığı da yüzde 51,9'dan yüzde 62'ye ulaşmıştır. Diğer taraftan üretimde kısmi bir aşama kaydedilirken; özellikle dağıtım faaliyetlerinde ise önemli bir ilerleme sağlanmıştır. Bu çerçevede tüm dağıtım tesislerinin 2013 yılı sonu itibariyle özel sektöre devredilmesi öngörülmüştür (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 116).

Doğalgaz kullanımını yaygınlaştırmak üzere yaklaşık 12.290 km uzunluğunda bir iletim hattı kurularak 72 il merkezi için kullanım olanağı sağlanmıştır. BOTAŞ'ın gaz alım sözleşme hakkının bir bölümü (4 milyar m^3) özel sektöre devredilmiş, 6 milyar m^3 büyüklüğündeki doğalgazın da ithalatçı ülkeden alım izni doğrudan özel sektöre geçmiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 116-117).

Elektrik Piyasası Kanunu'nun yenilenmesine bağlı olarak enerji borsasının kurulması için altyapı oluşturulmuş, yatırımlara hız kazandırmak üzere ön lisans mekanizması getirilmiş ve yatırım sübvansiyonlarına ilişkin süre uzatılmıştır. Diğer ülkeler ile elektrik ticaretini gerçekleştirmek amacıyla Avrupa Ülkeleri Elektrik Sistemi'ne deneme bağlantısı yapılmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 117).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması amacıyla teşvik sisteminde bir taraftan iyileştirilmelere gidilirken; diğer taraftan da bu kaynakların temel bileşenlerinin yerli üretimine destekler getirilmiştir. Fosil yakıtlar içerisinde önemli bir yere sahip olan kömürden daha fazla elektrik üretebilmek için ülke içindeki kömür sahaları özel kesime açılmıştır. Afşin-Elbistan'da bulunan linyit yatakları ise Birleşik Arap Emirlikleri ile iş birliğine gidilerek elektrik üretimine kazandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca Mersin-Akkuyu nükleer santrali için Rusya ile anlaşmaya varılmış, Sinop santrali için de Japonya ile anlaşılmıştır. Enerji arz güvenliği kapsamında bir yer altı depolama projesinin yapımına Tuz Gölü'nde başlanmış, Azerbaycan hükümeti ile de Trans-Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı'nın (TANAP) yapımına yönelik ikili mutabakata varılmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 117).

Enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve enerji yoğunluğunu düşürmek üzere Enerji Verimliliği Kanunu ve Enerji Verimliliği Strateji Belgesi devreye alınmıştır. Ancak Onuncu Kalkınma Planı'nda enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılığın önemli ölçüde devam ettiği ifade edilmiştir. Buradan hareketle de yurtiçindeki kaynakların azami düzeyde kullanılması gerektiği belirtilmiş, enerji verimliliğinin artırılması ve enerji yoğunluğunun da düşürülmesine yönelik adımların önemine dikkat çekilmiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 117).

3.2.3. Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2014-2018)

Onuncu Kalkınma Planı'nda temel olarak; enerji üretimi, iletimi ve tüketiminin kaliteli, kesintisiz, düşük fiyatlar ve çevreye duyarlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak üzere yeni, yerli ve yenilebilir enerji kaynaklarının harekete geçirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca enerji verimliliğinin artırılması, enerji israfının ve enerji yoğunluğunun da düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda ortaya konulan politikalar ise şu şekilde sıralanabilir (Kalkınma Bakanlığı, 2013: 117-118):

- Rekabetçi koşulların desteklenmesi, özel sektörün yetersiz kaldığı durumlarda piyasanın işlerliğini sürdürmek üzere devletin yatırımcı rolü üstlenebilmesi,
- Özelleştirme kapsamındaki kamu kesimine ait tüm elektrik üretim ve dağıtım birimlerinin özel sektöre devredilmesi, kapsam dışındaki santrallerde ise kamunun üretim, iletim ve satış faaliyetlerini devam ettirmesi,
- Gerek enerji kaynaklarında gerekse enerji kaynaklarının temin edildiği ülkelerde dengeli bir farklılaştırmaya gidilmesi, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının olabildiği ölçüde yükseltilmesi,
- Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektriğin güvenli bir şekilde şebekeye entegre edilmesini sağlayacak yatırımların gerçekleştirilmesi,
- Petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt türlerinde her türlü durumu dikkate alarak yeterli büyüklükte stok bulundurulması, doğalgaz depolama projelerinin tamamlanması,

- Mersin-Akkuyu nükleer santraline ait ilk güç ünitesinin plan dönemi içerisinde büyük ölçüde inşa edilmesi ve Sinop'taki santralin de ilk ünite yapımına başlanması,
- Plan dönemi içerisinde 5.000 MW'lik üçüncü bir nükleer santralin yerini belirleme, fizibilite etüdünü yapma ve yatırım hazırlıklarına başlama çalışmalarının yürütülmesi,
- Nükleer enerji aracılığıyla elektrik üretimi için gerekli olan hukuki ve kurumsal altyapının olgunlaştırılması,
- Nükleer enerji faaliyetlerinin belli standartlar dahilinde yapılabilmesi amacıyla bağımsız bir düzenleme ve denetleme sisteminin kurulması,
- Radyoaktif atıkların değerlendirilmesine yönelik tüm çalışmalar konusunda şeffaf bir yaklaşım izlenmesi,
- Yerli kömür kaynaklarının özel sektör tarafından temiz ve verimli bir şekilde kullanılarak elektrik üretiminde değerlendirilmesi, Afşin-Elbistan sahasındaki linyit yataklarının da elektrik üretimine sevk edilmesi,
- Enerji kaynaklarının tüm sektörlerde verimli bir şekilde kullanılması, devlete ait termik santraller ile HES'lerin rahabilite edilerek kayıp-kaçak oranlarının düşürülmesi,
- Türkiye'nin enerji koridoru olma işlevini güçlendirmesi,
- Avrupa bölgesine doğalgaz iletimi ve satışında daha etkin bir konuma gelinmesi, TANAP projesinin tamamlanarak ENTSO-E sistemine tam olarak entegre olunması.

Onuncu Kalkınma Planı Sonuçları: Elektrik üretim sektöründe, özelleştirme çalışmaları 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 4046 sayılı Özelleştirme Uygulamaları Hakkında Kanun çerçevesinde Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından yürütülmüştür. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.'ye (TEDAŞ) bağlı toplam 18 elektrik dağıtım kurumu özelleştirilmiş olup, kamu dağıtım tesislerinin tamamının özel sektör tarafından işletilmeye başlanmıştır. Özelleştirme uygulamaları sonucunda, 2010 yılı itibariyle elektrik üretiminde ise özel sektörün kurulu güç içindeki payı kamu santrallerinin önüne geçmiştir. 2017 yılı için elektrik üretimi rakamlarına bakıldığında, 295.510,60 GWh olan toplam elektrik üretiminde özel

sektör payının yüzde 84 olduğu, kamu sektörü payının yüzde 16 oranında kaldığı görülmüştür (www.teias.gov.tr 30.04.2019).

Ülkemizin elektrik üretim tesislerinde yerli kaynakların kullanılması yönünde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çeşitli politikalar geliştirilmiş, stratejik planda hedefler belirlenmiş ve yenilenebilir enerji kaynakların kullanılması yönünde eylem planları oluşturulmuştur. 2016-2017 yıllarında yerli linyit kaynaklarının elektrik üretimindeki payını artırma yönünde özelleştirilmiş linyit santralleri üretimlerinden bir bölümünün Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) tarafından, belirlenmiş bir fiyatla satın alınma garantisi verilmiştir. Bu kapsamda yıllık alım garantisi yedi yıla çıkarılmış ve alım bedeli yaklaşık 200 TL/MWh olarak belirlenmiştir. Yine yerli kaynakları teşvik etmek amacıyla alım ve fiyat garantisi verilerek yeni linyit santralleri yaptırma uygulaması başlatılmış; ilk olarak Çayırhan'da yeni santral ihalesi gerçekleştirilmiştir (Dilli, 2018: 107-108).

Onuncu Kalkınma Planı döneminde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim amaçlı kullanımına ilişkin kanun ile birlikte bu kaynaklardan üretilen elektriğe devlet tarafından alım garantisi verilmiştir. Ayrıca yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminde yerli malzeme kullanılması da teşvik edilerek kullanılacak yerli üretim makine teçhizata göre alınacak elektrik bedelleri arttırılmıştır (www.resmigazete.gov.tr 01.05.2019)

Akkuyu nükleer güç santralinin inşaatı kapsamında; birinci ünite reaktör binasının temel plakasının döşenmesine ilişkin çalışmalar, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın güvenlik standartları ve Türkiye'nin ulusal standartları ile tam uyumlu olacak şekilde 2019 yılının başında tamamlanmıştır. 2018 yılının sonunda santralin ikinci ünitesi için sınırlı çalışma izni alınmış ve çalışmalar başlamıştır (www.akkunpp.com 01.05.2019). Akkuyu nükleer santralinin birinci ünitesi 2023 yılında devreye alınması öngörülmüştür. Ülkemizin ikinci nükleer santral projesi olan Sinop Nükleer Santrali için 3 Mayıs 2013 tarihinde Japonya ile nükleer santral yapımı ve iş birliğine ilişkin hükümetler arası anlaşma imzalanmıştır. Bu konuda çalışmalar devam etmekte olup tesisin ilk ünitesinin inşaatına 2020 yılında başlanması planlanmıştır (www.enerji.gov.tr 01.05.2019).

Türkiye'nin enerji üreticisi ve tüketicisi ülkeler arasındaki stratejik coğrafi konumunu enerjide transit ve terminal ülke olarak değerlendirmesi için TANAP ve Türk Akım proje çalışmaları günümüzde devam etmektedir. Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesi, Azerbaycan'ın Hazar Denizi'ndeki Şah Deniz 2 Gaz Sahası ve Hazar Denizi'nin güneyindeki diğer sahalarda üretilen doğal gazın öncelikle Türkiye'ye, ardından Avrupa'ya taşınması için 2018 yılında ilk gaz akışı sağlanmıştır. Avrupa'ya gaz tedarikinin ise 2020 yılı içerisinde gerçekleşmesi planlanmıştır. Bununla birlikte 10 Ekim 2016 tarihinde, Türk Akım Doğalgaz Boru Hattı Projesi için Türkiye ile Rusya arasında anlaşma imzalanmıştır. Proje kapsamında Türkiye'ye doğalgaz arzı sağlayacak ilk hatta ve Avrupa'ya gaz arzı sağlayacak ikinci hatta inşaat çalışmaları devam etmekte olup, her iki hattın da 2019 yılı sonunda işletmeye alınması öngörülmüştür (www.enerji.gov.tr 01.05.2019).

Türkiye, başta endüstriyel hammaddeler ve doğal taşlar olmak üzere bazı metalik madenler ile linyit ve jeotermal kaynaklar gibi enerji hammaddeleri açısından zengin bir ülkedir. Onuncu Kalkınma Planı döneminde, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yer altı kaynaklarının ekonomiye kazandırılması çalışmaları sonucunda 1,5 milyar ton yeni kömür rezervi tespit edilmiştir. Günümüze kadar 227 adet jeotermal bölge keşfedilmiş, doğrudan kullanım ve elektrik üretimi amaçlı 550 tanesi MTA tarafından olmak üzere toplamda yaklaşık 1100 adet jeotermal sondaj kuyusu açılmıştır (Zaim ve Çavşi, 2018: 49). Yine radyoaktif hammadde aramalarına yönelik olarak da son dönemde yapılan çalışmalarla 9.179 ton olan uranyum rezervi 12.600 tona çıkarılmıştır. Enerji hammaddelerinin yanı sıra metalik ve endüstriyel hammaddelerde Manisa'da altın-kurşun-çinko, Malatya'da bakır, Erzurum'da çinko, bakır, kurşun ve altın, Kastamonu'da altın, bakır, çinko, Kırklareli'de demir, Afyonkarahisar'da bakır-altın, Bursa'da bakır, molibden, Malatya'da uranyum, niyobyum, Kahramanmaraş'ta grafit olmak üzere yeni maden sahaları keşfedilmiştir (MTA Faaliyet Raporu, 2018: 5)

3.2.4. On Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2019-2023)

Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi'nin ilk kalkınma planı olan 2019-2023 dönemini kapsayan On Birinci Kalkınma Planı'nda; enerji arzının sürekli, kaliteli,

sürdürülebilir, güvenli ve katlanılabilir maliyetlerle karşılanması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, artan enerji talebinin karşılanmasında rekabete dayalı yatırım ortamının geliştirilmesi, mali açıdan güçlü, istikrarlı, şeffaf, öngörülebilir, tüketicinin korunduğu ve sürdürülebilirliği de dikkate alan bir enerji piyasasının sürekliliği gözetilmesi öngörülmüştür (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 118).

On Birinci Kalkınma Planı'nın enerji hedeflerine göre; 2018 yılında 147 bin 955 ton eşdeğer petrol olan birincil enerji talebi 2023'de 174 bin 279 ton eşdeğer petrol seviyesine ulaşacağı, elektrik talebinin ise söz konusu dönemde 303,3 terawatt saatten 375,8 terawatt saat düzeyine yükseleceği tahmin edilmiştir. Diğer taraftan 2018'de Türkiye'nin 88 bin 551 megavat olan elektrikteki kurulu gücünün, 2023 yılında 109 bin 474 megavata çıkarılacağı öngörülmüştür. Planda elektrik üretiminde kullanılan doğalgazın payının azaltılması söz konusudur. Elektrik üretimindeki doğalgazın payı 2018 yılında yüzde 29,85'lik düzeyde iken, 2023 yılında bu oran yüzde 20,7'ye düşeceği beklentisi ifade edilmiştir. Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki maliyetlerin düşüşü sonucu 2018'de yüzde 32,5'lik seviyede olan yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının da 2023 yılında yüzde 38,8'e yükseltileceği hedeflenmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 121).

Tablo 8. On Birinci Kalkınma Planı Enerji Hedefleri

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

Kaynak: T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı On Birinci Kalkınma Planı, 2019.

Nükleer güç santrallerinin, elektrik enerjisi üretimine ekleneceği bu dönemde, Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin ilk ünitesinin inşaatının, 2023 yılında tamamlanarak elektrik üretimine başlaması planlanmıştır. Bununla beraber Akkuyu Nükleer Güç Santraline ilave olarak, iki santralin daha kurulumuna yönelik çalışmalara devam edileceği konusuna vurgu yapılmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 119).

2019-2023 dönemini kapsayan On Birinci Kalkınma Planı hedeflerinden biri de linyit rezervlerinin çevre standartlarına uygun olarak elektrik üretiminde kullanımının artırılmasıdır. Bu çerçevede önceki dönemlerde özelleştirilen linyit yakıtlı santralların çevreye verdikleri zararların azaltmalarını sağlayacak yatırımların teşvik edilmesi kapsamında temiz kömür teknolojilerine ilişkin Ar-Ge projelerinin destekleneceği ifade edilmiştir. Bununla birlikte, ülkemizde enerji verimliliği kazanımlarının ve orman varlığının artırılması gibi ilave tedbirlerle karbon salımının azaltılmasına dair önlemlerin alınması gerektiğine işaret edilmiştir. Böylelikle kamu nezdindeki linyit sahalarının elektrik enerjisi üretimiyle ekonomiye kazandırılarak elektrik üretiminde ithalata bağımlılığın azaltılması ve ülke istihdamına katkı sağlanması hedeflenmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 118).

Ülkemizin doğalgaz arz güvenliğinin güçlendirilme hedefleri kapsamında Tuz Gölü Doğalgaz Yeraltı Depolama Projesi ile Kuzey Marmara Doğalgaz Depolama Tevsii Projesinin 2023 yılında tamamlanarak toplam doğalgaz yeraltı depolama kapasitesinin 10 milyar metreküp düzeyine çıkarılması planlanmıştır. Ayrıca doğalgazda, ülke ve güzergah çeşitliliğinin artırılması amacıyla, sıvılaştırılmış doğalgaz depolama ve gazlaştırma ünitesi (FSRU) gemilerinin temin edilmesi öngörülmüştür. Bu dönemde ayrıca, Türkiye sorumluluğunda bulunan kısmını oluşturan Türk Akım Kara Kısmı-1 Doğal Gaz Boru Hattı Projesinin sonuçlanması ve Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı Projesinin kalan kısımlarının da tamamlanarak Hazar havzasından Avrupa gaz iletilmesine yönelik altyapının hizmete alınması öngörülmüştür (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 119, 120).

Elektrikte uluslararası ticaretin artırılması için gerekli teknik altyapı ve piyasa altyapısının kapasitesi yükseltilmesini öngören On Birinci Kalkınma Planı, uluslararası elektrik enterkoneksiyon kapasitesinin artırılarak sınır ötesi ticaret olanaklarının geliştirilmesini de kurguluyor. Bu çerçevede öncelikle Türkiye ile İran arasındaki elektrik ticaretine olanak sağlayacak "Van Back to Back Sistemi" ve bu sistemin bağlantı hatlarının hayata geçirileceği, ardından da Tortum-Gürcistan enerji iletim hattı projesinin tamamlanacağı planlanmıştır. Bunun yanında, enerjide üretici ve tüketici bölgeler arasında Türkiye'nin jeostratejik konum avantajı bulunmaktadır. Elektrik ve doğalgaz ticaret platformlarının yeni piyasa ürünlerinin geliştirilmesine yönelik faaliyetlerde bulunması, daha verimli ve kendi enerjisini üreten binaların yaygınlaştırılması, ithal kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması, yerli ve yenilebilir kaynaklardan enerji üretiminin arttırılması gibi hedefleri içerisinde barındıran On Birinci Kalkınma Planı ile Türkiye, dünyanın en önemli "Enerji Ticaret Merkezi" hâline geleceği tahmin edilmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019: 120).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE EKONOMİK BÜYÜME ARASINDAKİ İLİŞKİNİN AMPİRİK ANALİZİ

4.1. Teorik Çerçeve

Enerji, büyüme ve rekabet gücü bakımından merkezi bir konum üstlenmektedir. Nitekim enerji kaynakları, bir taraftan temel üretim girdileri arasında yer alırken; aynı zamanda da önemli bir maliyet unsurudur (Fotourehchi, 2017: 61). Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki olası ilişkileri açıklamak üzere geliştirilen dört farklı hipotez olup, bu hipotezler şu şekilde sıralanabilir (Alper, 2018: 226; Durğun ve Durğun, 2018: 8, Örgün ve Pala, 2017: 10-12; Topcu ve Tel, 2018: 210; Yılmaz ve Şen, 2018: 329; Apergis ve Payne, 2009a: 642-643; Apergis ve Payne, 2009b: 212):

- Enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisini açıklayan Büyüme Hipotezi,

- Ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisini açıklayan Koruma Hipotezi,

- Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensel bir ilişkinin olmadığını açıklayan Tarafsızlık Hipotezi

- Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki karşılıklı ilişkiyi açıklayan Geri Bildirim Hipotezi.

Büyüme Hipotezi: Üretim için gerekli olan faktörler; emek, sermaye, doğal kaynaklar ve müteşebbis olmak üzere dört temel unsurdan meydana gelmektedir. Bunlardan sermaye faktörü; insanlar tarafından üretilmiş olan ve üretim sürecinde emeğin işini kolaylaştıran her türlü aracı ifade eder. Dolayısıyla makine ve teçhizat, sermaye faktörünün en önemli bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Enerji, söz konusu bileşenlerin tamamlayıcısı konumunda olduğu için, bu kaynağın tüketiminde

meydana gelecek bir düşüş, reel GSYH'nin azalması (ekonomik küçülme) ile sonuçlanmaktadır. Ekonomik performansın, enerji kaynaklarına bağımlı olduğunu ifade eden bu durum, enerji tasarrufuna yönelik uygulamaların büyüme açısından olumsuz etkiler meydana getirebileceği anlamına gelir. Çünkü enerji tüketiminin gerilemesi ile bir taraftan üretimde daha az sermaye kullanımı gerçekleşmekte; diğer taraftan da emeğin verimliliği düşmektedir.

Koruma Hipotezi: Reel GSYH'nin artışını ifade eden ekonomik büyüme, dışa açık bir modelde; özel tüketim harcamalarının, yatırım harcamalarının ve ithalatın artmasına neden olmaktadır. Bu durum enerji kullanımı gerektiren nihai mallar ile sermaye mallarına olan talebi yükselteceği için büyüme ile birlikte toplam enerji tüketimi de artışa geçmektedir. Nitekim yüksek gelir grubunda yer alan ülkelerdeki enerji tüketiminin diğer gelir grubunda yer alan ülkelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle son dönemlerde hızlı ve güçlü bir büyüme performansı sergileyen Çin ve Hindistan gibi ülkelerde enerji kaynaklarına olan talep de belirgin ölçüde ilerleme kaydetmektedir.

Tarafsızlık Hipotezi: Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensel bir bağıntının bulunmadığını kabul eden bu hipotez, aynı zamanda "nötr hipotez" şeklinde de isimlendirilmektedir. Değişkenler arasında bir ilişkinin bulunmaması, enerji tasarrufu konusunda ülkelere geniş bir hareket alanı açmaktadır. Özellikle yakıt talebini diğer ülkelerden sağlayan ekonomilerde ithalat maliyetlerinin düşmesini sağlayan enerji tasarrufu, nakdi kaynakların yurt içinde kalarak üretim ve tüketim faaliyetlerinin desteklenmesine yardımcı olacaktır.

Geri Bildirim Hipotezi: Ekonomik büyümenin beraberinde getirdiği toplam harcamalardaki artışın enerji tüketimini; enerji tüketimin de meydana gelecek bir düşüşün ise üretim faktörleri üzerinden ekonomik büyümeyi etkileyeceğini ifade eden hipotezdir. Dolayısıyla geri bildirim hipotezine göre söz konusu değişkenler arasında aynı anda gerçekleşen karşılıklı bir nedensel bağıntı bulunmaktadır. Bu durum enerji ile ekonomik büyümenin birbirini tamamlayan iki ayrı unsur olduğunu ortaya koymakta, enerji tüketimini azaltmaya yönelik uygulamaların reel GSYH üzerinde olumsuz bir geri bildirime yol açabileceğini göstermektedir.

Fosil enerji kaynaklarına ait rezervlerin dünya genelinde dengesiz dağılımı, rezervlerin sınırlı büyüklükte olması ve bu kaynakların yoğun tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan çevresel sorunlar, yenilenebilir enerji kullanımını beraberinde getirmektedir (Koçak ve Şarkgüneşi, 2017: 52). Yenilenebilir enerji kullanımı ise ulusal çıktı düzeyi üzerinde farklı yönlerde etkiler ortaya çıkarabilmektedir. Nitekim geleneksel yakıtlar ile gerçekleştirilen enerji üretimi, yenilenebilir kaynaklar ile desteklendiği takdirde artan elektrik arzı, enerji fiyatlarının düşmesine yol açarak üretim maliyetlerinin gerilemesini sağlayacaktır. Diğer taraftan yenilenebilir kaynakları harekete geçirmek üzere yapılan yurtiçi yatırımlar da çarpan mekanizması kanalıyla ulusal çıktı düzeyinin artmasına katkıda bulunacaktır. Ancak teknolojinin yurt dışından tedarik edilmesi, ithalat talebini yükselterek büyüme performansına kısa ve orta vadede olumsuz şekilde yansıyabilecektir. Teknolojik bağımlılığın sürmesi ise söz konusu olumsuz eğilimi besleyecektir. Buna karşılık fosil yakıtlar bakımından fakir olan ülkelerin yenilenebilir kaynakları harekete geçirmesinden ötürü dışa bağımlılıklarının azalması, yurtiçi toplam talebin artması ile sonuçlanacaktır. Geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığın azalması ise; kömür, petrol ve doğal gibi yakıtları ihraç eden ülkeleri olumsuz yönde etkileyecektir.

4.2. Literatür Taraması

Enerji arz güvenliği konusunun önemini giderek artırması, fosil yakıt rezervlerinin tükenme riski ve sera gazı emisyonlarının beraberinde getirdiği ekolojik problemler yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi yoğunlaştırmaya başlamıştır (Koçak ve Şarkgüneşi, 2017: 52). Ancak yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi ele alan çalışmaların sayısı sınırlı büyüklüktedir. Bu çalışmalar ise farklı ülke ve ülke grupları için farklı hipotezleri destekler sonuçlar vermiştir (Chang vd. 2015: 1406). Söz konusu çalışmalardan bir bölümüne ait özet bilgiler Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. Literatür Taraması

Yazar(lar)	Ülke(ler)	Dönem	Yöntem	Bulgular
Büyüme Hipotezi				
Luqman vd. (2019)	Pakistan	1990-2016	Lineer Olmayan ARDL Model	Yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme üzerinde asimetrik olumlu etkiye sahiptir.
Koçak ve Şarkgüneşi (2017)	Karadeniz ve Balkan Ülkeleri	1990-2012	Panel Koentegrasyon ve Heterojen Nedensellik Analizleri	Tüm panel için değişkenler arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Durğun ve Durğun (2018)	Türkiye	1980-2015	ARDL Sınır Testi ve Toda-Yamamoto Nedensellik Testi	Yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Ito (2017)	42 Gelişmekte Olan Ülke	2002-2011	Dinamik Panel Model	Yenilenemez enerji tüketimi ekonomik büyümeyi olumsuz etkilerken; yenilenebilir enerji olumlu yönde etkilemektedir.
Alper ve Oğuz (2016)	AB'nin Yeni Üye Ülkeleri	1990-2009	Asimetrik Nedensellik Testi ve ARDL Yaklaşımı	Yenilenebilir enerji tüketimi tüm ülkelerde ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.
Bilgili ve Öztürk (2015)	G7 Ülkeleri	1980-2009	Panel Koentegrasyon Testi, EKK ve Dinamik EKK	Biyokütle enerji tüketimi, ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkiye sahiptir.
Koruma Hipotezi				
Maji ve Sulaiman (2019)	15 Batı Afrika Ülkesi	1995-2014	Panel Dinamik EKK	Yenilenebilir enerji tüketimi ekonomik büyümeyi zayıflatmaktadır.
Alper (2018)	Türkiye	1990-2017	Bayer-Hanck Eşbütünleşme Testi, Toda-Yamamoto Nedensellik Testi	Ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji kullanımına doğru tek yönlü ilişki vardır.
Kula (2013)	19 OECD Ülkesi	1980-2008	Panel Koentegrasyon Testi	GSYH'den yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü bir nedensellik vardır.
Ocal ve Aslan (2013)	Türkiye	1990-2010	ARDL Yaklaşımı ve Toda-Yamamoto Nedensellik Testi	ARDL yaklaşımına göre yenilenebilir enerji tüketimi büyüme üzerinde negatif etkiye sahiptir. Toda-Yamamoto nedensellik testleri büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru ilişki vardır.
Sadorsky (2009a)	18 Gelişmekte Olan Ülke	1994-2003	Panel Koentegrasyon testi ve FMOLS	Kişi başına reel gelirdeki artış, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimini artırmaktadır.
Sadorsky (2009b)	G7 Ülkeleri	1980-2005	Panel Koentegrasyon Testi, FMOLS, DOLS, Görünürde İlişkisiz Regresyon	Kişi başına reel GSYH artışı, kişi başına yenilenebilir enerji tüketimindeki değişikliğin temel belirleyicilerindendir.

Geribildirim Hipotezi				
Kahia vd. (2017)	MENA Net Petrol İthal Eden Ülkeler	1980-2012	Panel Granger Nedensellik Testi	Yenilenebilir enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Dogan (2016)	Türkiye	1988-2012	Johansen Koentegrasyon Testi, ARDL Yaklaşımı, VECM Granger Nedensellik Testi	Kısa dönemde koruma hipotezi, uzun dönemde geri bildirim hipotezi geçerlidir.
Kahia vd. (2016)	Net Petrol İhraç Eden 13 MENA Ülkesi	1980-2012	Kao Koentegrasyon Testi, Pedroni Koentegrasyon Testi, Westerlund ECM Panel Koentegrasyon Testi, Panel Nedensellik Testi	Uzun dönemde yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensellik vardır.
Lin ve Moubarak (2014)	Çin	1977-2011	ARDL Testi ve Johansen Koentegrasyon Testi	Uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi vardır.
Ohler ve Fetters (2014)	20 OECD Ülkesi	1990-2008	Panel Hata Düzeltme Modeli	Toplam yenilenebilir enerji üretimi ile reel GSYH arasında karşılıklı bir ilişki vardır.
Pao ve Fu (2013)	Brezilya	1980-2010	Johansen Koentegrasyon Testi, Granger Nedensellik Testi	Toplam yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir nedensellik vardır.
Apergis ve Payne (2010a)	20 OECD Ülkesi	1985-2005	Panel Koentegrasyon Testi ve Panel Hata Düzeltme Modeli	Kısa ve uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir ilişki vardır.
Apergis ve Payne (2010b)	13 Avrasya Ülkesi	1992-2007	Heterojen Panel Koentegrasyon Testi, Panel Hata Düzetlme Modeli	Kısa ve uzun dönemde yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir ilişki vardır.
Tarafsızlık Hipotezi				
Razmi vd. (2020)	İran	1990-2014	ARDL Model	Yenilenebilir enerji tüketimi ekonomik büyümeyi etkilemez.
Özcan ve Öztürk (2019)	17 Gelişmekte Olan Ülke	1990-2016	Bootstrap Panel Nedensellik Testi	Polonya hariç diğer ülkeler için tarafsızlık hipotezi geçerlidir.
Tuna ve Tuna (2019)	ASEAN-5 Ülkeleri	1980-2015	Hacker ve Hatemi-J (2006) ile Hatemi-J Asimetrik Nedensellik Testleri	Yenilenebilir enerji tüketimi ASEAN 5 ülkelerinin büyümesi ile ilişkili değildir.
Payne (2012)	ABD	1949-2009	Toda-Yamamoto Nedensellik Testi	Reel GSYH, karbon emisyonları ve reel petrol fiyatları, yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde nedensel bir etkiye sahip değildir.

Menegaki (2011)	27 Avrupa Ülkesi	1997-2007	Panel Hata Düzeltme Modeli	Panel nedensellik testleri; yenilenebilir enerji ile sera gazı emisyonları ve istihdam arasında kısa bir dönemli bir ilişkiyi gösterse de, enerji ve GSYH bağıntısı doğrulanmamıştır.
Farklı Hipotezleri Destekler Sonuçlar Veren Çalışmalar				
Destek ve Aslan (2017)	17 Gelişmekte Olan Ülke	1980-2012	Bootstrap Nedensellik Analizi	Peru için büyüme hipotezi; Kolombiya ve Tayland için koruma hipotezi; Yunanistan ve Güney Kore için geri bildirim hipotezi; diğer 12 GOÜ için tarafsızlık hipotezi geçerlidir.
Koçak ve Şarkgüneşi (2017)	9 Karadeniz ve Balkan Ülkesi	1990-2012	Pedroni Panel Koentegrasyon Testleri, Dumitrescu ve Hurlin Heterojen Panel Nedensellik Testi	Bulgaristan, Yunanistan, Makedonya, Rusya ve Ukrayna için büyüme hipotezi; Arnavutluk, Gürcistan ve Romanya için geri bildirim hipotezi; Türkiye için tarafsızlık hipotezi geçerlidir. Panel geneli için geri bildirim hipotezi geçerlidir.
Chang vd. (2016)	G7 Ülkeleri	1990-2011	Emirmahmutoğlu ve Köse Nedensellik Testi	Panelin geneli için yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme arasında çift yönlü bir ilişki vardır. Kanada, İtalya ve ABD için tarafsızlık hipotezi; Fransa ve Birleşik Krallık için koruma hipotezi; Almanya ve Japonya için büyüme hipotezi geçerlidir.

4.3. Veri Seti ve Model

Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemek üzere 20 OECD ülkesine (ABD, Almanya, Avusturya, Avustralya, Belçika, Birleşik Krallık, Fransa, Güney Kore, Hollanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kanada, Norveç, Meksika, Polonya, Türkiye) ilişkin 1990-2015 dönemine ait Tablo 10'da yer alan verilerin doğal logaritmik değerleri kullanılmıştır. Örneklem olarak GDP büyüklüğü doğrultusunda ilk 20 OECD ülkesinin alınmasının temel nedenleri arasında; veri kısıtlılığı, söz konusu ülkelerin enerji tüketimlerinin oldukça yüksek seviyelerde olması ve yenilenebilir enerji alanında büyük çaplı yatırımlar yaparak sürdürülebilir bir büyüme politikası izlemek istemelerinden kaynaklanmaktadır. Nitekim gelişmiş ülkelerin enerji ile ilgili

çalışmaları ve bu çalışmaların ekonomik sonuçları, diğer ülkelerin izleyecekleri politikaların şekillendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Tablo 10. Ekonometrik Veri

Veri	Değişken	Veri Kaynağı	Dönem
Yenilenebilir Enerji Tüketimi (toplam enerji tüketimi içerisindeki payı %)	lnREC	Dünya Bankası WDI	1990-2015
Kişi Başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (2010 yılı sabit fiyatları ile)	lnY	Dünya Bankası WDI	1990-2015

Yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki uzun dönem etkisini ortaya koymak amacıyla kurulan ekonometrik model 1 no.lu eşitlikte yer almaktadır (Apergis ve Danuletiu, 2014: 581; Fotourehchi, 2017: 62):

$$lnY_{it} = \beta_0 + \beta_1 lnREC_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

4.4. Metodoloji

Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini analiz etmek üzere bu çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemler şu şekildedir:

- Yatay Kesit Bağımlılık Testleri
- Eğim Homojenlik Testleri
- Panel Birim Kök Testi
- Panel Nedensellik Testi

4.4.1. Yatay Kesit Bağımlılığı Testleri

Küreselleşme sürecine bağlı olarak artan ticari ve finansal entegrasyondan ötürü, ülkeler arasında olası bir bağımlılık ilişkisinin olup olmadığı, panel veri analizleri için önemli bir konu teşkil etmektedir. Çünkü bu durum araştırma bulgularını ve nedensel bağıntıları dolaylı olarak etkileyebilecek sonuçların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Bu yüzden analizlerin başlangıcında ilk olarak yatay kesit bağımlılığının test edilmesi gerekmektedir (Hatemi-J vd., 2015: 5).

Yatay kesit bağımlılığını sınamak üzere ilk olarak Breusch ve Pagan (1980), hata terimlerine ait korelasyon katsayılarının ortalamasını esas alan Lagrange Çarpanı (LM) istatistiğini önermiştir (Pan vd. 2015: 2). Bu test, yatay kesit boyutunun (N) sabit ve zaman boyutunun (T) sonsuza (T→∞) gittiği, dolayısıyla zaman boyutunun yatay kesit boyutundan büyük (T>N) olduğu panellerde uygulanabilmektedir (Baltagi, 2016: 4).

$$CD_{LM_1} = T \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \hat{\rho}_{ij}^2 \qquad (2)$$

Burada $\hat{\rho}_{ij}^2$, hata terimlerine ilişkin ikili korelasyonların örnek tahminini temsil etmektedir.

$$\hat{\rho}_{ij}^2 = \frac{\sum_{t=1}^{T} e_{it} e_{jt}}{\left(\sum_{t=1}^{T} e_{it}^2\right)^{1/2} \left(\sum_{t=1}^{T} e_{jt}^2\right)^{1/2}} \qquad (3)$$

e_{it}, u_{it}'nin En Küçük Kareler (EKK) ile yapılan tahminini ifade etmektedir.

$$e_{it} = y_{it} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_i' x_{it} \qquad (4)$$

Bu koşullar altında Breusch ve Pagan, yatay kesit bağımlılığının olmadığı sıfır hipotezini şu şekilde göstermektedir:

$$Cov\left(u_{it}, u_{jt}\right) = 0 \qquad \text{her } t, \ i \neq j \qquad (5)$$

CD_{LM_1} testi *N(N – 1) / 2* serbestlik derecesinde asimptotik olarak kikare dağılımına sahip olup; N→∞ için geçerli değildir (Pesaran, 2004: 4-5). Bu nedenle N'in büyük olması halinde LM_{BP} testi, boyut bozulmalarına neden olarak elde edilen sonucun gerçeklikten sapmasına yol açabilmektedir. Pesaran (2004) söz konusu sorunu gidermek üzere hem N hem de T'nin büyük olduğu durumlarda da uygulanabilecek aşağıdaki testi geliştirmiştir:

$$CD_{LM_2} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)}} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} (T\hat{p}_{ij}^2 - 1) \qquad (6)$$

CD_{LM_2} testi T→∞ ve N→∞ asimptotik normal dağılıma göre tahmin edilmekte ve yatay kesitler arasında bağımlılık olmadığı boş hipotezi (H_0) altında çözümleme yapmaktadır (Erataş vd., 2019: 403). Ancak N>T durumunda bu test, önemli düzeyde bozulmalar gösterebilmekte ve N büyüdükçe de sapmalar artabilmektedir. Bu nedenle Pesaran (2004), yatay kesit boyutunun zaman boyutundan daha büyük olması halinde yatay kesit bağımlılığını sınamak üzere CD_{LM_3} testini geliştirmiştir (Koçbulut ve Altıntaş, 2016: 153).

$$CD_{LM_3} = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)}}\left(\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\hat{p}_{ij}\right) \quad (7)$$

Breusch-Pagan (1980) testi, grup ortalaması sıfır ve bireysel ortalama sıfırdan farklı olduğu olduğu takdirde sapma gösterebildiği için Pesaran vd. (2008), test istatistiğine varyansı ve ortalamayı da dahil ederek bu sapmayı düzeltmeye çalışmışlardır. Sapması düzeltilmiş LM testi (LM_{adj}) şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$LM_{adj} = \left(\frac{2}{N(N-1)}\right)^{1/2}\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\left[\hat{p}_{ij}^2\left(\frac{(T-K-1)\hat{p}_{ij} - \hat{\mu}T_{ij}}{\hat{v}_{Tij}}\right)\right] \quad (8)$$

Burada μ_{Tij} ortalamayı ve v_{Tij} ise varyansı temsil etmektedir. Test istatistiğine ilişkin olasılık değeri 0,05'ten küçük olduğu zaman, yatay kesit bağımlılığının bulunmadığını kabul eden H_0 hipotezi reddedilmekte ve paneli oluşturan birimler arasında bir etkileşim olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (Göçer vd., 2012: 456).

4.4.2. Homojenlik Testleri

Panel veri analizinde ikinci aşama eğim katsayılarının homojen olup olmadığına karar vermektir (Chou, 2013: 229). Katsayıların homojenliğinin tespit edilmesi, kullanılacak olan birim kök ve nedensellik testlerinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (Erataş vd., 2013: 23). Eğim katsayılarının homojenitesine yönelik çalışmalardan ilki Swamy (1970) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sadece N<T olan paneller için geliştirilmiş Swamy'nin testi $\hat{S}$ şu şekilde hesaplanmaktadır (Pesaran ve Yamagata, 2005: 5):

$$\hat{S} = \sum_{i=1}^{N} \left(\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE}\right)' \frac{X_i' M_\tau X_i}{\hat{\sigma}_i^2} \left(\hat{\beta}_i - \hat{\beta}_{WFE}\right) \quad (9)$$

Burada;

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{(y_i - X_i\hat{\beta}_i)' M_\tau (y_i - X_i\hat{\beta}_i)}{(T-k-1)} \quad (10)$$

Eşitliklerde $\hat{\beta}_{WFE}$ ağırlıklandırılmış havuzlanmış eğim katsayıları tahmincisini, $\hat{\beta}_i$ havuzlanmış en küçük kareler tahmincisini ve M_τ ise kimlik matrisini göstermektedir (Topal, 2017: 193).

$$\hat{\beta}_{WFE} = \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{X_i' M_\tau X_i}{\hat{\sigma}_i^2}\right)^{-1} \sum_{i=1}^{N} \frac{X_i' M_\tau y_i}{\hat{\sigma}_i^2} \quad (11)$$

Eğim katsayılarının her bir ülke için homojen olup olmadığını belirlemek amacıyla Pesaran ve Yamataga (2008), Swamy (1970) testini geliştirmişlerdir. Bu test ile;

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_i x_{it} + \varepsilon_{it} \qquad i = 1, \dots, N,\ t = 1, \dots, T \quad (12)$$

12 no.lu eşitlikte yer alan eşbütünleşme denklemindeki β_i katsayılarının yatay kesitler arasında aynı olup olmadığı sınanmaktadır. Teste ait hipotezler ise şu şekildedir:

$H_0: \beta_i = \beta$ (eğim katsayıları homojendir)

$H_0: \beta_i \neq \beta$ (eğim katsayıları heterojendir)

Pesaran ve Yamagata (2008) hipotezlerden hangisinin geçerli olduğunu belirlemek amacıyla büyük ve küçük örneklemler için ayrı ayrı delta (Δ) testleri geliştirmişlerdir.

Büyük Örneklemler İçin $\hat{\Delta} = \sqrt{N}\left(\frac{N^{-1}\hat{S} - k}{\sqrt{2k}}\right)$ (13)

Küçük Örneklemler İçin $\hat{\Delta}_{adj} = \sqrt{N}\left(\frac{N^{-1}\hat{S} - E(\hat{z}_{iT})}{\sqrt{Var(\hat{z}_{iT})}}\right)$ (14)

Burada N, yatay kesit sayısını; $\hat{S}$ Swamy test istatistiğini, k açıklayıcı değişken sayısını temsil etmektedir. Diğer taraftan;

$$E(\hat{z}_{iT}) = k \tag{15}$$

$$Var(\hat{z}_{iT}) = \left(\frac{2k(T-k-1)}{T+1}\right) \tag{16}$$

şeklindedir. Delta testlerine ait olasılık değerlerinin 0,05'ten büyük olması durumunda H_0 hipotezi kabul edilmekte, eğim katsayılarının homojen olduğuna karar verilmektedir.

4.4.3. Panel Birim Kök Testi

Panel veri analizlerinde tutarlı sonuçlar elde edebilmek ve ortaya çıkabilecek bir sahte regresyon sorununu gidermek amacıyla serilerin durağanlığının sınanması gerekmektedir (Yalçınkaya ve Aydın, 2017: 95). Durağanlık sınamalarında ise karşılaşılan ilk sorun, paneli oluşturan yatay kesitler arasında bir bağımlılık ilişkisinin olup olmadığıdır. Çünkü yatay kesit bağımlılığı, hangi nesil birim kök testlerinin uygulanacağını saptamak açısından belirleyici bir konum üstlenmektedir (Göçer vd. 2012: 457). Birinci nesil birim kök testleri, paneli meydana getiren yatay kesit birimlerinin birbirlerinden bağımsız olduğu varsayımına dayanır. Dolayısıyla bu testler, seriler arasında yatay kesit bağımlılığının olması durumunda sapmalı sonuçlar verebilecektir (Altıntaş ve Mercan, 2015: 361). Diğer taraftan ikinci nesil birim kök testleri ise yatay kesit bağımlılığını esas alarak durağanlık sınamalarını gerçekleştirmektedir (Keskin ve Aksoy, 2019: 7). Değişkenlerin birim kök içerip içermediklerini tespit etmek üzere bu çalışmada, Smith vd. (2004) tarafından geliştirilmiş yatay kesit bağımlılığı ve heterojenliği dikkate alan panel bootstrap testi kullanılmıştır. Bu test, bootstrap blokları aracılığıyla verilerdeki hem yatay kesit bağımlılığını hem de zaman serilerini göz önünde bulundurmak için bir süzgeç örneklem şeması kullanmaktadır (Jebli vd., 2019: 9). Ayrıca söz konusu test kendi içerisinde $\bar{t}, \overline{LM}, \overline{Max}, \ \overline{Mın}\ ve\ \overline{WS}$ olmak üzere 5 farklı istatistiği barındırmaktadır.

$\bar{t}$ testi, Im-Pesaran-Shin (2003) tarafından geliştirilen panel birim kök istatistiğinin bootstrap versiyonu olup;

$$\bar{t} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} t_i T \quad (17)$$

bireysel t istatistiklerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır (Smith, 2003: 107).

Solo (1984) tarafından geliştirilen $\overline{LM}$ testi, bireysel Lagrange Çarpanı (LM_i) istatistiğinin ortalaması olup;

$$\overline{LM} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} LM_i \quad (18)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Smith, 2003: 108).

Leybourne (1995) tarafından geliştirilen $\overline{Max}$ testi,

$$\overline{Max} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Max_i \quad (19)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Smith, 2003: 110).

Bireysel Lagrance Çarpanının güçlü bir varyansı olan $\overline{Mın}$ testi,

$$\overline{Mın} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Min_i \quad (20)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Smith, 2003: 107).

Pantula, Gonzalez-Farias, Fuller (1994) tarafından geliştirilen $\overline{WS}$ testi,

$$\overline{WS} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} WS_i \quad (21)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Smith, 2003: 117).

4.4.4. Panel Nedensellik Testleri

Ekonometrik analizlere dahil edilen birimlerin arttığı ve dönem aralıklarının da giderek genişlediği makro paneller, son dönemlerde ağırlık kazanmaktadır (Lopez ve Weber, 2017: 2). Bu durum bir taraftan yeni tekniklerin geliştirilmesine diğer taraftan da mevcut yöntemlerin tekrar düzenlenmesine neden olmaktadır. Ayrıca panellerde yer alan değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin sağlıklı olarak

belirlenmesine yönelik çalışmaların da ön plan çıktığı gözlemlenmektedir (Hatemi-J, 2011: 2). Bu çalışmada yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin yönünü tespit etmek üzere Dumitrescu-Hurlin (2012) nedensellik testi kullanılmıştır.

Panel veri analizlerinde, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü her bir kesit için ve genel olarak belirlemek amacıyla kullanılan farklı teknikler bulunmaktadır. Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen nedensellik testi, zaman boyutu ile kesit boyutu arasındaki büyüklük farkına karşı duyarsız olup, zaman boyutu kesit boyutundan küçük olduğunda bile etkin sonuçlar verebilmektedir (Şahin, 2018: 317). Bu testin temel avantajlarından bir diğeri ise uygulamasının basit ve dengesiz paneller için de kullanılabilmesidir. Ayrıca yatay kesit bağımlılığı ile heterojenliği de dikkate almaktadır (Dumitrescu ve Hurlin, 2012: 23).

Dumitrescu ve Hurlin, panelde yer alan değişkenler arasındaki nedenselliği ortaya koymak amacıyla 22 no.lu eşitlikte yer alan regresyon denklemini kullanmışlardır.

$$y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^{K} \gamma_{ik} y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^{K} \beta_{ik} x_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t} \qquad (22)$$

Burada $x_{i,t}$ ve $y_{i,t}$; t döneminde her bir birim i için iki durağan değişkene ait gözlemleri temsil etmektedir. Katsayıların birimler arasında farklılık göstermesine izin verilmekte, ancak zamanla değişmediği varsayılmaktadır. Gecikme sayısının da (K) tüm birimler için aynı olduğu kabul edilmektedir.

Granger (1969)'da olduğu gibi nedenselliğin varlığını belirleme yöntemi, x'in geçmiş değerlerinin y'nin bugünkü değerleri üzerindeki önemli etkilerini test etmektir. Temel hipotez şu şekilde gösterilebilir:

$$H_0 : \beta_{i1} = \cdots = \beta_{iK} = 0 \qquad \forall\, i = 1, \ldots, N \qquad (23)$$

Bu hipotez, paneldeki tüm birimler için nedenselliğin olmadığı anlamına gelmektedir.

Dumitrescu ve Hurlin testi, bazı birimler için nedenselliğin olabileceğini, ancak tüm birimler için bunun gerekli olmadığını varsaymaktadır. Testin alternatif hipotezi ise şu şekildedir:

$$H_1 : \beta_{i1} = \cdots = \beta_{iK} = 0 \qquad \forall\, i = 1, \dots, N_1 \tag{24}$$

$$\beta_{i1} \neq 0 \; or \; \dots \; or \; \beta_{iK} \neq 0 \qquad \forall\, i = N_1 + 1, \dots, N$$

$N_1 = 0$ ise paneldeki tüm birimler için nedensellik bağıntısı söz konusu olur. Diğer taraftan N_1 kesinlikle N'den küçük olmalıdır, aksi takdirde tüm birimler için nedensellik ilişkisi ortadan kalkacak ve H_1, H_0'a dönüşecektir.

Dumitrescu ve Hurlin, temel hipotezi test etmek amacıyla yatay kesit birimlerine ait Wald istatistiklerinin (W_i) bulunarak ortalama Wald istatistiğinin $(\bar{W})$ hesaplanmasını önermiştir:

$$\bar{W} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} W_i \tag{25}$$

Zaman boyutunun, kesit boyutundan daha büyük olması durumunda Dumitrescu ve Hurlin, standartlaştırılmış $\bar{Z}$ istatistiğinin kullanılmasını önermişlerdir:

$$\bar{Z} = \sqrt{\frac{N}{2K}} \cdot (\bar{W} - K) \qquad \xrightarrow[T,N\to\infty]{d} \; \mathcal{N}(0,1) \tag{26}$$

Kesit boyutunun, zaman boyutundan daha büyük olması durumunda ise yaklaşık standartlaştırılmış $\tilde{Z}$ istatistiğinin kullanılması önerilmiştir:

$$\tilde{Z} = \sqrt{\frac{N}{K} \cdot \frac{T-3K-5}{T-2K-3}} \cdot \left[\frac{T-3K-3}{T-3K-1} \cdot \bar{W} - K\right] \qquad \xrightarrow[T,N\to\infty]{d} \; \mathcal{N}(0,1) \tag{27}$$

Söz konusu istatistikler, standart kritik değerlerden büyük ise temel hipotez (H_0) reddedilmekte ve Granger nedenselliğin varlığı kabul edilmektedir (Lopez ve Weber, 2017: 3-4).

4.5. Ekonometrik Bulgular

Günümüz koşullarında ülkeler, farklı düzeylerde de olsa küresel ekonomik sisteme entegre oldukları için birbirlerinden etkilenebilmektedirler. Böyle bir etkileşimin varlığı ise değişkenler arasındaki ilişkilerin analiz edilmesini sağlayacak yöntemlerin belirlenmesine etki etmektedir. Bu nedenle ilk olarak paneli meydana getiren ülkeler arasında bir etkileşimin olup olmadığı yatay kesit bağımlılığı testleri sınanmıştır. İkinci olarak ülkelerin birinde meydana gelen bir ekonomik dalgalanmanın, diğer ülkeler üzerinde aynı büyüklükte bir sonuç yaratıp yaratmadığı homojenlik testleri ile araştırılmıştır. Yatay kesit bağımlılığı ile eğim katsayılarının homojenliğine ilişkin testlere ait bulgular Tablo 11'de yer almaktadır.

Tablo 11. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Testi Sonuçları

Test	**lnY**		**lnREC**	
Yatay Kesit Bağım. Testleri	**İstatistik**	**Olasılık**	**İstatistik**	**Olasılık**
CD_{LM1} (BP,1980)	324.729*	0.000	370.877*	0.000
CD_{LM2} (Pesaran,2004)	6.911*	0.000	9.279*	0.000
CD_{LM3} (Pesaran, 2004)	-1.490**	0.068	-0.362	0.359
LM_{adj} (PUY, 2008)	33.687*	0.000	22.205*	0.000
Homojenlik Testleri:				
$\tilde{\Delta}$	3.234*	0.001	2.981*	0.001
$\tilde{\Delta}_{adj}$	3.439*	0.000	3.169*	0.001

Not: * ve ** sırasıyla %5 ve %10 düzeylerinde istatistiki olarak anlamlılığı göstermektedir. Gecikme sayısı 1 olarak alınmıştır. Yatay kesit bağımlılık testlerinden serilerin sabitli ve düzey değerleri rapor edilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testleri için GAUSS 10 programı kullanılmıştır.

Yatay kesit bağımlılık test sonuçları; tüm testlere ait olasılık değerleri 0,05'ten küçük olduğu için "yatay kesit bağımlılığı vardır" şeklindeki hipotezin her iki seride de geçerli olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla paneli meydana getiren bir yatay kesit biriminde ortaya çıkan herhangi bir şok, diğer yatay kesit birimlerini de etkilemektedir. Diğer yandan delta istatistiklerinin olasılık değerlerinin de 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu durum "eğim katsayılarının homojen" olduğunu varsayan temel hipotezin reddedilmesine yol açmaktadır. Dolayısıyla eğim

katsayıları heterojendir. Elde edilen söz konusu bulgular ise uygulanacak birim kök ve nedensellik testleri açısından belirleyici bir role sahiptir.

Serilerin birim kök içerip içermediği, değişkenler arasındaki ilişkilerin gerçekçi bir şekilde tahmini bakımından oldukça önem taşımaktadır. Çünkü durağanlık koşulunun sağlanıp sağlanmaması güçlü bir biçimde serilerin özelliğini ve davranışına etki etmektedir. Regresyon modelinde yar alan değişkenler birim kök içerdikleri takdirde asimptotik analiz için geçerli standart hipotezler geçersiz hale gelecek ve tahmin sonuçları sapma gösterecektir (Kılıç vd., 2014: 123). Yatay kesit bağımlılığı içeren paneller için durağanlık analizlerinde Smith vd. (2004) tarafından geliştirilen ikinci nesil birim kök testleri sıklıkla kullanılmaktadır (Gül ve Acar, 2018: 65). Ayrıca diğer yöntemlerde meydana gelen değişen varyans ve otokorelasyon gibi sorunları ortadan kaldırdığı için de bu testin daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir (Öncel vd., 2017: 410). Birim kök testine ait bulgular Tablo 12'de yer almaktadır.

Tablo 12. Panel Birim Kök Testi

Düzey		**Sabitli Model**		**Sabitli ve Trendli Model**	
		İstatistik	**Bootstrap p-değeri**	**İstatistik**	**Bootstrap p-değeri**
InY					
	$\bar{t}$	-1.399	0.612	-1.757	0.821
	WS	0.170	0.977	-1.937	0.708
InREC					
	$\bar{t}$	-0.288	1.000	-1.990	0.710
	WS	-0.422	0.997	-1.664	0.979
Birinci Fark					
InY					
	$\bar{t}$	-3.968*	0.000	-4.238*	0.000
	WS	-3.647*	0.000	-3.917*	0.000
InREC					
	$\bar{t}$	-5.518*	0.000	-5.641*	0.000
	WS	-4.758*	0.000	-5.233*	0.000

Not: Maksimum 3 gecikme verilmiştir. Sonuçlar 1000 bootstrap döngü sayısına göre elde edilmiştir. * ve ** sırasıyla %1 ve %5 düzeylerinde istatistiki olarak anlamlılığı göstermektedir. Birim kök testi için GAUSS 10 programı kullanılmıştır.

Birim kök testi bulgularına göre; bootstrap olasılık değerleri, serilerin birinci farklarında 0,05'ten daha küçüktür. Bu sonuç hem sabitli model hem de sabitli ve

trendli model için serilerin birinci farklarında I (1) durağan olduklarını göstermektedir.

Son olarak değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek amacıyla bu çalışmada Dumitrescu ve Hurlin (2012) nedensellik testi yapılmıştır. Bu test, bir ülke açısından geçerli olan nedensel bağıntının, diğer ülkeler için de geçerli olabileceği olasılığından hareketle daha fazla gözlem kullanılarak analiz yapılmasına olanak tanımaktadır (Bozoklu ve Yılancı, 2013: 175). Ayrıca söz konusu test, yatay kesit bağımlılığı ile heterojenliği birlikte dikkate alarak etkin tahminler üretebilmektedir (Alper ve Oransay, 2015: 80).

Tablo 13, Dumitrescu ve Hurlin (2012) panel nedensellik testine ait sonuçları yansıtmaktadır.

Tablo 13. Dumitrescu ve Hurlin (2012) Panel Nedensellik Testi Sonuçları

Ülkeler	ΔlnY => $\Delta lnREC$			$\Delta lnREC$ => ΔlnY	
	W_i	P_i	K=1	W_i	P_i
ABD	0.158	0.694		0.192	0.665
Almanya	0.326	0.573		4.455**	0.046
Avusturya	1.033	0.320		0.206	0.654
Avustralya	1.904	0.182		1.271	0.272
Belçika	0.122	0.730		1.457	0.240
Birleşik Krallık	1.514	0.232		4.765**	0.040
Fransa	0.654	0.427		3.359***	0.081
Güney Kore	0.784	0.385		2.369	0.138
Hollanda	3.165**	0.089		0.006	0.934
İspanya	5.826**	0.025		0.073	0.789
İsrail	0.125	0.727		1.06	0.313
İsveç	1.670	0.210		0.073	0.788
İsviçre	0.477	0.497		0.075	0.785
İtalya	0.362	0.553		0.507	0.483
Japonya	0.222	0.642		0.103	0.750
Kanada	2.472	0.130		0.120	0.731
Meksika	0.046	0.830		2.765	0.111
Norveç	0.528	0.475		12.331*	0.002
Polonya	0.587	0.451		0.028	0.867

Türkiye	0.676	0.419		1.319	0.263
$\bar{Z}$		0.420 [0.737]		$\bar{Z}$	2.616 [0.046][a]
$\tilde{Z}$		0.073 [0.957]		$\tilde{Z}$	1.905 [0.055][a]

Ülkeler	ΔlnY => $\Delta lnREC$		K=2	$\Delta lnREC$ => ΔlnY	
	W_i	P_i		W_i	P_i
ABD	0.231	0.891		0.700	0.709
Almanya	3.619	0.192		5.504***	0.090
Avusturya	0.822	0.669		1.932	0.399
Avustralya	10.408**	0.016		2.206	0.353
Belçika	1.701	0.443		1.423	0.504
Birleşik Krallık	1.221	0.553		7.019**	0.051
Fransa	1.754	0.433		10.232**	0.017
Güney Kore	1.785	0.426		11.838**	0.010
Hollanda	20.825*	0.000		0.069	0.965
İspanya	6.996***	0.052		2.551	0.303
İsrail	0.734	0.697		1.241	0.548
İsveç	2.003	0.386		0.283	0.869
İsviçre	0.192	0.908		6.559**	0.061
İtalya	6.531**	0.061		2.300	0.338
Japonya	0.316	0.854		0.253	0.881
Kanada	8.765**	0.028		1.111	0.583
Meksika	0.027	0.986		5.036	0.108
Norveç	1.964	0.393		17.430*	0.002
Polonya	28.749*	0.000		2.265	0.344
Türkiye	0.332	0.848		2.680	0.286
$\bar{Z}$		6.594 [0.001][a]		$\bar{Z}$	4.768 [0.008][a]
$\tilde{Z}$		4.731 [0.001][a]		$\tilde{Z}$	3.299 [0.008][a]

Ülkeler	ΔlnY => $\Delta lnREC$		K=3	$\Delta lnREC$ => ΔlnY	
	W_i	P_i		W_i	P_i
ABD	1.930	0.589		4.295	0.272
Almanya	5.063	0.212		3.917	0.309
Avusturya	2.807	0.447		5.461	0.186
Avustralya	16.574*	0.009		0.855	0.835
Belçika	1.412	0.707		6.490	0.134
Birleşik Krallık	0.999	0.801		7.484***	0.099
Fransa	3.354	0.372		8.421***	0.075
Güney Kore	3.451	0.361		15.290**	0.012

Hollanda	16.819*	0.008	1.449	0.698
İspanya	4.276	0.274	9.056***	0.062
İsrail	2.893	0.435	1.602	0.665
İsveç	2.143	0.558	0.926	0.818
İsviçre	0.557	0.904	5.539	0.182
İtalya	14.705**	0.014	4.995	0.216
Japonya	0.539	0.908	1.008	0.799
Kanada	9.089***	0.062	0.741	0.862
Meksika	0.017	0.999	5.394	0.190
Norveç	1.933	0.598	17.664*	0.007
Polonya	3.699	0.332	1.428	0.703
Türkiye	1.210	0.752	2.677	0.467
$\bar{Z}$		3.056 [0.097][a]	$\bar{Z}$	4.080 [0.050][a]
$\tilde{Z}$		1.590 [0.136]	$\tilde{Z}$	2.327 [0.050][a]

Burada W_i, Wald istatistik değerini, P_i ve [], olasılık değerini, *, **, *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini göstermektedir. K, gecikme uzunluğunu, Δ ise serilerin birinci farkını ve [a], kritik değere göre %5 anlamlılık düzeyini, => ise nedenselliğin yönünü temsil etmektedir. Kritik değerler 799 Bootstrap'tan (modelde yer alan değişken sayısına göre maksimum bootstrap değeri 800 dür) elde edilmiştir. Bayesian VAR ile lngdp=f(lnrec) ve lnrec=f(lngdp) için maksimum gecikme uzunluğu AIC, HQ ve SC bilgi kriterine göre 2 olarak belirlenmiştir). Bunun şunun için yazdım: Dumitrescu-Hurlin orijinal testlerinde maksimum gecikme uzunluğunun belirlenmesi konusunda herhangi bir seçim belirtmemiştir. Ancak Her iki model için ve üç kritere göre de maksimum gecikme uzunluğu 2 olarak belirlenmiştir. Buradan şu sonuç çıkabilir. En iyi model 2 gecikmeli model ve nedensellik sonuçlarında da bunun yorumlanması yapılabilir. Nedensellik testleri için STATA/IC 12 programı kullanılmıştır. Test için gerekli olan kodlar Lopez ve Weber (2017)'den temin edilmiştir.

Bu sonuçlara göre her değişkenin aynı gecikme uzunluğuna sahip olması kısıtı altında, K=1 iken; Almanya, Birleşik Krallık, Fransa ve Norveç'te yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Ayrıca panel geneli açısından da benzer bir sonucun geçerli olduğu görülmektedir. Bu bulgu, farklı gelişmişlik düzeyindeki tüm ülkeler için önem taşımaktadır. Nitekim geleneksel enerji kaynakları sınırlı rezervlere sahip olup; söz konusu rezervler aynı zamanda küresel ölçekte dengesiz bir dağılım sergilemektedir. Dolayısıyla hidrokarbonların yerini belli ölçüde yenilenebilir enerjinin alması kaçınılmaz bir durumu ifade eder. Ancak bu geçişin ekonomik yansımalarına yönelik tartışmalar ise özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki yatırım süreçlerini olumsuz şekilde etkilemektedir. Diğer taraftan Hollanda ve İspanya'da ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Dolayısıyla söz konusu ülkelerde gelir artışı, yenilenebilir enerji alanındaki faaliyetler üzerinde istatistiki olarak anlamlı sonuçlar meydana getirmektedir.

K=2 iken panel nedensellik testi sonuçları; Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, İsviçre, Güney Kore ve Norveç'te yenilenebilir enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru bir nedensel bağıntının olduğunu göstermektedir. Ayrıca panel geneline ait bulgular da bu sonucu desteklemektedir. Diğer taraftan Avustralya, Hollanda, İspanya, İtalya, Kanada ve Polonya'da ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine yönelik bir nedensellik olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde panel geneline ait nedensellik bulguları da koruma hipotezinin geçerliliğini doğrulamaktadır. Son olarak K=3 alındığında Birleşik Krallık, Fransa, İspanya, Güney Kore ve Norveç'te yenilenebilir enerjiden ekonomik büyümeye doğru bir nedenselliğin bulunduğu görülmektedir. Panel geneline ait testler de büyüme hipotezinin anlamlı olduğunu yansıtmaktadır. Koruma hipotezi ise Avustralya, Hollanda, İtalya ve Kanada için geçerlilik taşımaktadır. $\bar{Z}$ istatistiği de panel geneli için koruma hipotezinin geçerli olduğunu desteklemektedir.

K=2 ve K=3 esas alındığı takdirde panel geneline ilişkin nedensellik testi bulguları, geri bildirim hipotezini; K=1 ise büyüme hipotezini doğrulamaktadır. Ülkeler bazında ise Fransa, Birleşik Krallık ve Norveç için tüm gecikme uzunluklarında yenilenebilir enerjiden ekonomik büyümeye doğru bir nedensel bağıntı söz konusu olup; Hollanda'da da ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine yönelik bir nedensellik bulunmaktadır. K=2 ve K=3 doğrultusunda elde edilen panel nedensellik testi sonuçları, OECD ülkelerine Ohler ve Fetters (2014) ile Apergis ve Payne (2010a)'nin elde ettiği sonuçlar ile örtüşmektedir.

Sonuç ve Değerlendirme

Enerji arz güvenliği, uluslararası ölçekte ülkelerin ekonomik ve siyasi gücünü belirleyen unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle enerji üretimi ve tüketimi hem ulusal hem de uluslararası politikaların belirlenmesinde son derece stratejik bir öneme sahiptir. Çünkü enerji, hem üretim hem de tüketim faaliyetlerinin sağlıklı ve sürdürülebilir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan temel bileşenlerden birini oluşturmaktadır.

Günümüz koşullarında ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bölümü başta petrol olmak üzere, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Ancak söz konusu yakıtların tükenme olasılığı ve yol açtığı sera gazı emisyonları, alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaya başlamıştır. Bu çerçevede yenilenebilir enerjinin; insan ve çevre sağlığına duyarlı olması, yerli kaynaklardan beslenmesi ve süreklilik arz etmesi ulusal ekonomilere önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak yenilenebilir enerjinin ekonomik göstergeler üzerindeki olası etkileri konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Bunlardan büyüme hipotezi enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru; koruma hipotezi ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru bir nedensellik ilişkisi olduğunu savunmaktadır. Her iki değişken arasında karşılıklı bir nedensel bağıntı olduğunu ileri süren geri bildirim hipotezine karşı tarafsızlık hipotezi ise bir ilişki bulunmadığını kabul etmektedir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi, 20 OECD ülkesi (ABD, Almanya, Avusturya, Avustralya, Belçika, Birleşik Krallık, Fransa, Güney Kore, Hollanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, Japonya, Kanada, Norveç, Meksika, Polonya, Türkiye) için 1990-2015 dönemine ait verilerden hareketle Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi ile sınanmıştır. Elde edilen bulgular, gecikme uzunluğuna göre farklılık göstermekle birlikte; panel geneli için tüm gecikme uzunluklarında yenilenebilir enerjiden ekonomik büyümeye doğru bir bağıntı olduğu sonucunu vermiştir. Diğer taraftan K=2 ve K=3 için ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru da bir nedenselliğin olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla ekonometrik çıktılar, büyüme hipotezini desteklerken; K=2 ve K=3 için geri bildirim hipotezini de doğrulamaktadır.

Bu sonuçlardan hareketle, enerji alanına yönelik olarak gerçekleştirildiği takdirde Türkiye ekonomisi için olumlu neticeler verebilecek faaliyetler şu şekilde sıralanabilir:

- Enerji arz güvenliğini tesis etmek amacıyla kaynak çeşitliliğine gidilmesi, bu çerçevede fosil yakıtların yanı sıra; yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından da daha fazla faydalanılması için yürütülen çalışmalar ilerletilmelidir.
- Kur ve fiyat dalgalanmalarının ekonomik göstergeler üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkileri azaltmak için enerjide dışa bağımlılık yerli kaynaklar devreye alınarak minimize edilmelidir.
- Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında söz konusu kaynakların olumsuz etkileri de göz önünde bulundurulmalı, doğal kaynak dengesine zarar vermeyecek şekilde bu kaynaklardan faydalanılma yoluna gidilmelidir.
- Yenilenebilir enerji alanına verilen ağırlığın bir teknoloji bağımlılığına yol açmaması için bu alanda kullanılan malzemelerin üretimine yönelik çalışmalara da öncelik ve destek verilmelidir.
- Gereksiz enerji kullanımının önüne geçebilmek üzere kitle iletişim araçları yardımıyla toplumsal bilinçlendirmeyi kuvvetlendirecek adımlar atılmalıdır.
- Enerji maliyetlerini düşürmeyi sağlayacak ar-ge ve inovasyon faaliyetleri için kamu ve özel sektör daha fazla kaynak ayırmalıdır. Bu sahada elde edilecek olumlu sonuçlar ile enerji verimliliği artırılarak enerji yoğunluğu düşürülebilecektir.
- Enerjinin en fazla kullanıldığı yerlerden biri olan konutlarda, yapılar, enerji tüketimini düşürecek özelliklerde inşa edilmelidir. Ayrıca bu konutlar, elektrik üretimine de olanak verecek donanımda yapılabilir.
- Türkiye yüksek hidrokarbon kaynaklarına sahip ülkeler ile bu kaynakları en fazla tüketen ülkeler arasında bir geçiş sağladığı için sahip olduğu konumunu, hem düşük maliyetle enerji tedariki için hem de daha fazla gelir elde etmek için kullanmayı sürdürmelidir.
- Dünyanın önemli linyit rezervlerine sahip olan Türkiye, söz konusu yakıtı temiz kömür teknolojileri ile tüketerek insan ve çevre sağlığına duyarlı şekilde ekonomiye kazandırmalıdır.

Kaynakça

Acar, Çağdaş, Bülbül, Sevtaç, Gümrah, Fevzi, Metin, Çiğdem ve Parlaktuna, Mahmut (2011). *Petrol ve Doğal Gaz.* Ankara: ODTÜ Yayıncılık.

Acar, Esin ve Doğan, Ahmet (2008). Türkiye'nin Rüzgar ve Hidrolik Enerji Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. V*II. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. 17-19 Aralık. İstanbul: 675-682.

Acaroğlu, Mustafa (2008). Türkiye'de Biyokütle, Biyoetenol ve Biyomotorin Kaynakları ve Biyoyakıt Enerjisinin Geleceği. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu.* 17-19 Aralık. İstanbul: 351-362.

Acton, James M. ve Hibbs, Mark (2012). *Why Fukushima Was Preventable*. Washington: Carnegie Endowment for International Peace Publications.

Açıkgöz, Volkan (2009). Geleceğin Enerjisi: Hidrojen (H2). *Kimya Mühendisliği Dergisi*. 173: 34-36.

Ahıshalı, Murat Alp (2013). Kaya Gazı: Dünya Enerji Düzenine Etkileri ve Türkiye Potansiyeli. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 3 (1): 12-34.

Ağırkaya, Okan (2015). *Jeotermal Enerji Kaynaklı Organik Rankine Çevriminin Modellenmesi ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

Akalın, Uğur Selçuk ve Tüfekçi, Suat (2014). Türkiye'nin Petrol Politikaları ve Enerji Özelleştirmelerine Bir Bakış. *İktisat Politikası Araştırmaları Dergisi*. 1 (1): 51-66.

Akgül, Sevim ve Yıldız, Şaduman (2013). Doğal Gaz Tüketim Tahmini. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*. 5 (1): 440-452.

Akkuş, İbrahim ve Alan, Hüseyin (2016). *Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 123.

Akova, İsmet (2003). Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*. 11: 47-73.

Akova, İsmet (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. Ankara: Nobel Yayınevi.

Akpınar, Adem, Murat İ. Kömürcü ve Murat, Kankal (2009). Türkiye'de Hidroelektrik Enerji Durumu ve Geleceği. *WECTNC Türkiye 11. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı*. İzmir: 21-23 Ekim.

Akpınar, Erdal ve Başıbüyük, Adem (2011). Jeoekonomik Önemi Giderek Artan Bir Enerji Kaynağı: Doğalgaz. *Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*. 6 (3): 119-136.

Aksoy, Mustafa (2007). Jeotermal Kaynaklardan Elektrik Üretimi. *Elektrik Mühendisler Odası Bilim Dergisi*. 19: 56-59.

Alaçakır, F.B. (1999). Introduction of Grid Connected PV System Installed at Didim and Investigation of it's Performance. *Proceedings of Sun Day Symposium*, 25-27 June. Kayseri: 252-257.

Alpago, Hasan (2002). *IMF Türkiye İlişkileri*. İstanbul: Ötüken Yayınları.

Alper, Ali Eren ve Oransay, Gürçem (2015). Cari Açık ve Finansal Gelişmişlik İlişkisinin Panel Nedensellik Analizi Ekseninde Değerlendirilmesi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*. 1(2): 73-85.

Alper, Aslan ve Ocal, Oğuz (2016). The Role of Renewable Energy Consumption in Economic Growth: Evidence from Asymmetric Causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 60: 953-959.

Alper, Özlem Fındık (2018). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: 1990-2017 Türkiye Örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 8(2): 223-242.

Altın, Vural (2004). Yeni Ufuklara, Nükleer Enerji. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*. Ağustos. Ankara: 4-6.

Altıntaş, Halil ve Mercan, Mehmet (2015). Ar-Ge Harcamaları ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: OECD Ülkeleri Üzerine Yatay Kesit Bağımlılığı Altında Panel Eşbütünleşme Analizi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*. 70(2): 345-376.

Altuntaşoğlu, Zerrin Taç (2005). Yenilenebilir Enerji; Avrupa Birliği ve Türkiye Müktesebatı. *V. Enerji Sempozyumu Bildirileri*, TMMOB: 249-261.

Altuntaşoğlu, Zerrin Taç (2006). Rüzgar Enerjisi. *Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları.* Ankara: Türkiye Çevre Vakfı.

Altuntop, Necdet ve Doğan, Erdemir (2013). Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 54 (639): 69-77.

Apergis, Nicholas ve Danuletiu, Dan Constantin (2014). Renewable Energy and Economic Growth: Evidence from the Sign of Panel Long-Run Causality. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 4(4): 578-587.

Apergis, Nicholas ve James E. Payne (2009a). Energy consumption and economic growth: Evidence from the Commonwealth of Independent States. *Energy Economics.* 31: 641-647.

Apergis, Nicholas ve James E. Payne (2009b). Energy Consumption and Economic Growth in Central America: Evidence From A Panel Cointegration and Error Correction Model. *Energy Economics*. 31: 211-216.

Apergis, Nicholas ve James E. Payne (2010a). Renewable Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from A Panel of OECD Countries. *Energy Policy*. 38(1): 656-660.

Apergis, Nicholas ve James E. Payne (2010b). Renewable Energy Consumption and Growth in Eurasia. *Energy Economics.* 32(6): 1392-1397.

Arnorsson, Stefan (2000). Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use. Austria: *International Atomic Energy Agency*.

Arslan, Onur (2017). Akkaya Barajı'nın Niğde İli İklimine Etkisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 6 (2): 627-633

Arslan, Sinan, Darıcı, Mustafa ve Karahan, Çetin (2011). Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli. Jeotermal Enerji Semineri. *Makina Mühendisleri Odası Yayını*. İzmir: 21-28.

Atak, Eren ve Öztok, Deniz (2013). *10 Soruda Hidroelektrik Santraller*. Doğal Hayat Koruma Vakfı Yayını (WWF-Türkiye).

Atalay, Mesut (2003). Türkiye'de Petrol Aramacılığının Önemi. *Avrasya Dosyası/Enerji Özel*. 9 (1): 169-191.

Ateşoğlu, Nurşin Güney (2013). *Nükleer Enerji ve Nükleer Silahlanma*. Bilge Söyleşi. İstanbul: Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi.

Aydın, Gökhan ve Karakurt, İzzet (2009). Yeraltı Kömür Damarlarından Üretilen Metanın Kullanım Teknolojileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 15 (1): 129-136.

Aydın, Levent (2014). *Enerji Ekonomisi ve Politikaları/Kuram ve Kavramlar-Piyasalar-Modeller-Politikalar* (1. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Badruk, Mebrure (2003). *Jeotermal Enerji Uygulamalarında Çevre Sorunları.* Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı. Ankara TMMOB Makine Mühendisleri Odası. Yayın No: E/2003/328-4, 345-358.

Baltagi, Badi H., Chihwa Kao, Bin Peng (2016). Testing Cross-Sectional Correlation in Large Panel Data Models with Serial Correlation. *Econometrics*. 4(44): 1-24.

Banks, Ferdinand E. (2000). *Energy Economics: A Modern Introduction* (1. Baskı). New York: Kluwer Academic Publishers.

Barnert, H, V. Krett, J. Kupitz (1991). *Nuclear Energy for Heat Applications*. IAEA Bulletin: 1/1991.

Başkaya, Şağdan (2010). Hidroelektrik Santralleri ve Rüzgâr Enerjisi Santrallerinde Çevresel Etki Değerlendirmesi. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi.* 2: 668-676.

Baykara, Sema (2002). Sudan Hidrojen Üretimi ve Enerji Sektöründe Hidrojen. *I. Ulusal Hidrojen Kongresi.* 16 Temmuz.

Bayraç, Hüseyin Naci (2011). Küresel Rüzgâr Enerjisi Politikaları ve Uygulamaları. *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi.* 30 (1): 37-57.

Bayraç, Hüseyin Naci (2009). Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğal Gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 10 (1): 115-142.

Beşergil, Bilsen, (2009). *Petrol, Petrol Kimyası* (1. Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi.

Bilgili, Faik ve Öztürk, İlhan (2015). Biomass Energy and Economic Growth Nexus in G7 Countries: Evidence from Dynamic Panel Data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 49: 132-138.

Boz, Deniz Ege ve Öztürk, Oğuzhan (2019). Türkiye'nin Ham Petrol İhracatçısı Olma Potansiyeli. *Bilkent Üniversitesi Enerji Politikaları Araştırma Merkezi*, http://econ318-em.bilkent.edu.tr, Erişim Tarihi: 05.10.2019.

BP Statistical Review of World Energy (2015). http://www.bp.com/content/dam/bp-country/es_es/spain/documents/downloads/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf, Erişim Tarihi: 07.09.2019.

BP Statistical Review of World Energy (2019). https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf, Erişim Tarihi: 10.01.2020.

BP Statistical Review of World Energy (June 2017). https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf, Erişim Tarihi: 25.09.2019.

BP Statistical Review of World Energy (June 2018). https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf, Erişim Tarihi: 28.09.2019.

Breusch, Trevor Stanley ve Adrian Rodney Pagan (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*. 47(1): 239-253.

Canik, Baki, Çelik, Mehmet ve Arıgün, Zafer (2000). *Jeotermal Enerji*. Ankara Üniversitesi Fen Bölümleri, Jeoloji Mühendisliği. Ankara: Ankara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, No: 59.

Carvalho, Regina Pinto de ve Silvia Maria Velasques de Oliveira (2017). Applications of Nuclear Energy in Health. São Paulo: *Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência* – SBPC.

Cebeci, Seda (2017). *Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi.* Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.

Chandler, William U. (2000). *Energy and Environment in the Transition Economies: Between Cold War and Global*. Oxford: Westview Press.

Chang, Tsangyao, Rangan Gupta, Roula Inglesi-Lotz, Beatrice Simo-Kengne, Devon Smithers, Amy Trembling (2015). Renewable Energy and Growth: Evidence from Heterogeneous Panel of G7 Countries Using Granger Causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52: 1405-1412.

Chou, Ming Che (2013). Does Tourism Development Promote Economic Growth in Transition Countries? A Panel Data Analysis. *Economic Modelling*. 33: 226-232.

Christopher, H. ve Armstead H. (1973). *Geothermal Energy, Review of research and development* (1. Baskı). Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

Christy, Ann D. (2008). Bioenergy From Agricultural Wastes. *Dept of Food, Agricultural, and Biological Engineering USAIN*. The Ohio State Üniversty.

Clark, Corrie, Burnham, Andrew, Harto, Christopher and Horner, Robert (2012). *Hydraulic Fracturing and Shale Gas Production: Technology, Impacts, and Policy*. United States: Argonne National Laboratory.

Çakar, Mehmet Caner, Başaran, Filik Ümmühan ve Kurban, Mehmet (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ulaşım Sistemlerinde Kullanım Uygulaması., *V.*

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. 19-21 Haziran. Diyarbakır Elektrik Mühendisleri Odası: 237-242.

Çetinkaya, Merve ve Karaosmanoğlu, Filiz (2003). Yakıt Pilleri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*. 26: 18-30.

Çıtıroğlu, Ahmet (2000). Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 485: 32-37.

Çolak, İlhami, Bayındır, Ramazan ve Demirtaş, Mehmet (2008). Türkiye'nin Enerji Geleceği. *Türk Bilim Dergisi*. 1 (2): 36-44.

Dağıstan, Hayrullah (2013). *Türkiye Jeotermal Kaynak Aramaları, Kullanımı ve Sürdürülebilirliğinin Sağlanması.* MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni. 15: 1-11.

Dahl, Per F. (1999). *Heavy Water and the Wartime Race for Nuclear Energy* (1. Baskı). New York: Institute of Physics Publishing.

Dalkır, Özcan ve Şeşen, Elif (2011). *Çevre ve Temiz Enerji: Hidroelektrik.* Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

Danacı, Hacer Mutlu ve Gültekin R. Eser (2009). Yapılaşmada Güneş Enerjisi Kullanımı ve Estetik Çözüm Örnekleri. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. 19-21 Haziran. Diyarbakır: 243-249.

Deepwater Horizon Accident Investigation Report (2010). https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/sustainability/issue-briefings/deepwater-horizon-accident-investigation-report.pdf, Erişim Tarihi: 10.09.2019

Deloitte (Şubat 2014). Biyokütlenin altın çağı. Deloitte Touche Tohmatsu Limited, https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energy-resources/Biyok%C3%BCtlenin%20alt%C4%B1n%20%C3%A7a%C4%9F%C4%B1Sonnn.pdf, Erişim Tarihi: 21.09.2019.

Demir, Fırat (2013). *Büyük İstikrar Döneminden Büyük Durgunluk Dönemine: Krizdeki Kapitalizm veya Kriz Kapitalizmi. Ülke Deneyimleri Işığında Küresel Kriz*

ve Yeni Ekonomik Düzen. Ed: Fikret Şenses, Ziya Öniş, Caner Bakır. İstanbul*:* İletişim Yayınları.

Demircan, Niyazi ve İşcan, Nevra (2009). Güneş Enerjisini Kullanarak Sudan Hidrojen Elde Edilmesi ve Hidrojen Enerjisi Kullanımı. *Kimya Mühendisliği Dergisi*. 173: 27-30.

Demirtaş, Özgür (Ekim, 2013). Enerji Piyasasındaki Son Gelişmeler ve Kaya (Şeyl) Gazı. *İş Bankası İktisadi Araştırmalar Dergisi*. İstanbul: Türkiye İş Bankası.

Destek, Mehmet Akif ve Aslan, Alper (2017). Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Economic Growth in Emerging Economies: Evidence from Bootstrap Panel Causality. *Renewable Energy*. 111: 757-763.

Devold, Havard (2013). *Oil and Gas Production Handbook* (3. Baskı). Oslo: ABB Oil and Gas.

Dilli, Budak (2018). *Türkiye'de Enerji Sektöründe Gelişmeler Üzerine Notlar-Öneriler.* TMMOB Makina Mühendisleri Odası Raporu, Yayın No: MMO/691, 103-110.

Dinçer, Furkan, Atik, İpek, Yılmaz, Şaban ve Çıngı, Ali (2017). Hidrolik Enerjisinden Yararlanmada Ülkemiz ve Gelişmiş Ülkelerin Mevcut Durumlarının Analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 8 (3): 555-561.

Dinçer, Ibrahim (2002). Technical, Environmental and Exergetic Aspects of Hydrogen Energy Systems. *International Journal of Hydrogen Energ.* 27 (3): 265-285.

DiPippo, Ronald (June 1999). *Small Geothermal Power Plants: Design, Performance and Economics*. GHC Bulletin: 1-8.

Dogan, Eyup (2016). Analyzing the Linkage Between Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Economic Growth by Considering Structural Break in Time-Series Data. *Renewable Energy*. 99: 1126-1136.

Doğan, Mesut (2011). Enerji Kullanımının Coğrafi Çevre Üzerindeki Etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*. 23: 36-52.

Doğanay, Hayati (1991). *Enerji Kaynakları*. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Yayınları.

Doğanay, Hayati ve Coşkun Ogün (2017). *Enerji Kaynakları* (3. Baskı). Ankara*:* Pegem Akademi.

DPT (Devlet Planlama Teşkilatı). (2000). *Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005*. Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı.

DPT (Devlet Planlama Teşkilatı). (2006). *Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013.* Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı.

DPT (Devlet Planlama Teşkilatı). (2013). *Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018*. Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı.

DSİ (2008). *2007 Yılı DSİ Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.

Duman, Veda (Aralık 2011). *Fukuşima Nükleer Santral Kazası: Kaza Hikayesi, Gelinen Son Durum Özeti ve Kazanın Etkileri.* https://www.fmo.org.tr/wp-content/belgeler/fukushimaraporu.pdf, Erişim Tarihi: 13.09.2019. Ankara: TMMOB Fizik Mühendisleri Odası.

Dumitrescu, Elena ve Christophe Hurlin (2012). Testing for Granger Non-Causality in Heterogeneous Panels. *Economic Modelling*. 29 (4): 1450–1460.

Durgun, Engin, Çıracı Salim ve Özensoy Emrah (Ekim 2006). Yeni Ufuklara: Hidrojenli Gelecek. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*. 8-11.

Durğun, Burhan ve Durğun, Funda (2018). Yenilenebilir Enerji Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasında Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği. *International Review of Economics and Management*. 6 (1): 1-27.

Durukan, Yıldız, Doruk, Özkök, Algı, Özkaya ve Kara, Mehmet H. (2012). Türkiye Elektrik Sisteminin Avrupa Elektrik Sistemine Bağlantısı. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi.* 93: 96-104.

Duygu, Ergin (2009). Ekolojik ve Sosyoekonomik Sorunlara Çözüm Arayışında Biyokütle Enerjisi ve Biyorafineriler. *Kimya Mühendisliği Dergisi*. 173: 22-26.

Ediger, Volkan, Ş. (2006). *Osmanlı'da Neft ve Petrol* (3. Baskı). Ankara: ODTÜ Yayıncılık.

EIA International Energy Statistics https://www.eia.gov/beta/international/data/, Erişim Tarihi: 14.01.2018.

Ekşi, Ali (2014). Fukuşıma Nükleer Kazasının Nükleer Enerjı Yatırımlarında Sosyal Kabul Üzerıne Etkısı. S*üleyman Demirel Üniversitesi 2. Uluslararası Davraz Kongresi*. 29-31 Mayıs. Isparta: 1779-1800.

Ekzen, Nazif (2009). *Türkiye Kısa İktisat Tarihi*. Ankara: ODTÜ Yayıncılık.

Elibüyük, Ufuk ve Üçgül, İbrahim (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergisi*. 2 (3): 1-14.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2012). *Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler*. Ankara: Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı Yayınları, No:1.

EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) (2017). *Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu.* Ankara: EPDK Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

Er, Atif Çetin ve Sunal, Selim (2008). Dünyada Nükleer Enerji Kullanımı ve Yeni Yaklaşımlar. *21. Yüzyıl Dergisi*. Temmuz-Ağustos-Eylül: 193-204.

Erataş, Filiz, Hayriye, Başcı Nur ve Çınar, Serkan (2019). Para Arzının Post Keynesyen Yorumu: Gelişmiş Ülkeler Örneği, *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 3 (15): 398-409.

Erdem, Selime (2010). *Hidrokarbon İçeren Tuzlu Atıksuların Membran Prosesler İle Arıtımı.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdener, Hülya, Erkan, Serdar, Eroğlu Ela, Gür, Nadiye, Erce, Şengül ve Baç, Nurcan (2013). *Sürdürülebilir Enerji ve Hidrojen* (3. Baskı). Ankara: ODTU Yayıncılık.

Erkul, Hüseyin (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*. 10 (19): 115-133.

Ertürk, Muzaffer (2011). D*ünya'da ve Türkiye'de Doğal Gaz Sektörü ve İnovasyon Etkileri*. İstanbul: Ticaret Odası Yayınları, No: 2010-77.

Faramawy, A. Sami, Tamer Zaki ve Ayat E. Sakr (2016). Natural gas origin, composition, and processing: A review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 34: 34-54.

Fotourehchi, Zahra (2017). Renewable Energy Consumption and Economic Growth: A Case Study for Developing Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 7 (2): 61-64.

Freese, Barbara, Clemmer, Steve ve Nogee, Alan (2008). *Coal Power in a Warming World.* Cambridge: Union of Concerned Scientists. https://www.ucsusa.org/clean-energy, Erişim Tarihi: 07.09.2019.

Gelen, Ayetül ve Yalçınöz, Tankut (2008). Dağıtılmış Enerji Sistemlerine Genel Bir Bakış ve Türkiye'deki Potansiyel Durumu. *KTMMOB EMO Bilim Dergisi*. 30: 55-66.

Genç, Nevim (2009). Biyolojik Hidrojen Üretim Prosesleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 11 (2): 17-36.

Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019). T.C. Resmi Gazete, No: 30907, 3 Ekim 2019.

Göçer, İsmet, Mercan, Mehmet ve Hotunluoğlu, Hakan (2012). Seçilmiş OECD Ülkelerinde Cari İşlemler Açığının Sürdürülebilirliği: Yatay Kesit Bağımlılığı Altında Çoklu Yapısal Kırılmalı Panel Veri Analizi. *Maliye Dergisi*. 163: 449-467.

Gökçe, Cem (2014). Önemli Bir Enerji Girdisi Olan Petrolün Ekonomik Kalkınma Sürecindeki Rolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 16 (1): 143-153.

Göksu, Ekrem (1966). *Türkiye'de Petrol* (1. Baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Yayını.

Greenpeace (2009). *Kömürün Gerçek Maliyeti*. https://www.greenpeace.org/turkey/Global/turkey/report/2009/6/komurun-gercek-maliyeti.pdf, Erişim Tarihi: 07.09.2019.

Gül, Ekrem ve Acar, Samet (2018). Tasarruflar ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülke Grupları Örneği ile İncelenmesi. *Sakarya İktisat Dergisi*. 17 (3). 54-78.

Gültekin, Ali Haydar ve Yüksel, Örgün (1993). Doğal Gaz ve Çevre. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi Çevre Dergisi.* Ekim-Kasım-Aralık 9: 37-41.

Gürü, Metin ve Alicilar, Ahmet (1994). Doğal Gaz ve Çevre. *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi*. 17-22 Ekim. İzmir.

Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu (2017). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO).

Hatemi-J, Abdulnasser (2011). *Asymmetric Panel Causality Tests with an Application to the Impact of Fiscal Policy on Economic Performance in Scandinavia*. Germany: Munich Personal RePEc Archive. Paper No: 55527.

Hatemi-J, Abdulnasser, Ahdi N. Ajmi, Ghassen El Montasser, Roula Inglesi-Lotz, Rangan Gupta (2015). Research Output and Economic Growth in G7 Countries: New Evidence From Asymmetric Panel Causality Testing. *Applied Economics*. 48 (24): 1-8.

Hayhurts, Allan Nuttall ve David Lawrence (1992). Emissions of Nitrous Oxide From Combustion Sources. *Progress in Energy and Combustion Science.* 18 (6): 529-552.

Hepbaşlı, Arif, Koray Ulgen ve Rüştü Eke (2004). Solar Energy Applications in Turkey. *Energy Sources*. 26 (6): 551-561.

Herzog V. Antonia, Lipman E. Timothy ve Kammen M. Daniel (2001). *Renewable Energy Sources.* Energy and Resources Group Renewable and Appropriate Energy Laboratory. USA: University of California.

Hook, Mikael ve Aleklett Kjell (2010). A review on coal to liquid fuels and its coal consumption. *International Journal of Energy Research.* 34 (10): 848-864.

Hurlin, Christophe ve Elena Dumitrescu (2012). Testing for Granger Non-causality in Heterogeneous Panels. halshs-00224434v2.

IAEA (International Atomic Energy Agency), (May 2016). *Nuclear Power Reactors İn The World*. Austria: International Atomic Energy Agency. Reference Data Series No: 2.

IAEA (International Atomic Energy Agency). (July 2007). *Advanced Applications of Water Cooled Nuclear Power Plants*. Austria: International Atomic Energy Agency.

IAEA (International Atomic Energy Agency). (July 2009). *Nuclear Power Reactors İn The World*. Austria: *International Atomic Energy Agency*. Reference Data Series No: 2.

Ito, Katsuya (2017). CO2 Emissions, Renewable and Non-Renewable Energy Consumption, and Economic Growth: Evidence from Panel Data for Developing Countries. *International Economics*. 151: 1-6.

İder, Sıtkı Kemal (2003). Hidrojen Enerji Sistemi. *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*. 134: 101-105.

İlkılıç, Cumali (2009). Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 50 (593): 26-32.

İşeri, Emre ve Cem Özen (2012). Türkiye'de Sürdürülebilir Enerji Politikaları Kapsamında Nükleer Enerjinin Konumu. *İstanbul Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi.* 47: 161-180.

Jebli, Mehdi Ben, Slim Ben Youssef, Nicholas Apergis (2019). The Dynamic Linkage Between Renewable Energy, Tourism, CO_2 Emissions, Economic Growth,

Foreign Direct Investmen, and Trade. *Latin American Economic Review*. 28 (2): 1-19.

Jenkins, Bryan M., Larry L. Baxter, Thomas R. Miles Jr. ve Thomas R. Miles (1998). Combustion Properties of Biomass. *Elsevier Science Direct, Fuel Processing Technology*. 54 (1-3): 17-46.

Kabalcı, Ersan, Keven, Gökhan ve Çiçek, Serdar (2010). Türkiye'deki Hidroelektrik Santralleri ve Enerji Üretimindeki Yeri. *Proceedings of the Third International Symposium on the Strategy and Security Studies*. 15-16 Nisan. İstanbul.

Kadıoğlu, Sedat ve Tellioğlu Zarife (1996). Enerji Kaynaklarının Kullanımı Ve Çevreye Etkileri. *TMMOB I. Enerjı Sempozyumu.* 12-14 Kasım. Ankara: 55-67.

Kahia, Montassar, Mohamed Safouane Ben Aissa, Lanouar Charfeddine (2017). Renewable and Non-Renewable Energy Use - Economic Growth Nexus: The Case of MENA Net Oil Importing Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 71: 127-140.

Kahia, Montassar, Mohamed Safouane Ben Aissa, Lanouar Charfeddine (2017). Impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth: New evidence from the MENA Net Oil Exporting Countries (NOECs). *Energy*. 116 (1): 102-115.

Kapluhan, Erol (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi.* 29: 70-98.

Kapluhan, Erol (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*. 30: 97-125.

Karagöl, Erdal Tanas ve Kavaz, İsmail (2017). *Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji.* Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı Yayınları: 197.

Karagöl, Erdal Tanas ve Kavaz, İsmail (2017). *Kaya Gazının Küresel Enerji Piyasalarındaki Yeri ve Türkiye'deki Geleceği*. Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı Yayınları: 222.

Karaosmanoğlu, Filiz (2006). Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları. *ENKÜS 2006: İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi Bildiri Kitabı*. 22-23 Haziran. İstanbul: 110-146.

Karayılmazlar, Selman, Saraçoğlu, Nedim, Çabuk, Yıldız ve Kurt, Rıfat (2011). Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*. 13 (19): 63-75.

Kaya, Ferat ve Göral, Emirhan (2016). Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası. *Akademik Bakış Dergisi*. 57: 421-438.

Kaya, Tekiner (2011). Türkiye'de Su Gücü ve Küçük Hidroelektrik Santraller. *Nevşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 1: 207-238.

Kazgan, Gülten (2005). *Türkiye Ekonomisinde Krizler (1929-2001) Ekonomi Politik Açısından Bir İrdeleme.* İstanbul: İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

Keskin, Halil İbrahim ve Aksoy, Emre (2019). OECD ve Gelişmekte Olan Ülkelerde Gelir Artışı ve İşgücüne Katılım Arasındaki İlişki: Panel Eşbütünleşme Analizi. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*. 54 (1): 1-20.

Kılıç, Cüneyt, Bayar, Yılmaz ve Özekicioğlu, Halil (2014). Araştırma Geliştirme Harcamalarının Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı Üzerindeki Etkisi: G–8 Ülkeleri İçin Bir Panel Veri Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 44: 115-130.

Kılıç, Fatma Çanka (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makine.* 56 (671): 28-40.

Kılıç, Fatma Çanka ve Kılıç, Mehmet Keskin (2013). Jeotermal Enerji ve Türkiye. *Mühendis ve Makine Dergisi*: 54 (639): 45-56.

Kılıç, Özen ve Kılıç, Ahmet Mahmut (2009). Jeotermal Enerjinin Ülkemiz Açısından Önemi ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. *TMMOB Jeotermal Kongresi, Bildiriler Kitabı*. 23-25 Aralık. Ankara: 93-104.

Kırteke, Nermin Demet (2014). A*vrupa Birliği ve Türkiye'nin Enerji Politikaları Bağlamında Nükleer Enerjinin Ekonomik Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. T.C. İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı.

Kısar, Abdullah Onur (2016). *Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Gelişimi ve Geleceği.* TMMOB Elektrik Mühendisler Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni. 313: 26-27.

King, George E. (2010). Thirty Years of Gas Shale Fracturing: What Have We Learned? *Journal of Petroleum Technology*. 62 (11): 900-949.

Koç, Erdem ve Şenel, Mahmut Can (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*. 54 (639): 32-44.

Koçak, Ali (2001). Türkiye'de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli. *TMMOB III. Enerji Sempozyumu.* 5-7 Aralık. Ankara: 293-304.

Koçak, Emrah ve Şarkgüneşi, Aykut (2017). The Renewable Energy and Economic Growth Nexus in Black Sea and Balkan Countries. *Energy Policy*. 100: 51-57.

Koçaslan, Gelengül (2010). Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi Çerçevesinde Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Yeri ve Önemi. *Sosyal Bilimler Dergisi*. (4): 53-61.

Koçbulut, Özgür ve Altıntaş, Halil (2016). İkiz Açıklar ve Feldstein-Horioka Hipotezi: OECD Ülkeleri Üzerine Yatay Kesit Bağımlılığı Altında Yapısal Kırılmalı Panel Eşbütünleşme Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 48: 145-174.

Kömür Sektör Raporu (2013). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Ankara: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.

Köroğlu, Tahsin, Teke Ahmet, Bayındır K. Çağatay ve Tümay Mehmet (2010). Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*. 439: 98-104.

Kula, Ferit (2014). The Long-Run Relationship Between Renewable Electricity Consumption and GDP: Evidence from Panel Data. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*. 9 (2): 156-160.

Kumbaroğlu, Gürkan (2011). *Nükleer Enerjiye Geçişte Türkiye Modeli*. İstanbul: Ekonomi ve Dış Politika Araştırmalar Merkezi Enerji Raporu.

Külebi, Ali (2007). *Türkiye'nin Enerji Sorunları ve Nükleer Gereklilik* (1. Baskı). Ankara: Bilgi Yayınevi.

Kürşat, A. Özcan (2012). *Petrol Jeolojisi Çalışma Notları*. http://www.kursatozcan.com/ders_notlari/petrol_jeolojisi.pdf, Erişim Tarihi: 10.09.2019.

Lin, Boqiang ve Mohamed Moubarak (2014). Renewable Energy Consumption – Economic Growth Nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 40: 111-117.

Lopez, Luciano ve Sylvain Weber (2017). Testing for Granger Causality in Panel Data. Switzerland: *IRENE Working Paper:* 17-03.

Lopez, Luciano ve Slyvain Weber (2017). Testing for Granger Causality in Panel Data. *The Stata Journal*. 17 (4): 972–984.

Lund, John W. (September 2004). *100 Years Of Geothermal Power Production*. GHC Bulletin: 11-19.

Menegaki, Angeliki N. (2011). Growth and Renewable Energy in Europe: A Random Effect Model with Evidence for Neutrality Hypothesis. *Energy Economics*, 33(2), 257-263.

Metin, Erol (2010). Küresel Finans Krizinin Akaryakıt Sektörüne Etkileri. *Energy Report Dergisi*, 1-4. http://www.petder.org.tr/Uploads/Document/1973d45e-ed3e-4f4f-8758-1f5c77dbb90a.pdf?v-636450635154111992, Erişim Tarihi: 28.09.2019.

Minj, Punit (2010). Sacred Land - Poisoned Minds. I*PPNW World Congress Basel*. 26-30 August. https://www.gfbv.de/uploads/download/download/109.pdf, Erişim Tarihi: 13.09.2019.

Momirlan, Magdalena ve Veziroğlu, Turhan Nejat (2002). Current Status of Hydrogen Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 6 (1-2): 141-179.

Montgomery, Scott, L. (2014). *Küresel Enerjiye Yön Veren Güçler: 21. Yüzyıl ve Sonrası* (2. Baskı). Çeviren: Evra Günhan Şenol. Ankara: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.

Morris, Neil (2007). *Nuclear Power (Energy Sources)* (1. Baskı). China: Smart Apple Media.

Mosbech, Anders (2002). *Potential environmental İmpacts Of Oil Spills İn Greenland.* NERI Technical Report, No: 415. Denmark: National Environmental Research Institute.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) *2017 Faaliyet Raporu* (2018). Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). (2017). *Dünyada ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum.* Ankara: Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.

Naci, Engin (2010). Enerji Kaynağı Olarak Doğalgaz ve Türkiye. *Marmara Coğrafya Dergisi*. 22: 233-244.

Nygaard, Runar (2010). Well Design and Well İntegrity, Wabamun Area CO2.

Ocal, Oguz ve Aslan, Alper (2013). Renewable Energy Consumption–Economic Growth Nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 28: 494-499.

OECD Nuclear Energy Agency (2012). *Nuclear Energy Today* (Second Edition). OECD Publishing.

OECD Nuclear Energy Agency (June 2000). *Nuclear Power plant Management in Changing Business World.* US: OECD Publishing.

Oğulata, R. Tuğrul ve Oğulata N. (2002). Solar Energy Potantial in Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* 24 (12): 1055-1064.

Ohler, Adrienne ve Ian Fetters (2014). The Causal Relationship Between Renewable Electricity Generation and GDP Growth: A Study of Energy Sources. *Energy Economics*. 43: 125-139.

Oktik, Şener (2000). Fotovoltaik Güneş Pilleri ve Güç Sistemleri Dünü, Bugünü, Yarını. *Türkiye VIII. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı*. 08-12 Mayıs. 2: 47-62. Ankara.

Olgun, Hayati ve Çoban, Turhan (2002). Biyokütle Yakma ve Gazlaştırma Sistemlerindeki Gelişmeler. *6. Türk-Alman Sempozyumu*, İzmir.

Olgun, Hayati (2009). Küçük Hidroelektrik Santraller. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*. 498: 50-53.

Onur, Mustafa (2006). Petrol ve Doğal Gazın Dünyada, Türkiye'de Durumu ve İTÜ'deki Çalışmalar. *ENKÜS İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi.* 22-23 Haziran. İstanbul: 240-271.

Oral, Erdal ve Çelik, Veli (2005). Hidrojen Yakıtlı Motor Teknolojisi. *Mühendis ve Makina Dergisi*. 46 (540): 30-40.

Orhan, Gökhan (2012). Hava Kirliliği ve Asit Yağmurları: Uzun Menzilli Sınırlar Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi ve Protokolleri Karşısında Türkiye'nin Konumu. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi.* 20 (1): 123-150.

Oskay, Cansel (2014). Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Rüzgâr Enerjisinin Önemi ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarına Yönelik Teşvikler. *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*. 7 (1): 76-94.

Öğreten, Ahmet (2006). Ereğli Kömür Madeni Havzasında İlk Üretim. *Atatürk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*. 13 (31): 152-153.

Önal, Gökhan (2010). Farkında Olmadığımız Güç "Güneş". *Mavi Gezegen Dergisi*. 15: 11-23.

Öncel, Abidin, Kırca, Mustafa ve İnal, Veysel (2017). Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: OECD Ülkelerine Yönelik Zamanla Değişen Panel Nedensellik Analizi. *Maliye Dergisi*. 173: 398-420.

Örgün, Bilgin Orhan ve Pala, Aynur (2017). Enerji Tüketimi, Dışa Açıklık ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: 28 Avrupa Birliği Ülkesi için Panel Granger Nedensellik Analizi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*. 54 (623): 9-20.

Özcan, Sultan (2019). *Türkiye'nin Orta Gelir Tuzağından Çıkış Kapsamında Güney Kore'nin İmalat Sanayii Stratejilerinin Değerlendirilmesi*. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.

Özdaşlı, Esme (2016). Kafkasya'nın Çernobil'i Metsamor Nükleer Santrali. *Karadeniz Araştırmaları Dergisi*. (50): 45-64.

Özen, Ahmet, Şaşmaz, Mahmut Ünsal ve Ercan, Bahtiyar (2015). Türkiye'de Yeşil Ekonomi Açısından Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Rüzgâr Enerjisi. *Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*. 17 (28): 85-93.

Özgener, Önder (2002). Türkiye'de ve Dünya'da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Dergisi.* 4 (3): 159-173.

Öztürk, Salih ve Saygın, Selin (2017). 1973 Petrol Krizinin Ekonomiye Etkileri ve Stagflasyon Olgusu. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*. 6 (12): 1-12.

Palabıyık, Hamit, Yavaş, Hikmet ve Aydın, Murat (2010). *Nükleer Enerji ve Sosyal Kabul* (1. Baskı). Ankara: Usak Yayınları.

Pao, Hsiao-Tien ve Hsin-Chia Fu (2013). Renewable Energy, Non-Renewable Energy and Economic Growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 25: 381-392.

Payne, James E. (2012). The Causal Dynamics Between US Renewable Energy Consumption, Output, Emissions, and Oil Prices. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. 7(4): 323-330.

Peker, Zeynep (2001). Rüzgar Enerjisinin Çevresel Etkileri ve Bu Etkilerin Azaltılmasında Planlamanın Rolü. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 43 (509): 36-40.

Pesaran, M. Hashem (2004). *General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels*. Germany: IZA Discussion. Paper No: 1240.

Pesaran, M. Hashem ve Takashi Yamagata (2005). *Testing Slope Homogeneity in Large Panels*. CESifo Working Paper No: 1438.

Petrol İş (Ağustos 2011). *Petrol Sektöründe Gelişmeler: Kaynak Savaşları ile Belirlenen Güncel ve Yapısal Eğilimler.* https://www.petrol-is.org.tr/sites/default/files/petrol-sektoru-08-2011.pdf, Erişim Tarihi: 28.09.2019.

Petrol İşler Genel Müdürlüğü (2017). http://www.mapeg.gov.tr/petrol_istatistik.aspx, Erişim Tarihi: 12.10.2018.

Pipe, Jim (2013). *Doğal Gaz Temiz Bir Fosil Yakıt mı?* (1. Baskı). Çeviren: Ezgi Ertuğrul. Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları.

Plachkova, Svetlana Grigoryevna (2013). *Энергетика: история, настоящее и будущее, Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики.* Часть 2 Гидроэнергетика. http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-1/1-1, Erişim Tarihi: 14.09.2019.

Plachkova, Svetlana, Grigoryevna (2013). *Энергетика: история, настоящее и будущее.* http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-7/7-1/7-1-1, Erişim Tarihi: 07.09.2019.

Prevenslik, Thomas A. (2003). Cavitation induced Becquerel effect. *Elsevier Science Direct*: *Ultrasonics.* 41: 323-327.

Quaschning, Volker (2005). *Understanding Renewable Energy Systems* (1. Baskı). US: Earthscan Publications.

REN21 (2014). *The First Decade: 2004 – 2014, 10 Years Of Renewable Energy Progress*. The Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. France: 47. http://www.ren21.net, Erişim Tarihi: 20.04.2018.

Rifkin, Jeremy (2014). *Üçüncü Sanayi Devrimi, Yanal Güç, Enerjiyi, Ekonomiyi ve Dünyayı Nasıl Dönüştürüyor* (1. Baskı). Çeviren: Pelin Sıral ve Murat Başekim. İstanbul: İletişim Yayıncılık.

Rosillo-Calle, Frank, Peter de Groot, Sarah L. Hemstock ve Jeremy Woods (2007). *The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment* (1. Baskı). London: Earthscan.

Sadorsky, Perry (2009). Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies. *Energy Policy*. 37(10): 4021-4028.

Saltıkgil Haluk V. (1970). Dünya'da ve Türkiye'de Petrol: Ateşe Tapanlardan Petrole Tapanlara. *Belgelerle Türk Tarihi Dergisi*. 28: 36-37.

Samsun Ticaret ve Sanayi Odası İktisadi Raporu (Nisan 2009). Samsun: Yayın No: 2009/1.

Saraçoğlu, Nedim (2008). Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. 17-19 Aralık. İstanbul: 265-272.

Selçuk, M. Kudret ve Van Vi Tran (1975). Solar Stills For Agricultural Purposes. *Solar Energy*. 17 (2): 103-109.

Sequestratıon Project (WASP). *Energy and Environmental Systems Group, Institute for Sustainable Energy, Environment and Economy*. Canada: University of Calgary.

Serpen, Ümran (2003). *Jeotermal Enerjinin Türkiye ve Dünyada Kullanımı*. Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri: Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No: E/2003/328-4, 435-447.

Sevim, Cenk (2014). Kaya (Şeyl) Gazının Uluslararası Enerji Politikalarına Etkileri. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*. 5 (1): 49-64.

Sevim, Cenk (2015). *Küresel Enerji Stratejileri ve Jeopolitik* (3. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Smith, Lynette Vanessa (2003). *Essays in Unit Root Testing*. PhD Thesis. The University of Nottingham. United Kingdom.

Smith, Lynette Vanessa, Stephen Leybourne, Tae-Hwan Kim, Paul Newbold (2004). More Powerful Panel Data Unit Root Tests With An Application to Mean Reversion in Real Exchange Rates. *Journal of Applied Econometrics*. 19 (2): 147-170.

Sonel, Nurettin (1997). *Petrol Jeolojisi* (1. Baskı). Ankara: A.Ü.Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.

Soylu, Ahu ve Türkay, Metin (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Geçiş Sürecinin Planlanmasında Doğrusal En İyileme Tekniğinin Kullanılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. 19-21 Ekim. İstanbul.

Spurgeon, Richard ve Flood, Mike (2014). *Enerji ve Güç* (19. Baskı). (Çeviren: Zehra Sönmezler). Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları.

Stevens, Paul Thomas (2012). The shale gas revolution: Developments and Changes. *Energy, Environment and Resources*. August EERG BP: 2012/04. https://pdfs.semanticscholar.org/828a/96b46f7851ffa7ca6c5b89a88a50ef2ba387.pdf?_ga=2.134117577.635242251.1568272808-276541104.1568272808, Erişim Tarihi: 12.09.2019.

Susan, Williams (2012). *Discovering Shale Gas: An İnvestor Guide to Hydraulic Fracturing*. New York: IRRC Institute. https://si2news.files.wordpress.com/2012/03/discovering-shale-gas-an-investor-guide-to-hydraulic-fracturing.pdf, Erişim Tarihi: 12.09.2019.

Sür, Özdoğan (1970). Jeotermal Enerji. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakiltesi Dergisi*. 28 (3-4): 1-37.

Swamy, Paravastu Aananta Venkata Bahattandha (1970). Efficient Inference in a Random Coefficient Regression Model. *Econometrica*. 38 (2). 311-323.

Şahin, Dilek (2018). Gelişmiş Ülkelerde Finansal Gelişme ve Gelir Eşitsizliği İlişkisi. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 15: 299-322.

Şahin, İbrahim (2009). *Geleceğin Temiz Enerjisi Hidrojen Gazının Elektrolizle Eldesinde Tiyoüre ve Nikel Katodun Etkilerinin Araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şanlı, Fatma Bahar ve Kadir, Tuna (2014). Türkiye'de Petrol Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Analizi. *Maliye Finans Yazıları Dergisi*. 28 (102): 47-64.

Şenaktaş, Buğra (2005). *Hidrojen Enerjisi, Üretimi ve Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şen, Zeki (2002). *Temiz Enerji ve Kaynakları*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Şenel, Mahmut Can ve Koç, Erdem (2014). Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Dinamik Davranışı-Teorik Bir Model. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 5 (1): 69-80.

Şenel, Mahmut Can ve Koç Erdem (2015). Dünyada ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*. 56 (663), 46-56.

Şimşek, Şakir (2015). Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermal Gelişmeler. *III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*. 4-6 Kasım. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2019). *On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023.* Ankara: Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.

TAEK (2010). *Günümüzde Nükleer Enerji*. Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.

TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu). (2000). *Sürdürülebilir Kalkınma ve Nükleer Enerji* (1. Baskı). Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı.

Taktak, Fatih ve Ilı, Mehmet (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik Dergisi*. 3 (1): 1-21.

Taşkömürü Sektör Raporu (2018). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Ankara: Türkiye Taşkömürü Kurumu.

Tecer, Meral (2003). *Türkiye Ekonomisi*. Ankara: Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü.

Temurçin, Kadir ve Aliağaoğlu Alpaslan (2003). Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye'de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi.* 1 (2): 25-39.

Tezcan, Nuray (2014). OECD ve BRIC Ülkelerinin Enerji Göstergeleri Açısından Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi İle Karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi*. 25 (77): 119-135.

The European Wind Energy Association (2003). *Wind Energy - The Facts: Volume 4 – Environment.* Belgium: An Analysis of Wind Energy in the EU-25.

The World Bank (2009). The Petroleum Sector Value Chaın. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development.

Tiftikçigil, Burcu, Yavuz ve Yesevi, Çağla, Gül (2015). *Türkiye'nin Enerji Görünümü Stratejiler ve İlişkiler* (1. Baskı). İstanbul: Derin Yayınları.

TKİKGM (2010). *Kömür (Linyit) Sektör Raporu*. Ankara: Türkiye Kömür İşletme Kurumu Genel Müdürlüğü.

TMMOB (2006). *Nükleer Enerji Raporu*. Ankara: Fizik Mühendisleri Odası.

TMMOB (2010). *Taşkömürü Raporu.* Ankara: Maden Mühendisleri Odası, No: 168

TMMOB Enerji Raporu (2006). Ankara: Mühendis ve Mimar Odaları Birliği.

TMMOB Enerji Raporu (2006). *Türkiye'nin Doğal Gaz Temin ve Tüketim Politikalarının Değerlendirilmesi Raporu.* Ankara: Makina Mühendisleri Odası.

TMMOB Hidroelektrik Santraller Raporu (2011). Ankara: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği.

TMMOB Nükleer Enerji Raporu (2016). Ankara: Elektrik Mühendisler Odası.

Topal, Mehmet Hanefi (2017). Vergi Yapısının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: OECD Ülkelerinden Ampirik Bir Kanıt. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*. 5 (3): 183-206.

Topcu, Mert ve İjlal Tel (2018). Enerji-GSYH İlişkisine Yeni Bir Bakış: Türkiye ve G7 Ülkelerinde Gelir ve Sürdürülebilir Refah Yaklaşımlarının Karşılaştırılması. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*. 3 (3): 208-225.

Topçu, Ferhunde Hayırsever (2011). Hidroelektrik Santrallerinde Kamu ve Özel Sektörün Değişimi ve Yarattığı Sorunlar. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*. 3: 223-242.

Tozsin, Serpil (2009). Hidrojen Enerjisi. *Kimya Mühendisler Odası Dergisi*. 173: 37-39.

Tuna, Gülfen ve Tuna, Vedat Ender (2019). The Asymmetric Causal Relationship Between Renewable and NON-RENEWABLE Energy Consumption and Economic Growth in the ASEAN-5 Countries. *Resources Policy*. 62: 114-124.

Turanlı Orakçı, Zeynep Hazal (2012). *Nükleer Santralların Maliyet Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

Tutar, Filiz ve Vahit, Eren Mehmet (2011). Geleceğin Enerjisi: Hidrojen Ekonomisi ve Türkiye. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*. 3 (6): 1-26.

Tutuş, Ayla (2006). Türkiye'de Elektrik Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Yeni Piyasa Düzeni İçerisinde Hidroelektrik Enerjinin Yeri. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*. 1: 318-330.

TÜREB (2019). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*. Ankara: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği.

Türkiye Taşkömürü Kurumu (2015). *Taşkömürü Sektör Raporu*. Ankara: *T.C.* Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü.

Türkiye Taşkömürü Kurumu (2017). *Taşkömürü Sektör Raporu*. Ankara: *T.C.* Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü.

Türsan, Nurettin (1972). Orta Doğu ve Petrol. *Belgelerle Türk Tarihi Dergisi*. 10 (56): 40.

Uğurlu, Örgen (2009). *Çevresel Güvenlik ve Türkiye'de Enerji Politikaları* (1. Baskı). İstanbul: Örgün Yayınevi.

United Nations Environment Programme (2017). *Global Trends In Renewable Energy Investment 2017*. Bloomberg New Energy Finance. Germany: 89.

Ültanır, Mustafa Özcan (1998). 21. *Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi*. İstanbul: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği, Yayın No: 239.

Ün, Tezcan Ümran (2003). Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 525: 17-22.

Ünver, Ümit, Bilgin, Hilal ve Güven, Alpaslan (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 56 (663): 57-64.

Varınca, Kamil B. ve Varank, Gamze (2005). Rüzgar Kaynaklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Enerji Yönetimi Sempozyumu*. 3-4 Haziran. Kayseri: 367-376.

Varınca, Kamil B. ve Gönüllü, M. Talha (2007). Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi. Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. *Kaynak Elektrik Dergisi*. 217: 270-275.

Varınca, Kamil B. ve Varank, Gamze (2005). Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri. *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu*. 24-25 Haziran. Mersin: 148-160.

Vengosh, A., Jackson R.B., Warner N., Darrah T.H., Kondash A. (2014). A Critical Review of the Risks to Water Resources from Unconventional Shale Gas Development and Hydraulic Fracturing in the United States. *Journal of Environmental Science and Technology*. 48 (15): 8334-48.

Veziroğlu, Turhan Nejat (2000). Quarter Century of Hydrogen Movement 1974-2000. *International Journal of Hydrogen Energy*. 25 (12): 1143-1150.

Vidic, Radisav D., Brantley Susan L., Vandenbossche Julie M, Yoxtheimer David A., Abad Jorge D. (2013). Impact of Shale Gas Development on Regional Water Quality. *Science*. 340 (6134): 826-837.

Weyler, Rex (2014). *Kömür: Linyit Çağındaki Karanlık.* http://www.greenpeace.org/turkey/tr/news/blog/mavi-gezegen/kmr-linyit-andaki-karanlk/blog/50929/, Erişim Tarihi: 07.09.2019.

World Bank (1998). *Pollution prevention and abatement handbook*. USA-Washington: World Bank, Report Number: 19128

World Energy Council Turkish National Committee (2007). *Hidrolik ve Yenilenebilir Enerji*. Ankara: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.

World Energy Council Turkish National Committee (2009). *Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi.* Ankara: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Yayın No: 0011.

World Energy Outlook (November 2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas*. Internatıonal Energy Agency: World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas. https://webstore.iea.org/weo-2012-special-report-golden-rules-for-a-golden-age-of-gas, Erişim Tarihi: 12.09.2019.

World Nuclear Association (2017), *The Nuclear Fuel Report*. United Kingdom: London.

Würfel, Peter (2005). *Physics of Solar Cells: From Principles to New Concepts*. Berlin: Wiley-VCH.

Yalçın Erik, Nazan (2016). Şeyl Gazı (Kaya Gazı) ve Çevresel Etkileri. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*. 37 (4): 426-438.

Yalçın Erik, Nazan ve Koşaroğlu, Şerife Merve (2016). Tarihsel Süreç Boyunca Değişen Petrol Fiyatları: Şeyl Gazı Etkisi ve Bazı Öngörüler. *Cumhuriyet Üniversitesi İİBF Dergisi*: 17 (2): 119-143.

Yalçınkaya, Ömer ve Aydın, Halil İbrahim (2017). Makroekonomik İstikrarın ve İstikrarsızlığın Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkileri: G-20 Ülkeleri İçin Bir Panel Veri Analizi (1994-2015). *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*. 5 (4): 91-105.

Yalgın, Çağrı (2012). Fukuşima ve Sonrası. *Açık Bilim Dergisi* http://www.acikbilim.com/2012/01/dosyalar/fukusima-ve-sonrasi.html, Erişim Tarihi: 28.09.2019.

Yaman, Serdar, Şahan, Musa, Haykırı, Açma Hanzade, Şeşen, Kelami ve Küçükbayrak, Sadriye (2001). Fuel Briquettes from Biomass-Lignite Blends. *Elsevier Science Direct:Fuel Processing Technology*. 72: 1-8.

Yarman, Tolga (2011). *Geçmişte ve Bugün Nükleer Enerji Tartışması* (1. Baskı). İstanbul: Okan Üniversitesi Yayınları.

Yarman, Tolga (2012). *Enerji Kaynakları* (2. Baskı). İstanbul: Okan Üniversitesi Yayınları.

Yergin, Daniel (1991). *Petrol - Para ve Güç Çatışmasının Epik Öyküsü* (Çeviren: Kamuran Tuncay). İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.

Yıldırım, Halil ve Öğreten, Ahmet (2009). 1876–1908 Döneminde Ereğli Kömür Havzasında Uygulanan Madencilik Teşvikleri ve Sonuçları. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 2 (7): 325-326.

Yıldız, Dursun (2011). Hidroelektrik Enerji Politikaları ve HES Projeleri. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*. 442: 25-29.

Yılmaz, Murat ve Şen, Elif (2018). Türkiye'nin Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *International Journal of Disciplines Economics & Administrative Sciences Studies*. 4 (8): 328-338.

Yorulmaz, Şerife (1998). Türkiye'de Kömürün Keşfi ve Kömür İşletme İmtiyazları (1829-1937). *Türkiye 11. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*. 10-12 Haziran. Bartın-Amasra: 283-298.

Yurtoğlu, Nadir (2017). Cumhuriyet Döneminde Türkiye'de Petrol Arama Politikaları (1923-1950). *Akademik Bakış Dergisi,* 10 (20), 145-168.

Yusufov, Zülfikar ve Halilova, Hanım (2008). Azerbaycan'da Naftalan ve İnsan Sağlığı. *II. Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu.* 6-10 Şubat. Ankara: 123-124.

Zaim, Arda ve Çavşi, Hande (2018). Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu. *Mühendis ve Makine Dergisi*. 59 (691): 45-58.

İnternet Kaynakları

http://www.akkunpp.com/1inci-unitenin-temel-atma-torenin-birinci-yil-donumuydu/update, Erişim Tarihi: 01.05.2019.

http://www.api.org/products-and-services/standards, Erişim Tarihi: 10.09.2019

http://www.arena.gov.au/renewable-energy-technologies/, Erişim Tarihi: 07.05.2018.

http://www.dsi.gov.tr/docs/stratejik-plan/dsi-2018-faaliyet-raporu.pdf?sfvrsn=2#page=50, Erişim Tarihi: 07.02.2020.

http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=oil_home, Erişim Tarihi: 15.06.2016.

http://www.eia.gov/outlooks/ieo/exec_summ.php, Erişim Tarihi: 14.01.2018.

http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_en_hak.html, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü "Rüzgar Enerji Çalışmaları", Erişim Tarihi: 18.01.2017.

https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari, Erişim Tarihi: 05.02.2020.

http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar, Erişim Tarihi: 07.02.2020

http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Haberleri/Bakan-Albayrak-TBMM-Plan-Ve-Butce-Komisyonunda-Bakanligin-2017-Yili-Butcesine-Iliskin-Sunum-Yapti, Erişim Tarihi: 22.09.2018.

http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz-Boru-Hatlari-ve-Projeleri, Erişim Tarihi: 21.04.2019.

http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur, Erişim Tarihi: 22.09.2018.

http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji, Erişim Tarihi: 01.05.2019.

http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol-Boru-Hatlari, Erişim Tarihi: 01.05.2019.

http://www.enerjienstitusu.com/2014/06/10/makale-kaya-gazinin-altin-cagi-hassas-enerji-dengeleri-degisiyor-mu/, Erişim Tarihi: 25.09.2017.

https://www.enerjiportali.com/biyokutle-enerjisi-nedir/, Erişim Tarihi: 01.08.2020.

http://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/1-1051/kurumsaltarihce, Erişim Tarihi: 21.04.2019.

http://www.fao.org/3/a-i6176e.pdf, Erişim Tarihi: 23.02.2020.

http://www.fao.org/zhc/detail-events/en/c/1039633/, Erişim Tarihi: 23.02.2020.

https://www.ekonomiksolar.com/index.php?journal_blog_post_id=39&route=journal2%2Fblog%2Fpost Erişim Tarihi: 10.06.2020.

https://www.enerjiportali.com/enerji-piyasasi-duzenleme-kurumu-epdk-nedir/, Erişim Tarihi: 08.02.2020.

https://www.enerjiportali.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/ Erişim Tarihi: 10.06.2020.

https://www.enerjivedunya.blogspot.com Erişim Tarihi: 10.06.2020.

https://www.enerjiuretimsistemleri.blogspot.com/search/label/Hidrojen%20Enerjisinin%20Ara%C3%A7larda%20Yak%C4%B1t%20Olarak%20Kullan%C4%B1lmas%C4%B1, Erişim Tarihi: 01.08.2020.

https://www.foronuclear.org/en/ask-the-expert/120347-applications-nuclear-technology, Erişim Tarihi: 23.02.2020.

https://www.haberturk.com/turk-karasularinda-2-milyar-dolarlik-ruzgar-santrali-2026609-ekonomi, Erişim tarihi: 11.02.2019.

https://www.islamansiklopedisi.org.tr/mesudi-ali-b-huseyin Erişim tarihi: 26.07.2020.

http://www.kaynakelektrik.com/2018/02/11/hidrojen-enerjisi-alternatif-olabilir-mi/, Erişim Tarihi: 01.08.2020.

https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari Erişim Tarihi: 28.01.2020.

https://www.ozelliklerinedir.com/baraj-ve-hidroelektrik-santrallerinin-hes-yararlari-ve-zararlari-artilari-eksileri-nelerdir/ Erişim Tarihi: 28.01.2020.

https://www.taek.gov.tr/tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/838-bolum-02-nukleer-enerjinin-temel-prensipleri.html, Erişim Tarihi: 20.10.2016.

https://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/136-nukleer-enerji-ve-nukleer-reaktorler-sss/932-fisyon-nedir-fisyondan-elektrik-enerjisi-nasil-elde-edilir.html, Erişim Tarihi: 27.07.2020.

https://www.temsan.gov.tr/Sayfa/gunes/38, Erişim Tarihi: 22.02.2019.

https://teoridergisi.com/nukleer-enerji-gerekli-midir#_ftn5, Erişim Tarihi: 27.07.2020.

https://www.trthaber.com/haber/turkiye/yuzde-55-yerlilige-sahip-ilk-ruzgar-enerjisi-jeneratoru-uretildi-371070.html, Erişim Tarihi: 11.02.2019.

https://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/overview/the-many-uses-of-nuclear-technology.aspx, Erişim Tarihi: 24.02.2020.

Ekler

Ek - 1

Tablo 14. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Avantaj ve Dezavantajları Karşılaştırma Tablosu

Kaynak	Avantajları	Dezavantajları
Hidroelektrik Enerji	• Çevreye karşı duyarlıdır • Uzun vadede en ucuz kaynaktır • İşletimi kolay ve esnektir • Maksimum enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girebilir ve acil durumlarda hızla devreden çıkabilmektedir • Düşük işletme maliyetine ve yüksek verime sahiptir • Uzun ömürlüdür • Yakıt masrafı yoktur • Enerjide dışa bağımlılığın azaltma olanağı tanımaktadır • Enerji fiyatlarında dengeleyici konuma sahiptir • Yatırımın geri ödeme suresi kısadır • İşletme giderleri oldukça düşüktür.	• Doğal çevreye kısmen zarar vermektedir • İklim koşulları üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır • Yatırım maliyetleri yüksektir • İnşaat süresi uzundur
Rüzgar Enerjisi	• İnsan ve çevre sağlığına duyarlıdır • Kurulum ve işletme maliyeti düşüktür • Sera gazı salınımına yol açmamaktadır • Atmosferde doğal olarak oluşmaktadır • Kurulumu kolaydır • İnşaat süresi kısadır	• İlk yatırım maliyeti yüksektir • Gürültüye sebep olmaktadır • Kanatlar dönerken radyo dalgalarını geri yansıtmaktadır • Kurulacak türbin sahaları geniş arazilere ihtiyaç göstermektedir • Göç eden kanatlılar için ciddi sorunlara yol açmaktadır • Hava akımının şiddetine doğrudan bağlı olduğu için kesikli güç üretmektedir
Güneş Enerjisi	• Çevre dostu temiz bir enerji kaynağıdır • Güvenilir ve uzun ömürlüdür • Kurulumu kolaydır • Kullanım alanı çok geniştir (ısıtma/soğutma, endüstriyel uygulamalar ve elektrik üretimi) • Sabit bir yapıya sahip oldukları için bakım-onarımı kolay, yıpranma payı ve işletme maliyeti düşüktür • Elektrik şebeke hattı bulunmayan kırsal yörelerde enerji ihtiyacının karşılanmasına olanak tanımaktadır • Zor hava koşullarına karşı dayanıklıdır • Bireysel kullanıma uygundur	• İlk yatırım maliyeti yüksektir • Geniş bir araziye ihtiyaç duyulmaktadır. • Enerji depolanması için kullanılan akülerin ömürleri kısadır • Hava koşullarına bağlı olarak kesikli güç üretmektedir • Elektrik üretim verimliliği düşüktür (max. %15-20'ye ulaşmaktadır) • Küresel ısınma sürecini hızlandırmaktadır

Jeotermal Enerji	• Uzun ömürlü, yenilenebilir, son derece istikrarlı, çevreyle dost ve yerli bir güç kaynağıdır • Geniş kullanım alanına sahiptir • Enerji verimi oldukça yüksektir • İşletim maliyeti diğer enerji kaynaklarına göre düşüktür • Son derece güvenilir bir enerji kaynağıdır • İçerdiği mineraller sayesinde birçok hastalığa iyi gelmektedir • Hava koşullarından bağımsız sürekli güç üretme imkanı tanımaktadır • Yerleşim alanlarında kullanımı kolaydır • Enerji santrallerin bakım maliyetleri çok düşüktür	• Reenjeksiyon işlemi sonucunda depremlerin oluşumuna yol açabilmektedir • Sıcak yer altı suları zehirleyici ve öldürücü olabilmektedir • İlk kurulum süreci yüksek yatırımlar gerektirmektedir • Jeotermal suları kabuklaşma ve korozyona sebep olmaktadır
Hidrojen Enerjisi	• Güçlü ve verimli bir enerji kaynağıdır • Yanma ısısı oldukça yüksek ve zehirli etkisi yoktur • Tüm yakıtlar içinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir • Petrol ve gaz endüstrisinde hayati bir uygulamaya sahiptir • Ulaşım araçlarında kullanılan temiz ve verimli yakıt türüdür	• Yüksek basınçta depolanması gerekmektedir • Üretimi nispeten maliyetlidir • Uçucu ve son derece yanıcı olduğu için taşınması zordur • En düşük maliyetli üretim yöntemi fosil yakıtlar kullanımına dayanmaktadır
Biyokütle Enerjisi	• Kesintisiz ve sürekli enerji sağlayabilen bir kaynaktır • Depolanabilir bir enerji türüdür • Sürdürülebilir çevre açısından görece temiz bir kaynaktır • Tarımsal ve hayvansal atıkların enerji üretimi amacıyla bertaraf edilmesi, potansiyel çevre sorunlarını ve hastalıkları belli ölçüde önlemektedir • Tarım işçiliğine ilave bir talep yarattığından; kırsal kesimde yeni iş alanları oluşturmakta, köyden kente göç eğilimini de kırmaktadır	• Su ihtiyacı çok fazladır. • Fosil yakıtlara göre daha düşük ısıl değere sahip olduğundan verimleri çok yüksek değildir. • Geniş yerleşim bölgelerine ve geniş alanlara ihtiyaç duymaktadır. • Tarım alanları bakımından büyük rekabet oluşturmaktadır • Mevsimsel faktörlerden çok fazla etkilenmektedir

Kaynak: Hidroelektrik Enerji: Başkaya, 2010: 669; Ünver vd., 2015: 63; Yıldız, 2011: 25; Rüzgar Enerjisi: İlkılıç, 2009: 27; Oskay, 2014: 79-80; Koçaslan, 2010: 57; Peker, 2001: 38; The European Wind Energy Association, 2003: 180; Özen vd., 2015: 88; Külebi, 2007: 111; Sevim, 2015: 220; Güneş Enerjisi: Köroğlu vd., 2010: 98; Varınca ve Varank, 2005: 151; www.termodinamik.info 18.09.2019; Sevim, 2015: 218; Önal, 2010: 18; Akova, 2008: 33; www.iea-shc.org 11.02.2017; Jeotermal Enerji: Kılıç ve Kılıç, 2009: 93; Koçak, 2001: 220; Aksoy, 2007: 58; Canik vd., 2000: 8; Ayetül, 2008: 60; Montgomery, 2014: 268; Hidrojen Enerjisi: Tozsin, 2009: 37; Erdener vd., 2013: 24; Açıkgöz, 2009: 34; Ün, 2003: 19-20; Tutar ve Eren, 2011: 8; Erdener vd., 2013: 40; Biyokütle Enerjisi: Haykırı, 2003: 158; Jenkins, 1998: 41-42; Erdener vd., 2013: 6; Deloitte, 2014: 20-21; Kapluhan, 2014: 102; Duygu, 2009: 24; Montgomery, 2014: 276.