

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ

Fevzi ERMİŞ

2501161087

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. İsmet AKOVA

İSTANBUL – 2019



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜ

YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAYI



ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : Fevzi ERMİŞ Numarası : 2501161087
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı : Coğrafya Danışmanı : Prof. Dr. İsmet AKOVA
Tez Savunma Tarihi : 06.08.2019 Saati : 13:00
Tez Başlığı : " Türkiye'de Rüzgar Enerjisi "

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 36. Maddesi uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin KABULÜ'NE OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- Prof. Dr. İsmet AKOVA		KABUL
2- Doç. Dr. Mehmet BAYARTAN		Kabul.
3- Dr. Öğr. Üyesi Münir BİLGİLİ		Kabul

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1- Prof. Dr. Mesut DOĞAN		
2- Doç. Dr. Ali BALCI		

ÖZ
TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ
Fevzi ERMİŞ

Kalkınmanın temel girdisi olan enerji, dün olduğu kadar bugünde bütün üretim sistemleri için vazgeçilmez bir unsurdur. Sanayi Devrimiyle birlikte enerji talep ve türlerine olan ilgi kırılma yaşamış; modern yaşamımızı da etkileyen bir sistem ortaya çıkmıştır. Teknolojik gelişme ile yaşanan üretim imkânı ve nüfus artışı, önlenemez bir enerji talebi ortaya çıkarmıştır. Sanayi Devrimi sonrası dönemin şartlarına bağlı olarak kömür tüketimi artış göstermiştir. İki yüzyıl kömür egemenliği sürdükten sonra 19. yy. de petrolün ticari olarak kullanımı artmıştır. Yaşanan artışta ulaşım araçlarının, sanayi üretiminin ve teknolojik gelişmenin önemi büyüktür. Fakat kömürün aksine petrol rezervlerinin dünya üzerinde dengesiz dağılışı; siyasi ve ekonomik krizlerin çıkmasına ve çevresel kaygıların artmasına neden olmuştur. Bu durum hidrolik güç, doğalgaz ve nükleer enerjinin 20. yy. nin ikinci yarısında önemini arttırarak, ülkelerin enerji taleplerinde paylarını yükseltmelerine neden olmuştur. Uzun dönem enerji tüketiminde önemli paya sahip fosil kaynakların rezervlerinin tükeneceğinden, çevresel etkilerinden, siyasi ve ekonomik risklere neden olduklarından; devletlerin son dönemde yenilenebilir kaynaklara ilgileri artmaktadır. CO₂ salınımının az, doğada sınırsız olarak bulunmaları, düşen maliyetler ve istihdam gibi olumlu yönleri rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga gibi yenilenebilir kaynaklara ilgiyi her geçen gün arttırmaktadır. Bu kaynaklar gelişmişlik seviyesi ne olursa olsun tüm ülkelere alternatif oluşturmaktadır.

Sanayi üretimi ve sosyal hayat için vazgeçilmez olan enerji; gelişmekte olan ekonomilerde artan oranlarda talep edilmektedir. Gelişmekte olan bir ülke konumundaki Türkiye ise, artan enerji ihtiyacını yüksek oranlarda ithal kaynaklarla sağlaması nedeniyle cari açık, fiyat kararsızlığı, tedarik sorunu gibi çeşitli problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle yapılan yasal düzenleme ve teşviklerle sahip olduğu yenilenebilir kaynakları devreye alarak ülkenin gelişimi amaçlanmıştır.

Geçmişten beri insanların sulama, tahıl ürünleri öğütme veya yelkenli gemilerle ulaşımda kullanılan rüzgâr, günümüz teknolojisi sayesinde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır. Yapılan hassas ölçümler, geliştirilen aletler ve düşen maliyetler neticesinde rüzgâr enerjisi son dönem en çok tercih edilen ve yaygınlaşan yenilenebilir kaynaklardan biri durumundadır.

Bulunduğu matematik konum, sahip olduğu yer şekilleri ve üç tarafının denizlerle çevrili olması sayesinde Türkiye önemli oranda rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. 2018 yılı itibarıyla 88 GW elektrik enerjisi kurulu gücü bulunan ülkemiz, kara ve deniz üstü olarak toplam 48 GW rüzgâr enerji kapasitesine sahiptir. Bu miktar sahip olunan rüzgâr potansiyelinin boyutunun önemini göstermektedir. Özellikle ithal enerji kaynaklarına yaklaşık %75 oranında bağımlı bir ülke için kullanılması ve geliştirilmesi gereken bir kaynak konumundadır.

Rüzgâr gücünün Türkiye'deki potansiyeli ile ülkemizin enerji bağımlılığının birlikte ele alındığı çalışmada, rüzgâr gücünün artarak devam eden enerji tüketiminde sağlayacağı faydalar ortaya konmaya çalışılacaktır. Sadece Türkiye sınırlaması olmaksızın, dünya enerji talep ve arz durumunun ve gelecek tahminlerinin incelendiği çalışma, bugün ve yarın yapılacak tercihlerin önemine değinecektir. Bunun için resmi kurumlarının, konuyla ilgili bağımsız kuruluşların raporları, istatistikleri, değerlendirmeleri ve araştırmaları analiz edilmiş; konunun uzmanları tarafından yazılan makale ve incelemeler değerlendirilmiş, uluslararası kuruluşların da rapor, makale, istatistik ve gelecek tahminleri incelenerek dünya ve Türkiye'nin önündeki enerji sorununun çözümü açısından rüzgârın sağlayacağı fayda ortaya konmaya çalışılmıştır.

Çalışma altı bölümden oluşmakta olup; birinci bölümde rüzgârın doğası incelenecek, ikinci bölümde rüzgârdan nasıl enerji üretiminin gerçekleştirildiği açıklanacaktır. Üçüncü bölümde ise; Türkiye ve dünyada fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının genel değerlendirilmesi yapılacaktır. Dördüncü bölümde; Türkiye elektrik enerjisi gelişimi açıklanacaktır. Beşinci bölümde ise; rüzgâr enerjisinin Türkiye'deki varlığının kaynağını ve avantajlarından bahsedilecektir. Son bölüm olarak altıncı bölümde ise İstanbul ilinde bulunan örnek bir rüzgâr enerji santralinin değerlendirilmesi yapılarak uygulamada rüzgâr potansiyeli ve enerji üretimi açıklanmaya çalışılacaktır. **Anahtar Kelime:** Yenilenebilir Enerji, Enerji Arzı, Fosil Enerji, Sera Gazı, Küresel Isınma

ABSTRACT

Energy, which is the basic input of development, is an indispensable element for all production systems as well as yesterday. With the Industrial Revolution, interest in energy demand and its types has been broken; A system has also emerged that affects our modern life. Production opportunities and population growth experienced by technological development have created an inevitable energy demand. Coal consumption increased due to the conditions of the post-Industrial Revolution period. After two centuries of coal sovereignty, the commercial use of oil increased in the 19th century. Transportation vehicles, industrial production and technological development are of great importance in this increase. But unlike coal, the uneven distribution of oil reserves around the world; caused political and economic crises and increased environmental concerns. This situation has increased the importance of hydraulic power, natural gas and nuclear energy in the second half of the 20th century and has led countries to increase their share in energy demands. Since the reserves of fossil resources, which have an important share in long-term energy consumption, will be exhausted, they cause environmental problems and political and economic risks; governments have recently been interested in renewable resources. The positive aspects of CO² emissions such as low, unrestricted nature, reduced costs and employment increase the interest in renewable sources such as wind, solar, geothermal, biomass and wave. These resources are alternative to all countries regardless of their level of development.

Energy which is indispensable for industrial production and social life; demand is increasing in developing economies. As a developing country Turkey import high rate of energy sources. Because of this, it face some problems like; current deficit, prices instability, supply risk. For this reason, the development of the country was aimed by putting the renewable resources into use with the legal regulations and incentives.

The wind, which has been used for irrigation, grain crops or transportation by sailing ships since the past, has been used to meet the electrical energy needs thanks to today's technology. As a result of precision measurements, developed instruments

and reduced costs, wind energy is one of the most preferred and widespread renewable sources in the recent period.

Turkey's mathematics location, thanks to its landscape and surrounded by sea on three sides led country has substantial wind energy potential. Today our country has an installed capacity of 88 GW of electricity, and has a total wind power capacity of 48 GW on land and offshore. This amount shows the importance of the size of the wind potential. It is a resource that should be used and developed especially for a country that is dependent on imported energy resources by 75%.

Wind power potential in Turkey with his study of the energy dependence of our countries, taken together, will attempt to demonstrate the benefits of increased energy consumption on going wind power. Not only Turkey limitation, world energy demand and supply situation and forecasts of future studies examining emphasized the importance of choice will be made today and tomorrow. For this purpose, the official agencies of Turkey, reports of independent organizations related to the subject, statistics, evaluation and research have been analysed; written by experts of the subject article or review have been assessed, reports of international organizations, articles, statistics and has tried to reveal important future forecasts examined will provide the wind in terms of solving the energy problem facing the world and Turkey.

The study consists of six chapters; in the first part, the nature of the wind will examine and in the second part, how the energy production from the wind will explained. In the third part; Turkey and the general assessment of fossil and renewable energy resources in the world will be held. In the fourth chapter, examine the development of electrical energy in Turkey. In the fifth chapter; wind energy resources will be discussed and the advantages of being in Turkey. In the last section, in the sixth part, an example of a wind power plant in Istanbul will evaluate and wind potential and energy production will explained.

Keywords: Renewable Energy, Energy Supply, Fossil Energy, Greenhouse Gas, Global Warming.

ÖNSÖZ

Enerji, geçmişten bugüne insan hayatında önemli bir yere sahip olmuş, insanın yeryüzündeki yaşamını sürdürmesi veya daha rahat yaşam koşullarına erişmesi için ulaşılması gereken en önemli ihtiyaçlardan birisi olagelmıştır. İlk insanlardan günümüz modern insanına enerji vazgeçilmez bir kaynak olsa da; tür, çeşit ve miktar bakımından değişime uğramıştır. Sanayi Devrimi enerji kullanımında önemli bir dönüm noktası olmuş, yaşadığımız çağın enerji yapısının şekillenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Ulaştığımız modern çağın önemli enerji türlerinden biri olan elektrik enerjisi, ulaşılan teknolojik seviyenin bir getirisi olarak, geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu kaynağın üretilmesi büyük miktarda fosil kaynaklara dayansa da, başta mali ve çevresel nedenlerle artık bu kaynakların kullanımının azaltılması gerekliliği dünya genelinde vurgulanmaktadır.

Gelişmekte olan bir ekonomiye sahip Türkiye ise; artan sanayi faaliyetleri ve nüfusu ile değişen tüketim alışkanlıkları nedeniyle enerjiye özellikle elektrik enerjisine bağımlılığı büyümektedir. Buna rağmen enerji kaynakları bakımından fakir olması neticesinde dışa bağımlılığı yüksek olması ülkemizin birçok sorunla yüzleşmesine neden olmaktadır. Bu açıdan yenilenebilir kaynaklar bu riskleri azaltması, çevresel faydaları neticesinde tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de avantajlı hale gelmiştir. Türkiye’nin yenilenebilir kaynaklarının fazla olması ise bu kaynaklardan daha fazla ve etkin yararlanmayı gerektirmektedir.

Çalışma bu düşünceyle Türkiye için, fosil yakıtların dezavantajlarını ortaya koymak, genel olarak yenilenebilir kaynakların özelde rüzgâr gücünün sağlayacağı faydayı analiz etmek amacıyla hazırlanmıştır. Nüfus yapısı, ekonomik faaliyetler ve yükselen refah seviyesin neticesinde artacak olan enerji ihtiyacına, düşen maliyet ve uygulanabilir projeler ile rüzgârın önemli oranda cevap verebileceği sonucuna varılmıştır. Sağlıklı ekonomi, üretken sanayi ve refah seviyesi yüksek bir toplum için gerekliliktir.

Çalışma altı bölümden oluşmuş sırasıyla rüzgâr gücünün doğasını, rüzgârdan elektrik üretiminin nasıl yapıldığını, enerji kaynaklarının Dünya ve Türkiye’deki

genel durumunu, Türkiye elektrik enerjisinin durumu ve gelişimini, Türkiye rüzgâr gücünün potansiyelini ve sunacağı imkânlar belirtildikten sonra son olarak altıncı bölümde bir rüzgâr santrali incelemesi ile uygulamalı olarak bir sistemin nasıl işlediği açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışma esnasında engin bilgisi, geniş hoşgörüsü, teşvik edici söylemleri ve değerli görüşleriyle tezin ortaya çıkmasında büyük emeği olan, danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmet Akova'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca İstanbul Üniversitesi Coğrafya Bölümü öğretim üyelerine ve araştırma görevlilerine çalışma boyunca yardım ve önerileri için teşekkürlerimi sunarım. Son olarak her türlü destek ve yardımlarıyla çalışma boyunca yanımda olan başta annem, babam, kardeşim ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

FEVZİ ERMİŞ
İSTANBUL, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZ	iii
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xiii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xiv
HARİTALAR LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1 RÜZGÂRIN DOĞASI.....	6
1.1 Dünya Rüzgâr Sistemi ve Atmosfer Dolaşımı	6
1.2 Güneş Radyasyonu (Işıma)	7
1.3 Dünya ve Yeryüzünün Sıcaklığa Etkisi.....	8
1.4 Atmosfer	13
1.4.1 Atmosfer Basıncı.....	14
1.4.2 Atmosfer Basınç Merkezleri ve Atmosfer Sirkülasyonu	16
1.4.2.1 Sürekli Rüzgârların Hızları, Yönleri ve Frekansları Üzerinde Etkili Olan Faktörler	21
1.4.3 Küresel Rüzgârlar ve Başlıca Özellikleri	26
1.4.4 Rüzgârlar ve Nitelikleri.....	29
1.5 Rüzgâr Gücünden Enerji Kaynağı Olarak Yararlanmanın Tarihçesi	31

İKİNCİ BÖLÜM

2	RÜZGÂR GÜCÜNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ	38
2.1	Rüzgâr Gücünden Elektrik Enerjisi Üretimi	38
2.2	Rüzgâr Türbin Sistemi ve Çeşitleri	40
2.2.1	Eksenlerine göre Rüzgâr Türbinleri	41
2.2.2	Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri	43
2.2.3	Güçlerine Göre Rüzgâr Türbinleri	45
2.2.4	Dişli ve Devrine Göre Rüzgâr Türbini.....	45
2.2.5	Kurulum Yerine Göre Rüzgâr Türbini.....	46
2.2.6	Rüzgâr Türbin Parça ve Görevleri	47
2.2.6.1	Rüzgâr Türbini Ana Parçaları.....	47
2.2.6.2	Makine (Beşik – Nasel) Bölümü İç Parçaları.....	48
2.2.6.3	Rüzgâr Türbinlerinin Diğer Bileşenleri.....	50
2.2.6.4	Rüzgâr Enerjisi Üretim Maliyeti	50
2.2.6.5	Rüzgâr Türbinlerinin Aşırı Gerilimlerden ve Doğal Olaylarından Korunması.....	52
2.2.7	Rüzgâr Enerjisi Üretim Hesaplama ve Tahmin Sistemi	53

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3	Dünya ve Türkiye’de Enerji Durumu.....	55
3.1	Enerji Kullanımı ve Türleri	55
3.2	Dünya ve Türkiye’de Kömür	65
3.3	Dünya ve Türkiye’de Petrol	67
3.4	Dünya ve Türkiye’de Doğalgaz	69
3.4.1	Fosil Kaynakların Durumu ve Geleceği.....	73
3.5	Yenilenebilir Kaynaklar	76
3.5.1	Güneş Enerjisi	79
3.5.2	Jeotermal	86
3.5.3	Biyokütle.....	90
3.5.4	Gel-git Enerjisi	94
3.5.5	Dalga Enerjisi.....	96

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4	Türkiye Elektrik Enerjisi.....	98
4.1	Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü	98
4.2	Türkiye Elektrik Enerjisi Gelişimi	99
4.3	Türkiye Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Değişimi.....	102
4.4	Türkiye Hidroelektrik Durumu ve Gelişimi	102
4.5	Türkiye Elektrik Üretiminin Fosil Kaynaklara Göre Değerlendirilmesi...	105
4.6	Türkiye Elektrik Üretiminin Yenilenebilir Kaynaklara Göre Değerlendirilmesi	108

BEŞİNCİ BÖLÜM

5	TÜRKİYE’DE ENERJİ DURUMU VE RÜZGÂR POTANSİYELİ	112
5.1	TÜRKİYE ENERJİ DURUMU	112
5.2	Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyeli	117
5.2.1	Türkiye Üzerinde Etkili Olan Basınç Merkezleri	119
5.2.2	Bölgesel Rüzgarlar	120
5.2.3	Günlük Rüzgârlar	123
5.2.4	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Değerlendirmesi ve Analizi	125
5.3	TÜRKİYE RÜZGÂR ENERJİ DURUMU	140
5.3.1	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Gelişimi	141
5.3.2	Yenilenebilir Kaynakların Mevzuatı ve Yatırım Gelişimi.....	142
5.3.3	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Santralleri ve Üretim Durumu	144
5.3.4	Rüzgar Türbin Seçimi ve Türkiye’de Rüzgar Türbinleri	147
5.4	Rüzgâr Enerjisi Avantaj ve Dezavantajları	149

ALTINCI BÖLÜM

6	UYGULAMA İNCELEMESİ.....	155
6.1	İstanbul Hadımköy’de Örnek RES İncelemesi.....	155
6.2	Türbin Özellikleri ve Üretim	156
6.3	RES’in Kurulum Yeri ve Rüzgâr Potansiyeli.....	157

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Güneş Işınları Atmosfer Isınması.....	8
Şekil 2: Güneş Işınları Geliş Açısının Değişimi.....	9
Şekil 3: Dünya Yıllık Hareketi	10
Şekil 4: Ekinoks - Solstis Tarihlerinde Dünyanın Konumu	11
Şekil 5: Termik Ekvator.....	12
Şekil 6: Atmosfer tabakaları	14
Şekil 7: Alçak ve Yüksek Basınç Alanlarında Hava Moleküllerinin Durumu.....	15
Şekil 8: Atmosfer Termik Basınç Merkezleri.....	17
Şekil 9: Termik Basınç Alanları Arası Hava Geçişİ.....	18
Şekil 10: Tek Hücreli Atmosfer Döngüsü (Rüzgâr Akışı)	19
Şekil 11: Genel Atmosfer Sirkülasyonu	20
Şekil 12: Genel Atmosfer Döngüsü ve Sürekli Rüzgârlar.....	21
Şekil 13: Koriolis Kuvvetinin Rüzgâr Yönlerine Etkisi.....	22
Şekil 14: Basınç Merkezleri Rüzgâr Yönleri.....	23
Şekil 15: Solist Tarihlerinde Atmosfer Hücreleri.....	24
Şekil 16: Genel Atmosfer Sirkülasyonu	28
Şekil 17: Tablo 2 Verilerine Göre Çizilen Rüzgâr Gülü	30
Şekil 18: Rüzgâr Gücü Kullanımındaki Aletlerin Zamansal Değişimi	33
Şekil 19: Önden ve Arkadan Rüzgâr Alan Yatay Eksenli Türbin Çeşitleri	42
Şekil 20: Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini Alt Tipleri.....	43
Şekil 21: Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri	45
Şekil 22: Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini İç Aksamı	50
Şekil 23: Türkiye’de Sıcak ve Soğuk Dönemde Etkili Olan Basınç Merkezleri.....	118
Şekil 24: Kara ve Deniz Meltemi	124
Şekil 25: Dağ ve Vadi Meltemi	125
Şekil 26: Türbinlerin Saha İçinde Dizilişı	148

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Troposferde Yükseklik Basınç Değişim Tablosu	15
Tablo 2: MGM Örneklem Rüzgâr Yön Bilgisi	30
Tablo 3: Yakıt Cinslerine Göre Elektrik Üretim Maliyeti	51
Tablo 4: Rüzgâr Türbin Çapı ve Güç Çıkışı	148
Tablo 5: Enerji Kaynak Türleri	58
Tablo 6: Fosil Kaynakların Rezerv Ömürleri.....	73
Tablo 7: 1850 – 2011 Sera Gazı Değerleri.....	74
Tablo 8: Biyokütle Kaynakları, Kullanılan Çevrim Teknikleri, Elde Edilen Yakıtlar ve Uygulama Alanları	92
Tablo 9: Türkiye Elektrik Enerjisi Toplam Kurulu Kapasite Değişimi	101
Tablo 10: Hes Potansiyel Durumu	104
Tablo 11: Türkiye 2002 – 2016 Arası Elektrik Üretim Kaynaklarının Değişimi ...	110
Tablo 12: Türkiye 2002 – 2017 Elektrik Üretim Kaynakların Oranları	111
Tablo 13: Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri.....	116
Tablo 14: Enerji Kaynaklarının Karşılaştırması	117
Tablo 15: Bölgelere Göre Rüzgâr Hız ve Yoğunlukları	130
Tablo 16: Türkiye İyi - Sıra Dışı Sınıflar için 50m Toplam Rüzgâr Potansiyelleri	133
Tablo 17: Türkiye İyi - Sıra Dışı Sınıflar için 50m Deniz Alanları Toplam Rüzgâr Potansiyelleri.....	133
Tablo 18: Türkiye’de Yenilenebilir Kaynakların Potansiyeli ve Kullanım Miktarı	168

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1: 2001 – 2018 Arası Dünya Rüzgâr Enerjisi Kapasite Değişimi (GW).....	36
Grafik 2: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerin Enerji Talebi ve Gelecek Tahmini	37
Grafik 3: Özelliklerine Göre Rüzgâr Türbin Çeşitleri	41
Grafik 4: Türkiye Geneli İzlenebilen Toplam Güç Üretimi ve Tahmini	54
Grafik 5: 1800 – 2017 Arası Kaynaklar Bazında Dünya Enerji Tüketimi	60
Grafik 6: Dünya Birincil Enerji Kaynaklarının Sektör, Bölge ve Yakıt Türüne Göre 1970- 2040 Kullanım Projeksiyonu	64
Grafik 7: Küresel Ortalama Sıcaklık ve Fosil Yakıt Kullanımı.....	77
Grafik 8: Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonu.....	78
Grafik 9: Dünya’nın Geçmiş ve Gelecekte Enerji Kaynağı Kullanımı	79
Grafik 10: Dünya Güneş Enerjisi Toplam Kurulu Kapasitesi	83
Grafik 11: Yıllar İtibariyle Türkiye Güneş Enerjisi Kurulu Gücü	85
Grafik 12: Türkiye Jeotermal Enerji Kurulu Güç Değişimi	89
Grafik 13: Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklarına Göre Değişimi (1970-2016).....	107
Grafik 14: Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı 2018	108
Grafik 15: Sektörlere Göre Türkiye Sera Gazı Emisyonu (milyon ton) 1990 - 2016	115
Grafik 16: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kurulu Kapasitesi Değişimi.....	145
Grafik 17: 2018 Yılı Bölgelere Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Kapasitesi	146
Grafik 18: 2018 Yılı İller Bazında Rüzgar Enerjisi Kurulu Kapasitesi.....	147
Grafik 19: 1974- 2016 Yılları arası OECD Ülkeleri Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynakların Değişimi	150
Grafik 20: 1980 – 2016 Dünya Rüzgâr Enerjisi Üretim Değişimi	151

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1: Türkiye Çevresinde Bölgesel Rüzgarlar.....	122
Harita 2: Türkiye Rüzgâr Atlası 2002	129
Harita 3: Türkiye Ortalama Rüzgâr Kapasitesi – 50m	131
Harita 4: Türkiye Fiziki Haritası	132
Harita 5: Türkiye RES Kapasitelerinin İllere Göre Dağılımı	135
Harita 6: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Hızı Dağılımı – 50m	136
Harita 7: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Güç Yoğunluğu Dağılımı – 50m.....	137
Harita 8: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Hızı Dağılımı – 100m	138
Harita 9: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Güç Yoğunluğu Dağılımı – 100m.....	139
Harita 10: İncelenen RES Sahası.....	155
Harita 11: İstanbul Rüzgâr Hızı (50m) ve İncelenen RES Sahası.....	159
Harita 12: İstanbul Kabartma ve İncelenen RES Sahası	160
Harita 13: İstanbul Rüzgâr Santralleri ve İncelenen RES	161
Harita 14: İstanbul Rüzgâr Enerji Santrali Kurulabilir Alanlar.....	161
Harita 15: Kapasite Faktörü Dağılımı – 50 metre	162

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	:	Avrupa Birliği
ÇED	:	Çevre Etkisi Değerlendirilmesi
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İşleri
DAB	:	Dinamik Alçak Basınç
DYB	:	Dinamik Yüksek Basınç
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EWEA	:	Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği
GES	:	Güneş Enerji Santrali
HES	:	Hidroelektrik Enerji Santrali
EİEİ	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
MEB	:	Milli Eğitim Bakanlığı
MİLGES	:	Milli Güneş Enerjisi Santrali Geliştirilmesi
MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NATO	:	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
MW	:	Megavat
GYK	:	Güney Yarım Küre
GWEC	:	Küresel Rüzgâr Enerji Konseyi
GW	:	Gigavat
GWh	:	Gigavat-saat
OECD	:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OPEC	:	Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği
IPCC	:	Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli
IRENA	:	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
İÜ	:	İstanbul Üniversitesi
İTÜ	:	İstanbul Teknik Üniversitesi
JES	:	Jeotermal Enerji Santrali
REPA	:	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	:	Rüzgâr Enerjisi Santrali
RİTM	:	Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi

TAB	: Termik Alçak Basınç
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim AŞ
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TYB	: Termik Yüksek Basınç
TW	: Teravat
TWh	: Teravat-saat
KYK	: Kuzey Yarım Küre
kW	: kilovat
kWh	: kilovat-saat
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanlar
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YERT	: Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini
WASP	: Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı
WWEA	: Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği
WWF	: Doğal Hayatı Koruma Vakfı
W	: Volt

GİRİŞ

İnsanoğlunun yeryüzündeki yaşamının başlangıcından beri enerji, insan hayatının her alanında her dönem var olmuş ve önemini arttırarak vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Avcı toplayıcı ilk insanların kas gücü ile hayatlarını sürdürdükleri dönemden günümüz modern toplumlarının yaşamlarını ulaşılan medeni seviyede devam ettirmesi için enerji ulaşılması gereken bir girdidir. Nüfus artışının paralelinde artan enerji tüketimi insanların yaşam tarzına ve teknik gelişmelere göre yol almıştır. İlk çağlarda insan ve hayvan gücünün yanında odun, hayvansal atıklar veya odun kömürü uzun dönem temel enerji ihtiyacını karşılarken Sanayi Devrimi'yle birlikte enerji talebi ve tüketim tipi önemli değişime uğramıştır.

Sanayi Devrimi'yle buharlı motorun icadı, dünya genelinde rezervleri dengeli dağılmış sayılabilecek kömürün enerji kaynağı olarak değerini arttırmış ve uzun dönem egemenlik sürmesini sağlamıştır. İlk sanayi faaliyetleri ile yaşanan teknik gelişmeyle doğru orantılı olarak tüketimi artan kömür, 19. yüzyılda (yy), petrolün keşfi ve kullanım alanının artmasıyla eski değerini kaybetmiştir. Petrolün devri olan 19. yy. ve 20. yy. önemli olayların, dünya savaşlarının yaşandığı bir dönem olmuş, artan bilgi birikimi, sanayi faaliyetleri ve nüfus miktarı enerji kaynaklarına sahip olmanın, en azından ulaşabilmenin veya bulunduğu bölgeyi kontrol etmenin önemini ortaya koymuştur. Bunun neticesinde enerji kaynağına sahip bölgeler ile enerji tüketimi yüksek bölgeler arası enerji ticareti başlamış ve enerji tüketimine paralel olarak artış göstermiştir. Yaşanan bu durum enerji kaynaklarının stratejik bir unsur haline gelerek ülkelerin birbirlerine karşı politik alanda kullanmalarına zemin hazırlamıştır. Bu sebeple ülkeler enerji taleplerini farklı kaynaklardan sağlayarak enerji de yaşanabilecek sorunlara çözüm yolları bulmaya çalışmışlardır. 1950'ler sonrası dünya genelinde artan doğalgaz, nükleer ve hidrolik güç yatırımları bunun bir kanıtı niteliğindedir. Fakat fosil kaynaklar teknik dönüşüm zorluğu ve ekonomik sistemin getirisi olarak o günden bugüne hala yüksek oranlarda tüketilmektedir. Bununla birlikte petrol ve doğalgazın dünya genelinde dengesiz dağılışı, siyasi riskler arz etmesi ve günümüzün en önemli sorunlarından olan küresel ısınmanın temel nedeni sera gazı salınımının ana aktörü olmaları, enerji kaynağı tercihinde bulunan ülkeleri bir karar sürecine sokmuştur.

Dünya birincil enerji kaynağı tüketimi Sanayi Devrimi'nden bugüne istisnai bazı yıllar hariç devamlı artmış ve gelecek öngörülerinde de artacağı tahmin edilmektedir. Bu durum rezerv ömürleri azalan ve çevresel etkileri bilinen fosil kaynakların tüketiminde zorunlu olarak değişime gidilmesini gerektirmektedir. Petrol ve doğalgazın yaklaşık 60 yıl sonra kömürün ise 120 yıl sonra tükeneceğinin bilinmesi ve küresel ısınmanın teoriden çıkarak, artık her gün hissedilir atmosfer olaylarına sebep olması, toplumların bu konuda bir şeyler yapmalarını gerektirmektedir (ETKB, 2018). Çalışma bu sorunun boyutlarını ele alarak, fosil kaynak kullanımı ve yenilenebilir kaynakların onları ikame edebilme potansiyellerini değerlendirerek rüzgâr enerjisi özelinde yaşanan sorunlara bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

İkincil enerji türlerinden olan elektrik enerjisi teknolojik gelişme, sanayi üretimi ve değişen tüketim alışkanlıkları neticesinde yüksek oranda tükenen bir kaynak haline gelmiştir. Kullanım kolaylığı, kalıntı oluşturmaması gibi nedenlerle kullanımı yaygınlaşmış ve tüketim oranı bir gelişmişlik ölçütü haline gelmiştir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde elektrik enerjisine yönelik yatırımlar devam ederken hangi kaynağın ne kadar pay alacağı çeşitli kriterlere göre değişmektedir. Fosil yakıtlar belirtilen nedenlerle günümüzde eleştiri konusu olup, kullanım ömürlerinin azlığı neticesinde daha fazla yatırım yapılması uygun bulunmamaktadır. Bu yüzden yeni ve yenilenebilir olarak isimlendirilen kaynağı sınırsız ve çevreye zararı fosil kaynaklara göre çok az olan kaynaklar ülkelerin son yıllarda artan oranlarda enerji talep portföyünde yer almaya başlamıştır.

Rüzgâr, güneş, jeotermal, dalga, biyokütle ve gelgit gibi doğada sınırsız ve fosil kaynaklar gibi dar alanda değil geniş bölgelerde insan kullanımına açık olan bu kaynaklar; ithalatı azaltmaları, çevresel etkilerinin az olması, istihdam sağlamaları, yerel refah artışına yardımcı olmaları ve ulaşımı zor alanlara da hizmet vermeye müsait oluşları gibi avantajlarıyla tercih edilmektedirler. Günümüzde avantajları ve potansiyelleri bakımından en fazla yatırım yapılan yenilenebilir kaynaklar güneş ve rüzgâr enerjisidir (REN 21,2018; Irena, 2019). Çin, Hindistan ve diğer gelişmekte olan ülkelerin enerji yatırımlarında rüzgâr, güneş ve diğer yenilenebilir kaynakların kayda değer paylar almalarının temelinde sağladıkları avantaj ve çevresel etkileri

gelmektedir. Ülkeler tercihlerini sürdürülebilir bir enerji sistemi ve çevre düzeni için değişime tabi tutmaktadır. Türkiye gibi sanayi üretiminde ve enerjide ithalata bağımlı bir ülke için yeni ve yenilebilir kaynaklar; artan nüfus, bozulan doğal çevre ve mali dengeler bağlamında değerlendirildiğinde büyük önem arz etmektedir.

Güneş'in ışınlarının dünya yüzeyine çeşitli nedenlerle aynı enerjiyi taşıyamaması neticesinde oluşan basınç farklarının atmosfer içindeki hareketi olan rüzgâr, sahip olduğu kinetik enerjiyle sınırsız bir enerji kaynağıdır. Dünya'nın küresel şekli neticesinde oluşan bu sürekli basınç merkezleri ve bölgesel basınç alanları etkili oldukları mekânın rüzgâr potansiyelini ortaya çıkarmaktadır. Bulunduğu matematik konum neticesinde sürekli Batı Rüzgârları'nın etkisinde olan ve özel konumu sonucu bölgesel basınç merkezlerinin de etkili olduğu rüzgâr kuşağında bulunan Anadolu Yarımadası, önemli rüzgâr potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin %75 oranında ithal enerji kaynağına bağımlı olduğu düşünüldüğünde bu potansiyel sağlıklı kalkınma, sanayi faaliyetlerinin sürekliliği ve sosyal hayatın modern koşullarda devamı için önem arz etmektedir. Bu bağlamda çalışma bu sorunun önemli bir bölümüne çözüm olacağını düşündüğü Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyelini ortaya koymayı, yaşanacak enerji talep artışının rüzgâr ve diğer yenilenebilir kaynaklarla karşılanarak ülke tabiatının, ekonomik yapısının, bağımsız, güçlü ve üretken bir sanayi varlığının ortaya çıkmasını için bu konuda yapılması gerekenleri ortaya koymaya çalışmaktadır.

Çalışma, resmi ve bağlantılı yerel resmi kaynakların yanında uluslararası diğer güvenilir kaynaklara başvurarak geçmiş, bugün ve gelecek boyutunda Dünya enerji konumunu ortaya koyup, Türkiye özelinde yapılabilecek ve çözüm olabilecek kaynakların varlığını analiz etmeye çalışmaktadır.

Çalışma birinci bölümde rüzgâr doğasını açıklayarak rüzgârın oluşumunu, atmosfer içinde hareket durumunu ve dünya üzerinde dağılışını ortaya koyacaktır. Rüzgâr sisteminin öğrenilmesi rüzgâr potansiyelinin belirlenmesinde, potansiyelin bilinmesi ise enerji kapasitesinin analiz edilmesi için önemlidir. O nedenle bu bölüm küresel rüzgâr sistemini açıklayacak ve Türkiye'nin içinde olduğu parça belirtildikten sonra Türkiye'nin rüzgâr potansiyelinin detayına beşinci bölümde

girilecektir. Birinci bölümün sonunda rüzgârın kullanım tarihi ortaya konarak geçmişten günümüze geçirdiği evrim de analiz edilecektir.

İkinci bölümde ise rüzgâr gücünden günümüzün önemli ihtiyaçlarından olan elektrik enerjisinin nasıl üretildiği ortaya konarak, ne tür alet ve sistemlerin kullanıldığı açıklanacaktır. Rüzgâr gücünü elektrik enerjisine dönüştüren rüzgâr türbinlerinin yapısı ve çalışma yöntemi açıklandıktan sonra Türkiye'deki rüzgâr enerji santralleri ve türbin durumu açıklanarak ülkenin üretim yapısı analiz edilecektir.

Üçüncü bölümde ise Dünya ve Türkiye'nin fosil ve yenilenebilir enerji kaynak durumu ve potansiyeli ortaya konarak gelecekte yaşanacak enerji artışının kaynaklar bazında yaratacağı değişim analiz edilmeye çalışılacaktır. Özellikle fosil kaynakların rezerv ve çevresel etki bakımından dezavantajlarına karşı yenilenebilir kaynakların sınırsız ve çevreye en az zarar veren kaynak olmaları neticesinde uluslararası kurum ve kuruluşların rapor ve bildirilerinden hareketle değerlendirme yapılacaktır.

Dördüncü bölüm ise Dünya ve Türkiye birincil enerji kaynak tüketiminde önemli pay sahibi olan elektrik üretiminin, Türkiye özelinde kurulu gücü, gelişimi ve dönüşümü ele alınacaktır. Sanayi üretimi, modern hayatın getirdiği yenilikler ve tüketim alışkanlıklarında yaşanan değişimin, elektrik enerjisine olan bağımlılığı arttırdığı gibi gelecekte özellikle ulaşım, ısınma gibi sektörlerde elektrik enerjisinin tüketimini arttıracak alanların elektrik üretimine yapacağı baskı ve yenilenebilir kaynakların sunacağı avantajlar değerlendirilecektir.

Beşinci bölümde ise Türkiye enerji durumu ve rüzgâr potansiyeli değerlendirmesi yapılarak, yaşanan enerji ithalat bağımlılığına yüksek oranda rüzgâr enerjisinin sunacağı çözüm potansiyeli açıklanacaktır. Türkiye coğrafyasının sahip olduğu rüzgâr sisteminin ortaya çıkardığı rüzgâr potansiyelinin, üretilecek enerjinin kapasitesi ve ülke ihtiyacına vereceği cevap aranacak, rüzgârın enerji bağımsızlığında önemli bir koz olabileceği belirtilecektir.

Son olarak altıncı bölümde ise İstanbul ilinde incelenen örnek bir rüzgâr enerji santralinin, diğer bölümlerde verilen teorik bilgilerin bir uygulamada

görölmeye çalışılmıştır. Hadımköy semtinde bir fabrikanın kendi ihtiyaı için kurulan santralin boyutları, kapasitesi, verimliliği, üretimi, hukuki olarak kurulum durumu ve yatırım boyutunun ele alındığı örneğ değerlendirilirken, bölgenin rüzgâr potansiyelini de değerlendirmesine imkân vererek fabrikanın yaptığı rüzgâr analizlerinin bir nevi doğruluğu test edilmiştir. Üretim ve rüzgar değerlendirilmesi yapılarak uygulamada bir proje incelenmeye çalışılmıştır.

Sonuç bölümünde ise ithal enerjinin oluşturduğu dezavantajlardan, çevresel etkilerden ve olası uluslararası yaptırımlardan dolayı kullanılan enerji kaynaklarının tercih değişiminin bir zorunluluk oluşturduğundan bahsedilecektir. Sayılan nedenlere bağlı olarak dünyanın bir enerji dönüşümü içinde olduğu, tüm ölkelerin er ya da geç yenilenebilir kaynaklarını en aktif şekilde kullanmaya yöneleceği, Türkiye'nin ise yüksek potansiyele sahip olduğu yenilenebilir kaynaklarını hızlı bir şekilde kullanıma sokarak daha güçlü ve bağımsız bir ekonomi, aktif bir sanayi ve refah seviyesi bir toplum yapısı için yapması gereken enerji tercihe bir fikir verilmek istenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1 RÜZGÂRIN DOĞASI

Rüzgârın nasıl ve nerede var olduğunu bilmek, bu kaynaktan yararlanmanın öncelikli gereksinimidir. Bu nedenle ilk bölümde rüzgârın nasıl meydana geldiği, atmosferin yapısı ve rüzgârın hareket sistemi üzerinde durulacaktır. Rüzgârın unsurları olan şiddeti, yönü ve sıklığının; iklim, bitki örtüsü gibi unsurlar üzerinde etkisine ve enerji üretimindeki yerine değinilecek ve son olarak rüzgâr enerjisinin dünya tarihçesine yer verilecektir.

1.1 Dünya Rüzgâr Sistemi ve Atmosfer Dolaşımı

Dünya yüzeyini çepeçevre saran ve çeşitli gazlardan meydana gelen atmosfer, rüzgârın ortaya çıktığı ve sürekliliğinin sağlandığı alandır. Bu nedenle atmosferde meydana gelen hava hareketlerini ve basınç merkezlerinin incelenmesi rüzgâr doğasını anlamak için gereklidir. Atmosfer, Yunanca atmos = nefes ve sphere = küre kelimelerinden türetilmiş olup hava küre olarak Türkçeye çevrilmiştir. Sınırının gaz bileşenlerinin seyrekliği ve diğer etmenlerden dolayı tam belirlenmediği atmosfer, dünya yüzeyini çepeçevre saran gaz örtüsüdür (MGM, 2005). Bu örtü içerdiği gaz bileşikleri sayesinde canlılara hayat imkânı sunarken, doğa olaylarının büyük bir bölümün meydana gelmesine olanak sağlayarak, dünya üzerinde yaşamı mümkün kılmıştır. Güneş ışınlarının geliş açısı, içerdiği gazların adyabatik hareketi, yerçekimi, kara ve okyanusların dağılışındaki farklılık, yeryüzü şekilleri ve dünyanın yıllık ve günlük hareketi atmosferi doğal sistem içinde aktif bir oyuncu yapmıştır. Burada üzerinde durulması gereken yaşamın ana kaynağı olan güneşin atmosfer faaliyetlerinin itici gücü olduğudur. Güneşin ışıma (radyasyon) aracılığıyla etkilediği atmosfer ve yeryüzünde meydana gelen hava olayları tüm ekosistemi etkilemektedir. Dünya kendine özgü şekli yansırı, yıllık ve günlük hareketleri sonucunda güneş ışınlarını farklı açılarla alır. Bununla birlikte yeryüzünde kara ve okyanusların dağılışı miktarının farklı olması, yer şekillerinin farklılık arz etmesi gibi diğer nedenlere bağlı olarak alınan ışınların yeryüzünü farklı oranda ısıtmasına neden olmaktadır. Bu

durum birçok coğrafi unsuru ortaya çıkarırken, rüzgâr bunlar arasında en önemlilerindendir.

1.2 Güneş Radyasyonu (Işıma)

Yeryüzündeki hayatın temel kaynağı olan güneş, oluşumundan beri dünyaya hayat vermektedir. Güneş'in dolaylı etkisi sayesinde oksijen, azot ve karbon gibi hayatın temel bileşenlerinin döngü içerisinde kalarak canlı hayatına olanak tanınması Dünyamızı, Güneş sistemi içinde benzersiz kılmaktadır. Fakat güneşin etkileri bununla sınırlı değildir. Rüzgâr, dalga, yağış gibi doğanın ana unsurlarının da itici gücü güneştir. Güneş ışınlarının ulaştığı Dünya, atmosfer ve yüzey sayesinde kayıp-kazanç dengesi (sıcaklık dengesi) kurarak aşırı ısınma ve soğumayı önlemektedir. Bu denge durumu ısı enerji dengesi olarak tanımlanmaktadır (MGM, 2005). Atmosferin üst sınırında 1 cm²'ye 1 dakikada gelen kalori miktarına güneş sabitesi denir (Erol, 1993). Güneş sabitesi farklı nedenlerle yeryüzünde farklılık göstermektedir.

Güneş ışınlarının değişik değerlerde enerji ortaya çıkarmasında etkili olan durum, ışınlarının atmosferde aldıkları yolda uğradıkları değişimin sonucudur. Güneş ışınlarının;

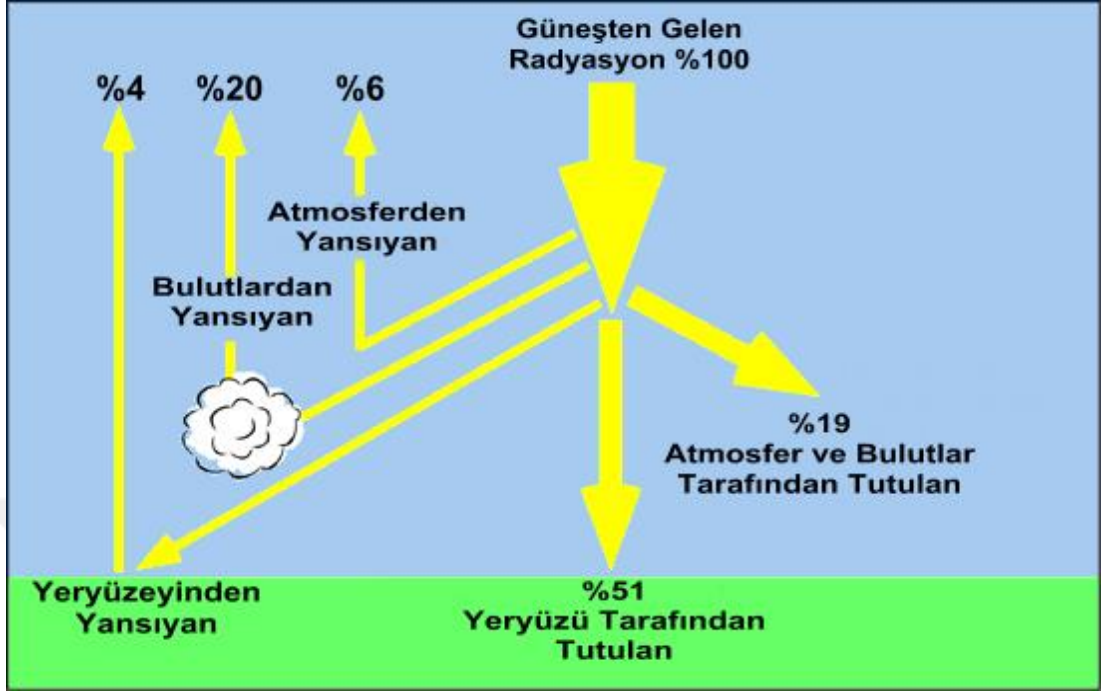
%25'i bulutlar ve atmosfer etkisi ile uzaya yansır.

%25'i dağılmaya (düfizyona) uğrar.

%15'i atmosfer tarafından emilir (absorbe).

%8'i yere çarpıp uzaya yansır (albedo).

%27'si yeri ısıtır (şekil 1).



Şekil 1: Güneş Işınları Atmosfer Isınması

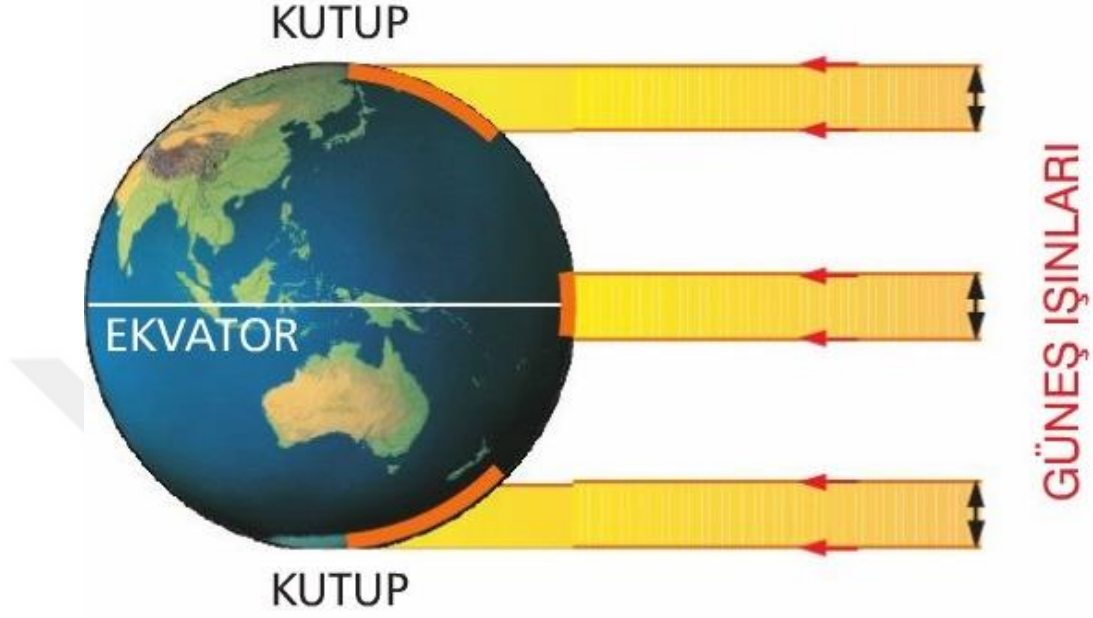
Kaynak: <http://www.mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 20.05.2018)

Bu verilerden hareketle güneş ışınlarının sadece %51'lik kısmı yeryüzünü ısıtarak fotosentez, buharlaşma gibi önemli olayları meydana gelmesini sağlarken geriye kalan %49'luk kısmın; %4'ü yeryüzünden yansır, %6'sı atmosferden yansır, %20'si bulutlardan yansırken %19'luk kısmı atmosfer ve bulutlar tarafından tutulur. Kara ve denizlerin albedosu farklılık arz edeceğinden yeryüzüne gelen ışınlarda her yere aynı enerjiyi taşıyamaz. Denizler, buzullar açık renkli yüzeyler daha fazla yansıma yapar bu nedenle albedo değeri düşüktür. Karalar, ormanlar koyu renkli olmaları nedeniyle albedo değeri yüksektir. Yeryüzü ve atmosfere ulaşan enerji doğal yollardan tekrar ışıma ile uzaya yansıyarak ısı enerji dengesi korunmuş ve dünyada doğal olaylar süreklilik sağlamış olur.

1.3 Dünya ve Yeryüzünün Sıcaklığa Etkisi

Atmosfer güneşten gelen ışınların yeryüzünü ısıtması sonucu alttan aldığı enerji ile ısınır. Bu nedenle atmosfer ve yeryüzü ısınması arasında net bir bağlantı vardır. Gelen güneş ışınlarının açısı ve süresi, yeryüzü sıcaklığını etkilemesi dolayısıyla atmosfer ısınıp etkileyecektir. Öncelikle Dünya'nın şekli güneş ışınlarını

ekvator ve kutuplar arasında farklı açılarla almasına neden olmaktadır. Bu açı değişikliği güneş ışınlarının taşıdığı enerjinin değişiminde temel faktördür (şekil 2).

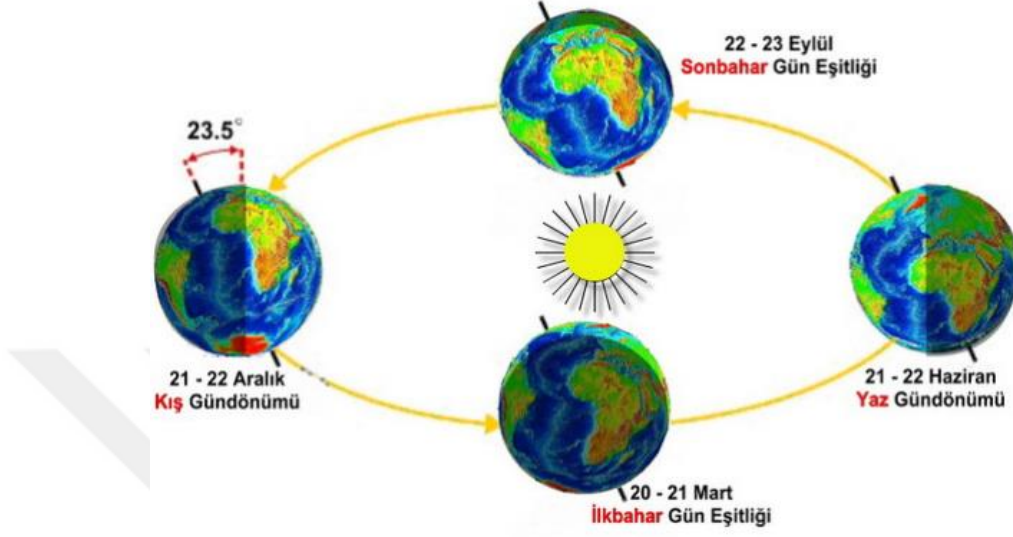


Şekil 2: Güneş Işınları Geliş Açısının Değişimi
Kaynak: MGM, 2005

Diğer bir faktör ise Dünya'nın eksen eğikliği sebebiyle gün içinde ve yıllık hareketi boyunca ışınları değişen açılarla almasıdır. Güneş karşısındaki konum değişimi sonucu oluşan bu durum atmosferin de farklı ısınmasını ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 3'de dünyanın eliptik yörüngesinde bir yıllık hareketi gösterilmektedir. Bu hareket eksen eğikliği ile birlikte güneş ışınlarının dünya üzerinde farklı bölgelere farklı zamanlarda değişik açılarla düşmesine neden olmaktadır. Bu hareket boyunca bazı bölgeler yılın belirli zamanlarında ışınları dik açı ile alırken, Dünya'nın geri kalanı değişen açılarla almaktadır. Bu durum günlük hava olaylarını etkilediği gibi iklim, yağış, sıcaklık, orman ve yaşam alt ve üst sınırı gibi temel konularda değişikliğe neden olmaktadır. Konumuz itibarıyla termik yani sıcaklık kökenli sıcak ve soğuk hava sistemlerinin oluşarak sürekli rüzgârların, mevsimsel farklar nedeniyle devirli rüzgârların ve yerel sıcaklık farkları sonucu yerel rüzgârların oluşmasının temel sebebidir (MGM, 2005). Ayrıca eliptik yörüngenin tam bir çember olmaması nedeniyle Kuzey Yarım Küre'de yaz mevsimi iki gün uzun yaşanır ki bu da enerji

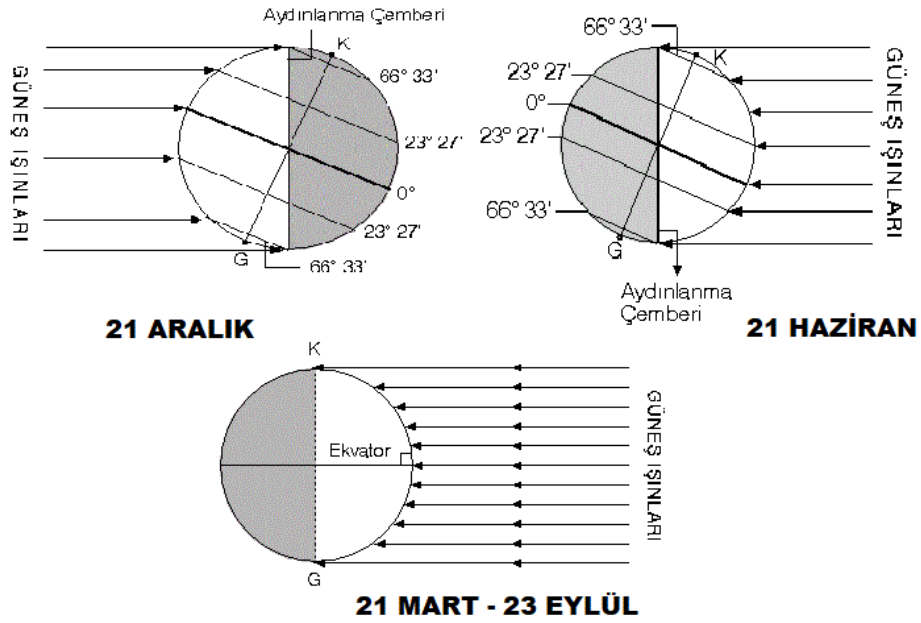
birikimi açısından önemlidir. İki günlük gecikme sonbahar ekinoksunun iki gün gecikmesine de neden olmaktadır.



Şekil 3: Dünya Yıllık Hareketi

Kaynak: <http://www.mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 20.05.2018)

Şekil 4'te gösterildiği gibi özel enlemlerin konumu sonucu; 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde (ekinoks) ekvatora güneş ışınları dik d  erken, 21 Haziran'da Yengeç Dönencesine ($23^{\circ}21'$ kuzey enlemi); 21 Aralık'ta ise O lak Dönencesine ($23^{\circ}21'$ güney enlemi) dik düşmektedir. Bu durum Kuzey Yarım Küre (KYK) ver Güney Yarım Küre'de (GYK) farklı sıcaklık ortalamalarına neden olacaktır.



Şekil 4: Ekinoks - Solstis Tarihlerinde Dünyanın Konumu
Kaynak: <http://anil-cografya.blogspot.com.tr> (Erişim Tarihi: 20.06.2018)

Genel olarak ekvatorlardan kutuplara doğru gidildiğinde sıcaklık düşer. Fakat bu durum her zaman böyle olmamaktadır çünkü kara ve denizlerin dağılışı, yükselti farkı, karasallık, rüzgârlar, okyanus akıntıları gibi faktörler bu genel kabulün dışında sonuçlar ortaya koymaktadır (Ardel, 1973). KYK kara alanları, GYK'den fazla olması nedeniyle yazları daha sıcak (2° - 4°C) kışları ise daha soğuk (-3°C) olmaktadır (amit-sengupta.com, 2018). Bunun bir sonucu olarak termik ekvator karasallık ve okyanus akıntıları etkisiyle KYK'ya geçmektedir (Şekil 5). Bu durum genel hava sirkülasyonuna etki ederken, yarım küreler arası iklim derecelerinde farklar ortaya çıkarmaktadır. Burada ısı ve sıcaklık arasındaki farkı belirtmek konunun anlaşılabilirliğine katkı sağlayacaktır. Isı bir enerji türü olup, cisimlerin moleküler yapısında gizlidir. Sıcaklık ise cisimlerin kinetik enerjilerinin etkisi ya da yoğunluk durumlarıdır. Sıcaklık geçişi cisimler arası ısı farkından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Dünya Güneş tarafından ısıtılmakta yani sıcaklığını Güneş'ten almaktadır (MGM, 2018).



Şekil 5: Termik Ekvator

(meridyenlerin en sıcak noktasının birleştirilmesiyle oluşturulan hayali çizgi)

Kaynak: Ardel, 1973: 96

Karaların opak (katı) ve okyanusların geçirici yüzeylere sahip olmaları atmosfere gönderdikleri ısı miktarlarını değiştirmektedir (albedo etkisi). Bu farklı ısınma sonucu küresel ve yerel ölçekte farklı sıcaklıklar ve bunun sonucunda farklı basınç alanları oluşmakta farklı basınç alanları ise rüzgârların doğmasına neden olmaktadır.

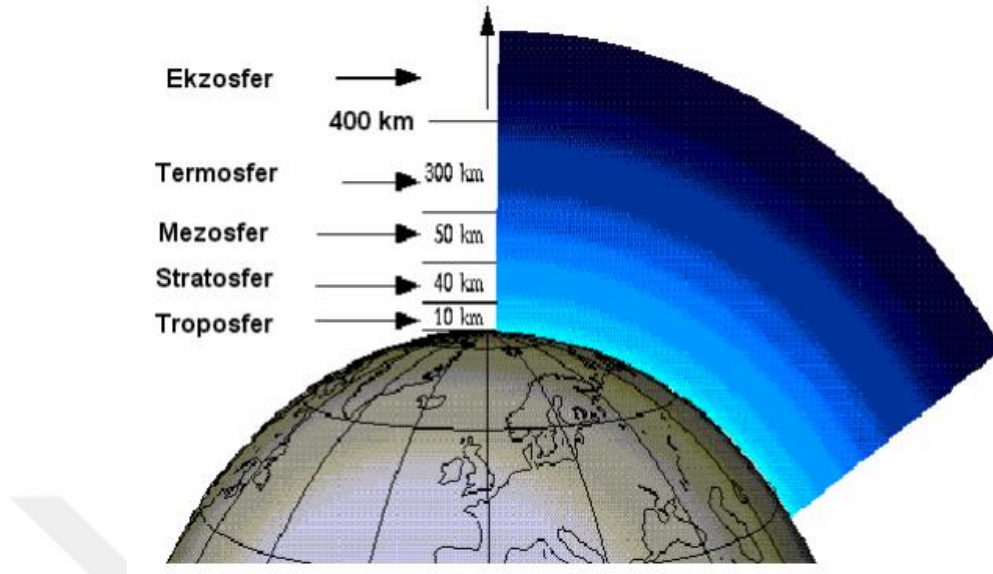
Okyanus ve kara arasındaki diğer bir fark ise; okyanuslar ısınma sonucu havada nem oluşturlarken, karalarda bu mümkün olamamakta netice itibariyle nemin ısı yalıtımı yapmasının da katkısıyla, karalar daha fazla ısınıp soğurken, okyanuslar sıcaklıklarını dengeleyebilmektedir. Karaların ısınmasına etki eden faktörler ise yer şekilleri, yüzeyi kaplayan yapının farkı; taş mı toprak mı olduğu, bitki örtüsü, kar örtüsü gibi unsurlar belirleyici olmaktadır. Tüm bu farklı özellikler kara ve okyanuslar da sıcaklık farklarının ortaya çıkmasına ve atmosferin değişik derecelerde ısınmasına yol açmaktadır.

1.4 Atmosfer

Atmosfer, çeşitli gazlardan oluşan ve yeryüzünde canlılara yaşama şansı veren hava örtüsüdür. Miktarı değişen, değişmeyen ve havada bulunma durumu değişen gaz ve materyallerden oluşan atmosfer, sıcaklık farkının aşırı artıp, azalmasını; güneşten gelen ışınların yeryüzünde dağılarak güneş ışını almayan yerlerin de aydınlanmasını sağlamakta aynı zamanda dünyanın dönüşü sırasında üzerinde yer alan cisimlerin savrulmasını önlemektedir.

Atmosfer bünyesindeki gazlar kimyasal ve sıcaklık profillerine göre çeşitli tabakalanmalar göstermektedir. Şekil 6'de gösterilmekte olan atmosfer sınıflandırması Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sıcaklık derecelendirmesine göre kabul edilen atmosfer yapısıdır. Genel bir tanımla yeryüzünden itibaren 8 ila 18 km arasında değişen yüksekliğe kadar olan atmosfer tabakası troposfer olarak adlandırılır. Atmosfer gaz oranının %99'unu barındıran bu katman tüm hava olaylarının gerçekleştiği bölümdür. Her 200 metre yükseldikçe 1°C sıcaklık düşüşünün yaşandığı bu katman, kutuplarda 8 km yüksekliğe çıkarken ekvator üzerinde 18 km yüksekliğe (gazların genleşmesi, yer çekimi etkisiyle) ulaşabilmektedir.

10 ila 40 km yükseklikte ise stratosfer katmanı yer almaktadır. Bu katmanda troposferin tersine yükseldikçe sıcaklık artmaktadır. Bu katmanda ozon tabakası bulunur ve güneşten gelen ultraviyole zararlı ışınlarının dünyaya ulaşımını engellemektedir. Stratosfer tabakası üzerinde ise 40 ila 80 km yükseklik arasında mezosfer tabakası yer alır. Mezosfer tabakasının 100 ila 300 km yukarısında ise termosfer tabakası bulunur.



Şekil 6: Atmosfer tabakaları

Kaynak: <https://www.ch.cam.ac.uk/> (Erişim Tarihi: 22.06.2018)

1.4.1 Atmosfer Basıncı

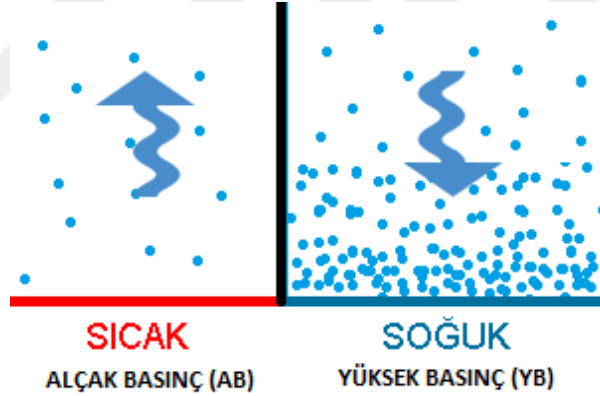
Atmosferi oluşturan gazlar yerçekimi etkisiyle yer yüzeyine bir basınç uygular. ‘Belirli bir yerdeki atmosferin ağırlığı’ şeklinde de ifade edilen basınç, ağırlık kuvveti olarak ifade edilir (Erinç, 1984). Havanın, 45. enlemlerinde 15°C sıcaklıkta 1cm çapındaki boru içindeki cıvayı 760cm yükseklikte tutmasına ‘normal hava basıncı’ denmektedir (Erol, 1993). Fakat atmosfer basıncının genel kullanımdaki birimi milibardır (mb) ve deniz seviyesinde yukarıda belirtilen şartlarda hava basıncı 1013 mb olarak hesaplanmıştır. Tablo 1’de atmosfer basıncının yükseklikle olan ters ilişkisini gösterilmektedir. Yükseldikçe ağır gazların seyrekleşmesi ve yer yerçekiminin azalmasıyla atmosfer basıncı azalmaktadır. Yeryüzünden başlayarak ilk 10 km yükseltide, atmosfer basıncı yaklaşık %75 oranında azalırken, sonraki 5 km’de %50 oranında azaldığı görülmektedir. Atmosferdeki gazların büyük oranda ilk 18 km’de olduğu düşünülürse bu mesafeden sonra basınç çok küçük rakamlarla ifade edilecektir (MGM, 2005; 168)

Tablo 1: Troposferde Yükseklik Basınç Değişim Tablosu

Yükselti (km)	Basınç (mb)	Yükselti (km)	Basınç (mb)
0	1013	5	540
1	900	6	471
2	795	7	410
3	700	10	264
4	616	15	120

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Klimatoloji II, s15

Atmosfer basıncını etkileyen diğer bir faktör ise sıcaklıktır. Isınan hava hafifleyip, genişleyeceğinden yükselir; soğuk hava ise yoğunlaşmadan dolayı çökerek basıncını artırır. Diğer bir ifade ile sıcak havanın hafiflemeyele basıncı azalır ve yükselmeye başlar. Soğuk hava ise yoğunluktan dolayı çökerek uyguladığı basıncı artırır. Bu durum atmosfer sirkülasyonunun temel faktörünü oluşturmaktadır.



Şekil 7: Alçak ve Yüksek Basınç Alanlarında Hava Moleküllerinin Durumu

Kaynak: <http://www.lcdegitim.com/> (Erişim Tarihi: 20.06.2018)

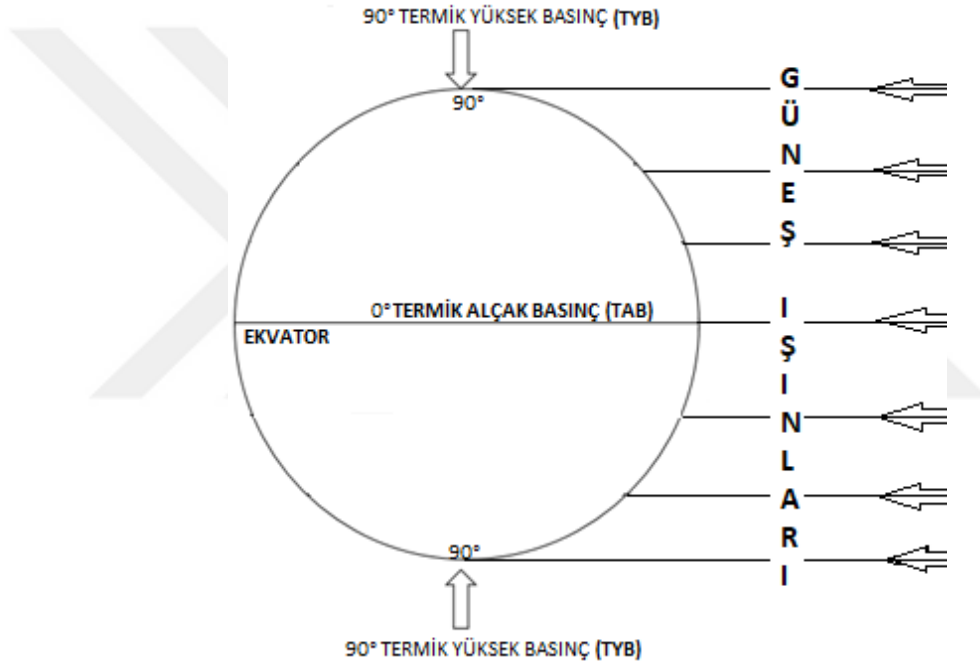
Atmosfer basıncını etkileyen diğer bir faktör ise, yerçekimidir. Dünya'nın kendine özgü şekli hem yer çekimini hem de enlem etkisini ortaya çıkarmış bu da sıcaklığın dolayısıyla basıncın değişmesine neden olmuştur. Ekvatorda şişkin kutuplarda basık olarak tanımlanan geoit yapısıyla dünya, yerçekimi ve sıcaklık etkisiyle yeryüzünde farklı basınç merkezlerinin oluşmasında etkili olmaktadır.

1.4.2 Atmosfer Basınç Merkezleri ve Atmosfer Sirkülasyonu

Atmosfer, Güneş'ten yeryüzüne gelen ışınlar aracılığıyla alttan ısınarak harekete geçen doğal bir gaz örtüsüdür. Şekil 3'de verilmiş olan Dünya eliptik yörünge hareketi yeryüzünün yıl boyunca değişen açılarla ışınları aldığını göstermektedir. Şekil 4 vasıtasıyla detaylandırılan durum Dünya'nın Güneş karşısındaki değişen konumu sonucu hangi enlemlerde ışınları dik veya dike yakın aldığı gösterilmektedir. Bu ve diğer bazı faktörler dünyanın günlük ya da yıllık hareketi boyunca yeryüzünün farklı oranlarda ısınmasına neden olmaktadır. Bunlardan ilki eliptik düzlemin tam bir çember şeklinde olmamasıdır. Şekil 3'te gösterilmekte olan bu durum güneş ışınlarının geliş açısını ve mevsimlik ısı birikiminin farklı olmasına ayrıca yıllık hareketin uzamasına neden olmaktadır (Temmuz ve Ağustos'un 31 gün olması). İkinci temel neden ise dünyanın eksen eğikliğidir. Yıllık hareket süresince değişen duruşu nedeniyle gelen ışınlar farklı bölgelere farklı açılarla enerji getirmektedir. Üçüncü neden ise günlük hareket boyunca güneş ışınlarının geliş açısının değişerek günlük ısınma farklılıklarının ortaya çıkmasıdır. Atmosferin ışınları yansıtıcı (albedo) özelliği ve absorbe ediyor olması da basınç ve enerji birikimi açısından farklılıklar ortaya çıkarmaktadır. Yarım küreler arası kara ve okyanus alanlarının yüzölçümleri farklı olduğundan bu bölgelerde değişik güneş ışını yansımaları ve dolayısıyla değişik basınç merkezlerinin oluşuna neden olmaktadır (amit-sengupta.com,2018). Yeryüzüne gelen ışınların taşıdıkları enerji geliş açılarıyla ilişkilidir. Dik ve dike yakın açılarla güneş ışınları alan bölgeler diğer alanlara oranla daha fazla enerji birikimine sahiptir. Bu durum şekil 7'de gösterildiği üzere havada bulunan gazların genleşmesi (moleküler genlik) ve hafifleyerek yükselmesine neden olmaktadır. Sıcaklık düşüklüğüne bağlı olarak ısısı düşen hava küçülür, ağırlığı artar, çökelir ve basıncı artar.

0° paraleli olan Ekvator yıl boyunca güneş ışınlarını dik ve dike yakın açılarla alır (Ekinoks tarihlerinde iki kez). Güneş ışınlarının dik ve dike yakın alınması gelen ışınların atmosferde daha az yol kat etmesine (dünyanın küresel şeklinin sayesinde) ve daha fazla enerjinin gelinen bölgede birikmesine neden olmakta bu da bu bölgede yıl boyu sıcaklık ortalamasının Dünya ortalamasının üstüne çıkmasına sebep

olmaktadır (ortalama 20°) (climate-charts.com,2018). Sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu ekvator bölgesi şekil 7’de gösterildiği gibi üzerindeki atmosferin hafifleyip genişterek yükselmesini sağlamaktadır. Ekvator üzerinde olduğu gibi sıcaklığa bağlı olarak havanın genişmesi ve yükselmesiyle oluşan basınca termik alçak basınç (TAB) denir. Şekil 8’de gösterilmekte olan ve ekvator üzerinde oluşan alçak basınç sıcaklık kökenli olup, Dünya’nın daimi TAB alanıdır. Yine güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak kutuplar çevresi soğuk ve çökelici termik yüksek basınç (TYB) merkezidir ve bu basınç merkezi de daimidir.

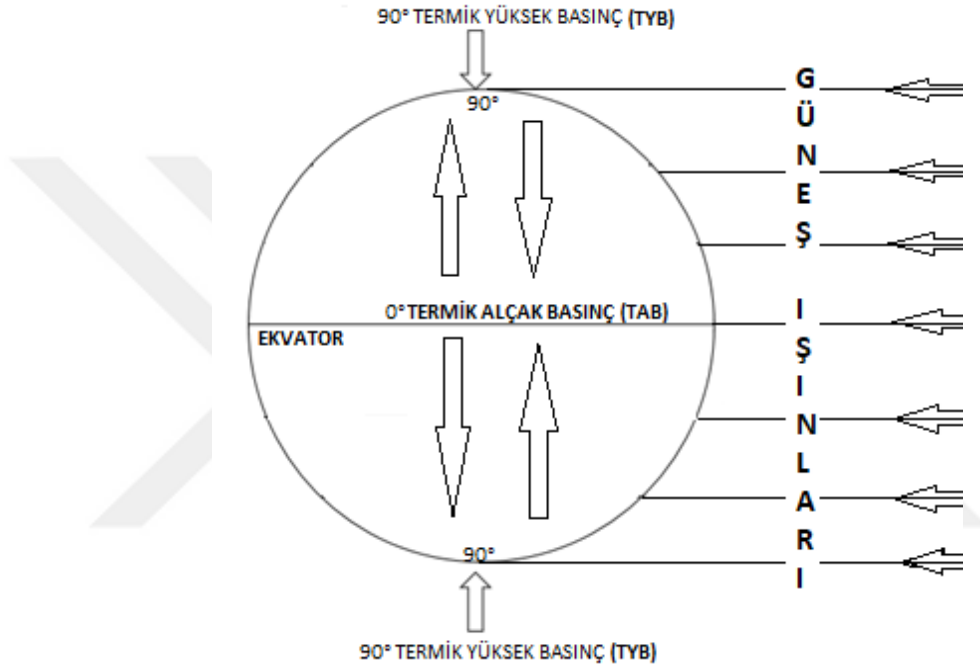


Şekil 8: Atmosfer Termik Basınç Merkezleri

Kaynak: <http://www.lcdegitim.com/> (Erişim Tarihi: 20.06.2018)

Ekvator ve kutuplar çevresinde oluşan bu farklı nitelikteki basınç merkezleri atmosfer içerisinde sıcaklık dengesini kurmak için hareket ederek atmosfer sirkülasyonunu ortaya çıkarmaktadır (metoffice.gov.uk, 2018). Hava geçişi olarak belirtilen bu durum yüksek basınç merkezinden yatay yönlü olarak alçak basınç merkezine doğru gerçekleşen hava hareketidir. Bu hava akımına ‘Rüzgâr’ denir. Rüzgâr, eş basınç eğrileri (izobarlar) tarafından basınç değerleri verilen iki bölge arasında izobar eğrilerine dik olarak gelişen basınç farklarının doğurduğu hava akımıdır. Rüzgârları harekete geçiren itici güç barometrik gradyandır (barometrik eğim) (MGM, 2005). Kutuplarda termik yüksek basınç, ekvatorunda termik alçak

basınç alanına doğru yönelir. Ekvatorda yeniden ısınan bu hava kutup bölgelerinden gelen soğuk hava ile bir döngü içerisinde kalarak genel atmosfer sirkülasyonunu oluşturur (Şekil 9). Fakat Dünya'nın dönüşü ve diğer bazı faktörler, genel atmosfer sirkülasyonunu daha karmaşık bir sistem haline getirmektedir (metoffice.gov.uk, 2018).



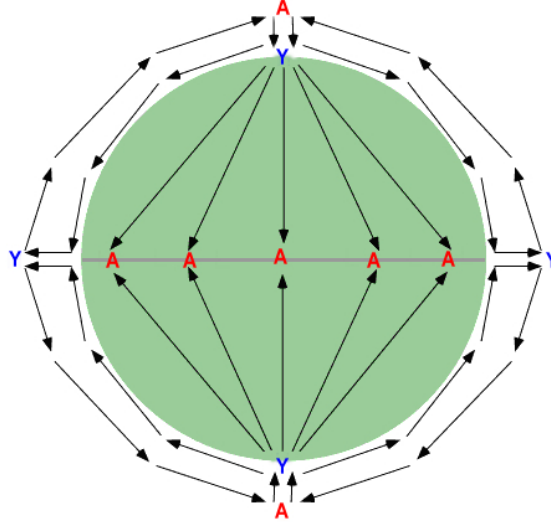
Şekil 9: Termik Basınç Alanları Arası Hava Geçişi

Kaynak: <http://www.lcdegitim.com/> (Erişim Tarihi: 22.06.2018)

Ekvator üzerinde oluşan sıcak hava yükselirken, kutuplar bölgesindeki hava soğuyarak çökelir ve bu iki ana basınç Dünya'nın dönüşünün ve atmosfer yapısının etkisiyle birbirine yönelerek asıl sistemi ortaya çıkarırlar. Klasik ve modern rüzgâr sistemi teorilerinde farklı yollarla döngünün sağlandığı belirtilse de iki teoride de, termik basınçların döngünün temeli olduğu konusunda fikir birliği vardır (MGM, 2005).

Konuyu daha anlaşılır kılmak için şöyle kıyaslamaya yapılabilir; Dünya'nın dönmediği ve yeryüzünün dengeli bir topografyaya sahip olduğu varsayılırsa atmosfer sirkülasyon sistemi sadece Ekvator ve Kutup Termik basınçları arasında gerçekleşirdi. Şekil 10'te gösterilen bu durum dünyanın tek bir atmosfer hücresinden oluştuğu varsayımına dayanmaktadır (mgm.gov.tr, 2018). Fakat Dünya'nın dönüşü,

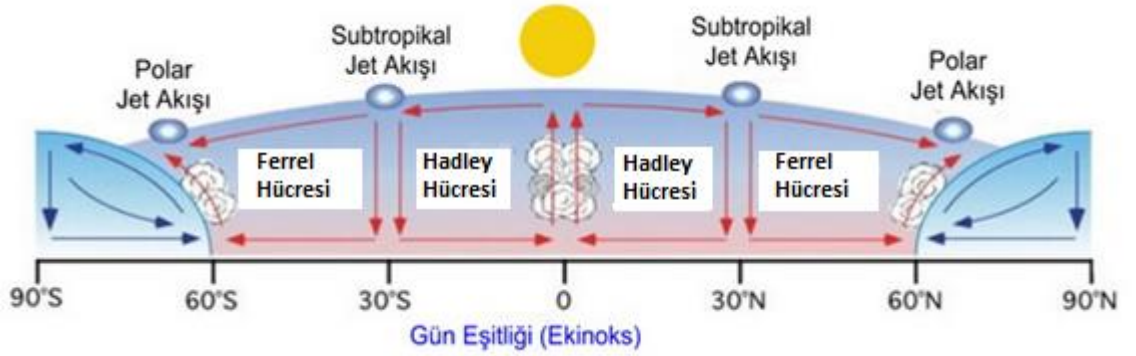
kara ve okyanusların kapladığı alanların boyutları ve koriolis kuvveti, şekilde 10'da gösterilen sistemin dışında farklı bir gerçeklik ortaya koymuştur.



Şekil 10: Tek Hücreli Atmosfer Döngüsü (Rüzgâr Akışı)
Kaynak: <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 28.05.2018)

Güneş ışınlarını yıl boyu dik ve dike yakın açılarla alan ekvator bölgesi, yıl boyu alçak basınç niteliğine sahiptir. Nemli bir özelliğe sahip bu alçak basınç merkezi ekvator üzerinde sürekli yağışlı ve sıcak bir havanın hüküm sürmesine neden olmaktadır. Bu bölgeden yükselen hava, yaklaşık 15 km yükseklikte troposfer ve stratosfer arasındaki tropopoz katmanına ulaşır (Sengupta, 2017). Tropopoz seviyesi Dünya'nın şekli, yerçekimi ve havanın ısı derecesine göre ekvator dan kutuplara doğru alçalmaktadır. Nemini bırakan hava kütlesi ısı farkı ve Dünya dönüşüyle kutup bölgelerine yönelir. Kutuplardan gelen soğuk hava ile ekvator dan gelen nemini bırakmış sıcak kuru hava 30° enlemlerinde birleşerek soğur ve çökelir. Böylece 30° dinamik yüksek basınç (DYB) alanı oluşmuş olur. Şekil 11'te termik basınç merkezlerinin Dünya dönüşüyle nasıl dinamik basınç merkezlerini oluşturduğu görselleştirilmiştir. Ekvator ile 30° enlemleri arası oluşan atmosfer yapısına Hadley Hücresi denir (www.britannica.com, 2018). 30° DYB'nın yeryüzüne temasından sonra ekvator ve kutuplara doğru ikiye ayrılır. Ayrılan havanın ekvatora yönelen kısmı ısınarak aynı hareketi tekrar eder. Kutuplara doğru yönelen hava ise yine dinamik nedenler yani Dünya dönüşüne binaen 60° enlemlerinde (sub-polar) yükselerek yeni bir hücre yani Ferrel Hücresinin (orta enlem hücresi) oluşmasına

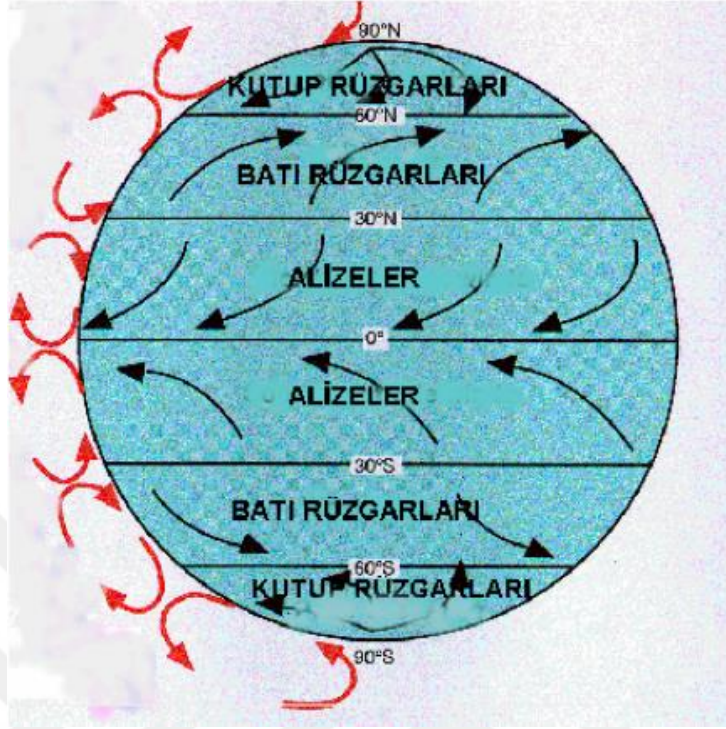
neden olmaktadır. Kutup bölgesinde (polar hücre) hâkim olan yüksek basınç ise 60° enlemlerinde Ferrel Hücresinin kuzeye yönelen koluyla birleşerek yükselir. Yükselen bu hava Ekvator bölgesinde olduğu gibi yağış getirmektedir. Farklı karakterli hava bölümlerinin karşılaştığı alanların yüksek atmosfer bölümlerinde jet rüzgârlar meydana gelmektedir (şekil 11).



Şekil 11: Genel Atmosfer Sirkülasyonu

Kaynak: MGM/KLİMATOLOJİ II, s100

Genel atmosfer sirkülasyonu şekil 11'te gösterildiği üzere termik basınç merkezlerinin ana belirleyici olduğu bir düzende gerçekleşmektedir. Isı farkının ortaya çıkardığı bu sistemin doğal bir sonuç olarak hava hareketi yani rüzgâr sistemi meydana gelir. Atmosfer sirkülasyonu olarak tanımlanan bu hava hareketi esasında sürekli rüzgârlar olarak adlandırılan hava geçişidir. Şekil 12'de yön ve isimleri verilen bu rüzgârlar anlatılmış olan dünya ve güneş ışıınımı ilişkisinin bir sonucudur. 0° ile 30° enlemleri arasında meydana gelen hava akımına Hadley Hücresi, bu hücre boyunca döngü halinde olan rüzgâra ise Alize Rüzgârları ismi verilir. 30° ile 60° enlemleri arasındaki atmosfer parçasına ise Ferrel Hücresidir ve bu hücre sınırları arasında esen rüzgâra Batı Rüzgârı denir. Son olarak 60° ile kutup daireleri arasındaki atmosfer bölümü Polar Hücre olarak isimlendirilir ve hâkim olduğu bölümde Kutup Rüzgârları döngü halindedir.



Şekil 12: Genel Atmosfer Döngüsü ve Sürekli Rüzgârlar
Kaynak: MGM/KLİMATOLOJİ II

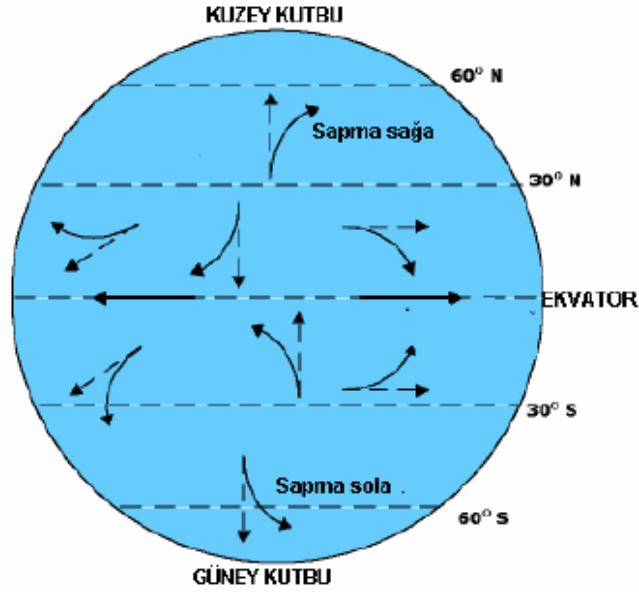
Türkiye bulunduğu matematik konumu itibariyle Batı Rüzgârları etkisi altındadır. Sürekli rüzgârlar olarak da isimlendirilen bu rüzgârlar çeşitli faktörlerin etkisiyle yön, hız ve sürekliliklerinde değişimler yaşarlar.

1.4.2.1 Sürekli Rüzgârların Hızları, Yönleri ve Frekansları Üzerinde Etkili Olan Faktörler

- a) **Barometrik Gradyan:** Rüzgârlar yüksek basınçtan alçak basınca doğru estikleri için onları harekete geçiren gücün yönü izobar eğrilerine diktir. Bu güce barometrik gradyan (barometrik eğim) denir (Erol, 1993). Barometrik gradyan etkisiyle yön bulan rüzgârlara Barostrofik veya Ageostrofik (sapmamış) rüzgârlar denir. Fakat çoğu rüzgâr koriyolis kuvveti, merkez kaç kuvveti ve yerel basınç unsurları nedeniyle sapma yaşar. Meltem rüzgârları ve ekvatorun 4° kuzey ve güneyinde bir kuşak boyunca esen rüzgârlar ise barometrik gradyan ekseninde esen rüzgârlara örnek verilebilir. Barometrik gradyan farkı, iki bölge arasında arttıkça rüzgâr hızı artacaktır. Rüzgârın sapma derecesi rüzgârın hızına ve yüzeye sürtünmesine göre değişir. Sapmış

rüzgârlara ise geostrofik rüzgâr nedir. Kutuplara doğru gidildikçe sapma değeri artacağından bu yüksek enlemlerdeki rüzgârlar geostrafik rüzgârlara örnek verilebilir.

- b) **Dünya'nın Dönüşü - Koriolis Kuvveti:** Dünya kendi eksenini etrafında dönüşü sırasında, üzerinde bulunan ve hareket halinde olan rüzgâr gibi unsurlara yönelik saptırıcı bir güç uygular. Rüzgârların yönünde sapmaya neden olan bu güce koriolis kuvveti denir. Ferrel Yasası olarak da bilinen koriolis kuvveti Dünya'nın dönüşünden dolayı üzerinde bulunan nesnelerin yönlerinde saptırıcı kuvvet uygular. Kuzey Yarım Küre'de sağa, Güney Yarım Küre'de sola gerçekleşen bu sapma, yerel nitelikli basınç farklarından ziyade genel atmosfer sirkülasyonunda etkilidir (şekil 13) (www.mgm.gov.tr, 2018).

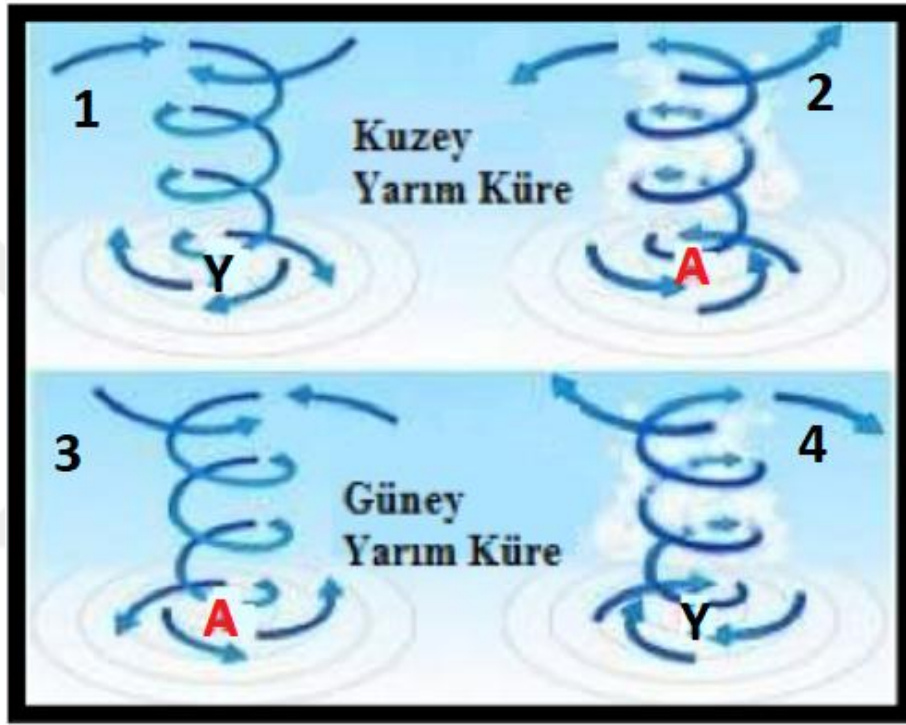


Şekil 13: Koriolis Kuvvetinin Rüzgâr Yönlerine Etkisi

Kaynak: <https://nsidc.org/> (Erişim Tarihi : 30.08.2018)

Rüzgârlar, koriolis kuvveti neticesinde izobarlara paralel eser. Kuzey Yarım Küre'de alçak basınç merkezlerine yönelik çevreden gelen rüzgârlar saat yönünün tersine (Şekil 14,2), Güney Yarım Küre'de ise alçak basınç merkezine saat yönünde eserler (Şekil 14,3). Yüksek basınç merkezinden çevreye gerçekleşen rüzgârlar Kuzey Yarım Küre'de saat yönünde (Şekil

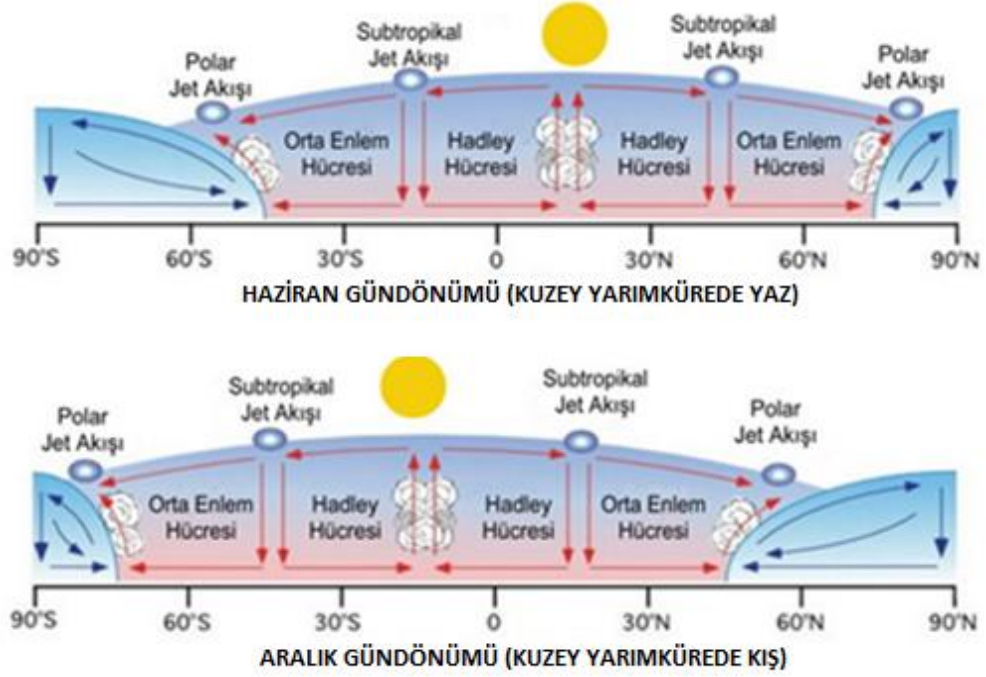
14,1), Güney Yarım Küre’de ise saat yönü tersine gerçekleşmektedir (şekil 14,4) (İÜ, Uzaktan Eğitim Notları, 2018) Rüzgârın hızı ne kadar yüksek olursa koriyolis etkisi o kadar yüksek olur. Yüksek ve alçak basınç alanlarında basınç gradyanı, koriyolis ve sürtünme etkisi altında esen rüzgârlara gradyan rüzgârlar denir (www.mgm.gov.tr, 2018).



Şekil 14: Basınç Merkezleri Rüzgâr Yönleri
Kaynak: İÜ, Uzaktan Eğitim Notları, 2018

- c) **Mevsimlerin Etkisi:** Dünya’nın yıllık hareketi ve eksen eğikliği sonucu oluşan mevsimler, yarım kürelerde sıcaklık dağılımında değişiklik meydana getireceğinden Hadley, Ferrel ve Polar Hücrelerinin etki alanlarında değişime yol açacak, bu da rüzgâr sistemi üzerinde çeşitli sonuçların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Şekil 15’de gösterilen bu durum yarım kürelerde kış mevsiminde Polar Hücresinin etkisini arttırdığı görülmektedir. Özellikle Kuzey Yarım Küre’de kış döneminde İzlanda ve Sibirya merkezli basınç merkezlerinin Türkiye’yi etkisi altına alması buradan kaynaklanmaktadır. Yaz mevsiminde ise güney yönlü basınç merkezlerinin (Azor ve Basra Basınç Merkezleri) etkisi altına giren Anadolu coğrafyasında ilerde bahsedileceği

üzere bölgesel ve genel atmosfer faaliyetlerinden etkilenerek hem rüzgâr hem iklim özelliklerinde önemli sonuçlar ortaya çıkmaktadır.



Şekil 15: Solist Tarihlerinde Atmosfer Hücreleri
Kaynak: MGM/ KLİMATOLOJİ II

- a) **Kara ve okyanusların dağılışı:** Yarım kürelerde kara ve okyanusların dağılımındaki farklar bölgesel ve yerel basınç farklarının ortaya çıkmasına bu da genel hava sirkülasyonunda saplamalara neden olmaktadır. Bu duruma bağlı olarak oluşan türbülans (burgaç, anafor), rüzgâr sistemi üzerinde etkisini gösterebilmektedir. Kara ve okyanusların dağılışı rüzgârların esiş gücünü ve bu da iklimleri etkilemektedir. Özellikle sürekli rüzgârlar okyanuslar üzerinde daha fazla etkilidir. Kara ve denizlerin farklı ısınması sonucu oluşan kara ve deniz meltemleri kıtasal ve okyanusal alanlar arasında oluşan en karakteristik rüzgâr örneğidir. Bu tür yerel basınç değişimleri bölgenin iklim, nem, sıcaklık ve rüzgâr potansiyeli açısından önemlidir. Vadi ve dağların gece ve gündüz farklı ısınmaları sonrası oluşan dağ ve vadi meltemleri de benzer şekilde yerel basınç farklarının en iyi örneğidir. Özellikle kıvrımlı dağların ve vadilerin geniş alan kapladığı ülkemiz vadi ve dağ alanlarında rüzgâr enerjisi üretimi için potansiyel alanlara sahiptir.

Karadeniz Bölgesi'nin sahip olduğu derin vadiler ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin bazı alanları bu açıdan değerlendirilebilir. Günlük sıcaklık farkları ve yer şekilleri neticesinde oluşan meltemler, bölgesel atmosfer olaylarını etkilenmekte ve rüzgâr potansiyeli açısından şiddetlendirici veya yön saptırıcı bir etki ortaya çıkarabilmektedir.

- b) Yerel Faktörler:** Bölgesel bazı faktörler rüzgârların şiddeti ve yönü açısından etkili olabilmektedir. Özellikle kara ve deniz sınırları, vadi ve yamaç alanları yerel basınç farklılaşması nedeniyle sürekli rüzgârlar dışında bölgede yerel rüzgârlar ortaya çıkarmaktadır. Yerel alçak ve yüksek basınç alanlarının varlığı, sürekli rüzgârları etkilemesi bakımından dikkate değer sonuçlar ortaya koymaktadır (Akova, 2008).
- c) Delk Etkisi (Sürtünme Etkisi):** Yeryüzü sahip olduğu doğal ve beşeri yapılar aracılığıyla (vadi, dağ, tepe, bina vs.) rüzgârların esiş hızına etki eder. Rüzgâr, yeryüzüne yaklaştıkça kütesinin yeryüzü ile teması artacağından hız kaybeder. Bu nedenle rüzgârlar denizler üzerinde daha hızlı eserken, kara üzerinde yavaş eser. Yeryüzü ile temas eden rüzgarda yavaşlama ve türbülans oluşumu yaşanabileceğinden rüzgar potansiyeli açısından dikkate alınması gereken önemli sonuçlar doğurur. Özellikle rüzgar türbini kurulum yeri seçiminde üretilen enerjinin kayba uğramaması ve türbülans gibi hava boşlukları neticesinde türbine yaşatacağı aşınım sorunları rüzgar enerjisi üretimi açısından dikkate alınması gereken bir konudur.

Atmosfer sirkülasyonu hakkında tarihsel olarak çeşitli görüşler öne sürülmüştür. Atmosfer yapısına yönelik öne sürdükleri görüşlerle İngiliz meteorolojist George Hadley, Amerikalı William Ferrel klasik görüş olarak belirtilen düşüncenin öncüleridirler. Onlar isimlerini de verdikleri hücrelerin dikey yönlü geçişlerle ve sabit kalan kuvvetler altında devamlılık arz ettiğini belirtmişlerdir. Rüzgâr sisteminin atmosfer ısı değerlerine (sıcak-soğuk) göre dikey yönlü ve değişmeyen etkiler altında sürdüğünü belirten bu görüş termik basınçların oluşum bölgelerinin sistemin ana çıkış noktası olduğunu kabul ederler. Onlara göre ekvator alçak basıncı ve kutup yüksek basıncının dikey yönlü hareketi esas sistemi oluşturmaktadır. Fakat Robbsy

başta olmak üzere S. Pettersson ve Flohn gelişen modern ölçüm ve yöntemlerle yeni atmosfer döngü sistemini ortaya koymuşlardır. Onlara göre hava hareketinin başlangıcı kutup ve ekvator basıncının karşılaştığı orta enlemlerdir. Ayrıca troposferin üst kısımlarında etkili olan güçlü rüzgârlar iklim ve genel hava döngüsünün belirleyici gücüdür. Havanın boylamsal akışının değil enlemsel akışının güçlü olduğu ölçümleri, sabit güçlerin mevsimlik değişimi ve yerel basınçların etkisi modern görüşün geçerliliğini arttırmıştır (MGM, 2005). Dolayısıyla rüzgârları ortaya çıkaran temel mekanizmanın ne olduğu konusunda görüş birliği olmasına rağmen, bu mekanizmanın nasıl işlediğini açıklamaya yönelik farklı görüşler bulunmaktadır. Ancak bu tartışma, araştırma konumuz dışında kaldığından üzerinde daha fazla durulmayacaktır.

1.4.3 Küresel Rüzgârlar ve Başlıca Özellikleri

Dünya'nın şekli, güneş etrafındaki dönüşü ve eksen eğikliği sonucu oluşan termik kökenli basınç merkezleri yıl boyu varlık göstermekte fakat etki alanları değişime uğramaktadır. Termik basınçların dünya dönüşü sonucu oluşturduğu dinamik kökenli basınç alanlarının da benzer şekilde yıl boyu atmosfer içinde etki alanları değişime uğramaktadır. Tüm bu basınç merkezleri atmosfer sistemi içerisinde yer alıp, küresel sürekli rüzgârların oluşmasına neden olmaktadır. Atmosfer sirkülasyonu içerisinde dört tip sürekli rüzgâr vardır.

- a) **Alize Rüzgârları:** Subtropikal yüksek basınç ile tropikal alçak basınç alanları arasında esen rüzgârlara Alize Rüzgârları denir. Alizeler Kuzey Yarım Küre'de kuzeydoğudan güneybatı istikametinde eserken, Güney Yarım Küre'de güneydoğudan kuzeybatıya eser. Geldikleri yön itibariyle kıtaların güneybatısından esen alizeler okyanus üzerinden geçtiğinden dolayı nem kazanarak yağış getirirken, kıtaların batısına esen alizeler karalar üzerinde bulunduklarından kuru ve sıcak olup yağışa neden olmazlar. Hızları genellikle 15- 40 km/s olan alizeler belirli bir yönde ve hızda estiğinden tarihte yelkenli gemilerin ulaşımı için önem kazanmıştır. Bu nedenle Ticaret Rüzgârları (trade wind) olarak da isimlendirilir (Şekil 11) (Erinç, 1984).

Kuzeydoğu ve güneydoğu alizeler ekvatorial bölgede birleşerek kümülüform tipi bulutların oluşmasına ve şiddetli sağanaklara neden olur. Ekvatorial bölgenin durgun, nemli ve bol yağışlı bölümlerine Ekvatorial durgunlar kuşağı denir. Bu kuşak Kuzey ve Güney Yarım Kürelerde hava olaylarını ayırdığı için termik ekvator veya meteorolojik ekvator olarak da adlandırılır.

Ekvatorial kuşak her zaman her yerde aynı özelliği göstermez. Yerel ve tropikal siklon (alçak basınç) alanları alizelerin etkisini azaltır ve bunun neticesinde bölgedeki soğuk su akıntıları ve yağışlar üzerinde etkili olabilir. Bu nedenle kesintisiz bir ekvatorial yağmur zonundan bahsedilemez.

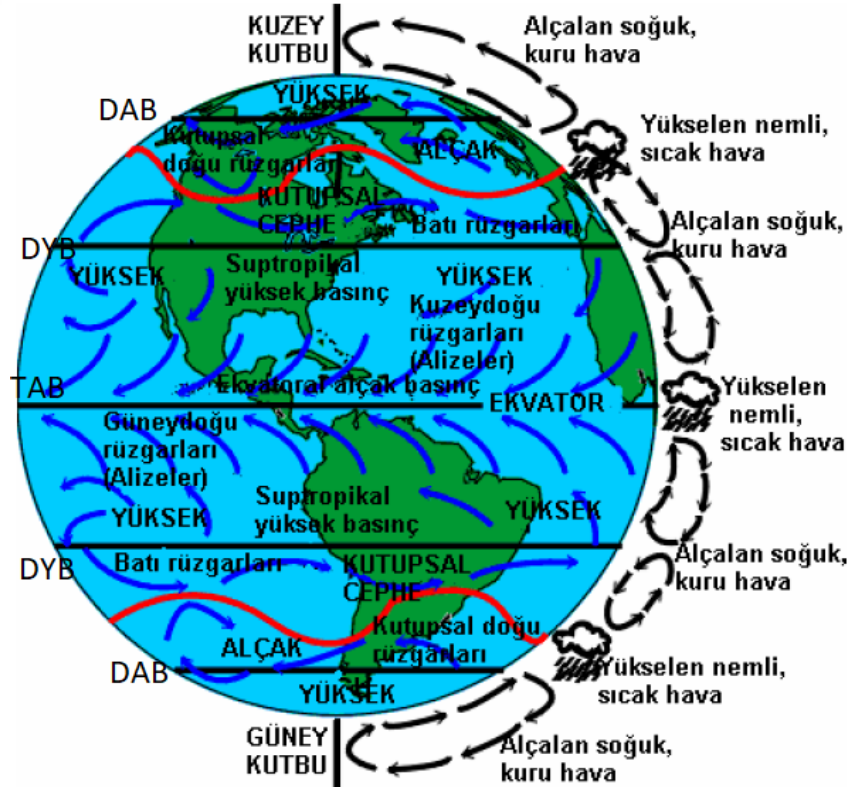
- b) Batı Rüzgârları:** 30° DYB alanlarından 60° DAB alanlarına doğru kuzeydoğu yönünde esen ve modern atmosfer teorisinde atmosfer döngüsünün başlangıç noktası olarak kabul edilen rüzgârlara Batı Rüzgârları denir. Bulunduğu yer itibariyle Batı Rüzgârları birçok alçak ve yüksek basınç birimiyle karşılaşır. Bu nedenle hız, yön ve eşiş sıklığı yıl içerisinde değişmelere maruz kalmaktadır. Hızları ortalama olarak 12 – 61 km/s civarındadır (Erol, 1993).

Kuzey Yarım Küre’de kış mevsiminde oluşan yüksek basınç alanları ve yazları oluşan alçak basınç alanları Batı Rüzgârlarının karalar içinde gelişmesini önlerler. Bu nedenle Büyük ve Atlas Okyanusu üzerinde daha iyi gelişir. Özellikle kış mevsimin de Batı Rüzgârları Atlas Okyanusu üzerinde daha etkilidir ve bu etki kendini Batı ve Kuzey Avrupa’da ve Akdeniz’de gösterir. Yaz mevsimin de ise bu bölgelere ılık, nemli bir hava getirir. Yazın gelen bu hava yaz poyrazı ve Ege’de etesien rüzgârını oluşturur. Batı Rüzgârları sub tropikal yüksek basınç alanı sınırı yaz mevsiminde kuzeye, kış mevsiminde güneye kayar. Bu durumun bir sonucu olarak 30° ile 40° enlemleri arasında özel bir iklim tipi olan Akdeniz İklimi doğar. Sonuç itibariyle Batı Rüzgârları orta enlem kıtalarının batı kıyılarında denizel bir iklimin yaşanmasını sağlar (MGM, 2005).

- c) Kutup Rüzgârları:** Soğuk hava, Grönland ve Antarktika Bölgelerinde devamlı yüksek basıncın meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu yüksek basınç, Kuzey Yarım Küre’de kuzeydoğudan, Güney Yarım Küre’de güneydoğudan orta

enlemlerdeki alçak basınç alanlarına esmektedir. Bu bölgede oluşan yüksek basınç hava kütleleri orta enlemlerden yaklaşan sıcak ve nemli havaların yağış bırakmasına neden olmaktadır. Kuzey Yarım Küre’de Gulf Stream sıcak su akıntısının kuzeye doğru yönelimi sonucu oluşan ılık kuşağın yüksek basınç alanlarla karşılaşması sonucu kar yağışı meydana gelir. Kutup Bölgelerindeki yüksek basınç alanları çökelme etkisiyle yer yüzüne yakın katman oluşturur. Yüksek kesimlerde ise modern teorinin de bahsettiği Batılı Rüzgârların egemenliği bulunur (MGM, 2005).

- d) **Jet Stream Rüzgârları:** Yapılan gözlemler neticesinde Ekvator ve Kutuplar arasında Troposfer katmanının üstünde, tüm katman boyunca batı yönlü rüzgârların hâkim olduğu görülmüştür. Bu yüksek batı rüzgârları asıl rüzgâr sistemini kontrol ettiği belirtilmektedir. Yeryüzüne yakın kesimde ekvatora, yükseklerde kutuplara hafif eğimli fakat genel olarak batı yönlü esen, 10 -12 km yüksekte çok hızlı olan ve kanallar halinde akış gerçekleştiren bu rüzgâra jet akımlar (rüzgârlar) denir. Meteorolojik cepheler doğrudan jet akımları altında gelişir.

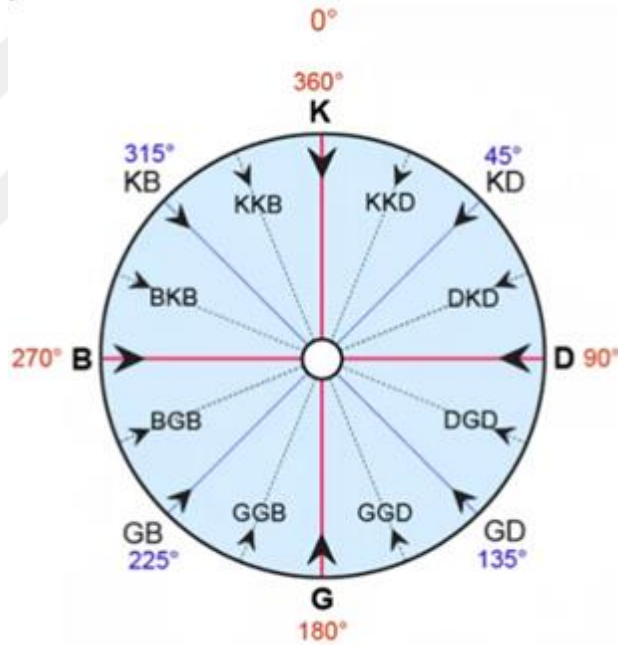


Şekil 16: Genel Atmosfer Sirkülasyonu
Kaynak: MGM – Klimatoloji II

1.4.4 Rüzgârlar ve Nitelikleri

Atmosfer içerisinde oluşan alçak ve yüksek basıncın birbirine karşı yaptığı akım olan rüzgâr, doğal sistemde sonsuz bir kaynak ve iklim, yağış, bitki örtüsü üzerinde etkisi olan bir güçtür. Rüzgâr, canlı ve cansızlar üzerinde etkilere sahip olduğundan klimatoloji, meteoroloji, coğrafya gibi bilimlerin inceleme alanına girmiştir. Farklı bilimler tarafından rüzgârın üç farklı özelliği incelenir. Bunlar; rüzgârın yönü, hızı (şiddeti) ve frekansdır (esiş sıklığı).

- a) **Rüzgârın Yönü:** Rüzgârın geldiği yöne rüzgârın yönü denir. Ana ve ara olmak üzere 16 tane rüzgâr yönü vardır (şekil 17).



Şekil 17: Rüzgâr Yönü

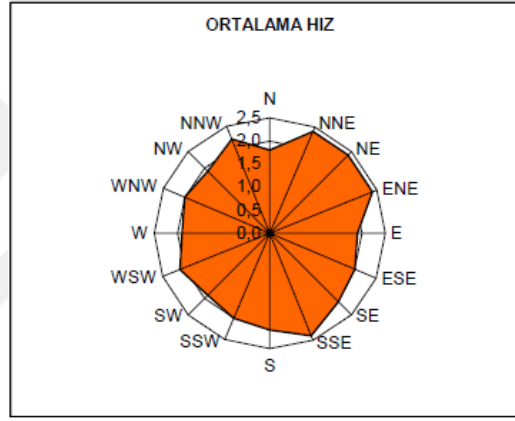
Kaynak: Ardel, 1973'e göre çizilmiştir

Rüzgârın estiği yönleri analiz etmek için geldiği yönlerin sıklığı (tablo 2'de olduğu gibi) bilgisiyle rüzgârgülleri çizilir. Rüzgârın yönü iklim ve günlük hava olaylarını etkilemektedir. Bir bölge üzerinde egemen olan rüzgâra hâkim rüzgâr denir. Hâkim rüzgârlar genel atmosfer sirkülasyonu hareketiyle ortaya çıkar ve tarım, enerji, iklim gibi unsurları etkiler.

b) Rüzgârın Frekansı (sıklığı): Doğal ve beşeri unsurları etkilemesi sebebiyle rüzgârın esiş sıklığının bilinmesi faydalı olacaktır. Rüzgârın belirli bir zaman diliminde esme sıklığına rüzgâr frekansı - rüzgâr sıklığı denir. Tablo 2’de olduğu gibi hızı, sıklığı ve yönü hesaplanan bir bölgenin rüzgârgülü şekil 17’deki gibi çizilir.

Tablo 2: MGM Örneklem Rüzgâr Yön Bilgisi

YÖN	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Ort.hız	1,8	2,4	2,4	2,4	1,9	2,0	2,1	2,4	2,1	2,0	1,9	2,1	1,9	2,0	1,9	2,2
Frekans	2262	2390	7678	4567	2948	635	925	474	984	786	2854	3289	3106	819	987	709



Şekil 17: Tablo 2 Verilerine Göre Çizilen Rüzgâr Gülü

Kaynak: MGM/KLİMATOLOJİ II

c) Rüzgârın hızı (şiddeti): Birim zamanda rüzgârın hareket oranına ‘rüzgâr hızı’ denir ve m/sn, km/saat, deniz mili, knot veya bofor şeklinde ifade edilir. Hızlarına göre rüzgârlar yavaş, orta ve şiddetli olarak ayrılmakla birlikte deniz dalgalarının hız ve büyüklüklerine göre oluşturulmuş bofor ölçeği de mevcuttur. Bir bölgede hızlı rüzgâr esişi o bölgede basınç değişiminin hızlı olduğunu gösterir. Rüzgâr hızı anemometre veya anemoğraf aletleriyle ölçülür (MGM, 2005) Anemometrenin olmadığı yerlerde İngiliz Amiral Sir Francis Beafort tarafından oluşturulan bofor ölçeği sayesinde rüzgâr hızı değerlendirmesi yapılabilmektedir. Rüzgârın şiddeti ve çevreye uyguladığı basınç hızının karesiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle tropikal kuşakta görülen veya cephe karşılaşmaları bölgeleri tehlikeli fırtına riski taşımaktadır.

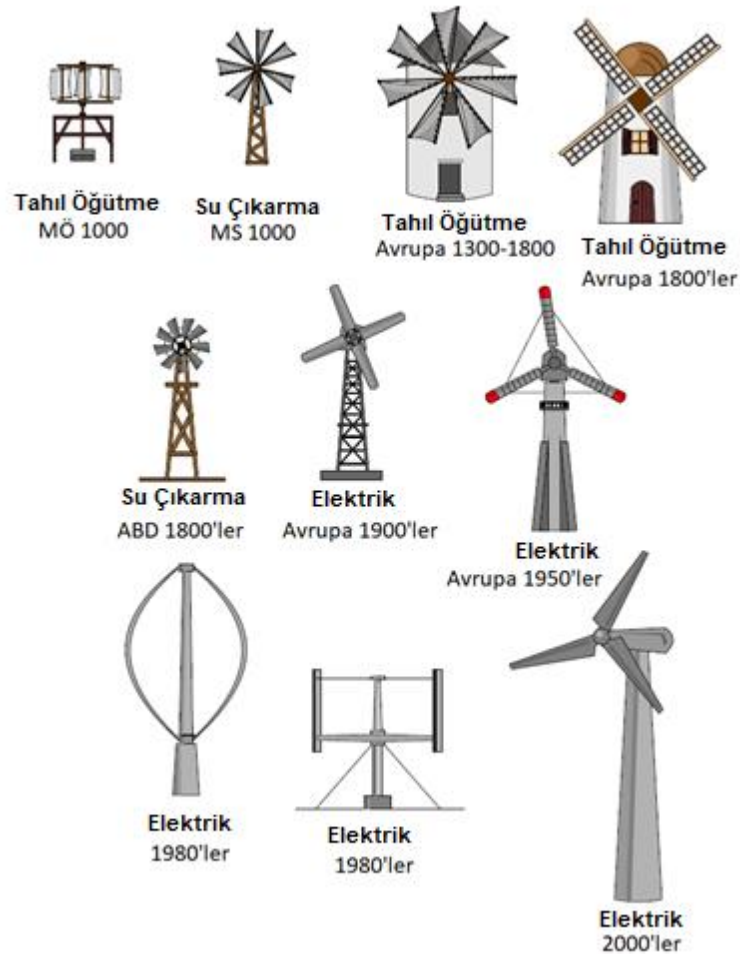
Rüzgârın hızı, yönü ve frekansı rüzgâr gücünden enerji üretmek isteyenler açısından son derece önemlidir. Yapılan bir hesaplamada Oğuzer, 10 ve 30 metre yükseklikte gerçekte 4,4– 5,3 m/sn hızındaki bir rüzgâr hızının; 4,2 – 5,5 m/sn olarak ölçümü sonucunda üretilecek elektrik miktarında %21'e varan üretim kaybının olacağını belirtmiştir (www.ruzgarsempozyumu.org, 2018). Bu durum uzun vadeli ve büyük bütçelerle kurulmakta olan rüzgâr enerji santralleri açısından hayati önem taşımaktadır. Günümüz rüzgâr ölçümleri sabit ve gezici bilgisayar tabanlı teknik araçlar vasıtasıyla detaylı bir şekilde yapılmakta, hata oranı en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

1.5 Rüzgâr Gücünden Enerji Kaynağı Olarak Yararlanmanın Tarihçesi

Rüzgâr gücü insanoğlu tarafından yüzyıllardır kullanılan bir kaynaktır. Milattan önce (MÖ) 5000 yılına kadar uzanan rüzgâr gücü kullanımından, başta gemicilik faaliyetleri olmak üzere tarımsal alanda da faydalanılmıştır. Kullanımına nerede ve ne zaman başlanıldığı tam olarak bilinmese de, kaynaklar insanların ilk yerleşik hayata geçtikleri bölgelerin rüzgâr enerjisinden yararlanan ilk alanlar olduğunu göstermektedir. Nil Nehri'nde taşımacılık faaliyetlerinde kullanılmaya başlanan rüzgâr gücü taşıdığı kinetik enerji sayesinde dönemin teknolojisiyle yapılan ekipmanlar yardımıyla insanların kullanımına girmiştir. MÖ 2000'de, Çin'de kuyudan su çıkarmak amacıyla kullanılan rüzgâr gücü, İran ve Orta Doğu'da dikey eksenli pervana sistemi ile tahıl öğütmede kullanıldığı belirtilmektedir (windenergyfoundation.org, 2018; EIA, 2018). İran Bölgesinde kullanılan rüzgâr gücü önce Anadolu'ya oradan Haçlı seferleriyle Avrupa'ya taşınmıştır. 11.yy. de Avrupa'ya taşınan rüzgâr değirmenleri ilk olarak Hollanda, Fransa ve İngiltere'de görülmüştür (Karabulut, 1999; 124). Bu dönemde rüzgâr gücü Romalıların bıraktıkları madenlerdeki suların boşaltılarak madenlerin tekrar kullanıma açılmasında kullanılmıştır. Madenlerin kullanılmasıyla birlikte gelen refah, Ortaçağ karanlığındaki Avrupa'nın aydınlanmasına yol açacaktır (Doğanay, 1999; 188).

Rüzgâr gücünün tarihsel olarak çeşitli etkileşimlerle yayılışı, değişik yöntemlerle ve farklı amaçlar için kullanılmasına yol açmıştır. Sanayi devrimine

kadar gelen süreçte farklı bölge ve ülkelerde tarım ve sulama çalışmalarında rüzgâr gücü kullanılmıştır. Hollanda’da su seviyesini dengelemek için kullanılan rüzgâr gücü, İran ve Ortadoğu’da tahıl öğütmede kullanılırken; Avrupa’dan çeşitli teknikler alan Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde ise tarımsal alanda ve ormancılık faaliyetlerinde kullanılmıştır. 1390 yılında ise Hollandalılar kule değirmenlerini icat ederek tarım ve hayvancılıkta rüzgârın kinetik gücünü kullanırlarken, 1800’lerde ise ABD sınırları içerisinde 3000’e yakın rüzgâr değirmeni tarım, hayvancılık ve ormancılık faaliyetlerinde kullanılmaktaydı (USA, EIA, 2019). 1800’lerin sonuna kadar rüzgâr gücü (kinetik enerjisi) mekanik anlamda kullanılmış, elektrik enerjisi üretimine girişilmemiştir. 1900’ler ile rüzgâr gücünden elektrik üretimine başlamış 1970’lerde ilk atılımını, 2000’lerde ise ikinci atılımını yaparak günümüz enerji tüketiminde yerini almıştır. Şekil 18’te rüzgâr gücünden yararlanışın zamanla nasıl değiştiği aletlerdeki değişimle gösterilmektedir.



Şekil 18: Rüzgâr Gücü Kullanımındaki Aletlerin Zamansal Değişimi

Kaynak: www.technologystudent.com/ (Erişim Tarihi: 30.06.2018)

İlk rüzgâr türbini 1887’de İskoçya’da üretilmiştir. Prof. James Blyth tarafından inşa edilen 10 m yükseklikteki bu rüzgâr türbini, dünyada ilk defa bir evin elektrik ihtiyacını rüzgâr tarafından karşılaması açısından önemlidir. 1888’de ise Charles Brush tarafından Ohio eyaletinde ABD’nin ilk rüzgâr türbini inşa edilmiştir. Fakat 1891’de Danimarkalı Bilim insanı Poul la Cour rüzgâr türbini tarafından üretilen elektriğin akım düzenleyiciyle nasıl kontrol edilebileceğini bulması bu alanda önemli bir adım olmuştur (drømsørre.dk, 2019; renewableenergyworld.com, 2019). Bu açıdan ilk rüzgâr enerjisini Poul la Cour’ın kullanıma açtığını kabul edilmektedir. 1895’te Poul la Cour rüzgâr değirmenlerini elektrik üreticilerine çevirmiş ve az kanatlı rüzgâr türbinlerinin daha verimli olduğunu bulmuştur. 1941 yılına kadar Avrupa ve Amerika’da yatay eksenli rüzgâr türbinleri yaygınlaşmış ve farklı amaçlar için kullanılmıştır. Her ne kadar rüzgâr gücünden elektrik üretmek amacıyla çalışmalar olsa da dönemin yakıtı olan petrol, toplam enerji tüketimde ağırlığını korumuştur (MMO, 2015; 4).

1941’de ABD’de (Castletown, Vermont) ilk megavat ölçeğinde üretim yapan rüzgâr türbini kurulmuştur (Doğanay, 1990, 190). II. Dünya Savaşı sırasında Almanlar ise enerji ihtiyaçları için rüzgâr gücünden yararlanmıştır. 1957’de Poul la Cour öğrencisi Johannes Juul 24m yüksekliğinde 3 kanatlı 200kw üretim kapasiteli Gedser adındaki bugünkü anlamda ilk modern rüzgâr türbinini inşa etmiştir. Fakat yaşanan kanat kazası sonucu tam anlamıyla bir başarı sağlandığı söylenemez (renewableenergyworld. com,2019).

1970’lerde meydana gelen petrol krizi gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomileri etkilemiş ve enerji alanında ülkeleri önlem almaya itmiştir. Enerji güvenliği teriminin dünya siyasi ve ekonomi tarihine girdiği dönemde özellikle dönemin en büyük petrol tüketicilerinden olan ABD yenilenebilir enerji konusunda NASA aracılığıyla çalışmalarına başlamıştır. Enerji de arzın kesintisiz, istenen fiyatta ve koşulda sürmesi anlamına gelen enerji güvenliği, doğal çevrenin korunması

hakkında yapılan konferans ve bildiri metinleri ile de rüzgâr enerjisi gibi sera gazı salınımı olmayan, kaynağı sınırsız yenilenebilir enerji türlerine yönelimi arttırmıştır.

Enerjide değişimin çevresel nedenlerinin ortaya konmasında 1972 Stockholm Çevre Konferansı ilk adım olmuştur. Konferans sonunda yayınlanan bildiride ‘‘tek dünyamız var’’ mutabakatı, ülkeleri yenilenebilir enerji alternatiflerine yönlendirmiştir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin politikaların da farklı kaygılarla beraber belirgin değişimler olmuştur (Sezer, TY; 4). Enerji tüketiminde öncü ülke ABD’de, NASA’nın rüzgâr enerjisi çalışmaları ile aerodinamik, parça kontrol, kanat materyalleri üzerine temel bilgi birikimini arttıran gelişmeler ortaya koymuştur. Yine sanayisi gelişmiş Batı Avrupa ülkelerinde teknik ve teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bu durum rüzgâr enerji sektörünün doğuşu olarak kaynaklarda geçmektedir (lmwindpower.com,2018). Bugün sektörde önemli paya sahip büyük şirketlerin kuruluş tarihi çoğunlukla o döneme denk gelmesi bunun bir kanıtı niteliğindedir (Vestas, Nordtank, Micon vs.). Ülkeler bu sektörde kendi firmalarını kurarak rüzgâr enerjisinin gelişiminin önünü açmıştır.

1980’de dünyanın ilk rüzgâr çiftliği Kaliforniya’da (ABD) kurulmuş yine bu yıl Alman Siemens Rüzgâr Enerji şirketi kurularak yatırımlara başlamıştır. Almanya’nın kısa bir süre içerisinde en büyük enerji şirketi olan Enercon’da bu yıl kurulmuştur. Danimarka ise deniz üstü (offshore) rüzgâr türbini kurulumuna bu dönem başlamıştır (renewableenergyworld.com, 2019).

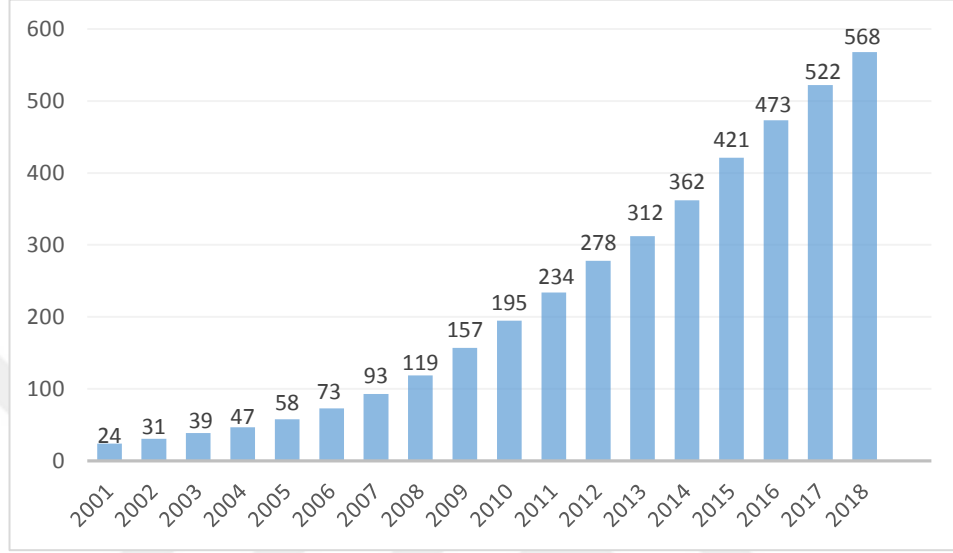
1990’lar türbin satışının ve deniz üstü rüzgâr çiftliklerinin sayısının arttığı bir dönem olmuştur. Bu dönemde ABD, Almanya, İngiltere ve Danimarka yatırım ve üretim anlamında başta gelen ülkeler olarak görülmektedir. Çin ve Hindistan ise artan enerji tüketimini karşılamak ve çevre sorunları nedeniyle yenilenebilir enerji alanda yatırımlarını arttırmışlardır. İki ülkede rüzgâr enerjisi alanında şirketler kurarak yurt dışından teknoloji transferi ve tüketimlerine yönelik yatırımlara başlamışlardır. 1992 yılında Brezilya’nın Rio de Janerio şehrinde Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı düzenlenmiş, 21. yy. için bir yol haritası belirlenmiştir. Buna göre Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi, Çölleşme ile Mücadele

Sözleşmesi ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzaya açılmıştır (Dışişleri Bakanlığı, 2019).

Birleşmiş Milletlere üye ülkelerce 2000 yılında kabul edilen bu çerçeve sözleşmeler ülkeler arası iş birliğini arttırıp, sürdürülebilir bir dünya yaratmayı hedeflemiştir. Özellikle çölleşme sorununa dikkat çeken sözleşme, sonraki yıllar sera gazı salınımıyla etkisi artan küresel ısınmanın önlenmesi için ilk girişimlerden biridir. Bu ve benzeri çalışmalar 21. yy. de ülkelerin enerji ihtiyaçlarını daha çevreci ve ekonomik kaynaklarla karşılamalarını gerekli kılmıştır.

Rüzgâr enerjisinin kinetik gücünden yararlanılışı dünyanın çeşitli bölgelerinde küçük boyutlarda devam etse de bugün genel anlamda elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. İkincil bir enerji türü olan elektrik, ulaştığımız modern yaşamın vazgeçilmez bir kaynağı haline gelmiş, bu nedenle ülkelerin politikalarında ve yatırımlarında önemli bir yer teşkil etmektedir. Yaşanan siyasi ve ekonomik krizler ise tüm enerji kaynaklarında olduğu gibi elektrik enerjisinin de kesintisiz, ulaşılabilir ve kabul edilebilir maliyette sağlanması noktasında ülkelerin politikalar üretmelerini gerekli kılmıştır. Fosil kaynakların üçüncü bölümde belirtileceği üzere dünya üzerinde dengesiz dağılışı, fiyat istikrarsızlığı ve siyasi bir araç olarak kullanılışı yenilenebilir kaynakların kullanımını ve geliştirilmesine yönelik yatırımları arttırmıştır. Diğer tüm kaynaklarda olduğu gibi rüzgâr enerjisine yönelik yatırımlarda son yıllarda artış göstermektedir. 2001 – 2018 arası yıllık rüzgâr enerji kurulu kapasitesinin küresel olarak artışı Grafik 1’de gösterilmektedir. Grafiğe göre 2001 yılında toplam 23,900 MW olan dünya rüzgâr gücü kapasitesi 2018’de 597 MW’a ulaşmıştır. 17 yılda yaklaşık 25 kat kapasitesi artışı gerçekleşen rüzgâr enerjisi sahip olduğu avantajlar nedeniyle gelecekte tüketimindeki payı daha da artacaktır.

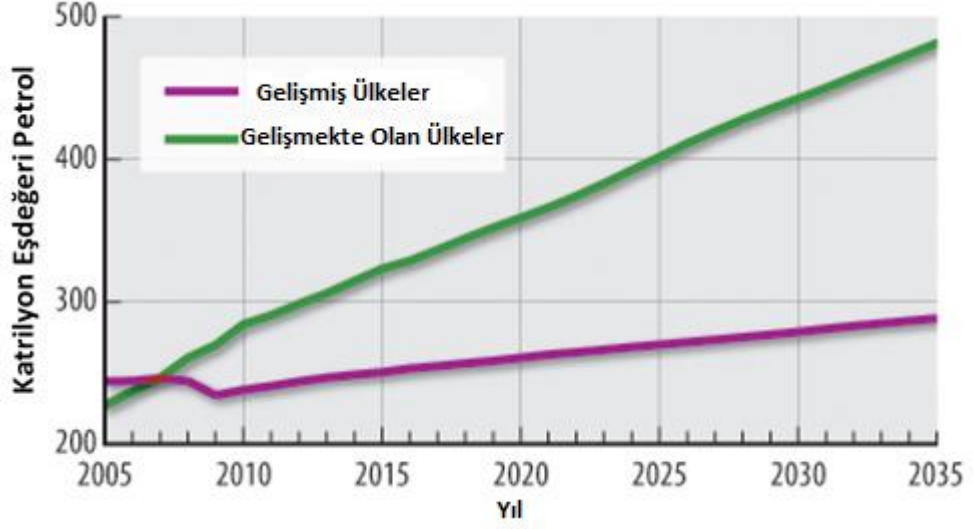
Grafik 1: 2001 – 2018 Arası Dünya Rüzgâr Enerjisi Kapasite Değişimi (GW)



Kaynak: GWEC, 2018

Rüzgâr gücü kapasitesi artışının ülkeler bazında detaylı olarak incelendiğinde ise; Çin, ABD, Almanya, Hindistan ve İspanya'nın sırasıyla en yüksek kurulu rüzgâr gücüne sahip olduğu görülmektedir. Güç miktarları ise sırasıyla; 184.696 MW, 94.295 MW, 59.420 MW, 35.288 MW ve 23.436 MW'tır. 2018 yılı toplam rüzgâr kapasitesi 597 GW olarak gerçekleşirken 397.135 GW'ı yukarıda belirtilen beş ülkede bulunmaktadır. Ülkelerin profili incelendiğinde ise ABD, Almanya, İspanya gibi gelişmiş ülkeler ile Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ve hızla enerji ihtiyacı artan ülkelerdir. Türkiye ise 2018 yılında toplam rüzgâr kapasitesi 7.005 MW olarak gerçekleşmiştir (IRENA,2019). Grafik 2'de 2005 ile 2035 arası yaşanacak enerji tüketim tahminleri verilmiştir. Grafik 2'de görüldüğü gibi enerji talep artışı en çok gelişmekte olan ülkelere yaşanacaktır. Grafik 2'ye göre 30 yıl sonra dünya enerji tüketimi iki kattan fazla artacaktır. Bu durum şuan en fazla tüketime sahip gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan (Çin, Hindistan, Türkiye, İran, Brezilya, Arjantin, Güney Afrika Cumhuriyeti vd.) ülkeler arasında bir rekabeti olacağını göstermekte ve yeni çözüm yollarının bulunmasını gerekli kılmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin her geçen gün azalması ve oluşturdıkları çevresel sorunlar göz önünde bulundurulduğunda, dünyanın başlamış olduğu yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarını daha da

arttıracığı düşünülebilir. Türkiye’de benzer enerji tüketim artışına sahip bir ülke olduğundan rüzgâr ve diğer yenilenebilir kaynaklara yönelmesi faydalı olacaktır.



Grafik 2: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkelerin Enerji Talebi ve Gelecek Tahmini

Kaynak: IEA, Dünya Enerji Görünümü 2017

İKİNCİ BÖLÜM

2 RÜZGÂR GÜCÜNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

Rüzgâr, kinetik enerjiye sahiptir ve bu enerji rüzgârın varlığına paralel olarak sınırsız bir şekilde doğada bulunur. Bu potansiyel insanoğlunun eski dönemlerden beri dikkatini çekmiş ve çok farklı alanlarda kullanılmasına neden olmuştur. Bu bölümde rüzgâr enerjisinin eski kullanımlarının haricinde son yüzyılda kullanımı hızla artan ve bir refah göstergesi olan elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında nasıl kullanıldığı açıklanacaktır. Rüzgârdan hangi tür aletlerle ve ne şekilde elektrik üretimi sağlandığı anlatıldıktan sonra elektrik enerjisi üretim maliyeti kıyaslaması ve rüzgâr türbinlerinin doğa olaylarına karşı koruma sistemi üzerinde durulacaktır.

Bölümün ikinci kısmında ise Türkiye’de rüzgâr enerjisi gelişimi, yasal düzenlemeler ile yenilenebilir kaynakların kullanımın değişimi üzerinde durulacaktır. Ayrıca Türkiye rüzgar enerji santralleri (RES)’nin dağılışı ve kapasiteleri ile bunların dağılışılarının nedensellik ilkesiyle analizi yapılacaktır. Son olarak ise rüzgâr türbini seçim kriterleri ve Türkiye’deki türbin tercihleri ve santrallerde türbin kurulumu konusu açıklanacaktır.

2.1 Rüzgâr Gücünden Elektrik Enerjisi Üretimi

Modern yaşamın önemli ihtiyaçlarından biri de ikincil enerji türlerinden birisi olan elektrik enerjisidir. Ekonomik faaliyetlerden günlük yaşama kadar her alanda vazgeçilmez bir kaynak haline gelen elektrik enerjisi, ülkelerin vatandaşlarının medeni bir yaşam sürmeleri için ulaşılabilir kılması gereken bir girdidir. Artan nüfus, gelişen sanayi ve değişen tüketim alışkanlıkları neticesinde elektrik enerjisine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Gelişmişliğin bir göstergesi niteliğinde olan ve modern hayatın önemli bir girdisi haline gelen elektrik enerjisi arzının, karşılanabilmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknik ve teknolojik gelişmeler neticesinde elektrik enerjisinin kullanım alanı genişlemiştir. Elektrik enerjisi elde etmek için termik santrallerde fosil kaynaklar kullanılırken son dönem artan oranlarda yenilenebilir kaynaklarda üretimde belirgin oranlarda yer almaya başlamıştır. Fosil kaynakların rezerv ve çevre açısından dezavantajları olduğundan

son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının son yıllar kurulu güçleri yüksek miktarlarda artış gösterse de fosil kaynaklar (doğalgaz, kömür) elektrik üretiminde hala önemli ölçüde tüketilmektedir (IRENA, 2019; UEA,2018) 2018’de Uluslararası Enerji Ajansı’na göre dünya elektrik üretiminin %34’ü doğalgazdan, %28’si kömürden, %19’u nükleer enerjiden %18’i yenilenebilir enerjiden ve %1’i petrolden sağlanmıştır (UEA, elektrik, 2019). Her ne kadar fosil kökenli kaynaklar enerji üretiminde önemini korusa da, enerji tüketiminde lider bölge ve ülkeler yenilenebilir enerjiye yönelmeye başlamıştır. AB başta olmak üzere diğer gelişmiş ülkeler, dışa bağımlılığı azaltmak, karbon emisyonunu düşürmek gibi nedenlerle yenilenebilir enerjiye geçiş yapmaktadır (AB, Yol haritası 2050, 2012). Güneş enerjisinin %2’sinin rüzgâr enerjisine dönüştüğü yeryüzü, sahip olduğu büyük potansiyelle birçok ülkeye sürdürülebilir ve çevreci enerji üretebilme imkânı sağlamaktadır (Ermiş, ty). Rüzgâr gücünden, enerji üretimi teknik ve bilimsel gelişmeye bağlı olduğundan bu alanda yaşanacak ilerlemeler rüzgâr gücünün kullanımına olumlu katkı yapacaktır.

Rüzgârın kinetik enerjisinden kuyudan su çıkarmak, yelkenli gemilerle ulaşım sağlamak gibi kullanımları binlerce yıl eskiye dayansa da, rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi 19. yy. nin sonuna doğru başlayan çalışmalarla mümkün olmuştur. 1890’larda Amerikan ve Danimarkalı Bilim insanlarının çalışmalarıyla başlayan rüzgâr gücünden elektrik üretimi 1970’lere kadar büyük gelişme gösterememiştir. 1970’lerde yaşanan küresel petrol krizi ve çevreci düşüncenin yaygınlaşması rüzgârın alternatif bir kaynak olarak görülmesini sağlamıştır. Günümüzde de enerji arz güvenliği açısından, dışa bağımlılığı azaltması ve sürdürülebilir olması açısından rüzgâr enerjisi üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Rüzgâr gücünden elektrik üretimi genel itibariyle rüzgârın atmosfer içindeki akımı sırasında taşımış olduğu kinetik enerjinin şekil 19’da görüldüğü gibi türbin kanatlarının çevrilerek önce mekanik enerjiye dönüştürülmesi ve bu mekanik enerjinin de göbek içindeki jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi safhalarından oluşmaktadır. Çalışma prensibi olarak benzer teknik içerse de düzenek kurulumu ve rüzgârın kinetik enerjisinin mekaniğe aktarıldığı pervane sisteminin farklı olduğu birçok örnek görmek mümkündür. Modern RES’lerden, bu alanda

çalışma yapan insanların ürettiği aletlere kadar boyutsal ve elektrik kapasite büyüklüğü ve tekniği açısından çok farklı araçlarla karşılaşılabilmektedir. Bu alanda önemli bir adım olan ve günümüzde elektrik üretimi için yaygın biçimde kullanılmakta olan rüzgâr türbinlerinin ilki 1891’de Paul la Cour tarafından inşa edilen rüzgâr türbini oluşmuştur (elektrikport.com,2018). Bu bölümde dünya genelinde rüzgâr gücünden elektrik üretimi için kullanılan rüzgâr türbinlerinin çalışma sistemi ve çeşitleri incelenecektir.

2.2 Rüzgâr Türbin Sistemi ve Çeşitleri

Rüzgâr türbini, rüzgârın kinetik enerjisinin önce mekanik enerjiye sonra elektrik enerjisine dönüştürüldüğü alettir. Enerji üretimi açısından basit bir kurulumla sahip olan türbinlerin ilk kez ortaya çıkışından günümüze kadar geçen süre içinde boyut ve teknoloji açısından önemli gelişmeler yaşanmış ve bugün insanoğlunun en önemli ihtiyaçlarından birisi olan elektrik üretimini karşılamak için kullanılmaktadır. İlk düzenli akıma sahip türbinin kurulumundan sonrasında yaşanan gelişmeler ve enerji ihtiyacında yaşanan artış rüzgâr türbinlerinin gelişmesine neden olmuştur. Rüzgâr türbinleri genel olarak belirli parçalardan oluşmaktadır. Bunlar; pervane, hız dönüştürücü, jeneratör, kule ve diğer elektrik ve elektronik ekipmanlardan meydana gelir. Grafik 3’te görüldüğü gibi rüzgâr türbinlerini eksenlerine, devir sayılarına, ürettikleri güç oranına, kanat sayılarına, rüzgârı karşıladıkları yöne, dişli tiplerine ve kuruldukları yere (kara üstü-onshore, deniz üstü-offshore) göre farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür.

Grafik 3: Özelliklerine Göre Rüzgâr Türbin Çeşitleri

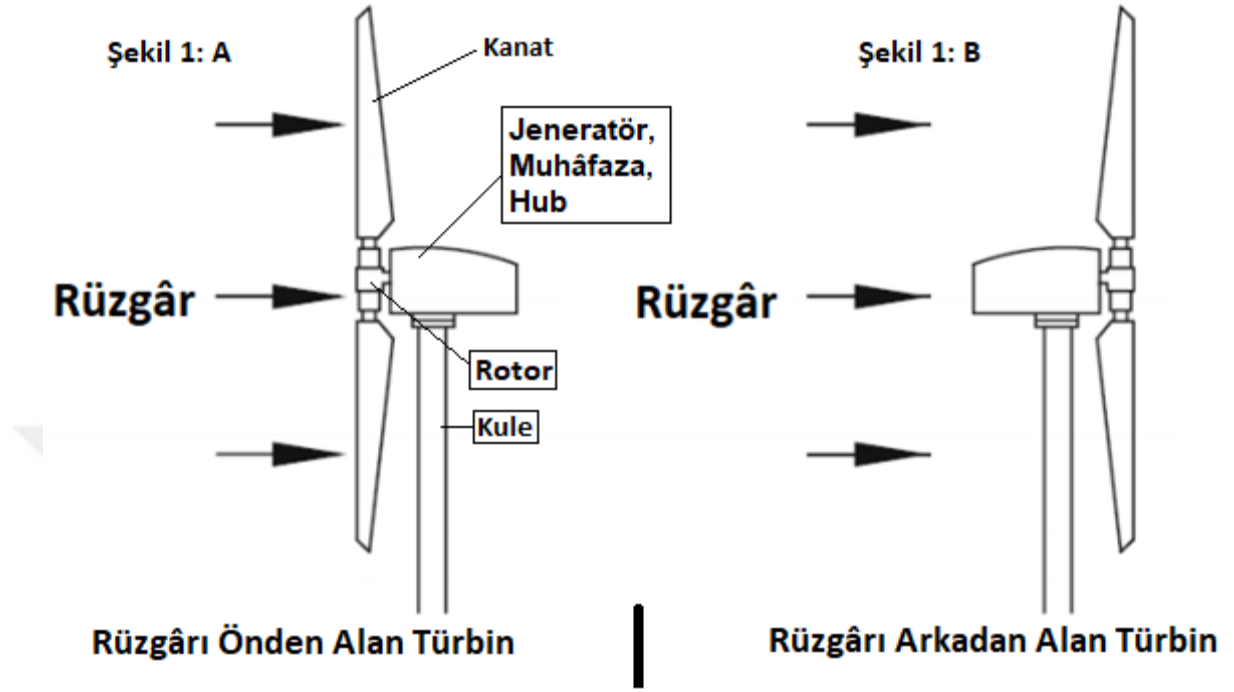


Kaynak: Elibüyük, Üçgül, 2014

2.2.1 Eksenlerine göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine göre yatay eksenli rüzgâr türbini, dikey eksenli rüzgâr türbini ve eğik eksenli rüzgâr türbinleri olarak üç gruba ayrılır.

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (YERT): Dişli ve jeneratörün rüzgâr yönüne yatay, kanatların rüzgâra karşı dik olduğu türbinlerdir. Kanat, dişli ve jeneratörün oluşturduğu rotor kısmının bir kule ile belirli bir yüksekliğe çıkarıldığı bu tip türbinler maliyeti yüksek ve bakımı pahalıda olsa verimli olmaları açısından tercih edilir. Şekil 19’da gösterildiği gibi kule üzerinde enerji üretim ekipmanlarının yer aldığı bu tipte, kanatların rüzgârı karşılama yönüne göre de iki alt çeşidi vardır. Bunlar; önden rüzgâr alan YERT ve arkadan rüzgâr alan YERT’tir (Elibüyük, Üçgül, 2014). Rüzgârı önden alan türbin (şekil 1A) kulenin rüzgârı önleyici etkisinde kaldığı için daha verimli çalışırken, rüzgârı arkadan alan türbin (şekil 1B) kulenin etkisinde kalacağından verimi daha düşüktür. Fakat rüzgârı arkadan alan türbin kule üzerinde daha fazla baskıya ve aşınmaya uğramaktadır. Buna rağmen rüzgârı önden alan türbin rüzgârın geldiği yöne doğru dönüş için kontrolöre ihtiyaç duysa da verimli olmasından ötürü ticari işletmelerde genellikle tercih edilir (enerjibes.com, 2018).



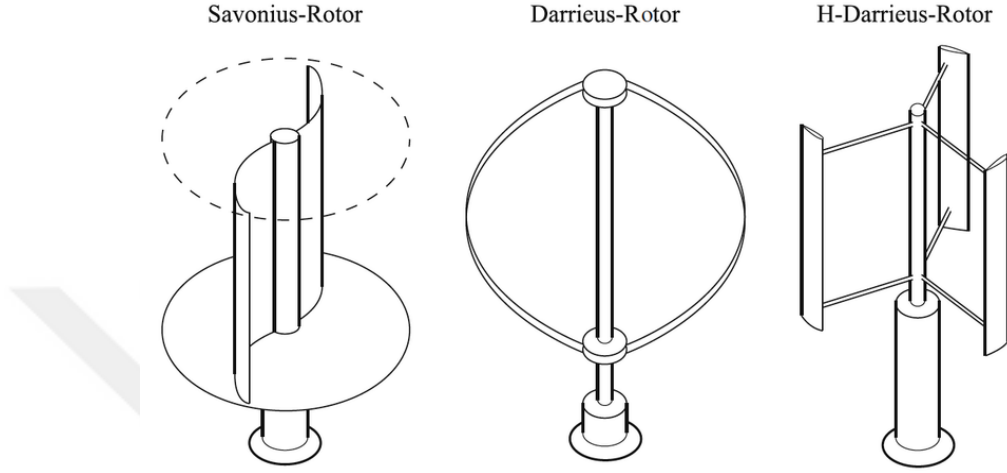
Şekil 19: Önden ve Arkadan Rüzgâr Alan Yatay Eksenli Türbin Çeşitleri

Kaynak: www.emaze.com'dan alınarak yeniden çizilmiştir (Erişim Tarihi: 02.07.2018).

Dikey (Düşey) Eksenli Rüzgâr Türbini (DERT): Rotor ve jeneratör parçalarının rüzgâr yönüne dik ve kanatların da düşey olduğu türbin çeşididir. Rotor ve jeneratörün yerde konumlandırılması türbin bakımını kolaylaştırır da kanatlar yükseğe çıkarılamadığından verim açısından dezavantaja sahiptir (www.ruzgarenerjisikulubu. com, 2018). DERT'lerde verim %35 civarındadır. Dişli ve jeneratör yere yakın konumlandığından kuleye ihtiyaç duymasa da halatlarla kanat bölümü yere sabitlenmesi gerekir. Yere yakın konumlandığından 'sapma (yaw) sistemine' gerek duymaz. DERT'in üç alt tipi bulunmaktadır (Nurbay, Çınar, TY).

- 1) Savonius Rüzgâr Türbini:** 1925'te Filandiyalı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından icat edilmiştir. Simetrik olarak kaydırılmış 2 yarım silindirden meydana gelen ve düşük rüzgâr hızlarında dahi çalışan bir türbindir. 'S' şeklinde bir görünümü vardır (şekil 20). Silindir sayısı üç olan tipleri de mevcuttur. Silindirlere biri pozitif diğeri negatif momentuma sahip olup, pozitif tarafın güçlü olması neticesinde kanatlar pozitif tarafa

doğru döner fakat negatif tarafta oluşan türbülans verimi düşürür. Su pompalamada, deneysel çalışmalarda kullanılır. Elektrik enerjisi üretiminde çok fazla tercih edilmez.



Şekil 20: Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini Alt Tipleri

Kaynak: www.researchgate.net/ (Erişim Tarihi: 03.07.2018)

- 2) **Darrieus Rüzgâr Türbini:** 1931’de Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. Yüksek hızlarda verimlidir. Kanat sayısı şekil 21’de olduğu gibi iki veya daha fazla olabilir fakat aerodinamik kurallar gereği iki kanatlılar tercih edilir. İlk hareket için bir motor gereklidir.
- 3) **H-Darrieus Rüzgâr Türbini:** Darrieus tipinin geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Aerodinamiği düzgün, kanatlarda pitch kontrol uygulanabilir.

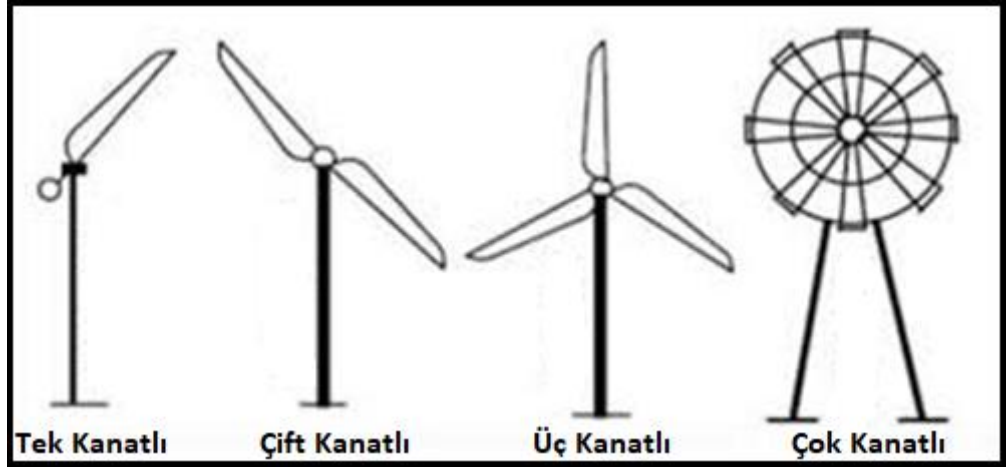
Eğik Eksenli Rüzgâr Türbini: Dişli ve jeneratör sisteminin kanatlar ile belirli bir açı ile durduğu türbin tipidir. Elektrik üretim sistemlerinde genellikle kullanılmamaktadır.

2.2.2 Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri sahip oldukları kanat sayılarına göre de çeşitlere ayrılır. Kanat sayısı rüzgâr değirmenlerinden günümüz modern türbinlerine kadar farklı gelişim aşamalarından geçmiştir. Gelişen teknik ve teknolojik altyapı ve hesaplamalar bugün yaygın bir şekilde kullanımda olan üç kanatlı yatay eksenli türbinlerin ideal aletler

olduğunu göstermiştir. Bu ideal türbinler maksimum verim ve maliyet girdilerinin hesaplamasıyla ortaya çıkmaktadır. Kanatlarına göre türbinler üç çeşide ayrılır.

- 1) Tek Kanatlı Rüzgâr Türbini (RT):** Tek kanatlı RT'lerin yapılma nedeni kanat sayısının artışı neticesinde makine dişlilerinde artan momentum hızını azaltmaktır. Ayrıca rotor kısmına daha az baskı yapması planlanmıştır. Fakat aerodinamik dengesizlik nedeniyle ek maliyet gerektirmesi, iki ve üç kanatlı RT'lere göre yaklaşık iki kat gürültü çıkarması ve verimi rüzgâr süpürme alanının yetersizliğinden dolayı az olması nedeniyle ticari amaçlı çok fazla kullanılmaz.
- 2) İki Kanatlı RT:** Tek kanatlı RT'lerin dezavantajlarını kaldırmak ve üç kanatlılara göre daha az maliyetli olması için üretilmiştir. 1970'lere kadar ABD ve Avrupa'da kullanımda olsa da üç kanatlı RT'ler kadar verimli olmadığı ve gürültü nedeniyle tercih edilmemiştir. Özellikle denge ve aerodinamik açıdan ek parçalar gerektirmesi nedeniyle maliyetin üç kanatlı RT'lerin maliyetine eşitlenmesi ve verim açısından ise düşük olması sebebiyle geniş bir kullanım alanı bulamamıştır.
- 3) Üç Kanatlı RT:** Tarihi çağlardan beri kullanımda olan rüzgâr değirmenleri veya su pompalamada yararlanılan rüzgâr milleri çok kanatlı olarak tasarlanmıştır. Fakat kanat sayısının artışı dönüş hızını düşürmektedir. Bu nedenle ideal momentum hız açısından denge ve aerodinamik belirleyiciler dikkate alınarak üç kanatlı RT'ler tasarlanmıştır. Üç kanatlı RT'ler rüzgar süpürme, türbülans ve denge açısından en uygun koşulu sağlamaktadır. Tek kanatlı RT'ler belirtildiği üzere çeşitli dezavantajları vardır. Beş kanatlı olarak tasarlananlar ise maliyet ve hız açısında dezavantaja neden olduğundan şuan için en uygun kanat sayısı üç olarak hesaplanmakta ve yaygın şekilde kullanılmaktadır (www.bilimgenc.tubitak.gov.tr, 2018).



Şekil 21: Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Kaynak: Elibüyük, Üçgül, 2014

2.2.3 Güçlerine Göre Rüzgâr Türbinleri

RT'ler kurulum amacına ve potansiyeline göre devir ve güç kapasitesine sahiptir. Bu fark, boyut ve yükseklik olarak görülebileceği gibi ana şebekeye aktarım sırasında yapılan ölçümlerde de belirlenebilmektedir. Her ne kadar yüksek ve büyük RT'ler genel olarak yüksek enerji üretse de tamamıyla böyle bir genelleme yapılması yanıltıcı olabilmektedir. Üretim güçlerine göre RT'ler küçük ve büyük olarak sınıflandırılmaktadır. Büyük RT'ler endüstriyel amaçlı olup, 50 KW ile 2 MW arasında üretim yaparlar. Üretilen enerji şebekeye verilebilir, enerjinin fazlasının şarj edilme olanağı yoktur. Bakım ve kurulum maliyeti yüksektir. Küçük RT'ler ise 50 W ile 20 KW arasında üretim yaparlar ve genellikle çiftlik, sera, yayla veya bağlarda ihtiyaç için kurulurlar. Enerjinin fazlası aküler aracılığıyla şarj edilebilir. Ayrıca bakım ve kurulum maliyeti düşüktür (Elibüyük, Üçgül, 2014).

2.2.4 Dişli ve Devrine Göre Rüzgâr Türbini

Dişli sistemi, RT kanatlarının dönüşü sonrası harekete geçen mekanik aksamın jeneratöre bağlanmasında kullanılan bir parçadır. Normal bir RT'de dişli sistemi bulunması beklenir fakat jeneratör özelliğine göre bu durum değişir. Eğer jeneratör az kutuplu ve yüksek devirliyse kanat dönüşü ile jeneratörü dengelemek

için ara bir ekipman olan dişli kullanılır. Eğer jeneratör az yönlü ve düşük devirliyse dişli kullanılmadan hareket jeneratöre aktarılır.

Devir sistemi ise saat ya da dakika da RT kanatlarının hareket sayısını ifade eder ve güç üretiminde en önemli etkidir. Ticari RT'lerin neredeyse tamamı düşük devirli fakat dişli sistemi ile yükseltilerek jeneratöre gereken hareket sağlanır.

2.2.5 Kurulum Yerine Göre Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbinleri kurulum yeri olarak ikiye ayrılır. İlki geçmişten beri rüzgârın kinetik enerjisinden yararlanılan karalar üzerine (onshore) inşa edilenler diğeri ise gelişen teknolojiyle deniz üzerine (offshore) inşa edilenlerden oluşturmaktadır.

- 1) **Kara üzerine (onshore) RT:** Rüzgâr gücünün elektrik enerjisine dönüştürülmesi buluşundan uzunca bir dönem karalar RT'ler için önemli bir tercih yeri olmuştur. Kurulum maliyeti, ek parça ve ek yapı istememesi, bakım faaliyetleri ve ana şebekeye üretilen enerjinin kolay aktarılması kara üzeri RT'lerin daha fazla tercih edilmesine sebep olmuştur. Fakat günümüzde yapılan gelişmiş ölçümlerle ve gelişen teknik imkânlarla deniz üstü RT'lerinden yüksek verim sağlanacağı hesaplanmıştır (www.americangeosciences.org, 2018)
- 2) **Deniz üstü (offshore) RT:** Rüzgâr gücü tarihi çağlardan beri karalar üzerine kurulmuş makineler aracılığıyla insanın ihtiyaçlarına karşılık vermiştir. Rüzgâr gücünden elektrik üretilmeye başlanması ve elektriğe duyulan gereksinimin artması farklı yollara başvurulmasına neden olmuştur. Teknik gelişmeler ve bilgi birikimindeki artışla deniz üstü yapılacak rüzgâr enerji santrallerinin (RES) daha verimli olduğu hesaplanmış ve 1980'lerde bununla ilgili ilk çalışmalar başlamıştır. İlk deniz üstü rüzgâr türbini Danimarka'nın güney sahilinde 1991 yılında kurulmuştur. İngiltere'de ise ilk deniz üstü RT kurulumu 2003'te gerçekleşmiştir (www.renewableenergyworld.com, 2018). Sonraki yıllarda Avrupa ve ABD başta olmak üzere bu alanda çalışmalar

sürmüş ve günümüzün en büyük enerji kapasiteli RES'leri deniz üzerine inşa edilmiştir. Türkiye ise ilk deniz üstü rüzgâr santrali ihalesine 2018'de çıkmış, aday bölgeler olarak Saros, Gelibolu ve Kiyıköy bölgeleri belirlenmiştir. Artan tüketimin karşılanması ve rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanan bu girişim Türkiye'nin enerji arz güvenliği açısından önemlidir.

2.2.6 Rüzgâr Türbin Parça ve Görevleri

Yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı dünya genelinde ticari amaçlı elektrik üretimi için verim, bakım ve kurulum gibi etkenler neticesinde üç kanatlı yatay eksenli RT'ler kullanılmaktadır. Bunun dışında bilimsel çalışmalar veya çiftlik, sera gibi küçük işletmeler farklı nedenlerle diğer rüzgâr türbin çeşitlerini kullanabilmektedir. Görünüm ve boyutu değişse de rüzgâr türbinlerinin çalışma yöntemi ve sahip oldukları ekipmanlar büyük oranda benzerlik göstermektedir. Her RT'de kanat, elektrik ve elektronik aksam, jeneratör ve diğer parçaların korunumu için kaporta ve üretilen elektriği depolamak veya ana şebekeye aktarmak için bağlantı kabloları bulunmaktadır. Şekil 22'de dünya genelinde ticari olarak kullanılan yatay eksenli rüzgâr türbini ve iç aksamı gösterilmektedir.

2.2.6.1 Rüzgâr Türbini Ana Parçaları

Kule: RT'nin rotor ve nasel bölümünü taşıyan kısmına denir (şekil 22). Dikey eksenli RT'ler göre yatay eksenli RT'lerin daha verimli olması kuleye üzerinde bulunmalarından kaynaklanmaktadır. Kule boyu uzadıkça rüzgâr hızı artacağından elektrik üretim verimi de doğru orantılı bir şekilde artacaktır bunda rüzgârı engelleyici yapı, ağaç vs. engelleyicilerinde o yükseklikte bulunmaması etkili olmaktadır. RT kuleleri tubular şeklindedir yani temel kısmında daha genişken, tavana doğru daralır. Bunun bir nedeni statiksel denge korunumu diğeri ise aerodinamik duruştur.

Makine (Hub (göbek) - Muhafaza - Sepet) Bölümü: RT'nin elektrik üreten kısmıdır. Dişlilerin, jeneratör ve diğer parçaların bulunduğu kısımdır (şekil 22).

Kanat (pervane): Rüzgârın kinetik enerjisini karşılayarak hareket kazanan ve jeneratöre bu mekanik hareketi aktararak elektrik üretilmesini sağlayan RT parçasıdır (şekil 22). Uzunluğu 5m ile 100m arasında değişebilir. Günümüz teknolojisiyle bu boyutlar her geçen gün büyümektedir. Günümüzde en büyük RT çapı 205m ile Almanya'nın Fuhrländer bölgesindeki RES'e aittir (windpowermonthly.com, 2019). Kanatlar rüzgar hızını en uygun değerde alabilmek ve doğal koşullara dayanabilmek için aerodinamik bir dizaynla epoksi reçine, cam ve karbon kumaşları ve ara malzemelerden üretilir (egitim448.wordpress.com, 2018). Sağlamlık, yorulma süresi, korozyon direnci, aşınma, esneme ve hız kabiliyeti gibi konular dikkate alınarak üretilir (Kaya, Koç, 2015).

Rotor: Kanatların bağlı olduğu hub (göbek) ve kanatların döndürdüğü dişlilerin bulunduğu bölümdür (şekil 22). Bu bölüm kanatların esneklikleri hesaba katılarak kule ile belirli bir açı yapacak şekilde konumlandırılır (www.ezg.com.tr, 2018).

2.2.6.2 Makine (Beşik – Nasel) Bölümü İç Parçaları

Jeneratör: 19. yy. nin önemli buluşlarında olan jeneratör, İngiliz bilim insanı Micheal Faraday tarafından bulunmuş ve hareket enerjisinden elektriğin nasıl üretileceği ortaya konulmuştur. Önceleri hidroelektrik santrallerinde kullanılsa da zamanla RT'lerin kullanımına girmiştir (www.teknonce.com, 2018). Kanatların döndürdüğü dişli ve vites seti jeneratöre bağlanarak hareketi sağladığı ivme ile elektrik akımı elde edilir (şekil 22). Jeneratörler akım ve çeviri durumuna göre çeşitlere ayrılmaktadır. Jeneratör tercihleri üretilmek istenen ve enerji kaynağının potansiyeline göre değişiklik gösterir. Üç tür jeneratör bulunmaktadır. Bunlar; Asenkron jeneratör, senkron jeneratör ve doğru akımlı jeneratörlerdir. Rüzgâr türbinlerinde çoğunlukla tercih edilen ise asenkron jeneratörlerdir. Fiyatı, sağlamlığı ve basit çalışma metoduyla RT'lerde kullanımı yaygındır (Apaydın, Üstün, Kurban, Başaran Filik, 2009).

Dönen Yatak (Pitch Kontrol): RT kanatlarının en iyi verimle çalışmaları için geliştirilmiştir. Kanatların göbek (hub) noktasına bağlantı bölümünde bulunan bu

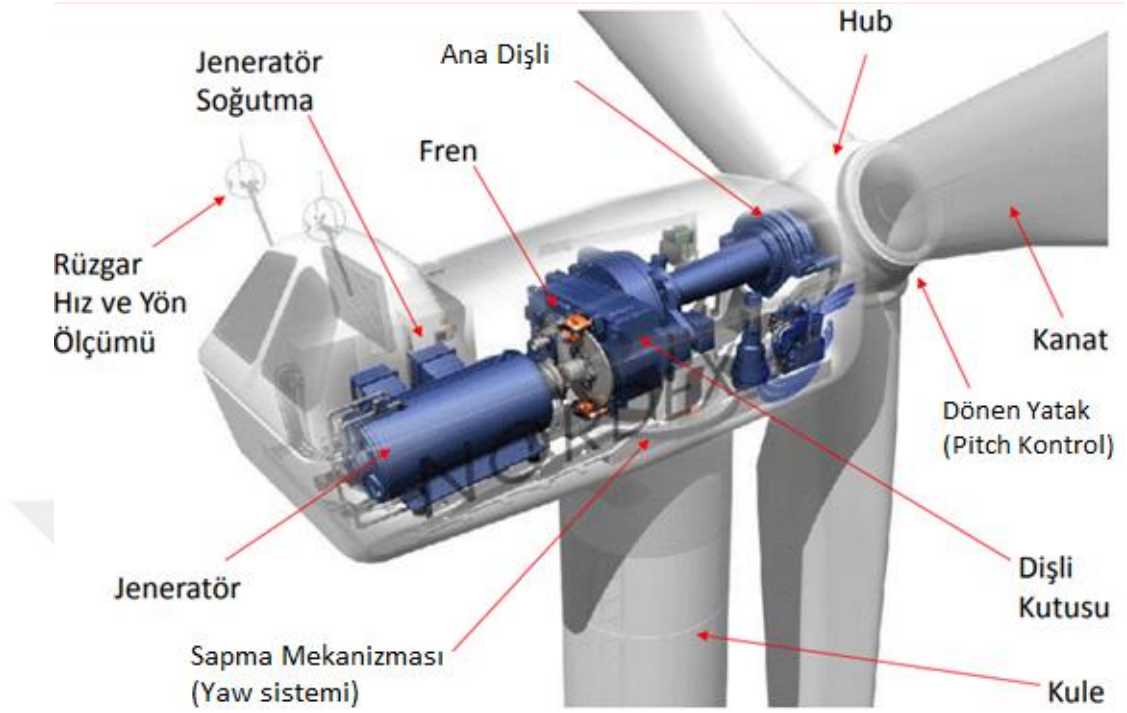
dişli sistemi kanatların dönüşünü kontrol eder ve gerekli müdahalenin yapılmasını sağlar (şekil 22).

Sapma Mekanizması (Yaw System): Göbeğin (hub) kule ile bağlantısı arasında bulunan bu düzenek kanatların verimli çalışması için geliştirilmiştir. Rüzgâr yönü tayini sonrası elektronik olarak 360° dönmesini ve kanatların rüzgârı en iyi şekilde karşılamasını sağlar (şekil 22). Sapma motoru ise kule üzerinde sapma mekanizması üzerinde beşiğin dönüşünü gerçekleştirir.

Dişli Kutusu (şanzıman): RT kanatlarının bağlı olduğu ana dişli ile jeneratör arasında görev alan bu parça, kanatların dönüş hızının düşük olması nedeniyle jeneratörün elektrik üretmemesi sorununa arabalardaki vites kutusu sistemi benzeri bir şekilde çalışarak jeneratörün istediği mekanik hızı üretmeye yarar (şekil 22).

Fren ve Jeneratör Soğutma: Rüzgâr hız aralığına göre dönen kanatlar 25 m/s hızın üzerinde aşınma, kanat kontrol kaybı ve ısınma gibi nedenlerle durdurulur. Bu sistem jeneratörün bağlı olduğu ana dişli kısmında gerçekleştirilir (şekil 22). Jeneratör soğutma parçası ise gün boyu çalışan ve doğal şartlar altında ısınan jeneratör sistemini genellikle yağ ve hava ile belirli aralıklarla soğutulmasını sağlar.

Rüzgâr hız ve yön ölçümü: Rüzgâr türbinleri verimli ve sağlıklı çalışabilmeleri için rüzgâr hız ve yönünün bilinmesi gerekir. Bu nedenle beşik kısmının üzerinde yerleştirilen anemometre ve rüzgârgülü sayesinde türbinin çalışma durumu kontrol altında tutulur (şekil 22). Uyarıcılarla donatılan bu parçalar gönderecekleri bilgilerle türbin yönü ve çalışma durumu için kontrol merkezinin karar almasını kolaylaştırır (www.enerjimag.com, 2018).



Şekil 22: Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini İç Aksamı

Kaynak: İTÜ, 2013

2.2.6.3 Rüzgâr Türbinlerinin Diğer Bileşenleri

Trafo: Türbinde üretilen enerjiyi yükselterek ana şebekeye aktaran parçadır. Her türbin için ayrı ayrı kurulur.

Yeraltı kabloları/ Havai hatlar: Türbinde üretilen elektriğin şebekeye aktarılmasını sağlayan kablolardır. Deniz üstü RT'ler de ise kablolar çeşitli koruma malzemeleri içerisinde geçirilerek şebekeye ulaştırılır.

İletişim sistemi: RT'nin çalışma ve arıza durumunu kontrol eden ve dönüş hareketlerini gerçekleştiren bölümdür (TÜREB, 2013, Altuntaşoğlu, 2013).

2.2.6.4 Rüzgâr Enerjisi Üretim Maliyeti

Rüzgâr enerjisine son yıllarda farklı nedenlerle ilgi artmış bu yüzden daha verimli ve daha düşük maliyetle bu kaynaktan yararlanmak maksadıyla rüzgâr enerjisine yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. Rüzgâr enerjisi geçmişte pahalı

olarak görülen bir kaynak olsa da günümüzde teknik ve teknolojik çalışmalar ile diğer kaynaklarla rekabet edebilir hale gelmiştir. Fosil kaynakların çevresel sorunları, ekonomik ve siyasi riskleri ile tükenecek olmaları, politika yapıcılarını yenilenebilir kaynaklara yönelterek, bu kaynaklardan daha ucuz maliyetle daha verimli yararlanılması konusunda çalışmaların hızlandırarak maliyetlerin düşmesine neden olmaktadır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) Mayıs 2019 verilerine göre fotovoltaik güneş pili ve kara üstü rüzgâr enerjisi, 2020 yılında elektrik enerjisi üretiminde en ucuz kaynak haline gelecektir. Bu durum rekabette güneş ve rüzgâr enerjisini avantajlı kılarak daha fazla tercih edilmelerine neden olacaktır. Bugün kullanılan kaynağa göre üretilen kWh başına maliyet fiyatları tablo 4'de gösterilmektedir. Tabloya göre en ucuz elektrik doğalgazdan sonra rüzgârdan elde edilirken nükleer ve biyokütle en maliyetli kaynaklar olarak görülmektedir. Teknolojisi yeni gelişen biyokütle için gelişim aşamasında olduğu ama potansiyelinin yüksek olduğu söylenebilir. Eğer tüm potansiyeli kullanılmış olsa dünya toplam enerji ihtiyacının onda birinin biyokütleden sağlanacağı hesaplanmaktadır (worldbioenergy.org/,2019). Nükleer ise çevresel kaygılar ve maliyet açısından dezavantajlara sahip olsa da bugünkü enerji tüketim oranını gelecekte de koruyacağı ve ülkelerin arz çeşitliliğinde yer alacağı tahmin edilmektedir. Çevresel sorunlara yol açtığı için eleştirilen kömür de ucuz bir kaynak olması ve rezerv dağılışına bağlı olarak yakın gelecekte hale tüketimi yüksek miktarlarda devam edecektir.

Tablo 3: Yakıt Cinslerine Göre Elektrik Üretim Maliyeti

Yakıt	Maliyet (€cent – kWh)
Nükleer	11,1 – 14,5
Biyokütle	5,8 – 11,6
Hidrolik Güç	5,1 – 11,3
Kömür	4,8 – 5,5
Rüzgâr	4,0 – 6,0
Doğalgaz	3,9 – 4,4

Kaynak: MMO, 2015

Rüzgâr enerjisinin sınırsız ve ücretsiz olması fiyatlarda dengesizliğe neden olmazken, kurulum maliyetinin gelişen teknolojiyle daha ekonomik hale geldiği görülmektedir. Örneğin 1980'lerde deniz kenarında kurulan 95 KW kapasiteli bir

rüzgâr türbini KW başına 92 € sent/ KWh üretim maliyetine sahipken, günümüzde 2 MW kapasiteli türbinler 4,4 € sent/KWh maliyete sahiptir. Bu durum gelişen rüzgâr enerji sektörünün ekonomik yapısının bir göstergesidir (Kalyoncu Türkeş, 2012).

RES'lerin kurulum maliyetlerinde genel bazı bileşenlerin yer aldığı görülmektedir. Bunlar;

- Türbin maliyeti
- Türbin kurulum maliyeti
- Bakım ve onarım maliyeti
- Tasarı ve proje maliyeti
- Türbin ömrü
- Elektrik üretiminde enerji kayıp maliyeti

Avrupa Enerji Ajansı (EWEA)'nın verilerine göre türbin, şebeke bağlantısı ve tesisin inşası için yapılan harcama, toplam maliyetin %91'ini kapsamaktadır. Diğer maliyet unsurlarından olan arazi, yol yapımı, elektrik donanımı, kontrol sistemleri gibi harcamalar ülkeden ülkeye değişiklik göstereceği gibi toplam maliyetin %9'u kadardır.

Ülkelerin rüzgâr enerjisi sektöründeki konumları ve teşvikleri de üretim maliyetini etkileyen önemli unsurlardan birisidir. Alım garantisi, yerli parça kullanım zorunluluğu, arazi hibesi, projelere verilen destekler hem rüzgâr enerjisinin gelişimini hem yatırımları artırıcı olumlu politikalarlardır.

2.2.6.5 Rüzgâr Türbinlerinin Aşırı Gerilimlerden ve Doğal Olaylarından Korunması

Rüzgâr türbinleri belirtildiği üzere yüksek yapılar olup çevresinde rüzgârı engelleyecek herhangi bir unsur istemediğinden açıkta konumlanır. Bu durum yıldırım gibi yüksek gerilimli doğa olaylarıyla karşılaşması ve zarar görmesine yol açabilir. Özellikle yıldırım düşmesi olayı yağışlı zamanlarda daha fazla olur ki bu durum ıslanan kanat ve kulenin zarara uğrama riskini yükseltir. Bu nedenle kanat,

jeneratör ve kulenin standartlar ölçüsünde en iyi topraklama sistemiyle korumaya alınması gerekir (Avşaroğlu, Tekin, Serindağ 2006). Santralde bir türbinde oluşacak sorun diğer türbinlere de zarar vereceğinden önlem, kontrol ve müdahale ekipmanları her zaman çalışır olmalı ve kontrol edilmelidir. Gelişen teknolojiyle bu sorun büyük oranda azaltılsa da kazalar yaşanabilmektedir. Gerilim önleyici olarak adlandırılan bazı elektronik reseptörler elektromanyetik akımın etkisinden türbin parçalarını koruyabilmektedir. Büyük maliyet gerektiren ve çalışmadığında önemli kazanç kayıplarının yaşanacağı santraller gereken ekipmanlarla donatılmalıdır (www.mto.com.tr, 2018).

Rüzgâr türbinleri enerji kaynağını doğadan aldığı için doğa koşullarının zorluğu göz önünde bulundurularak üretilmeleri ve inşa edilmeleri gereklidir. RES'lerin kurulduğu arazilerin genellikle yamaçlar olduğu düşünüldüğünde inşa sürecindeki kalite kontrol ve bağlantı kablolarının güvenliği azami önem arz etmektedir. Ayrıca uzun dönemli bir yatırım olan RES için arazinin gelecek dönemde nasıl planlandığı veya şehirsiz alanlar için belediyelerle ortak projelerin geliştirilmesi tesis için daha doğru kararlar alınmasını sağlayacaktır.

2.2.7 Rüzgâr Enerjisi Üretim Hesaplama ve Tahmin Sistemi

Rüzgâr gücünün hesaplanması yapılacak yatırımın maliyetinin ve türbin kapasitesinin belirlenmesi açısından önemlidir. Rüzgâr gücüne göre seçilecek türbin tipi ve sayısı ile yatırım o oranda kârlı bir proje olacaktır.

P: RT'nin üreteceği gücü gösterir, birimi watttır.

1/2: Sabit bir sayı olarak eşitliğin sağ tarafında yer alır.

P: Hava yoğunluğunu ifade eder. Uluslararası ölçümlerde deniz seviyesinde 15°C sıcaklıkta, 1013 mb olarak ölçümü yapılan havanın yoğunluğu 1225 kg/m³ olarak bulunmuştur.

V: Rüzgârın hızını ifade eder ve anemometre ile ölçümü yapılır. Rüzgâr hızı üretilen enerjiye ⁽³⁾ şeklinde bir etki yapar.

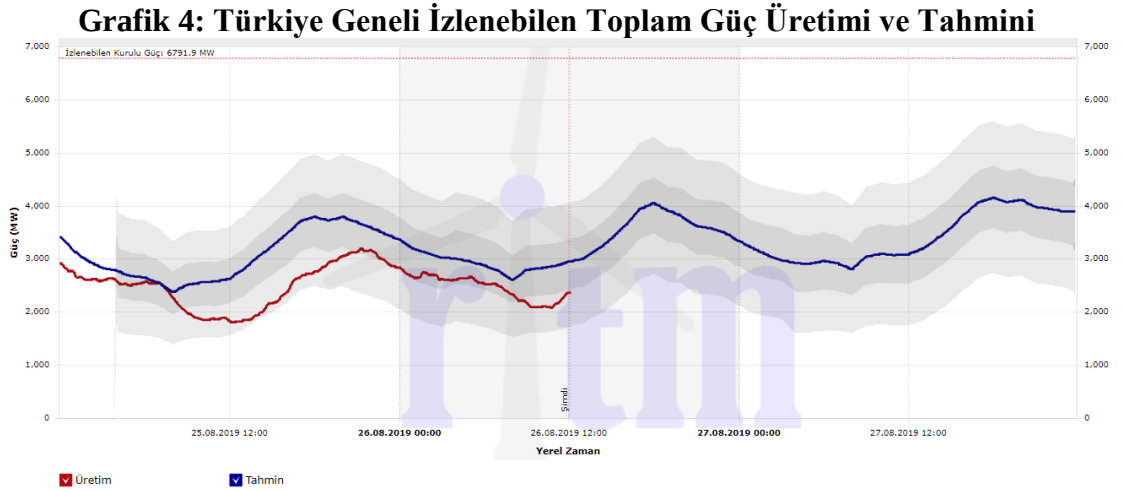
C: Formülün diğer bir sabitesi olup, RT'nin yüzdelik verim göstergesidir. Maksimum değeri yaklaşık olarak 0.5926'dır. Bu değer Betz

limiti olarak adlandırılır. Bir rüzgâr türbininin maksimum %59.26 verimlilikle çalışacağı anlamına gelir.

A: RT'nin rüzgârı süpürdüğü alanı ifade eder. Rotor yarıçapına göre hesabı yapılır. Bu alan rotor yarıçapı x rotor yarıçapı x pi olarak formüle edilir.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * C_p * A$$

Rüzgâr enerjisi üretimi kesintili olacağından üretilecek enerjinin miktarının bilinmesi pek çok kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle Rüzgâr Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) projesi gerçekleştirilerek üretici ve tüketicinin dakikalık; 6, 72 saatlik ve haftalık üretim tahminlerini rüzgârın hız, yön ve sıcaklık değerlerinden yola çıkılarak hesaplanması sistemi geliştirilmiştir. Bu sayede ülke ihtiyacı olan enerjinin ne kadarına rüzgârın karşılık vereceği hesaplanarak, mağduriyetlerin ve aksaklıkların önüne geçilmesi sağlanmış olacaktır. Grafik 4, 25 Ağustos 2019 ile 27 Ağustos 2019 arasında gerçekleşmesi beklenen üretimi ve 26 Ağustos'a kadar olan üretimi göstermektedir. Rüzgâr enerjisi üretiminin genel sisteme entegrasyonu ve önlemlerin alınması açısından bu şekilde bir uygulama verimlilik ve üretim açısından avantajlar sağlayacaktır.



Kaynak: RİTM, 2019

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 Dünya ve Türkiye’de Enerji Durumu

Günümüz modern hayatında enerji vazgeçilmez bir kaynaktır. Ekonomik faaliyetlerin sürmesi, sosyal hayatın ulaşılan refah seviyesinden ödün vermeden devam etmesi için enerjiye kesintisiz, kolay, çevre etkisi az ve sürdürülebilir şekilde ulaşılması stratejik değerdedir. Bu nedenle enerji tür ve kaynaklarına sahip olmak veya ulaşabilir olmak devletlerin gündemlerinde önemli bir husus olarak yerini korumaktadır. Bu bölümde enerjinin geçmişten günümüze kullanımında yaşanan değişim ve geline nokta enerji bağımlılığının yarattığı alternatif kaynak arayışı analiz edilecektir. Fosil kaynakların dünyada ve Türkiye’de durumlarına ve hem ekonomik hem çevresel problemlerine değinildikten sonra, yine dünya ve Türkiye’de yenilenebilir kaynakların durumu ve enerjide sağladıkları faydalara değinilerek; enerji üretimindeki kaynak tercihlerinde değişime vurgu yapılacaktır.

3.1 Enerji Kullanımı ve Türleri

Enerji, insanoğlunun tarihi çağlardan beri kullandığı ve yaşamı için gerekli olan en önemli girdilerden birisidir. Geçmişte olduğu kadar günümüz modern hayatı için de vazgeçilmez olan enerji, sanayiden günlük kullanıma ve sosyokültürel faaliyetlere kadar geniş bir alanda kullanılabilmektedir. Ülkelerin kalkınma hamlelerinde yer ettiği kadar, bireylerin günlük hayatları için de gerekli olması, toplumlara enerjiyi elde etme ve sürekli erişimde olma zorunluluğu getirmiştir. Bu zorunluluk nedeniyle günümüzde enerji, ülkelerin önemli bir gündem maddesi haline gelmiştir. Özellikle dünya enerji kaynaklarının yeryüzüne eşit olmayan bir biçimde dağılması, kalkınmanın sürebilmesi ve toplumun medeniyet seviyesinden taviz vermeden yaşaması için ülkelerin enerji için gerektiğinde savaşları göze almasına veya birbirlerine yaptırımlar uygulamasına neden olmaktadır. Enerjinin ulaşılabilirliği ülkelerin ekonomik kalkınmalarında olduğu kadar rakip olarak gördükleri diğer ülkelerin kalkınma hamlelerinde bir koz olarak kullanabilecekleri stratejik bir unsur halini almıştır.

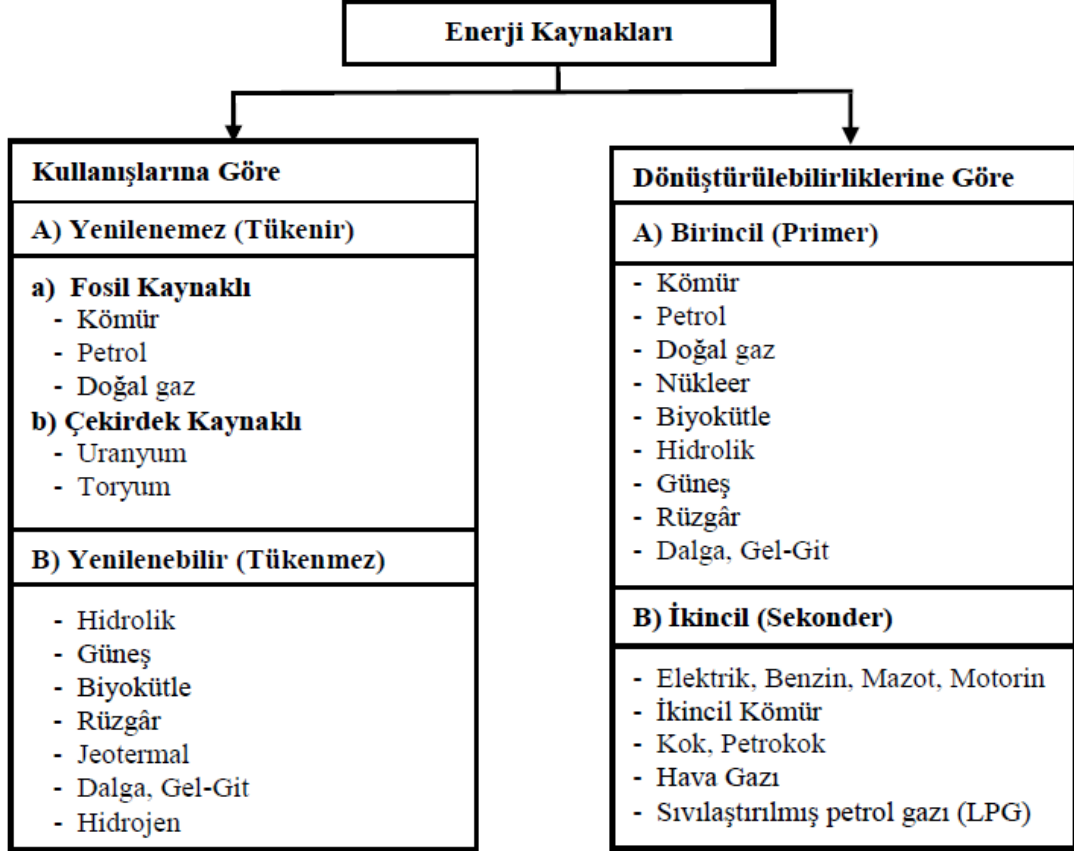
Ayrıca son dönemde sıkça duyduğumuz küresel ısınma, ozon tabakası seyrelmesi, artan kuraklık, olağanüstü atmosfer olayları gibi doğal dengenin bozulduğuna dair işaretler; enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı salınımının ve çevresel kirliliğin artışından kaynaklandığı bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu durum enerji kullanımının gelecekte çevreyle bağlantılı olarak ele alınmasına ve ülkelerin bu bilinçle politikalar geliştirmelerine neden olacaktır.

İnsan hayatı üzerinde önemli etkileri olan enerji, ateşin bulunmasından günümüze kadar farklı kaynaklardan sağlanmış fakat önemi eksilmeden artarak devam etmiştir. Kısaca iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerjinin; potansiyel enerji, kinetik enerji, ısı enerjisi, ışık enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji, ses enerjisi ve elektrik enerjisi olmak üzere türleri vardır (YEGM, 2018). Bu türlerin ortaya çıkmasında dünyada var olan çeşitli kaynaklardan veya direkt güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Enerjinin elde edildiği kaynaklara ise enerji kaynakları denir. İlk çağlarda insan ve hayvan gücü enerji kaynağı olarak kullanılmış, ilk yerleşmelerin ortaya çıktığı dönemden Sanayi Devrimi'nin gerçekleştiği 18. yy. ın ortalarına kadar ısı ve ışık enerjisi üretmek için odun ve odun kömürü kullanılmıştır. Farklı görüşler öne sürülse de 10. yy. den Sanayi Devrimine kadar geçen sürede özellikle odun kömürü insanların ihtiyacı olan enerji üretiminde en önemli enerji kaynağından biri olarak yerini korumuştur (Eskikaya, 1978). Sanayi devrimiyle birlikte icat edilen motorun hareket kabiliyetine imkân vermesi neticesinde ihtiyacı olan petrolünde önemini arttırmıştır. 1970'lere kadar önemini koruyan petrol 1973 ve 1979'da yaşanan petrol krizleriyle, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin farklı alternatif kaynaklara yönelmelerine ve enerji kaynak çeşitliliği yaratan politikalar üretmelerine sebep olmuştur. Yaşanan krizler enerji politikalarının geleceğini belirlediğinden, 1950'lerden sonra gelişme imkânı bulan hidrolik güç ve nükleer enerji 1980'ler sonrası ülkelerin yatırım politikalarında daha fazla yer edinmiştir (UEA, 2017). Türkiye'nin bu dönemde gerçekleştirdiği önemli hidroelektrik baraj projeleri bu durumun bir kanıtı niteliğindedir. 1980 sonrası ise çevresel endişelerin artmasıyla enerji kullanımı ve üretimi sırasında ortaya çıkan sera gazlarının atmosferdeki etkisinin bilimsel çalışmalar ve çevre örgütlerinin desteğiyle gündem maddesi haline getirilmesi; güneş, jeotermal, dalga, biyokütle ve rüzgâr gibi

kaynakların gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerin yatırım politikalarında yer edinmesini sağlamıştır. Bu değişimin ülkelerin ekonomik ve sosyal hayatın ihtiyacı için gereken enerjiyi; zamanında, ucuza, kolay yoldan elde etmesi zorunluluğundan ortaya çıktığı söylenebilir.

Enerji farklı kaynaklardan ve farklı yollarla elde edilir ve buna göre sınıflandırılır (tablo 5). Enerjinin herhangi bir değişim ve dönüşüme tabi olmadan kullanılması haline birincil enerji denir. Birincil enerji kaynakları kömür, petrol, doğal gaz, hidrolik, biyokütle, dalga, akıntı, güneş ve rüzgârdır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji türüne ise ikincil enerji denir. İkincil enerji türlerine elektrik, kok kömürü, benzin, mazot, hava gazı, propan, bütan, sıvılaştırılmış doğal gaz (liquid natural gas (LNG)) örnek verilebilir. Özellikle elektrik günümüz sanayisinin üretim yapabilmesi ve sosyal hayatın da ulaşılan modern hayatın vazgeçilmez en önemli enerji türlerinden birisi konumundadır. Kullanım ömürlerine göre ise yenilenebilir ve yenilenemez olarak enerji kaynaklarını sınıflamak mümkündür. Yenilenebilir kaynaklar; hidrolik, güneş, biyokütle, rüzgâr, jeotermal, dalga, gel-git (medcezir) kaynakları, yani geri kazanımı mümkün olan kaynaklardır. Yenilenemez yani tükenebilir kaynaklar ise iki ayrılmakta olup fosil kökenliler; kömür, petrol, doğal gaz iken; toryum ve uranyum çekirdek kökenlidir.

Tablo 4: Enerji Kaynak Türleri



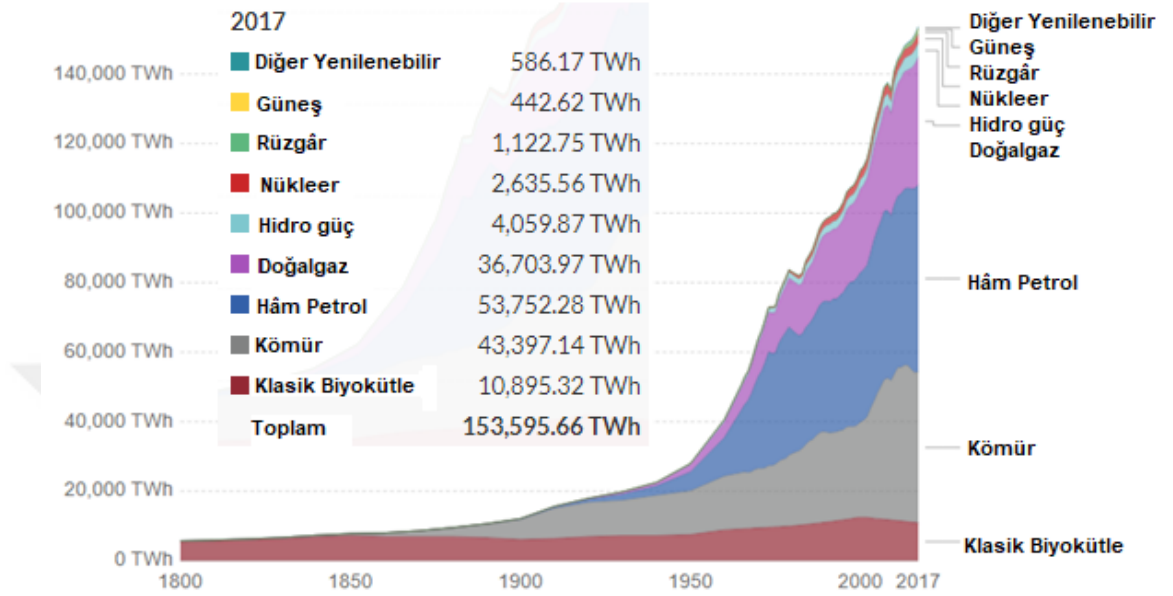
Kaynak: (MMO,2018)

Enerji kaynaklarını bu tablonun dışında elde edildikleri alanın yeraltı veya yerüstü olmasına; enerji kaynağının katı, sıvı ve gaz halde bulunmasına; klasik olarak tanımlanan geleneksel enerji kaynakları yani kömür, petrol, doğalgaz gibi kaynakların haricinde yeni ve yenilenebilir olarak ifade ettiğimiz ve son yıllarda kullanımı artan nükleer, güneş, jeotermal ve rüzgâr gibi kaynaklar şeklinde sınıflamakta mümkündür (Akova, 2016). Hidrolik enerji için burada belirtilmesi gereken bir durumda; 10 MW kapasitesinin üstündeki hidroelektrik santraller (HES) klasik, yenilenemez enerji kaynağı grubunda yer alırken; 10 MW kapasitesinin altındaki HES'ler yenilenebilir enerji kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır (Adıyaman, 2012'ye göre Onurbaş Avcıoğlu, 2017).

Gelişmişliğin bir göstergesi olan enerji kullanımı hem kullanılan kaynaklar hem de miktar itibarıyla son yıllarda önemli değişiklikler göstermektedir. Özellikle 18. yy. nin ortasından itibaren Sanayi Devrimi ile enerji tüketimi artmış ve bu döneme

kadar tüketilmekte olan odun ve kömür büyük oranda yerini petrole bırakmıştır. Kolay kullanımı ve kullanım alanının artması petrolünün değerini arttırmış ve ülkeler aralarında rekabet konusu olmuştur. 19. yy. boyunca Avrupa ve ABD'nin fabrikasyon çalışmaları ile artan üretimlerine kaynak ve pazar arayışı, 20. yy. nin ilk yarısında iki büyük dünya savaşının çıkmasına neden olmuştur. II. Dünya Savaşı sonrası ekonomik ve sosyal kalkınmaya odaklanan dünya ülkeleri, savaş sonrası kurulan düzen içerisinde hızlı bir ekonomik yarışa girerek geçtiğimiz yüzyılın özellikle son çeyreğinde enerji tüketiminde büyük gelişmeler göstermiştir. Grafik 7'de görüldüğü gibi 1850'lerden sonra belirgin şekilde artan dünya enerji ihtiyacı kömür ve petrol kullanımını önemli oranda arttırmıştır. 1950'lerden sonra ise kömür ve petrol gibi ağırlıklı kullanılan kaynakların arasına doğal gaz, hidrolik enerji ve nükleer enerjinin eklendiği görülmektedir. Artış hızının özellikle 1970'lerden sonra önemli bir ivme kazandığı, dönemin siyasi ve ekonomik şartlarından dolayı enerji tüketiminde böyle bir durumun ortaya çıktığı söylenebilir. Ayrıca 1990 sonrası yenilenebilir enerjinin artan oranlarda dünya enerji tüketim portföyünde yer aldığı görülmektedir. Diğer bir dikkat çeken durum ise 1950'ler sonrası piyasaya giren doğal gaza karşı hızlı bir talep artışının olduğudur. Özellikle alternatif bir kaynak olması ve diğer fosil kaynaklara oranla daha çevreci oluşu bu durumun temel nedenidir. 2017 yılı dünya toplam tüketilen enerji miktarı 153.595,66 TWh eşdeğeri olarak gerçekleşmiş ve bu oran 1800'de gerçekleşen tüketimin 25 katı düzeyindedir (ourworldindata.org, 2018). Diğer bir istatistiğe göre dünya toplam enerji tüketimi 2017 yılında 13.474,6 milyar ton eşdeğeri petrol (MTEP) 2018'de ise 13.864,9 MTEP olarak gerçekleşmiştir. 2018'de Türkiye 153,5 milyon TEP ile dünya toplam tüketimin %1,1'ini gerçekleştirmiştir (BP, 2019). Ham petrol, kömür ve doğalgaz tüketimi ise toplam tüketimin yaklaşık %87'sine karşılık gelirken diğerleri %13'lük bir paya sahiptir. Bu payın %31,4'ü ise yenilenebilir kaynaklardan güneş, rüzgâr ve hidrolik güçten meydana gelmektedir. Bu durum dünyanın fosil kaynaklara bağımlılığını ortaya koymaktadır.

Grafik 5: 1800 – 2017 Arası Kaynaklar Bazında Dünya Enerji Tüketimi



Kaynak: ourworldindata.org, 2018

Ekonomik ve sosyal hayatın vazgeçilmez ve en önemli girdilerinden birisi olan enerji, BP ve Dünya Enerji Konseyi verilerine grafik 7’deki artışına benzer şekilde gelecek yıllarda da devam edeceği tahmin edilmektedir. Yaşanacak artış tükenenler olarak görülen kaynakların olumsuz etkilerinin artmasına neden olacağı gibi tükenmeyen yani yenilenebilir kaynakların üretiminin gelişimine yol açacağı söylenebilir. Enerji kaynaklarına sahip ülkeler ile enerji kaynaklarının en fazla tüketildiği gelişmiş ülkeler arasındaki ilişki, artan enerji talebi ve tükenen rezervler sonucunda farklı bir boyuta taşınacaktır.

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerini korumak, halklarına medeniyetin geldiği en iyi imkânı sunmak ve sanayilerinin ihtiyacı olan enerjiyi güvenilir, ucuza, kesintisiz ve çevreci bir anlayışla sağlamaları için geçmişte olduğu kadar gelecekte de iyi planlama ve politika geliştirmeye ihtiyaçları olacaktır. Var olan rezervlerle petrolün %47,6’sı ve doğal gazın %40,1’i Ortadoğu’da bulunmaktadır (ETKB, 2019). Petrol tüketimine baktığımızda ise ABD’nin dünya petrol tüketiminin %19,8’ini, Çin’in ise %13,2’sini tek başına gerçekleştirdiği görülmektedir. Doğalgazda da benzer bir durumla dünya doğal gaz toplam tüketiminin %20,2’sini ABD ve %13’ünü Çin

tarafından gerçekleştirilmektedir (BP, 2018). Kömür ise dünya geneline daha dengeli bir dağılım göstermekte bu nedenle enerji arzı konusunda daha fazla tercih edilmektedir. %31'i Avrupa – Avrasya'da, %41'i Asya – Pasifik'te, %25'i Kuzey Amerika'da ve %1,4'er oranla olarak Afrika – Doğu Akdeniz ile Güney ve Orta Amerika ülkelerinde bulunan kömür, bulunduğu ülkelerin politikaları ve üretim olanaklarına bağlı olarak kullanılmaktadır (ETKB, 2019). Örneğin kömür rezervlerinin çoğunu kullanmış olan ve Paris İklim Antlaşması çerçevesinde CO₂ salınımı düşürmek isteyen Avrupa'da bazı ülkeler, kömür işletmelerine yönelik önemli yatırımlar yapmamaktadır. Ancak her ne kadar antlaşmaların, sivil toplum örgütlerin ve bilimsel çevrelerin dikkat çekmesine rağmen Çin, Hindistan ve ABD enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için önemli miktarlarda kömür kullanımına devam etmektedir. 2018 BP Enerji Görünüm raporuna göre bu ülkeler sırasıyla dünya toplam kömür tüketiminin %50,7, %11,4 ve %8,9'unu kullanmaktadırlar ve bu toplam tüketimin %71'ini oluşturmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi dünya enerji kaynaklarının üretim merkezleri ile tüketim merkezleri arasında belirgin bir farklılık söz konusudur. Özellikle petrolün yaklaşık 1/2'sine sahip ve 2018 dünya petrol üretiminin %34,1'ini gerçekleştiren Ortadoğu, dünya petrol tüketiminde sadece %9,5 kadar pay almıştır. Dünya doğal gaz üretiminde ise %25,9 payla birinci olan Kuzey Amerika'dan sonra Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) ülkeler %22,2 payla ikinci sırada, Ortadoğu ise %17,9 ile üçüncü sırada yer almaktadır. Yani BDT ile Ortadoğu dünya doğal gaz üretiminin de %40,1'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. Fakat tüketim noktasında BDT %15,7, Ortadoğu ise %14,6'lık toplam %30,3'lük bir paya sahiptirler (BP, 2018). BP 2018 enerji görünüm raporunda ve Amerika Enerji Bilgi Dairesi'nin 2040 yılı enerji tahmini raporunda ise bu durumun gelecekte de devam edeceği, Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (OECD) ülkelerinin dışında özellikle Çin, Hindistan ve bazı Asya ülkelerinin gelecek yıllarda önemli tüketim merkezi olarak dünya enerji tüketiminde önemli rol oynayacağı belirtilmektedir. OECD ülkelerinin ise dünya enerji tüketimindeki oranları %50'nin altına ineceği tahmin edilmektedir (BP, 2018). Uluslararası Enerji Ajansı (UEA)'nın 2040 tahmin raporunda ise dünya enerji talebinin eski dönemlere kıyasla daha düşük bir artış içinde olacağı yönündedir.

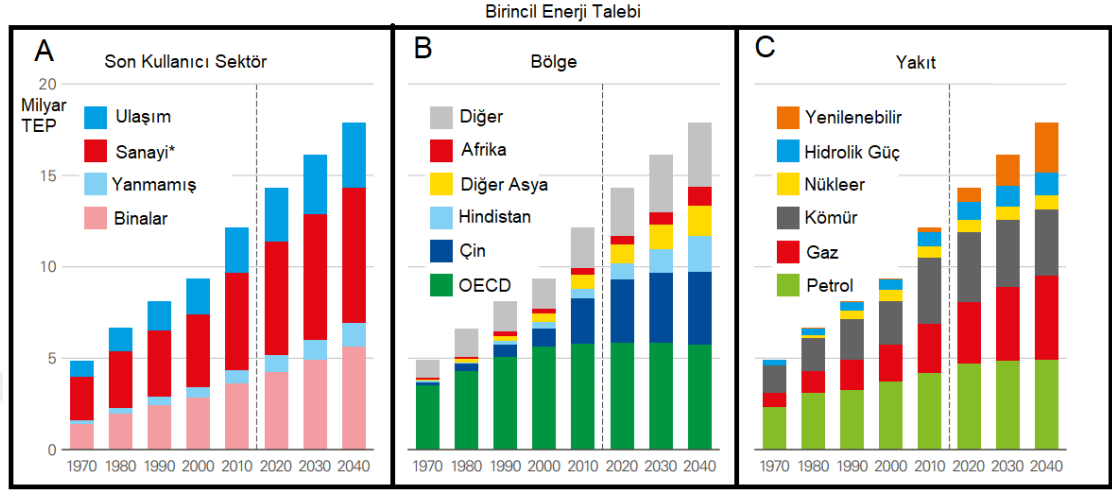
Dünya ekonomik büyümesinin yıllık %3,4 oranında olacağı ve bugün 7,4 milyar olan dünya nüfusunun 2040'ta 9 milyarı aşacağı UEA tarafından tahmin edilmektedir. Artan nüfus ve kişi başı enerji tüketim miktarının yükselmesi 2040 yılına kadar dünya enerji talebinde, bugün Çin ve Hindistan'ın toplam tüketimi kadar bir enerji artışının yaşanacağı UEA'nın çarpıcı bir öngörüsüdür.

Yaşanacak önemli değişimlerden birisi de elektrik üretiminde olacağı tahmin edilmektedir. 2040 yılına kadar Çin bugünkü ABD toplam elektrik üretimi kadar; Hindistan ise AB'nin toplam elektrik üretimi kadar bir miktarda elektrik üretim artışı sağlayacağı tahmin edilmektedir (UEA, 2019). Bu durum Çin ve Hindistan'ın elektrik üretmek için seçeceği teknolojinin dünyanın diğer ülkelerini etkilemesi bakımından önemlidir. Çünkü tercih edilecek üretim tipinin piyasası gelişecek, maliyetleri uygulanabilir hale gelecek, gelişen sektörün bilgi birikimi artacak ve dünyada yaygın hale gelecektir. 2016 yılı dünya toplam elektrik üretim miktarı 15.567 TWH iken 2040 yılında 10.519 TWH artışla 26.086 TWH olacaktır. Bu artışta Çin'in payı 3.910 TWH iken, Hindistan'ın payı 2.504 TWH'dır. Yani toplam artışın yaklaşık %65'i sadece Çin ve Hindistan'dan geleceği tahmin edilmektedir. Yaşanacak artışta, bu ülkelerin kalabalık nüfuslarına elektrik ulaştırmak için yapacakları yatırımların, Çin'in son yıllardaki temiz enerji politikalarının, artan sanayi üretiminin, toplumsal refah artışının ve elektrikli araçların sayısındaki artışın payı önemlidir. Özellikle UEA'nın tahminlerine göre bugün 2 milyon olan ve yarıdan fazlası AB ve Çin'de kullanılmakta olan elektrikli araç sayısı 2040 yılında 280 milyon olacağı da öngörüler arasındadır. Bu önemli artış petrol tüketimini azaltırken, elektrik üretiminde kullanılan kaynaklara yatırımı arttıracaktır. UEA raporuna göre en fazla artış yenilenebilir enerji kaynaklarında olacaktır. 2016 yılında küresel enerji ihtiyacının %18,2'sini karşılayan yenilenebilir enerji kaynakları %40 büyüme oranı ile diğer kaynakların çok önünde bulunmakla birlikte bu konumunu koruyacağı tahmin edilmektedir. Bugün 57 ülkenin elektrik üretimindeki hedeflerinin %100 yenilenebilir kaynaklar olduğu raporlarda geçerken, bu durumun gelecekte enerji kaynak dağılımında yaratacağı etki ülkeler açısından önem arz etmektedir (BP, 2018; REN21, 2018).

Enerjinin ekonomi, sanayi ve sosyal hayat için vazgeçilmezliği ülkelerin iç ve dış politikalarında önemli parametrelerinden birisini oluşturmaktadır. Son dönemde artan enerji ihtiyacıyla birlikte sera gazı salınımı sonucu atmosfer içinde artan zararlı gazların neden olduğu küresel ısınma, enerji politikalarının yönünü yenilenebilir kaynaklara çevirse de, yakın gelecekte fosil yakıtların önemini koruyacağı görölmektedir. Grafik 8C'te verilen BP 2019 Enerji Görünüm Raporu verilerine göre fosil yakıtlar 2040 yılına kadar önemlerini koruyacak hatta belirli bir miktar artış elde edeceklerdir. Fakat kaynakların kullanım sektörleri değişiklikler gösterecektir. 2016'da dünya petrol tüketiminin %50,21'si ulaşım sektöründe gerçekleşirken, 2040'da petrolün yaklaşık %50'si havayolu ve petrokimya sektöründe kullanılacaktır (grafik 8A). Doğalgaz tüketimi ise sanayinin kullanımındaki artış ve ısınma ihtiyacı sonucu dünya genelinde artış göstereceği hesaplanmaktadır. Dünya kömür tüketiminin ise en büyük tüketici Çin'in temiz enerji politikası sonucu durağan bir sürece gireceği fakat önemli miktarlarda tüketilmeye devam edeceği görölmektedir. En hızlı artışın yaşandığı yenilenebilir kaynakların üretimi ise enerji arz riskinin düşürmesi, istihdam oluşturmaları, çevre etkisi az ve tükenmez oluşu nedeniyle önemli yatırımlar ile dünya enerji portföyünde önemli oranda artış gösterecektir (grafik 8C).

Enerji kullanımının bölgesel değerlendirilmesine bakıldığında ise enerji talep artışının OECD ülkeleri dışında, yüksek oranda Çin ve Hindistan tarafından gerçekleştirildiği görölmektedir (grafik 8B). Diğer önemli artış ise Asya ve Afrika ülkeleri tarafından gerçekleşecektir. Enerjinin kullanıldığı sektörlerin değişimi de enerji politikaları açısından önemli olduğundan gelecek projeksiyonunda analiz edilmiştir. Grafik 8A'de de görüldüğü üzere enerji talep artışının yaşanacağı en önemli sektör endüstri olurken bunu ulaşım sektörü takip etmektedir. Artan nüfus ve bunun bir sonucu niteliğinde artan şehirli nüfusu, ısınma ve soğutma kullanımıyla ve diğer günlük ihtiyaçları ile belirgin miktarda enerji talep artışına neden olacağı görölmektedir. Yanmamış olarak verilen birim ise kaynaklardan yapılan plastik üretimini kapsamaktadır ve BP tahminlerine göre bu talep artarak devam edecek, plastik kullanımına yönelik adımlar olumlu sonuç veremeyecektir. Binalar birimi ise ısınma, soğutma ve genel kullanımdaki yakıtları kapsamakta, artan refah ve nüfus ile burada da bir artış kaydedilecektir.

Grafik 6: Dünya Birincil Enerji Kaynaklarının Sektör, Bölge ve Yakıt Türüne Göre 1970- 2040 Kullanım Projeksiyonu



(*Sanayi, yanmamış yakıt kullanımını hariç tutar.)

Kaynak: BP,2019

Medeniyetin geldiği seviyeden taviz vermeden yaşayabilmek, sanayi ve ekonomi için gereken enerjiye sahip olmak veya erişebilmek kadar, enerjinin ne kadar verimli kullanıldığı da önemlidir. Enerji verimliliğinin bir göstergesi olan enerji yoğunluğu kısaca 1 dolarlık Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) kazanabilmek için ne kadar enerji harcandığının hesaplanması yöntemiyle bulunur. Ülkelerin konumuna veya bölgelere göre değişmekle birlikte enerji yoğunluğu bir gelişmişlik göstergesi olarak kabul edilir. Avrupa Enerji Ajansı verilerine göre dünya enerji yoğunluğu ve çevresel etkisi en az olan ülkeler Kanada, Japonya, Avustralya iken; enerji yoğunluğu az, fakat çevresel etkisi fazla olan ülkeler ABD ve Rusya olarak belirtilmiştir. Türkiye ise enerji yoğunluğu bakımından dünya ortalamasının altında kalmıştır. Gelecekte enerjinin hangi kaynaktan ve ne oranda üretildiği kadar enerji verimliliği de stratejik bir husus olacağından ülkelerin bu alana yönelik plan ve çalışmalar yapması önemlidir.

Küresel enerji politikaları tüm ülkelerin tercihleriyle şekillenirken diğer taraftan enerji yönelimleri sonucu bir etki altında kalabilmektedirler. Dünya enerji kullanım miktarı ve tercih edilen kaynak türleri ülkelerinin ekonomik, endüstri ve sosyal hayatlarını önemli oranda etkilemektedir. Özellikle Türkiye gibi enerjide dışa

bağımlılığı yüksek ülkeler bu noktada daha fazla kırılgan bir yapı gösterdiğinden enerji politikalarını belirlerken, uzun vadeli düşünülmeli, enerji arz güvenliği ve ekonomiklik yanı sıra çevresel etki göz önünde bulundurulmalıdır. Fosil yakıtlara olan bağımlılık zengin yenilenebilir kaynaklarla ikame edilerek hem ekonomik avantaj hem politik kozlara sahip olunacağı unutulmamalıdır. Bu bölüm öncelikle fosil yakıtların dünyadaki ve Türkiye özelinde değerlendirilmesi yapıldıktan sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya ve Türkiye’deki konumu incelenecektir.

3.2 Dünya ve Türkiye’de Kömür

İnsanoğlunun tarihi çağlardan beri kullandığı organik tortul bir kayaç olan kömür geçmişte olduğu kadar günümüzde kullanımı yaygın bir enerji kaynağıdır. Yaklaşık 300 – 350 milyon yıl önce bitki varlıklarının farklı nedenlerle toprak altında kalması ve kayalaşmasının sonucu oluşan kömürün ilk kullanımıyla ilgili net bir bilgiye ulaşılamasa da 13. yy. de İngiltere’de ısınma amacıyla, Çin’de ise demirin eritilmesinde kullanıldığı belirtmektedir (Needham 1964’e göre Akova, 2016). Kömür enerji kaynağı olarak asıl önemini 18 yy inin ilk yarısında sanayi devriminde kazanmıştır. Sanayi devrimiyle yaşanan teknik gelişmenin bir ürünü olan buhar motorunun icadıyla önemi artan kömür önce Avrupa ve sonra ABD’de yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Sanayi devriminin temel enerji kaynağı olan kömür, bulunduğu ve kullanıldığı ülkelere refah ve ekonomik gelişme imkânı sunmuştur. Nitekim bugün gelişmiş ülkelerin birçoğu sanayilerinin enerji ihtiyacını karşılamak için 18. ve 19. yy. boyunca kömür kullanmışlardır. 18. yy. boyunca sanayinin itici gücü olan kömür, 19. yy. de ise elektrik devriminin itici gücü olmuştur. 20. yy. de ise petrol sunduğu avantajlar ve artan kullanım alanları nedeniyle daha fazla talep edilir olmuştur. Fakat kömürün rezerv dağılışı ve ekonomik oluşu tüketiminin yüksek oranlarda devam etmesini sağlamıştır.

Dünya Enerji Konseyi’nin sınıflamasına göre kömür düşük kalorili ve taş kömürü alt başlığı ile iki ana kömür türü bulunmaktadır. Taşkömürü cinsi karbon oranının fazla, nemin az olması nedeniyle daha fazla ısı ve enerji sağlayan bitümlü ve antrasit türüdür. Düşük kalorili sınıflamasında bulunan linyit ise nem oranı fazla, karbon

oranı az olması nedeniyle ısı ve enerji oranı düşüktür. Dünya kömür rezerv durumuna bakıldığında ise kömürün dünyanın 100 ülkesinde bulunduğu ve bunların 50'sinde üretimin yapıldığı görülmektedir (TTK, 2018). Dünya toplam tüm çeşitlerdeki kömür rezervi 1.139,331 Mt'dir. Bunun %22,1'i ABD'de, %21,4'ü Çin'de, %14,1'i Rusya'da ve %12,7'si Avustralya'da bulunmaktadır. Bu dört ülke dünya toplam kömür rezervinin %70,3'üne sahiptir (BP, 2017). Kömür rezervlerinin diğer ülkelerdeki durumuna bakıldığında ise; %8,3'ü Hindistan'da , %3'ü Almanya'da ve %2,2 ile Endonezya olduğu görülmektedir.

21. yy. da ilk defa 2014 yılında düşüş yaşayan dünya kömür üretiminin benzer seyri 2015 ve 2016 yıllarında da sürmüştür. Bu düşüşte Çin'in politikalarının etkisi büyüktür çünkü kömür üretiminde Çin açık ara diğer ülkelerinin önünde yer almaktadır. 1.747,2 Mt (46.4%) ile Çin dünya kömür üretiminde birinci sırada yer alırken 707,6 Mt ile Hindistan ikinci, 671,8 Mt ile ABD üçüncü, 503,3 Mt ile Avustralya dördüncü ve 460,5 Mt ile de Endonezya beşinci sırada yer almıştır (BP, 2017).

Küresel kömür tüketimi ise 2017 yılında 3.371,5 Mt olarak gerçekleşmiştir. Üretimdeki liderliğinin bir kanıtı olarak bu miktarın %50,7'si (1.892,6) Çin tarafından gerçekleşmektedir. Üretim ve tüketim miktarları kıyaslandığında Çin'in kömür ihtiyacını ithal kaynakla karşıladığı görülmektedir. Hindistan ise 424 Mt ile dünya kömür tüketiminin %11,4'ünü gerçekleştirerek ikinci olurken, 332,1 Mt ile ABD %8,9 oran ile üçüncü sırada yer almıştır (BP, 2018).

Türkiye'nin kömür rezervi durumuna bakıldığında ise dünya kömür rezervlerinin ancak %1,1'ine sahip olduğu görülmektedir. 2017 yılında kömür üretimi; 71,46 Mt linyit, 1,23 Mt taş kömürü ve 1,4 Mt asfaltit olmak üzere toplam 74,10 Mt olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl kömür tüketimi ise 1,23 yerli taş kömürü, 39,08 Mt ithal taş kömürü, 72,86 Mt linyit ve asfaltit olmak üzere toplam 113,17 Mt olmuştur. (BP, Coal 2018; TKİ, TTK, ETKB, 2018). Taş kömürü üretiminin tüketimi karşılama oranı ise %3,1 olarak gerçekleşmesi, ithalata bağıllığı göstermesi açısından önemlidir. Aynı yıl madencilik ürünleri ihracatından 4,5 milyar dolar gelir sağlanırken; 5,3 milyon dolar kömür ithalatına ödeme yapılmıştır. Burada

belirtilmesi gereken yapılan ithalatın taşkömürü ve kok kömürüne yönelik olduğudur. Türkiye jeolojik özellikleri neticesinde büyük bir linyit potansiyeline sahiptir. 2017 yılı linyit üretimi 71,46 Mt olan Türkiye dünya linyit üretiminde 10. sırada yer almıştır. Linyit tüketiminde ise, üretimi yapılan 71,46 Mt ile 10. sırada yer almaktadır. Görüldüğü gibi Türkiye, linyit üretiminin ihtiyaca karşılık verdiği fakat diğer kömür türlerinde dışa bağımlı bir ülke konumundadır. 2017’de ise Türkiye birincil enerji arzının %21,7’si kömürden sağlanmıştır. Elektrik üretimi açısından bakıldığında Türkiye’de 42 adet kömürle çalışan termik santralin, ülke toplam kurulu gücünün %22’sine karşılık gelmektedir ve bunun; %12,1’i yerli kömürden, 10,2’si ise ithal kömürden karşılanmıştır (TKİ,2018).

Paris İklim Anlaşması programı, çevreci kaygılar, diğer enerji kaynaklarının maliyetlerinde yaşanan düşüşler ve en önemli kömür tüketicisi Çin’in ‘daha temiz atmosfer’ politikası neticesinde kömür tüketiminin gelecekte düşeceği düşünülse de, özellikle Hindistan’ın gelişen sanayi faaliyetleri ve artan nüfusu için atacağı adımlar (kömürle çalışan santral inşaatlarının ve rezerv arayışının devam etmesi) kömürün halen birincil enerji kaynakları içinde yerini korumasına yol açacağı BP ve Dünya Enerji Konseyi raporlarında yer almaktadır.

Fosil yakıtlardan sadece kömür rezervlerinde önemli bir potansiyeli olan Türkiye avantaj sahibiyken, taşkömürü gibi enerji potansiyeli yüksek kömür türü yerine enerji miktarı düşük linyit kaynaklarına sahip olması bazı dezavantajlar doğurmaktadır. Sanayi ve ısınma amacıyla kullanımı mümkün olmayan linyit kaynakları, elektrik üretiminde kullanılabilir fakat çevresel etki bakımından bu da sorunlar ortaya çıkarılabilecektir. Bu nedenlerden dolayı Türkiye’nin potansiyeli yüksek ve maliyetleri düşen yenilenebilir kaynaklarına yönelmesi ekonomik, politik ve çevresel açıdan olumlu olacaktır.

3.3 Dünya ve Türkiye’de Petrol

Jeolojik olarak kömürden daha genç fakat insanoğlunun kullanımı bakımından kömür kadar eski sayılabilecek diğer bir enerji kaynağı da petroldür. Milyonlarca yıl önce hayvan ve bitki kalıntılarının yeraltında kalarak hidrojen ve karbon

bileşiklerinin ayrışması sonucu oluşan petrol, kömür gibi fosil bir enerji kaynağıdır. Rezervinin bulunduğu bölgelerde yeryüzüne çıkmasıyla bölgesindeki medeniyetlerin farklı amaçlar için kullandığı petrol, özellikle 20. yy. de önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Birinci Dünya Savaşı öncesi ilk petrol rezervleri İran'da Mescid-i Süleyman şehrinde keşfedilmiştir (Akova, 2016). Günümüz ekonomik sistemi içerisinde vazgeçilmez bir kaynak haline gelen petrol, rezervinin fazla olduğu bölgelerin dünya gündeminde yer almasına da neden olmaktadır.

Petrolün önemi motorun icadı ve kimya sanayinin çalışmalarıyla artışa geçmiş, bugün dünyada stratejik enerji kaynaklarından birisi haline gelmiştir. Gelişmiş ülkeler kadar gelişmekte olan ülkelerin sanayi faaliyetleri için önemli olan petrolün ticareti ve taşınması da uluslararası alanda önemli bir konudur. Sadece petrol rezervine sahip ülkelerin veya o coğrafyanın değil, çevre ülkelerinin de bu ticarete söz sahibi olduğu hatta gelişmiş ülkelerin şirketler aracılığıyla petrol sahibi ülkeleri denetleyebildiği bir politik düzlem söz konusudur. Petrolün dünya genelinde dağılışının dengesiz oluşu ve ekonomik açıdan vazgeçilmezliği böyle bir düzenin kurulmasına neden olmuştur.

Kanıtlanmış dünya petrol rezervi 239,3 Mt olup bunun; %47,6'sı Ortadoğu'da, %19,5'i Orta ve Güney Amerika'da, %13,3'ü Kuzey Amerika'da ve %8,5'i Türkiye Cumhuriyetlerinde bulunmaktadır. Ülkeler bazında en fazla petrol rezervine sahip ilk 10 ülke ise sırasıyla; Venezüella, Suudi Arabistan, Kanada, İran, Irak, Kuveyt, Birleşik Arap Emirlikleri, Rusya Federasyonu, Libya ve ABD şeklindedir (BP,2018).

Dünya petrol üretimine bakıldığında ise; %34,1'i Ortadoğu'da, %21,7'si Kuzey Amerika'da, %15,4'ü Türkiye Cumhuriyetlerde, %8,7'si Afrika'da, %8,5 Asya-Pasifik ülkelerinde ve %7,8'i Orta ve Güney Amerika'da üretildiği görülmektedir.

Dünya petrol tüketimi ise 2017 yılında günde 98.186 varil olarak gerçekleşmiştir. Yıllık dünya toplam tüketimin %20,2 ile ABD birinci sırada, %13 ile Çin ikinci, %4,8 oranıyla Hindistan üçüncü, %4,1 pay ile Japonya dördüncü ve %3,3 ile Rusya Federasyonu beşinci sırada yer almaktadır. Bu durum petrol üretim ve tüketim merkezleri arasında bir asimetrinin olduğunu göstermektedir. Dünya petrol rezervlerinin yaklaşık yarısına sahip Ortadoğu petrol tüketiminde ancak %9,5

oranda bir pay almıştır (BP 2018). Bu durumun ortaya çıkışında gelişmiş sanayi faaliyetlerinin yetersizliği, refah seviyesinin düşük oluşu ve kişi başı enerji harcamalarının düşük olması etkili olmaktadır.

Dünya petrol ticaretinde ise Suudi Arabistan'dan Endonezya'ya 276,4 Mt yapılan işlem en yüksek miktar olurken; Rusya'dan 254,9 Mt ithal eden Avrupa ikinci, Suudi Arabistan'dan 201,3 Mt ithal eden Çin üçüncü, Kanada'dan 199,2 Mt petrol ithal eden ABD dördüncü en yüksek ticaret hacmini gerçekleştirmiştir.

Türkiye'nin petrol rezervi ise maalesef kendine yetebilecek miktardan uzak olup sadece 52,653 Mt üretilebilir petrol rezervine sahiptir. 2017 yılı ham petrol ithalatı 25,8 Mt, petrol ürünleri ithalatı ise 16,8 Mt ithal edilmiş, toplamda 42,6 Mt petrol ithalatı gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl petrol üretimi, tüketimin sadece %7,7'sini karşılamıştır (ETKB,2019). Bu durum Türkiye'nin gelişen sanayisi ve artan refah seviyesi ile birlikte düşünüldüğünde gelecekte enerji arz riski ile karşılaşabileceğini ortaya koymaktadır. Sanayi sektöründe zor olsa da ulaşım sektöründe yapılacak düzenlemeler ile enerji ithalat oranları kaldırılabilir düzeye düşürülebilir. Devreye alınacak yenilenebilir kaynakları ülkenin kalkınmasının sürekliliği açısından avantaj sağlayacaktır.

3.4 Dünya ve Türkiye'de Doğalgaz

İçeriğindeki bileşenler itibariyle petrolün bir türevi olan doğalgaz; etan, propan, bütan ve çoğunlukla metan gazından meydana gelir. Günümüzden milyonlarca yıl önce hayvan ve bitki kalıntılarının toprak altında ısı ve basınç altında kalmasıyla oluşan doğalgaz çıkarıldığı gibi kullanılabilen bir birincil enerji türüdür. İlk kullanımının MÖ 200'de Çin'de olduğu bilenen doğalgazın yaygın kullanımı 1790'larda İngiltere'de çeşitli sanayi kollarında kullanılmasıyla başlamıştır (Needham 1964'e göre Akova, 2016'dan). Doğalgazdan elektrik enerjisi üretimi ise ilk olarak ABD'de gerçekleşmiştir. 1950'lerde dünya birincil tüketiminde doğalgazın payı %10 civarındayken 2017'de %23,4 seviyesinde gerçekleşmiştir (BP, 2018). Özellikle kömürün çevresel etkisi, petrolün siyasi krizlerde fiyatlarının aşırı artışı sonucu enerjide ithalata bağlı ülkeler doğalgaza yönelmiştir. Fakat doğalgaz da

artan talep ve gelişen pazar neticesinde stratejik bir kaynak haline gelmiştir. BP ve Dünya Enerji Konseyinin enerji senaryolarında doğalgazın önemini gelecek yıllarda da koruyacağı öngörülmektedir. Doğalgazın, petrol ve kömüre göre avantajları olsa da taşınması ve kaza sonucu ölümcül sonuçlar doğurması gibi dezavantajlarının da olduğu söylenebilir.

Doğalgaz kaynakları da, petrol de olduğu gibi yeryüzüne dengeli bir dağılım göstermemiş, belirli bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu durum neticesinde doğalgaz ithal eden ve ihraç eden ülkelerin arasında önemli miktarlarda ticaret ortaya çıkmıştır. Dünya kanıtlanmış doğalgaz rezervi 193.5 Trilyon m³'dür. Bunun; %40,9'u Ortadoğu'da, %30,6'sı Bağımsız Türk Cumhuriyetleri'nde, %10'u Asya Pasifik ülkelerinde, %7,1'i Afrika'da, %5,6'sı Kuzey Amerika'da kalan kısmı ise Orta ve Güney Amerika ile Avrupa ülkelerinde bulunmaktadır (BP, 2017).

Doğalgaz üretim oranlarına bakıldığında ise rezerv miktarı bakımından zengin olan ülkelerin değil, ekonomik ve sosyal ihtiyaçlar fazla olduğu ülkelerin daha çok pay sahibi olduğu görülmektedir. Üretimde % 20 ile ABD birinci sırada yer almaktadır. %17,3 ile Rusya ikinci, %6,1 ile İran üçüncü, Kanada ve Katar %4,8 ile dördüncü sırada iken, %4,1 ile Çin altıncı sırada yer almaktadır (BP, 2017).

Dünya doğalgaz tüketiminde ise %20,1 ile ABD birinci sırada yer alırken, %11,6 ile Rusya Federasyonu ikinci, %6,6 ile Çin üçüncü, %3,2 ile Kanada ve Japonya dördüncü ve %3,0 ile Suudi Arabistan beşinci sırada yer almaktadır (BP, 2017). Doğalgaz üretim ve tüketim merkezlerinin asimetrik dağılışa sahip olması kendisinin küresel ticarete konu edilmesine neden olmuştur. Özellikle temiz bir enerji çeşidi olması, ilk yatırımdan sonra depolama ve işletme maliyeti düşük olması, otomatik sistemlerle kontrol edilebilir olması, kokusuz olması ve ucuza mal ediliyor oluşu doğalgaza yönelimi arttırmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre OECD dışı ülkelerin 2040 yılına kadar doğalgaz tüketiminde iki katı artış yaşanacağı ve OECD ülkeleriyle birlikte doğalgaz tüketiminin %42 oranında artacağı hesaplanmıştır. Bu yüksek artışta çevreci yaklaşım ve maliyet önemli etkindir. Ayrıca büyüyen ekonomisiyle Çin'in temiz atmosfer politikası sonucu doğalgaza

yönelmesi, doğalgaz tüketimini artıran önemli bir etkidir. Dünya artan enerji ihtiyacı ile farklı alternatiflere yönelme eğimi şüphesiz sürecektir.

Bu alternatiflerden biri de kaya gazı (shale gas) olarak isimlendirilen gaz türüdür. 2000'den sonra başta ABD olmak üzere kaya gazı gelişen teknik imkânlar neticesinde enerji arz çeşitliliğinde yer edinmeye başlamıştır. Doğal gazın kayaçlar arasına sıkışmış olanının hidrolik çatlatma (su ile kayaçlarının parçalanması) yöntemiyle yeraltından çıkarılmış hali olan kaya gazının, dünya gaz rezervlerinin ömrünü yaklaşık 100 – 150 yıl uzatacağı tahmin edilmektedir (Sevim, 2014; 3). Özellikle ABD ve Kanada'nın sahip oldukları rezervler ve geliştirdikleri teknikle gelecekte doğal gaz ihracatçısı bir konuma ulaşacakları düşünülmektedir. Buna kanıt olarak 2010 yılında açılan 15.467 kaya gazı sondaj kuyusunun sadece 50 tanesinin ABD dışında oluşu verilebilir. 2010 yılı ABD enerji istatistiklerine göre kaya gazı sayesinde doğalgaz fiyatları %35 oranında aşağı çekilmiş ayrıca ithalatçı konumdaki ABD ihracattı konuma geçmiştir (IEA, 2019). Özellikle AB'nin Rus gazına bağımlılığı ve taşımada yaşanan gelişmeler neticesinde ABD, AB doğalgaz pazarında önemli bir konum kazanabilir (ABD, Enerji Ajansı, 2019). Dünya kaya gazı rezervleri bakımından Çin 36 trilyon m³ ile birinci olurken onu sırasıyla ABD, Arjantin, Meksika, Güney Afrika, Avustralya takip etmektedir (doğalgaz.com.tr, kaya gazı, 2019). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)'nın araştırmalarına göre Türkiye'nin bazı bölgelerinde kaya gazı varlığı tespit edilmiş, çıkarma çalışmaları için yabancı şirketlerle anlaşarak arama faaliyetleri başlamıştır. Kaya gazı rezervi için bir miktar belirtilmese de, cari açık noktasında olumlu bir etkisi olacağı şüphesizdir.

Türkiye'nin doğalgaz ile tanışması ise 1986 yılında Rusya ile yapılan anlaşma sonucu ilk gaz sevkiyatının 1987'de ulaşması ile gerçekleşmiştir. Batı Hattı olarak isimlendirilen ilk taşıma hattı, Rus gazının Edirne'den ülkeye girerek Ankara'ya ulaşmasını sağlamıştır. Sonraki dönemde artan tüketim, büyüyen ekonomi ve yükselen refah seviyesi doğalgaz ithalatında çeşitliliğe gidilmesini zorunlu kılmış ve dönemin idarecileri 1988 Cezayir ile LNG (Sıvılaştırılmış Doğalgaz) alımı anlaşmasını imzalamıştır. 1994'te Marmara Ereğlisi LNG santrali devreye alınmış ve 1995 Nijerya ile LNG anlaşması imzalanmıştır. 1997'de ise Rusya ile Karadeniz

altından geçecek Mavi Akım projesi devreye konulmuş ve 2003’de ilk gaz sevkiyatı yapılmıştır. 2001’de ise Azerbaycan ile gaz alım anlaşması yapılarak arz güvenliği sağlanmaya çalışılmıştır (Kibar Enerji, 2019). Türkiye’nin bu kadar çok ülke ile doğalgaz alım anlaşması yapmasında kuşkusuz büyük bir ithalatçı olması temel nedendir. Doğalgaz İthalatçıları Derneği verilerine göre 2005 yılında yerli üretim 896 milyon m³ olarak gerçekleşerek ülke toplam tüketiminin %3,34’ünü karşılamıştır. 2017 yılında ise 354 milyon m³ yerli doğalgaz üretimi yapılarak ülke toplam tüketiminin ancak %0,65’lik bir kısmı karşılanmıştır. Bu durum Türkiye’nin sonuç olarak net bir enerji bağımlısı ülke olduğunu göstermektedir. 2017 yılında yapılan toplam doğalgaz ithalatının %51,93’ü Rusya’dan, %16,74’ü İran’dan, %11,85’i Azerbaycan’dan, %8,36’sı Cezayir’den ve %3,76’sı Nijerya’dan kalan %7,36’lık kısmı ise farklı ülkelerden LNG ithalatı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu tablo Türkiye’nin doğalgaz da net dış bağımlı olmanın yanında yüksek oranda Rus gazına bağımlı olduğunu göstermektedir. Enerji uzmanların ve akademisyenlerin konu ile ilgili genel kanısı ise bu kritik oranın farklı ve yerel kaynaklar ile ikame edilerek düşürülmesi yönündedir. Ayrıca enerji merkezi olma yolunda siyaset üreten Türkiye’nin kendi bağımsızlığını dikkate alarak ve depolama sistemleri ile tüketim dengesi gözetilerek bir planlama yapılması tavsiye edilmektedir (GAZİD, 2017). Bugün itibariyle 5’i tamamlanmış 2’si proje ve yapım aşamasında ülkemize doğal gaz akışı sağlanmaktadır. Elektrik enerjisinde doğalgazın yeri incelendiğinde ise; 2018 yılı itibariyle Türkiye’de 303 doğal gaz santrali bulunmakta ve kurulu gücü 22.162,93 MW olarak belirtilmektedir. 2018 yılında üretilen elektriğin %29,8’i ise doğalgazdan sağlanmıştır (ETKB, 2019). Yenilenebilir enerji kaynakları vasıtasıyla doğalgazın elektrik üretimdeki oranı geçmiş yıllara oranla düşürülse de, konut ısıtılmasında ve sanayi kullanımında doğalgaz kullanımının artacağı öngörülmektedir. ETKB’nin yaptığı açıklamalara göre 2018 yılı sonu itibariyle doğalgaz ulaşmayan şehir kalmayacak ve zamanla tüm ilçelere dağıtım sağlanacaktır. Bu durum CO₂ emisyonu ve çevre açısından olumlu olsa da enerjide dışa bağımlı Türkiye’nin cari açık noktasında dikkat etmesi gereken bir konudur.

3.4.1 Fosil Kaynakların Durumu ve Geleceği

Fosil kaynaklar; kömür, petrol ve doğalgaz geçmişten bugüne insanoğlunun temel ihtiyaçlarını karşılamada en değerli ve öncelikli kaynaklar olmuşlardır. Gelecekte de bu durumun ülkelerin enerji politikalarına bağlı olarak süreceği söylenebilir. Fakat fosil enerji kaynakların her geçen gün rezervleri tükenmektedir. Mevcut rezervlerin sahip olunan teknoloji ile üretim ve tüketim miktarları karşılaştırması sonucu elde edilen tahmini kalan ömürleri tablo 6’da verilmiştir. Bu tahminler bölgelere göre değişim gösterse de, küresel kömür ömrü 114 yıl, doğalgaz ömrü 53 yıl ve petrol ömrü 51 yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5: Fosil Kaynakların Rezerv Ömürleri



Kaynak: ETKB, 2017

Tahmin edilen ömürler kullanım miktarı, enerji verimliliği, teknolojik gelişmeler dâhilinde azalacağı gibi nüfus artışı ve refah seviyesinin iyileşmesiyle artışta gösterebilecektir. Fosil kaynaklar önemli oranda elektrik enerjisi üretmek için kullanıldığı (kömür %38,3, doğalgaz %23,1) kadar sanayi ve diğer alanlarda da kullanılmaktadır (UEA, 2019). Örnek olarak petrol, kimya sektöründen sağlık ürünlerine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kömür ise proses ısısından, çeşitli kimyasalların üretimine kadar farklı şekillerde değerlendirilirken, doğalgaz ulaşım, gıda gibi farklı sektörlerde kullanılabilir. Bu kaynakların sanayi üretimi için rezervlerinin korunması, yoğun olarak kullanıldıkları çevrim sektörü yani elektrik üretim sektöründe yenilenebilir enerjiye geçiş düşünülmelidir. Diğer taraftan dünyanın sera gazları seviyesi önemli oranlara ulaşmış ve bunun neticesinde iklim

değişikliği gelecekte kaçınılmaz olarak tüm dünya toplumlarını etkiler hale gelecektir. Araştırmalar genel atmosfer sıcaklığının 150 bin yılda 1°C azalıp arttığının ve bu durum sonucu olarak sıcak ve soğuk dönemin yaşandığını göstermektedir. Fakat sanayi devriminin ardından yani 1850’ler ile 2000 yılı arasında geçen 150 yıllık sürede 1°C artışın yaşandığı gözlemlenmiştir (IPCC, 2018). Küresel ısınma olarak ifade edilen bu duruma; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), ozon (O₃), azot, propan, bütan gibi sera gazları neden olmaktadır (TÜBİTAK, 2018). Tablo 7’de verilen sera gazları artış oranları Sanayi Devrimi ile beraber meydana gelen enerji kullanımının bir sonucudur. Nedeni ise fosil kaynakların yakılarak içlerindeki karbon bileşenlerinin atmosfere bırakılmasıdır. Artan fosil yakıt kullanımı şüphesiz küresel ısınmayı arttıracak bu da gelecekte tüm insanlığı ekonomik ve çevresel açıdan etkileyecektir.

Tablo 6: 1850 – 2011 Sera Gazı Değerleri

Sera Gazı	1850 öncesi	2011	Artış Oranı
CO ₂	280 ppm*	391 ppm	40%
CH ₄	715 ppb**	1803 ppb	152%
N ₂ O	270 ppb	324 ppb	20%

*parts per million (milyonda bir anlamına gelen kütleli yoğunluk birimi)

**parts per billion (milyarda bir anlamına gelen kütleli yoğunluk birimi)

Kaynak : Gazbir, 2012

Ortalama sıcaklığı 15°C olan dünyamız, yaşanan sera gazı emisyon etkisiyle bugün 1°C daha sıcaktır ve gelecek 20 yıl içerisinde bu artış eğer önüne geçilmezse 1°C daha artarak toplamda 2°C’lik bir artış yaşanacağı hesaplanmaktadır. Bazı modellemelere göre ise sera gazı emisyonu bu hızla devam ederse bu yüzyıl sonunda 4°C ile 5°C’lik sıcaklık artışıyla karşılaşılabilir (MunichRe, 2017). Bu durum bugün dahi etkisinde olduğumuz iklim değişikliğini daha etkili ve problemleri bir hale getirecektir. Bu açıdan 1997’de BM oturumunda kabul edilen ve 2005’te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü ve 2015 Paris İklim Anlaşması’nın öngördüğü şekilde ülkelerin çevreci bir büyüme politikası izlemesi önemlidir. Ülkemiz de 2009 yılından Kyoto protokolünü imzalamıştır fakat emisyon azaltma taahhüdü bulunmadığından bu konuda uygulayıcı adımlar atılmamaktadır. Benzer düşüncelerin diğer gelişmekte

olan veya gelişmişlik seviyesini korumak isteyen ülkelerde de etkili olduğu görülmektedir. Ülkelerin atması gereken en önemli adım enerji taleplerinde yenilenebilir kaynaklara daha fazla yer vermeleri ve bu alana özel sektörü özendirmeleridir. Yenilenebilir enerjiyle ihtiyaç duyulan enerji büyük oranda karşılanabilirken, cari açık konusunda da olumlu gelişmeler yaşanabilecektir. Sera gazı yüksek oranda elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için yakılan fosil kaynakların atmosfere karışmasıyla beraber sanayi üretiminden, tarımsal faaliyetlerden ve atıklardan da kaynaklıdır. Enerji verimliliği, çevreci politikalar ve yenilenebilir enerjinin özendirilmesi bu açıdan önemlidir.

Bu duruma bir çözüm olması açısından enerji tüketimi fazla olan AB, Çin gibi örgüt ve ülkeler yeni hedefler belirlemişlerdir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın raporuna göre 2030 yılında AB tükettiği yenilenebilir enerji kaynakları payını %27'den %34'e çıkarmayı planlamaktadır. Aynı şekilde sera gazı emisyonunu ise %15 oranında azaltılmayı hedeflenmektedir (IRENA, 2017). Çin ise 2016 yılı sera gazı emisyonunda ikinci sıradaki ABD'nin iki katı bir miktarla birinci sırada yer almıştır. Bu durum Çin Hükümeti'nin yeni bir enerji politikasına geçmesine neden olmuş ve 2017'de dünya genelinde yenilenebilir enerji yatırımlarının 126 milyar dolar ile %45'ini tek başına yapmıştır. 40 milyar dolar ile ABD ikinci, 13 milyar dolar ile Japonya üçüncü sırada yer almıştır. Listenin devamında ise sırasıyla Hindistan, Almanya, Avustralya, İngiltere, Brezilya, Meksika ve İsveç yer almaktadır (UN Enviroment, Frankfurt School, Bloomberg New Energy Finance, 2017).

Artan nüfus, tüketim alışkanlıkları, refah seviyesi ve sanayileşme; enerji tüketimini önemli oranlarda arttıracak bu da tüm ülkelerin gelecek yıllarda enerji alanında etkin politikalar üretmesine neden olacaktır. Yukarıda değinildiği gibi fosil kaynakların dengesiz dağılışı, siyasi ve ekonomik riskler oluşturması ve sera gazı salınımına neden olmaları yenilenebilir kaynakların gelecekte kullanım oranlarını arttıracaktır. Türkiye de enerji ihtiyacı artan bir ülke olarak sahip olduğu yenilenebilir kaynaklarını iyi değerlendirmesi refah artışı ile siyasal, sosyal ve ekonomik avantajlar sağlayacaktır.

Çalışma rüzgâr harici diğer yenilenebilir kaynakların dünya ve Türkiye değerlendirmesini yaptıktan sonra beşinci bölümde tamamen rüzgâr enerjisi üzerinde duracaktır.

3.5 Yenilenebilir Kaynaklar

Fosil yakıtların çevre problemlerine neden oluşu, rezerv ömürlerinin gün geçtikçe azalması ve bu kaynakların ülkeler arası ilişkilerde siyasi güç olarak kullanılması, gelişmiş veya gelişmekte olan tüm ülkelerin tercihen veya zoraki olarak farklı kaynaklara yönelmesine yol açmaktadır. Ayrıca doğalgaz ve petrol rezervlerinin dünyanın belirli bölgelerinde yoğunlaşmış olması, ülkeleri enerji planlarında farklı kaynaklara yönelmesinde etkin bir faktördür. Enerji kullanımı, geline ekonomik, sosyal ve sanayi seviyesi düşünüldüğünde vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyacın karşılanması ülkelerin sahip olduğu rezerv potansiyeli, maliyet ve verimlilik durumları düşünülerek çözüm yolları aranmaktadır. Fosil yakıtların kullanımıyla artan sera gazları, güneş ışınlarının atmosfer içerisinde daha fazla tutulmasına bu da dünyanın daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Sera etkisi olarak adlandırılan bu durum, devam eden fosil yakıt tüketimiyle tüm insanlığın gelecekte en büyük sorunu haline gelebilecektir. Sera gazlarının küresel ısınmadaki etki oranlarına bakıldığında ise %55 oranında karbondioksit (CO_2), %24 oranla kloroflorokarbonlar (CHF), %15 ile Metan(CH_4) , %6 oranında azot oksitlerin ($\text{N}_2 \text{O}$) etkili olduğu görülmektedir (Akova, 2008). Bu gazların özellikle fosil yakıt kullanımının bir sonucu olduğu bilinmektedir. Grafik 9'da 1950'lerden sonra hızla artışa geçen fosil yakıt kullanımı ile benzer artış eğiliminde olan dünya ortalama sıcaklık artış oranı verilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere fosil yakıt kullanımı ve ortalama sıcaklık birbirini etkilemekte ve paralel bir artış eğilimi göstermektedir. Gelecek öngörülerinde ortaya konduğu şekliyle fosil yakıt tüketiminin küresel ısınmayı daha sorunsal bir hale getirerek kaçınılmaz sorunlarla yüzleşmesine neden olacaktır. Bu durum ise tüm dünya canlılarının kaderini etkileyecek problemlere neden olabilecektir.

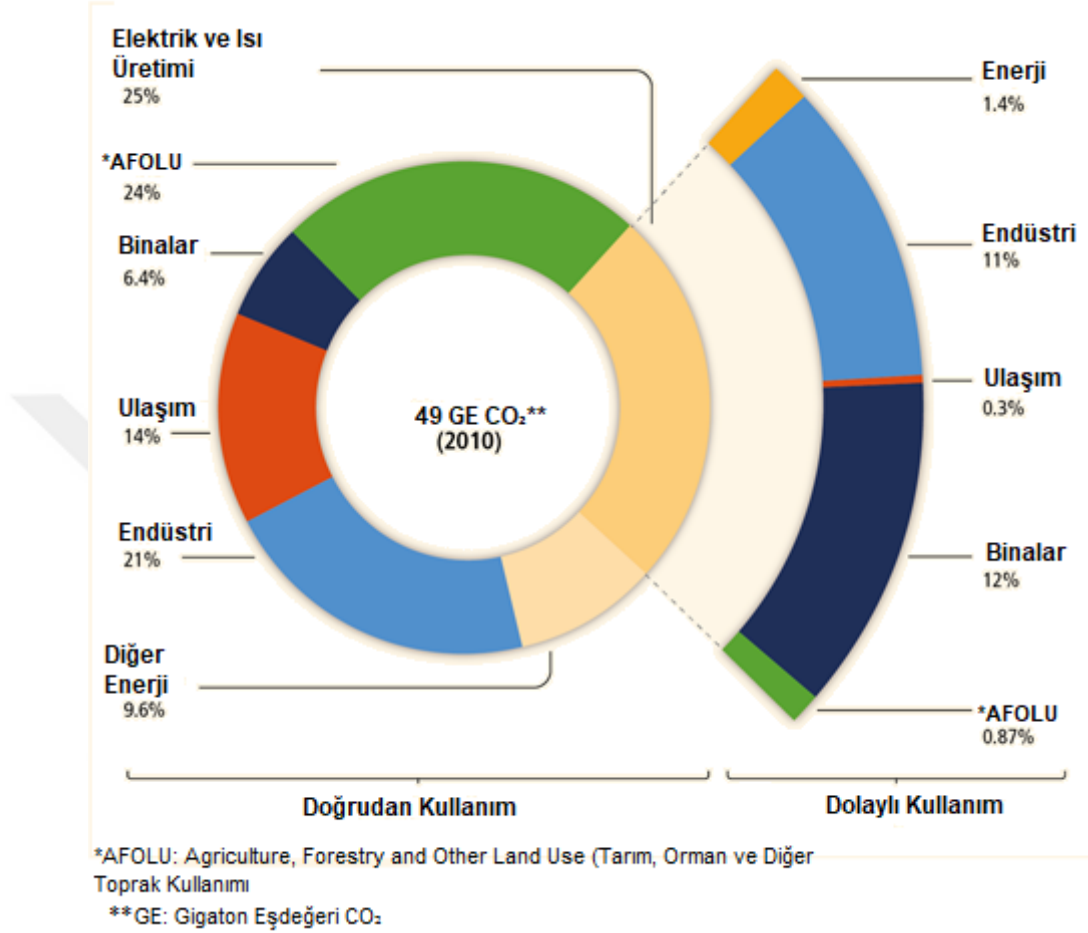
Grafik 7: Küresel Ortalama Sıcaklık ve Fosil Yakıt Kullanımı



Kaynak: benkoltd.com/ (Erişim Tarihi: 15.05.2019)

Farklı sektörlerin sera gazlarına ne oranlarda sebep olduğu grafik 10'da gösterilmektedir. Grafiğe göre atmosfere direkt olmayan şekliyle elektrik ve ısıtma amaçlı sera gazı emisyonu salınımı %25 iken, direkt olarak sanayi tarafından %21, ulaşım tarafından %14, diğer enerji türleri olarak verilen (elektrik üretimi için gereken diğer faaliyetler aracılığıyla salınan) %10 miktarında gaz içermektedir. %6,4 oranında binaların direkt sera gazı emisyonu varken, %24 oranında tarım, orman ve diğer arazi kullanımlarının (AFOLU) sera gazı emisyonları bulunmaktadır. Sonuç olarak elektrik üretimi ve sanayi faaliyetlerinde %46 oranı gibi önemli miktarda sera gazı emisyonu oluşurken %14 oranında da ulaşım faaliyetlerinden kaynaklandığı görülmektedir. BP'nin 2040 Enerji Görünümü Raporu'na göre 2020, 2030 ve 2040 yıllarında endüstri faaliyetlerinde kullanılan enerji miktarı bugünküne benzer şekilde dünya enerji tüketiminin yaklaşık yarısına karşılık gelecektir. Diğer taraftan ulaşım faaliyetlerinde de önemli oranda artış yaşanacağı hesaplanmaktadır. Bu durum elektrik üretimi, sanayi ve ulaşım faaliyetlerinin sebep olduğu sera gazı emisyonlarının azalmak yerine artış yaşayacağını işaret etmektedir. Fakat çevreci uygulamalar ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımında yaşanacak artış, sera gazı emisyonundaki artışa engel olabileceği düşünülebilir.

Grafik 8: Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonu

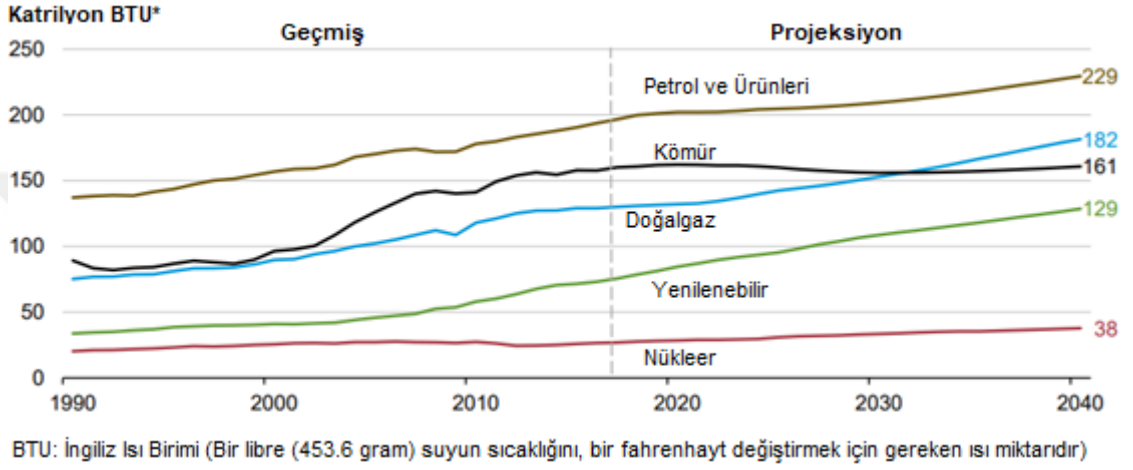


Kaynak: IPCC Working Group III, 2018

UEA'nın 2040 tahminlerine göre fosil ve yenilenebilir enerji tüketiminde yaşanacak artış grafik 11'de gösterilmektedir. Buna göre fosil kaynaklardan kömürde belirli bir düşüş yaşansa da doğalgaz ve petrolde artış sürecektir. Bu duruma doğalgazın daha temiz olması, petrolün ise birçok sanayi kolunda hammadde olarak kullanılıyor olması temel etkindir. Diğer tüketiminde artış yaşanacak olan kaynaklar ise yenilenebilir ve nükleer enerjidir. Fosil yakıt kullanımında yaşanacak artış sera gazı emisyon seviyesinin düşmeden devam etmesine sebep olacaktır. Bu durumun farkında olan ülke idareleri yaptıkları planlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla yatırım yaparak en hızlı yükselen kaynak olmasını sağlamışlardır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 tahminlerinde hala fosil yakıt kullanım miktarının altında yer alacağı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında

ise en fazla artışı sırasıyla biyokütle, rüzgar ve güneş gösterecektir. Bu kaynakların 2040 yılına kadar yaklaşık %72 oranında artış yaşayacağı görülmektedir ki bu tüm kaynaklar arasında en yüksek orandır. Doğalgazda ise %40 artışla fosil kaynaklar arasında en yüksek artışa sahip olacağı hesaplanmaktadır (UEA, 2018).

Grafik 9: Dünya'nın Geçmiş ve Gelecekte Enerji Kaynağı Kullanımı



Kaynak: UEA, 2018

3.5.1 Güneş Enerjisi

Yaşamın kaynağı olan güneş, dünya üzerindeki canlıların temel enerjisini sağlamaktadır. Güneş direkt olarak kendi enerjisinden yararlanmaya müsait olduğu gibi dolaylı yollarla dünyadaki tüm enerji kaynaklarının kullanılmasına da imkân vermektedir. Bitki ve hayvan kalıntılarının zamanla fosilleşmesi ile kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji türlerinin oluşması güneşin dolaylı etkisine örnek verileceği gibi yeryüzünün farklı ısınması ile oluşan rüzgârdan elde edilen enerjide buna bir örnektir. Günümüzde farklı kullanım yolları olan güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir tür olması sayesinde hızlı bir gelişim sürecine girmiş ve gelecekte gelişen teknolojiyle daha fazla insanların kullanımında yer alacağı tahmin edilmektedir.

MÖ 200'de Sokrates'in evlerin güneye bakan taraflarına daha fazla pencere koydurması, Arşimet'in iç bükey aynalar ile şehrine saldıran gemileri yaktığı yönündeki iddialar güneş enerjisinin insanlar için yeni bir enerji kaynağı olmadığını göstermektedir (Akova, 2008). Fakat güneş enerjisi günümüzdeki anlamını Sanayi

Devrimiyle ve sonrasında başlayan teknik ve bilimsel gelişmelerle kazanmıştır. 17. yy. de iç bükey aynalar ile yığınların tutuşturulması ile güneşin kullanım alanını genişleteceğini göstermesi önemli bir girişim olmuştur. 18. yy. de ise ilk güneş pişiricisinin icat edilmesi ve çelik endüstrisinde demiri ergitebilmesi için icat edilen güneş fırını, güneş enerjisine yeni ufuklar kazandırması açısından önemlidir. 19. yy. de ise Şili’de güneşli su damıtması tesisinin, Paris’te güneş enerjisi sayesinde buharlı matbaanın kurulması güneş enerjisinin gelişiminde önemli adımlar olmuştur (Akova, 2008). 20. yy. ise petrole karşı artan ilgi diğer enerji türlerinde de olduğu gibi güneş enerjisinin gelişimini de yavaşlatmıştır. 20. yy. nin ikinci yarısında ise ABD ve Japonya gibi ülkelerde önemli miktarlarda su ısıtıcısı kullanıma girmiştir. Yine bu dönemde farklı ülkelerde çeşitli güneş enerjisi teknolojileri kullanılsa da dönemin enerji kaynağı petrolün egemenliği gölgesinde kalmıştır (ABD, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi, 2019).

Güneşin çekirdeğindeki hidrojen gazının helyuma dönüşü olan füzyon sürecinin sonucunda ortaya çıkan dalgalı ışıma güneş enerjisi denir. Dalgalar halinde gelen bu enerjiden bazı hesaplamalara göre dünya sadece iki milyarda birini alabilmektedir. Diğer bir hesap ise; dünyanın bir yılda aldığı güneş enerjisinin %1’ini, %10 verimle kullanılabilse, dünya toplam enerji tüketiminin dört katı enerji üretilebilecektir (WEC, 2008). Fakat gelen ışınların sadece %51’i atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşır. Ulaşan bu enerji sayesinde birçok doğa olayı örneğin rüzgâr, dalga oluşur, bitkiler fotosentez yapar ve yağışlar meydana gelir. Güneş enerjisinin şiddeti bakı, rüzgâr, orman ve bitki örtüsü gibi faktörlerden dolayı değişikliğe uğrayabilmektedir. Dolaylı veya direkt olarak güneş enerjisi dünyadaki canlı varlığının temelidir. Günümüzde ise güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için önemli araştırma ve yatırımlar yapılmaktadır. Gelecekte bu sonsuz ve temiz kaynaktan daha fazla yararlanılacağı düşünülmektedir. Bugün 227 GWh olan güneş enerjisi kapasitesinin 2040 yılında yaklaşık 20 katı artacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, güneş enerjisinin birçok avantajından kaynaklı olduğu gibi, dünya enerji ihtiyacının artışının bir sonucudur.

Güneş enerjisinden çok farklı yararlanma yolları vardır. Bunlardan biri ülkemizde de yaygın olan güneş kolektörleriyle sıcak su elde edilmesi ve bu sayede sera ve konutların ısıtılmasıdır. Seralarda cam veya plastik örtüler sayesinde güneş ışınlarının sera içinde kalarak ısıtması yöntemi de kullanılır. Diğer bir yöntem ise tuz tarlalarından tuz elde edilmesi yoludur. Bir başka yararlanma yöntemi ise seramik, kâğıt, deri, gıda, kimya sanayinde kurutma yöntemi olarak kullanılmasıdır. Bu tür kullanıma pasif güneş sistemleri de denir. Güneş ocakları ile kamplarda yemek pişirme de güneş enerjisi kullanıma yöntemleri arasındadır. Soğutma amacıyla da güneşten yararlanılsa da teknolojinin karmaşıklığı ve maliyeti nedeniyle çok yaygın değildir. Sulama ve içme suyu temin etmede de güneş enerjisinden yararlanabilmektedir. Bir diğer güneş enerjisi kullanımı ise termodinamik hareket sayesinde mekanik güç üretimidir (Akova, 2008).

Güneş enerjisinde en fazla yararlanılan ve üzerinde en fazla çalışılan bir diğer yöntem ise ekonomi ve sosyal hayatın en çok ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi üretimidir. Bu tür kullanıma aktif güneş enerji sistemleri de denir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi temelde iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bunlardan biri fotovoltaiik (güneş pili - hücresi) sayesinde güneş ışınlarını direkt elektrik enerjisine dönüştüren yöntemdir. Adını güneş ışınlarını oluşturan fotondan ve elektrik birimi olan voltajdan alan bu sistemden, güneş gözesi mekanizması ile elektrik elde edilir. 1954 yılında fotovoltaiik teknolojisi ABD’de doğmuştur (solargain.com,2019). Sonraki yıllar fotovoltaiik teknolojinin üzerine çalışmalar sürmüş ve ticari yatırımlar yapılmıştır. Diğer yöntem ise yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) yöntemiyle elektrik üretimidir. Bu yöntemde farklı tekniklerle güneş ışınları belirli bir merkeze veya alıcı tüplere yönlendirilerek merkezdeki veya tüplerdeki sıvının ısınması sağlanır. Termodinamik kurallar gereği sıvıdan elde edilen buharın hareket gücünden kinetik enerji, sonra jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi üretimi sağlanır. CSP yönteminin avantajı sıvıya tuz eklemesi yapılarak, sıvının ısı enerjisini biriktirmesi sağlanır. Korunan bu enerji sayesinde güneş olmadığında dahi enerji üretimi yapılabilir. Yani elektrik üretimi güneş battıktan sonra dahi gerçekleşebilir (IRENA, Solar, 2019; YEGM, 2019). Bu temel yöntemlerin haricinde farklı yöntemlerde bulunmaktadır. Örneğin güneş bacası

teknikinde, ısınan havayı bacaya kanallıze edilerek trbınler vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanılması düşünülmüştür. şuan için uygulama imkânı olmayan fakat proje halinde de bazı çalışmalar bulunmaktadır. Proje aşamasında olan ve Çin'in gündeme getirdiği uydu sistemi yöntemiyle 24 saat gündüz ışığı sağlayacak yapay ay adlı çalışma geceleri de güneş ışınlarından yararlanılmasını amaçlanmaktadır. Bu çalışmayla 2022 yılında yeryüzünün 500 km yukarısına yerleştirilecek aynalarla kaplı bir uydu ile istenen bölgeler 24 saat gündüz yaşayabilecektir. Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar gelecekte ne tür düşüncelerin uygulamaya dönüşeceğini gösterecektir (webtekno.com, 2018)

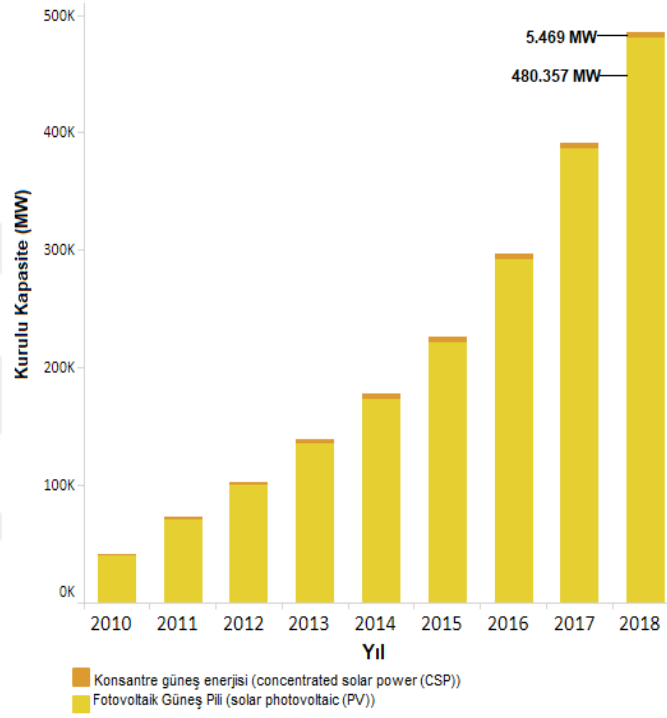
Dünya güneş enerjisi çalışmaları ise 1970'lerde yaşanan petrol krizleri ve enerji güvenliği politikaları sonucu gündeme gelerek hızlanmıştır. 1970 ve 1980'li yıllarda fotovoltaiik sistem ile konut ve bazı alanların elektrikleendirilmesinde güneş enerjisinden yararlanılmış, sürdürülen çalışmalar ile güneş enerjisi maliyeti düşürülmüştür. Güneş enerjisi üzerine özellikle Çin, ABD ve AB'de önemli çalışmalar yapıldığı görülmektedir (US, Energy Department, Solar; REN21, 2018).

Güneş enerjisi kurulum aşaması (inşa süreci ve aletlerin üretimi) hariç sera gazı emisyonu olmayan temiz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca düşen maliyetler ve tehlikeli boyutlara ulaşan sera gazı miktarı, diğer yenilenebilir enerji kaynaklara olduğu gibi ülkeleri güneş enerjisine yönlendirmiştir. Güneş enerjisi dünyanın günlük, yıllık hareketi ve eksen eğikliği nedeniyle yeryüzünün tamamına aynı enerji miktarıyla ulaşmaz. Ekvatorun 40° Kuzey ile 40° Güney paralelleri arasındaki bölge güneş enerjisinden ticari olarak en fazla yararlanan alandır. Bu alana güneş etki kuşağı da denir. Güneşin dalgalar halinde dünyaya ulaşan ışınlarının enerji miktarı dünyanın tüketim miktarının çok üzerindedir fakat Grafik 12'de gösterilen 2018 yılı IRENA verilerine göre, dünya toplam güneş enerjisi kurulu kapasitesi 5.469 GW CSP ve 480.357 GW fotovoltaiik olmak üzere toplam 485.826 MW'a ulaşmıştır.

lkeler bazında değerlendirildiğinde ise 189 GW ile Çin birinci sırada, 45 GW ile Japonya ikinci, 51 GW ile ABD nc ve 47 GW ile Almanya dördüncü sırada yer almaktadır. Bölgeler bakımından değerlendirildiğinde ise Avrupa 98,8 GW

ile birinci, Asya 92,3 GW ile ikinci, Doğu Asya (Çin, Japonya, Güney Kore, Moğolistan) 79,5 GW ile üçüncü sırada ve 29,8 GW ile Kuzey Amerika dördüncü sıradadır. Diğer bölgelerin ise 10 GW altında güneş enerjisi kapasitesine sahip olduğu görülmektedir (IRENA, Solar; 2018; WEC, Solar, 2018).

Grafik 10: Dünya Güneş Enerjisi Toplam Kurulu Kapasitesi

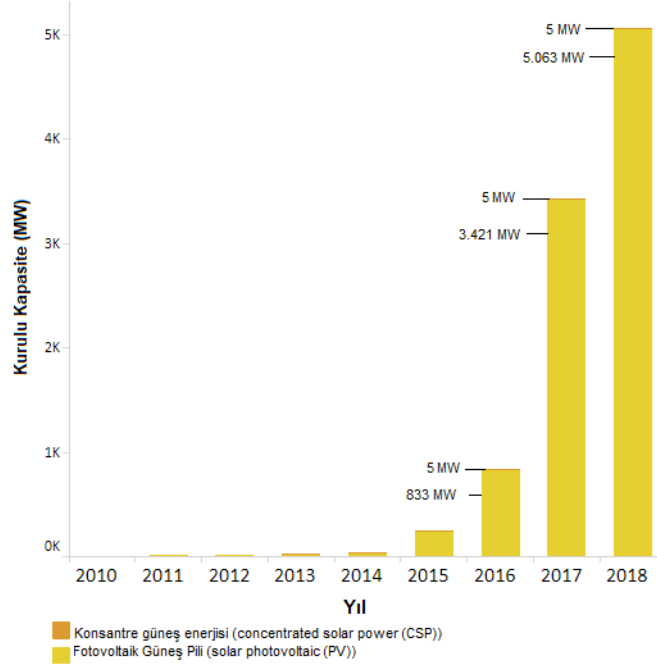


Kaynak: IRENA, 2018

Grafik 12’de görüldüğü gibi güneş enerjisi gelişimi son yıllarda yüksek bir artış göstermiş ve yaklaşık %98 oranında güneş pili sistemi olarak kurulmuştur. Fotovoltaik sistemin bu kadar yaygın olmasında kurulum ve altyapı olarak daha basit ve ucuz olması en önde gelen nedenlerdir. Ayrıca termodinamik sistemin kullanılmayışı kurulum maliyetini ve bakım giderlerini azaltırken, sıvı gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. 2017 yılında dünya elektrik enerjisi tüketiminin fotovoltaik sistemler ile %1,9’u karşılanırken; jeotermal, okyanus ve CSP yöntemleriyle üretilen toplam güç ile dünya elektrik tüketiminin %0,4’ü karşılanmıştır (REN21, 2017). Son on yılda artarak devam eden güneş enerjisi başta Çin, Almanya, Japonya, ABD olmak üzere Kuzey Afrika, Ortadoğu ve Asya’da yaygınlaşacağı düşünülmektedir (WEC, 2017).

Orta kuşakta bulunan Türkiye ise 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), 1.527 khw/m² (günlük ortalama 4,18 kWh/m² gün) güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (ETKB, 2019). Diğer bir hesaplama göre ise Türkiye yüz ölçümü yıllık 500 GW güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Solarist, 2018). Türkiye'nin 2017 yılı elektrik enerjisi kurulu gücünün 5.435 MW olduğu düşünüldüğünde güneş enerjisi potansiyeli daha net anlaşılmaktadır. Bulunduğu konum itibarıyla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip Türkiye, 2000 saatin üzerinde ortalama güneşlenme süresiyle verimli sınıfına giren bir ülkedir. Fakat güneş enerjisinden enerji anlamında yararlanmaya ne yazık ki yakın bir tarihte başlamıştır. Güneş enerjisi üzerine çalışmalar dünyadaki çalışmalara paralel olarak 1960'lar sonrası başlamış ve 1980'lerde ivme kazanmıştır. Fakat güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar ve araştırmalar bazı üniversite ve kurumlarla sınırlı kalmış, son yıllara kadar önemli bir adım atılmamıştır. 2005 ve 2007'de sera gazı emisyonu, enerji arz çeşitliliği, siyasi ve ekonomik riskleri azaltmak için çıkarılan kanunlar ile kullanılan güneş enerjisinin miktarı artmaya başlamıştır. Türkiye'nin ilk lisanslı güneş enerjisi santrali 2012 yılında Şanlıurfa'da Birecik Barajı yakınında 3.500 m² alana kurulan 200 KW gücündeki santraldir. 2010 ve 2018 yılı arasındaki gelişim grafik 13'te gösterilmektedir. 2014 yılında 40 MW civarındaki güneş enerji kapasite miktarı 2018 sonu itibarıyla 5.063 MW gibi logaritmik bir artış göstermiştir. Bu rekor artış lisansız şekilde üretimin önünün açılması, YEKDEM kapsamında destek verilmesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca güneş PV maliyetlerindeki hızlı düşüş ve enerji ihtiyacı bunu tetikleyen diğer etmenlerdir. Bu artış ile 2017 yılında Türkiye GES yatırımlarında Avrupa birincisi olmuştur (UEA, 2018). Ayrıca artan yatırım ve enerji portföyünün çeşitlendirilmesi hedefi nedeniyle birçok sektör tedarikçisi çalışma hayatına katılmıştır. Bugün Türkiye'de Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Bölümü (GÜNDER) verilerine göre 10 panel üreticisi çalışmaktadır ve bunların yarısı son beş yıl içinde faaliyetine başlamıştır.

Grafik 11: Yıllar İtibariyle Türkiye Güneş Enerjisi Kurulu Gücü



Kaynak: IRENA, Güneş, 2018

Türkiye’de 2018 yılında güneş kolektör alanı 20.2000.000 m²’ye ve ısı enerjisi 876.720 TEP (ton eşdeğeri petrol)’e ulaşmıştır. Lisansız 4.981,2 MW, lisanslı 81,8 MW olmak üzere toplam 5.063 MW kurulu güçte 5.868 adet güneş enerji santrali vardır ve ülkenin yıllık üretimin %2,5’ini karşılamaktadır. Ayrıca Mersin’de yabancı ve yerli kurumlarca kule tipi ilk ve tek CSP santrali 2013 yılında kurulmuş ve gücü 5 MW kapasitesindedir (enerjiportali.com/, 2018). GÜNDER’in Güneşin Yol Haritası Raporu’nda güneş enerjisinde yaşanan hızlı artıştan dolayı 2023 yılında 14 GW’lık bir güce ulaşılması beklenildiği ortaya konmuştur. 2030 yılı için ise 38 GW’lık bir güce ulaşılacağı belirtilmektedir. Artan tüketim, gelişen sanayi ve düşen maliyetler düşünüldüğünde güneş enerjisi Türkiye’nin gündeminde yer edinebilecek potansiyeli yüksek bir kaynak türüdür (GÜNDER, 2018).

3.5.2 Jeotermal

Enerji geçmişten günümüze önemi giderek artan ihtiyaçlardan birisidir. Sanayi, ekonomi ve sosyal hayat içinde vazgeçilmez bir girdi olması kendisine ulaşımı zaruri kılmıştır. Yükselen refah, artan sanayi faaliyetleri ile enerjiye olan talep giderek yükselmektedir. Artan enerji ihtiyacı toplumların farklı alternatiflere yönelmesine neden olmaktadır. Fakat kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanıldıklarında ortaya çıkan sera gazlarının etkisinin, günümüzde önemli tartışmalara yol açması enerji arayışının rotasını temiz ve yenilenebilir enerji türlerine çevrilmesine neden olmuştur. Kaynağını yeraltındaki magmadan alan ve istisnai durumlar haricinde yenilenebilme imkânına sahip jeotermal enerji, günümüzde giderek daha yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Jeotermal enerjinin, fosil yakıtlara göre daha az çevresel etkiye sahip olması ve güneş ve rüzgâr gibi kesintili olmaması en önemli avantajları arasındadır.

Jeotermal kaynak; kısaca yer ısısı olup magmanın yeryüzünden sızan veya juvenil suları ısıtıp, minerallerce zenginleştikten sonra sıcaklık farkıyla tekrar yeryüzüne döndürmesi sistemiyle meydana gelir (Karakuş, Çetin, 2003). Yerkabuğundaki bu ısı hala soğumamış volkanik kütlelerle ilgilidir. Jeotermal enerji yeryüzündeki suların kırıklar vasıtasıyla yerkabuğu içine sokularak ya da yerin derinliklerinde bulunan juvenil kökenli suların, magmadan yeryüzüne doğru sokulmuş hala soğumamış genç volkanik kütleler vasıtasıyla mineral, gaz ve sıcaklık kazanarak basınç farkıyla tekrar yeryüzüne dönmesiyle meydana gelir. Bu tür kaynak sular geçirimli tabaklar arasından yeryüzüne ulaşacağı gibi geçirimsiz tabakalar arasında da birikebilir. Biriken bu suların sondajlar aracılığıyla çıkarılması mümkündür.

İçinde akışkanın olmadığı kuru sıcak kayalardan da enerji üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Jeotermal kaynaktan farklı şekillerde yararlanmak mümkündür. Lindal diagramı 20°C ve üzerindeki kaynakların sıcaklık derecesine göre hangi şekillerde yararlanılacağını kategorize etmiştir. Jeotermal kaynaklardan yararlanmak doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki çeşittir. Doğrudan kullanıma; konut veya seraları ısıtma, sanayide proses ısı olarak kullanma, turizm amacıyla kaplıca ve

termallerde kullanılması, yolların ısıtılması şeklinde kullanım türleri örnek verilebilir. Dolaylı kullanım ise jeotermal kaynağın su veya su buharından çeşitli yöntemlerle elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Özellikle son dönem artan enerji ihtiyacı nedeniyle bu kullanım türü yaygınlaşmakta ve akışkanın bulunmadığı yerlerde sıcak kuru kayalardan yararlanmanın yolları aranmaktadır. Yeryüzüne kendiliğinden çıkma imkânı olan jeotermal kaynaklar erişilebilir kolaylığı nedeniyle eski çağlardan beridir insanlığın kullanımındadır. Özellikle jeotermal kaynaklarca zengin Ege Bölgesi üzerinde hâkimiyet kuran eski medeniyetlerin hamam veya kaplıca şeklinde yapılar inşa etmesi tarihsel olarak insanlığın jeotermal enerjiden yararlanmasına bir örnektir. Bu tür örnekler jeolojik yapıyla ilgili olarak Japonya, Fransa, İtalya gibi ülkelerde de görülmektedir. Ayrıca jeotermal kaynaklardan çeşitli kimyasal maddelerin üretilmesi de sağlanmıştır. Kuru buz olarak isimlendirilen karbondioksit bileşiğinin üretimi dünyada aralarında, Türkiye'nin de olduğu sınırlı sayıda ülkede yapılmaktadır. 20. yy de jeotermal ısıtma sistemleri yaygınlaşmış ve geliştirilmiştir. ABD, Fransa, İtalya, Türkiye gibi ülkelerin bu dönemde jeotermal ısıtma sistemleri üzerinde çalışmalar yaptığı görülmektedir (ultraenerji.com, Tarihçe, 2018).

Günümüz modern hayatında elektrik enerjisi vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Elektrik üretimi için kullanımda olan fosil yakıtların yanında, çeşitli avantajları sayesinde yenilenebilir enerji türleri de son yıllarda artan oranlarda tercih edilmeye başlanmıştır. Bu kaynaklardan birisi de magmanın sonsuz ısı enerjisinin bir sonucu olan jeotermal enerjidir. Jeotermal kaynaklardan elektrik üretimine yönelik ilk çalışma 1904'te İtalya'nın Lardello sahasında gerçekleştirilmiştir (Akova, 2008). Sonraki tarihlerde ise jeotermal kaynaklardan elektrik üretimine yönelik çalışmalar devam etmiş fakat tercihlerde fosil yakıtlar hâkim olmuştur. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında da olduğu gibi jeotermal enerjinin de gelişimi, yaşanan diplomatik ve ekonomik olayların paralelinde gerçekleşmiştir. Jeotermal enerjinin endüstriyel anlamda gelişimi 20. yy. nin ikinci yarısında başladığı görülmektedir. Türkiye'de ilk jeotermal enerji santrali 1984' de kurulurken; Japonya'da 1966'da, Çin'de 1970'de, Endonezya'da 1979'unda gerçekleşmiştir.

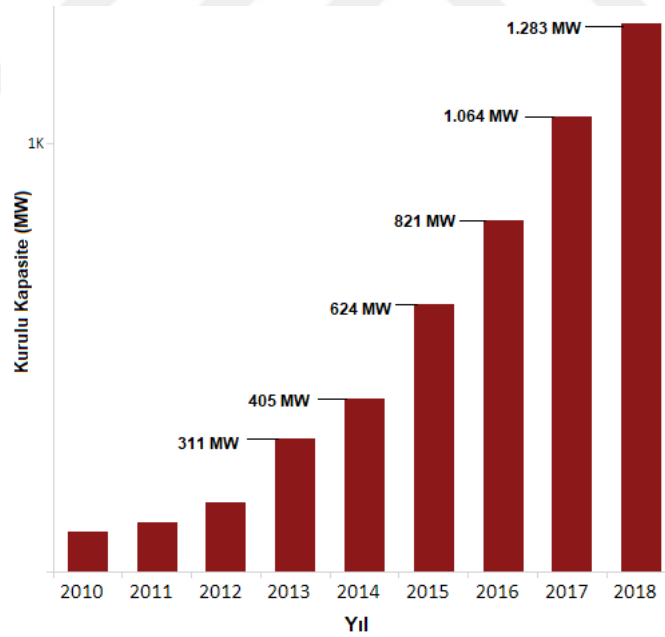
Jeotermal kaynaklar yeryüzünde jeolojik özelliklere bağlı olarak belirli kuşaklar boyunca yayılım göstermektedir. Kıta ve okyanusal levhaların sınırlarında veya daha küçük levhaların hareket sahalarının jeotermal kaynaklarca zengin olduğu görülmektedir. Kırıklı, kıvrımlı veya volkanik olarak aktif olarak nitelendirilen bu alanlar jeotermal kaynakların oluşumunu sağlayacak jeolojik özelliklere sahiptir. Alp – Himalaya orojenez kıvrım kuşağı üzerinde olan Türkiye, 1000 adet jeotermal kaynak alanıyla jeotermal zengini ülke konumundadır. Özellikle aktif fay sayısının fazla olduğu Ege Bölgesi, Türkiye’deki jeotermal kaynakların %78’ine sahiptir. İç Anadolu Bölgesi ise %9 ile ikinci sırada yer alırken, üçüncü sırada %7 oranıyla Marmara Bölgesi gelmektedir (ETKB, Jeotermal). Dünya’daki jeotermal kaynakların miktarı veya gücü bakımından net bir oran verilemese de, yayılım alanları gösterilebilmektedir. Özellikle Büyük Okyanus etrafında ‘ateş çemberi’ çevresi, Alp-Himalaya kıvrım kuşağı, Afrika rift sistemi, Orta Amerika volkan kuşağı ve And volkan kuşağı jeotermal kaynaklar açısından zengin alanlardır (Akova, 2008).

Dünya genelinde 2017 yılında jeotermal enerjiden 12,913 MW elektrik üretimi yapılırken, elektrik dışı yani doğrudan kullanım 70,329 MWt olarak gerçekleşmiştir. Fakat doğrudan kullanımın tam olarak hesaplanamayacağı da bazı raporlarda yer almaktadır (REN21, 2016). Dünyada elektrik üretiminde jeotermalden yararlanan ilk 5 ülke sırasıyla; ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir. Doğrudan kullanımda ilk 5 ülke ise sırasıyla; ABD, Çin, İsveç, Belarus ve Norveç’tir (IRENA, ETKB, REN21, 2016).

Türkiye Jeotermal Derneği (TJD) verilerine göre Türkiye’nin jeotermal teorik değeri 31.5000 MW’tır. Teorik elektrik üretimi ise 36 milyar Kwh/yıl olarak hesaplanmıştır (TJD, 2018). 2017 yılında jeotermal enerjiden 6,1 milyar Kwh/yıl elektrik üretimi gerçekleştirilmişken kurulu güç ise 2017 yılı için 1.064 MW olarak kaydedilmiştir. 2018 Haziran ayı itibarıyla bu kapasite 1.144 MW’e yükselmiştir. Jeotermal kaynaklarımızın %90’ı düşük ve orta sıcaklıkta (20-70°C; 70- 150°C) olduğundan doğrudan kullanımlara uygunken sadece %10’luk kısmı yüksek sıcaklıkta olup (+180°C) elektrik üretimine uygundur(MTA, TJD, 2018; Akova, 2008). Fakat günümüzde gelişen teknolojiyle buharlaşma noktası düşük gazlar

(Freon, İzobütan vb.) kullanılarak elektrik üretimi yapılsa da yaygın bir kullanım türü değildir. Türkiye’de ilk jeotermal santralinin açıldığı 1984’ten sonraki dönemlerde, jeotermal enerji hızlı bir gelişim gösteremese de son dönemde önemli yatırımlarla dikkat çekmektedir. Grafik 14’te Türkiye’nin 2010 – 2018 yılları arasında jeotermal enerji kurulu gücünün değişimi gösterilmektedir. Grafiğe göre sekiz yıllık süreçte jeotermal enerji gücü yaklaşık 13 kat artmıştır. Bu yüksek artışın nedenleri arasında fosil yakıtların çevresel etkisi, fiyat istikrarsızlığına sahip olmaları, enerji arz güvenliği açısından risk taşımaları ve cari açık noktasında olumsuz etkileri bulunurken; jeotermal enerjinin kurulum ve işletim maliyetlerinin düşüklüğü, süreklilik arz gibi avantajları gelmektedir. Bu sebeplere dayanarak yapılan yasal değişiklikler ve verilen teşvikler neticesinde yerli bir kaynak olan jeotermale yatırımların arttığı görülmektedir.

Grafik 12: Türkiye Jeotermal Enerji Kurulu Güç Değişimi



Kaynak: IRENA, Jeotermal, 2018

2017 yılı itibariyle 39 adet jeotermal enerji santrali bulunan Türkiye, toplam elektrik enerjisi üretiminin %2'sini bu santrallerden karşılamıştır. Santrallerin tamamı Ege Bölgesi'nde bulunurken, 23 tanesi yani yaklaşık %60'ı jeolojik yapı nedeniyle Aydın ilinde yer almaktadır. Türkiye'nin jeolojik yapısı ve gelişen

jeotermal kaynak teknolojisi düşünüldüğünde bu kaynağın ülkenin ihtiyacı açısından önemli bir potansiyel taşıdığı görülmektedir. MTA ve diğer ilgili kurumların bu alana yönelik çalışmaları hiçbir zaman boşuna olmayacaktır.

3.5.3 Biyokütle

Artan nüfus ve sanayi faaliyetleri ile değişen tüketim alışkanlıkları toplumların enerji ihtiyaçlarının artmasına neden olurken, enerjiye erişimde zorunlu hale getirmiştir. Sanayi Devrimi sonrasında yükselen enerji ihtiyacına öncelikle kömür cevap vermiş, sonrasında petrol çeşitli avantajlarıyla devreye girmiştir. 20. yy. nin ikinci yarısında ise enerji ihtiyacı artışına devam ederken yaşanan siyasi olaylar petrolün tek kaynak olmasının enerji arz riski doğurduğunu ortaya koymuş ve toplumların diğer enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur. Bu durum nükleer ve doğalgazı, enerji ihtiyacına cevap veren önemli kaynaklar olarak ortaya çıkarmıştır. Fakat son dönem etkisini arttıran küresel ısınma ve diğer çevre sorunları fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının da ülkelerin enerji arzında yer edinmesine neden olmuştur. Özellikle sera etkisi az, istihdam oranı yüksek ve yerli hammaddeyle üretim olanağı sunan yenilenebilir enerji kaynakları, dünyanın önemli miktarda ihtiyaçlarına cevap verebilecek potansiyele sahiptir. Bitki ve hayvan kalıntılarının içerdiği kimyasalların çeşitli teknik yollarla katı, sıvı ve gaz türü enerji maddelerine çevrilmesi olan biyokütle ise günümüzün en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Çeşitli atık ve organik canlı kalıntılardan oluşan biyokütle, enerji ihtiyacı artan günümüz dünyasının gelecekte en fazla yararlanacağı kaynaklardandır.

Biyokütle, belirli bir tür veya tür topluluğunun bilinen bir zaman aralığında sahip olduğu toplam kütle miktarı olarak tanımlanabilir. Temel olarak odun ve orman artıklarından oluşan biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin fotosentez olayı sonucu ortaya çıkan enerjinin bitkisel organizmalarda depolanmış halidir (ETKB, 2019). Biyokütle enerjisi biyokütle olarak ifade edilen kaynaklardan elde edilir. İlk insanların beslenme, korunma ve ısınma gibi ihtiyaçlarını karşılayan odun ve orman kalıntıları bugün gelişen teknolojiyle önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisini ortaya çıkarmıştır.

Biyokütle enerjisi modern ve klasik anlamda iki grupta ele alınabilir. Klasik anlamda biyokütle enerjisi; konvansiyonel ormanlardan elde edilen yakacak odunların veya yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan kalıntılarından (tezek) oluşur. Modern anlamda biyokütle enerjisi; enerji ormancılığı ve orman-ağaç endüstri atıkları, tarım faaliyetlerindeki atıklar, şehirseller atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanabilir. Dünyada var olan biyokütle kapasitesinin %90'ı orman alanlarında ve bu miktarın 50×10^{19} ton kapasitesinde olduğu belirtilmektedir (Karayılmazlar, Saraçoğlu, Çabuk, Kurt, 2011). Atıkların haricinde karbondioksit bağlama oranı yüksek C4 sınıfı bitkilerin (şeker kamışı, mısır, vb.) üretimi yapılarak son dönemde enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tür tarımsal faaliyetler ve atıklar sayesinde katı (gübre, pelet vb.), sıvı (biyodizel vb.) ve gaz (biyogaz, etanol vb.) üretimi gerçekleştirilir. Üretilen bu ürünler sayesinde ısı ve elektrik enerjisi üretimi gerçekleşirken, çevresel ve ekonomik faydalar sağlanır. Biyokütle varlığının dünyada yayılışına bakıldığında ılıman ve yağışlı bölgelerin en fazla bitki ve hayvan varlığına sahip olması neticesinde bu alanların biyokütle bakımından zengin olduğu görülmektedir. Biyokütle kullanım potansiyellerine göre ülkelerde sınıflandırılabilir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler ısınma, yemek pişirme, yalıtım gibi ihtiyaçları neticesinde yüksek oranda biyokütle tüketmektedir. Gelişmiş ülkeler ise, kurulan biyokütle santralleri vasıtasıyla çeşitli katı ve gaz maddelerin aracılığıyla ısı ve elektrik enerjisi üretmektedir. Tablo 8'de biyokütle türlerinin çevrim yöntemleri sonucunda elde edilen yakıtlar ve bunların uygulama alanı verilmiştir. Tabloya göre sekiz farklı biyokütle kaynağını yine sekiz değişik sistem yardımıyla çok farklı sektörlerin bu kaynakları kullanabilmesi sağlanmaktadır. Özellikle ulaştırma, ısınma, uçak, yakıt türleri ihtiyaçları günümüzde en vazgeçilmez enerji talep birimleridir. Bu talebe karşılık verecek kaynakların bulunması ithalatı azaltırken, çevreselde fayda sağlayacaktır. Enerji ormancılığı olarak yapılan uygulama ile özellikle iyi sürgün veren ve yıllık hektar başına maliyetin üzerinde ağaç türleri yetiştiriciliği yapılarak odun ve odunsu yapıların elde edilmesi amaçlanır. Genellikle gelişmiş ülkelerde yapılan bu uygulama da kavak, söğüt, akasya, okaliptüs veya bazı yerlerde çınar ve kızılğaçta yetiştirilmektedir. Bu uygulama ile motorin ve pelet üretimi gerçekleştirilmektedir. ABD, AB ülkeleri özellikle bu alanda dünyada

liderdir. Genel olarak atıklardan ise Türkiye’deki uygulamalarda da olduğu gibi karbondioksit göre daha az yanıcı olan metan gazı üretilmekte de bu da evlerde ısınma ve araçlarda yakıt için kullanılabilir. Metan gazını kullanmak için motor ve ısıtma sistemlerinde pahalı değişikliklere gerek duyulmamaktadır. Bitkisel ve hayvansal yağlar ise çeşitli kimyasal süreçlerden geçirildikten sonra motorin yerine veya özellikle motorine katılmak üzere kullanılmaktadır. Bu uygulamada elde edilen biyoenerji normal yakıtlardan daha az sera etkisi yaptığından, AB ülkelerinde normal yakıtlara karıştırılma zorunluluğu getirilmiştir. Türkiye’de de benzer uygulama %2 oranında olmak kaydıyla kanuni zorunluluğu bulunmaktadır (Tilki, Çiçek, 2003; Demirtaş, Gün, 2007).

Tablo 7: Biyokütle Kaynakları, Kullanılan Çevrim Teknikleri, Elde Edilen Yakıtlar ve Uygulama Alanları

Biyokütle	Çevrim Yön.	Yakıtlar	Uygulama alanları
• Orman artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
• Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
• Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
• Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
• Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
• Algler	Hidroliz		Sentetik yağ Roketler
• Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
• Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

Kaynak: YEGM, Biyokütle, 2018

Biyokütle kullanımı insanlık tarihi kadar eski olmakla birlikte bugünkü önemini son dönem artan enerji ihtiyacı ile kazanmıştır. Saman, hayvan atıkları, orman atıkları, çöp ve enerji üretimi sağlanan bitkiler dünya enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluştururken bunlar genellikle gelişmekte olan ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Biyokütlenin sıvı, gaz ve katı halde farklı formlara çevrilerek kullanılması hem kullanım alanını genişletmiş hem mali avantaj kazandırmıştır. Özellikle doğalgazın siyasi krizler nedeniyle enerji riski taşıması ve biyogaz ile telafi edilebilir olması bu konuda çalışmaların artmasını sağlamıştır. Bugün büyük

şehirlerin günde binlerce ton atık oluşturduğu düşünüldüğünde (İstanbul için sadece evsel atık 19,5 bin ton (İstaç,2019), Bursa için sadece evsel atıklar 2,9 bin ton (BBB,2019)) kurulacak biyogaz tesisleri enerji yerliliği ve ekonomik kazanç sağlayacaktır. Organik çöplerden biyogaz üretimi yapılmakla birlikte en fazla hayvan gübresinden elde edilmektedir. Kırsal alanda kurulacak biyogaz tesisleri hem enerji erişimi zor olan yerlerin enerji ihtiyacını karşılarken hem de kırsalda istihdam olanaklarını arttıracaktır. Bu alanda Kuzey Avrupa ülkeleri yüksek verimli tesisler kurmuş ve işletmektedir. Türkiye'nin iklim şartlarının daha uygun olduğu düşünüldüğünde bu alanda önemli planlamalar, teşvik ve destekler ile ülkenin doğalgaz bağımlılığı azaltılabilir.

Dünya biyokütle üretimine bakıldığında, sunduğu avantajlar neticesinde önemli artışların yaşandığı görülmektedir. 2007'de 50.546 MW olan biyoyakıt, biyogaz ve katı biyokütle dünya kurulu gücü 2017'de 108.958 MW'a ulaşmıştır. Bu miktarın 2.320 MW biyoyakıt, 17.003 MW biyogaz ve 89.635 MW biyomass enerjiden oluşmaktadır.

Kurulu gücün ülkelere göre dağılımı ise; 14.583 MW Brezilya'ya aitken, 13.073 MW ABD'ye, 11.239 MW Çin'e, 9.512 MW ise Hindistan tarafından gerçekleştirilmiştir (IRENA, 2019). Toplam üretilen biyokütlenin ise %87'si biyomass olarak gerçekleşirken biyogaz, biyoyakıt ve diğerleri sadece %13 oranında bir pay almıştır.

Türkiye'nin biyokütle potansiyeli 8,6 milyon ton eşdeğeri petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz potansiyeli ise 1,5 – 2 MTEP olarak tahmin edilmektedir (ETKB, 2018). Toplam kurulu gücü 467,3 MW olan 82 adet biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santrali bulunan Türkiye, 2017 yılında 2.277 GWh elektrik üretimini bu santrallerden gerçekleştirmiştir. Üretilen bu miktarın toplam üretimdeki oranı ise %0,88 olarak gerçekleşmiştir (Enerjiatlası.com, 2018; ETKB, 2018).

Türkiye uygun iklim ve verimli güneş enerjisi ile biyokütle enerjisinden daha fazla yararlanabilecek ve yenilenebilir bu imkânlarla enerji arz güvenliğini açısından

daha fazla yararlanabilecektir. Özellikle enerji bitkilerinin üretimiyle hem kırsal alanda kazanç artarken buralarda kurulacak santraller ile istihdam olanakları da arttırılabilecektir. Ayrıca artan nüfusu ve yüksek kentli nüfusu nedeniyle oluşan çöp alanlarında doğalgaz ikamesi olabilecek metan gazı tesisleri kurulabilir. Çöp alanlarının bu şekilde kullanılması hem kentsel peyzaj yaratır hem de geriye kalan katı maddeler gübre olarak kullanılma imkânı sunar. İklim ve beşeri sistemleri biyokütle enerjisi üretimine uygun Türkiye'nin bu alanda önemli potansiyeli bulunmaktadır.

3.5.4 Gel-git Enerjisi

Sosyal ve ekonomik hayatın önemli girdilerinden olan enerjiye giderek daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan fosil yakıtların çevre, maliyet ve diplomatik alanda oluşturduğu olumsuzluklar neticesinde toplumların yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur. Bu sebeple son dönem artan oranda yenilenebilir kaynaklar kullanıma alınmaktadır. Sonsuz bir üretim potansiyeli olan bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı da gelgit enerjisidir. Güneş, ay ve dünyanın çekim kuvvetinin etkisinde oluşan bu enerji türü, yeryüzünün belirli bölgelerinde önemli miktarda enerji üretim potansiyeli taşımaktadır.

Güneş'in çekim kuvveti neticesinde oluşan okyanuslarındaki su seviye değişikliğine gelgit olayı denir. Fakat dünyamıza güneşten daha yakın olan ayın çekim kuvveti daha fazladır. Ayın bu özelliğine bağlı olarak suyun yükselmesine med ya da gel, alçalmasına cezir ya da git denir. Gelgit hareketine bağlı olarak dünya okyanus veya denizlerinin su seviyelerinde 0,5 – 12m arasında değişim gözlenir (Akova, 2008). Dünya'nın 2/3'sinin sularla kaplı olduğu düşünüldüğünde bu su hareketinin önemli bir kinetik enerji meydana getirdiği anlaşılabilecektir. Gelgit dalgası günde 2 defa yükselme ve alçalma hareketi yapar ve bu hareketlerin ne zaman olacağı bellidir (enerjibes.com, 2019). Fakat bu enerjiden esasında sadece okyanus kıyılarından yararlanılabilir. Gelgit enerjisi binlerce yıl önce insanlar tarafından keşfedilmiş ve farklı amaçlar için kullanılmıştır. Örneğin Ortaçağ'da İngiltere ve Fransa'da küçük

gelgit değirmenleri aracılığıyla un öğütme işleminde kullanılmıştır. Fakat o dönemden sonra önemsenmeyen gelgit enerjisi, 1970’lerde yaşanan enerji krizleri ve siyasi bunalımlar neticesinde değerlendirilme ortamı bulmuş ve üzerinde çalışmalar başlamıştır (Akova, 2008). Özellikle elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması gelgit enerjisinden elektrik üretim sistemleri ve maliyetler konusunda çalışmalar da yapılmasına teşvik edici olmuştur.

Bugün teorik olarak gelgit enerjisinden 150 TWh elektrik üretileceği hesaplanmakla birlikte üretimi gerçekleştirilebilecek miktarın 120 GWh olduğu belirtilmektedir (marineenergy.biz, 2019). Gelgit enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için dünya genelinde kullanılan üç farklı yöntem bulunmaktadır.

1. Baraj: Gelgit hareketi sırasında su seviyesinde oluşan yükselmeden yararlanılarak kurulan sistemle birikme havzasına su depolanır. Depolanan bu su sonrasında jeneratör aracılığıyla elektrik üretmede kullanılır.
2. Gelgit Çiti: Deniz veya okyanus ortasına yerleştirilen turnike benzeri çit sistemiyle su hareketinden yararlanarak elektrik üretim yöntemidir.
3. Gelgit Türbini: Rüzgâr türbine benzer bir yöntemle üretim yapan bu türbinler, rüzgâr yerine su kullandığından verimi daha yüksektir. Çit sisteminde olduğu gibi deniz içinde bulunması kurulum, iletim ve bakım masrafları açısından bazı dezavantajları bulunmaktadır (Akova, 2008).

Bugün dünyada belirli sayıda ülke de gelgit enerji çalışmaları yapılmakta ve belirli ülke de gelgit enerji santrali bulunmaktadır. 1966 yılında Fransa’da, Rance Nehri ağzında kurulan ilk gelgit enerji santrali olan Rance gelgit enerji santralinin gücü 240 MW’dır. 1990’larda önce Japonya 5 Kw gücünde ilk gelgit santralini kurarken ardında İngiltere, Rusya ve Kanada onu takip etmiştir. Bugün gelgit enerji santrali bulunan ülkeler Arjantin, Avustralya, Kanada, Hindistan, Kore, Meksika, İngiltere, ABD ve Rusya’dır. Türkiye üç tarafı iç denizlerle çevrili olması nedeniyle gelgit enerjisinden yararlanma olanağı bugün için bulunmamaktadır. Fakat deniz varlığı başka bir yenilenebilir enerji türü olan dalga enerjisi için önemlidir.

3.5.5 Dalga Enerjisi

Artan enerji ihtiyacı fosil yakıtlara olan talebi arttırmış fakat ortaya çıkan çevresel, ekonomik ve siyasi olumsuzluklar; toplumları farklı alternatiflere yönlendirmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının sonsuz ve çevreci olması ve maliyetlerinin diğer enerji türleriyle yarışabilir hale gelmesiyle son yıllarda dikkatleri üzerine çekmiştir. Günümüz medeniyetinin ulaştığı seviyede elektrik enerjisi vazgeçilmez bir ihtiyaç olmuş, farklı alternatifler aranarak bu ihtiyacın giderilmesi amaçlanmıştır. Yeryüzünün yaklaşık %75'inin su olması bu büyük potansiyelin geliştirilecek tekniklerle ihtiyaçlara hizmet etmesi hedeflenmektedir. Güneş enerjisinin yeryüzünü farklı ısıtması sonucu oluşan rüzgâr; okyanus, deniz veya göllerde başka bir doğal unsur olan dalgayı meydana getirmektedir. Dalgalar hareketleri sırasında kinetik enerji taşır ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi mekanik sistemler vasıtasıyla elektrik üretiminde kullanılabilir. (Irena, 2018).

Tarihsel olarak dalgalardan farklı şekillerde yararlanılsa da günümüzde enerji üretimi için üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Dünya su varlığı ve sürekli rüzgârlar düşünüldüğünde dalga, yenilenebilir enerjiler arasında önemli bir potansiyele sahiptir fakat geliştirilmeye ihtiyacı vardır. 2017 yılı itibariyle dalga enerjisinden dünyada 526 MW elektrik üretilirken bunun; 259,3 MW'ı Asya'da (Güney Kore - 255 MW, Çin - 4,25MW, Singapur-0,021MW), 241,06 MW'ı Avrupa'da (Fransa - 220MW, İngiltere - 18MW, Hollanda - 2,05MW) ve 22,54 MW'ı ise Kuzey Amerika'da (Kanada - 22,5MW, ABD - 0,04MW) gerçekleşmiştir (Irena, 2018).

Dalga enerjisinden enerji üretim sistemleri dört ana yöntemle (nokta soğurucular, azaltıcılar, yüksekten bırakılan dalga, sonlandırıcılar) yapılmakta olup bunlar kıyı şeridinde, kıyıya yakın sığ sularda ve kıyıya uzak derinliği 40 metre olan deniz içlerinde kurulan sistemlerdir (Akova, 2008; YEGM, 2019; enerjisistemlerimuhendisligi.com, 2018). Bu sistemlerin temel çalışma prensipleri ise termal genlik veya dalga salınımına dayanmaktadır. 24 saat çalışma olanağına sahip, çevresel etkisi düşük bu yöntemlerin kurulum ve bakım maliyetlerinin

yüksekliği nedeniyle maalesef belirli ölkeler tarafından kullanılmakta ve geliştirilmeye çalışılmaktadır.

NATO Tu-Wave projesi kapsamında Türk Kara Sularının dalga enerji potansiyeli araştırılmıştır. Ölçümler Batı Rüzgârları'nın etkisinde olan Ege ve Akdeniz Bölgelerinin dalga enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu ortaya koymakla birlikte özellikle İzmir – Antalya arası deniz hattının en yüksek potansiyele sahip olduğu ölçümlerle ortaya çıkarılmıştır.

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

Fakat 8210 km kıyı uzunluğunun askeri bölge, coğrafi şartlar, deniz yaşamı ve diğer nedenlerden dolayı ancak 1/5'i enerji üretiminde kullanılabileceği, bu alandan ise yıllık 10 TWh üretim sağlanacağı düşünölmektedir (MMO; Sağlam, Uyar, ty). Türkiye'nin artan enerji ihtiyacı ve ithal enerjiye olan bağımlılığı düşünöldüğünde dalga enerjisi ölkenin enerji ihtiyacını ve istihdamında belirli bir talebi karşılayabilecektir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4 Türkiye Elektrik Enerjisi

İkincil enerji türlerinden olan elektrik enerjisi ulaşılan medeniyet seviyesinde günlük hayatın ve sanayi üretiminin olmazsa olmaz girdilerinden birisi haline gelmiştir. Buna binaen dünyada en fazla gelişmiş ülkelerde tüketilirken, gelişmekte olan ülkelerde ise en fazla tüketim artışının yaşandığı kaynak halini almıştır. Ekonomik yapısı gereği gelişmekte olan bir ülke konumundaki Türkiye ise; kuruluşundan günümüze genel olarak sürekli elektrik enerjisine talep artışı göstermiştir. Bu bölümde yaşanan talep artışının gelişimi, elektrik elde etmek için kullanılan kaynaklar ve bunların değişimi açıklanacaktır. Ayrıca fosil ve yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretimdeki durumu analiz edilerek, oluşturdukları avantaj ve dezavantajlara değinilerek gelecekte alacakları tercihler üzerine değerlendirme yapılacaktır.

4.1 Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü

2018 sonu itibariyle Türkiye’de, lisanssızlar dâhil 7.423 adet enerji üretim santrali bulunmaktadır. Bunların 653’ü HES, 42’si kömür, 249’u rüzgâr, 48’i jeotermal, 320’si doğal gaz, 5.868’i güneş, 243’ü ise diğer kaynakları kullanan santrallerdir. 5.352,4 MW kapasitesindeki lisanssız toplam 5.953 adet santralin; 5.859’u güneş, 74’ü rüzgâr, 11’i hidrolik, 9’u ise termik kaynak kullanan santrallerdir. Lisanslı ve lisanssız toplam kurulu güç ise 88.551 MW olup yıllık 303,9 milyar kWh üretim gerçekleştirilirken, tüketim ise 303,3 milyar kWh olmuştur (ETKB, 2019). Türkiye, 2000 – 2010 yılları arasında dünya elektrik enerjisi üretiminde Çin ve Hindistan’dan sonra en fazla artış gösteren üçüncü ülke olmuştur. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de enerji üretimi yüksek oranda fosil yakıtlara dayanmaktadır (MMO, 2019). 2017 yılında Türkiye’de tüketilen birincil enerji kaynakların dağılımı; %30,49’u doğalgaz, %30,47’si petrol, %27,15’i taşkömürü, asfaltit ve linyit, %3,44’ü hidrolik güç, %4,91’i jeotermal ve diğerleri, %1,06’sı rüzgâr, %1,74’ü biyokütle ve atıklar ve %0,75’i güneş olarak gerçekleşmiştir. Bu toplam enerjinin %24’ü sanayide, %23’ü elektrik üretiminde,

%20'si ulaşımda, %16'sı konutta, %9'u ticaret ve hizmette ve %3'ü tarımda tüketilmiştir (MMO,2018). Veriler tüketilen enerjinin önemli oranda elektrik üretiminde kullanıldığını ve gelişen bir ülke olarak bunun devam edeceğini göstermektedir (YEGM,2016). Ayrıca Türkiye ithal enerji kaynaklarında son 5 yıldır ortalama %73 oranında dışa bağımlıdır (TÜİK, 2019). Bu durum enerji arz riskini arttırırken, çevresel kaygıları da beraberinde getirmektedir. Fakat son dönem yeni ve yenilenebilir enerji üzerine yapılan çalışmalar Türkiye'nin gelecekte yaşayacağı olası sorunlara önemli oranda çözüm sunabilecektir. Uzun dönemden beri değerlendirilen hidrolik gücün yanında teknik ve teknolojik gelişmelerle biyokütle, jeotermal, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklar, enerji üretiminde daha fazla yer alabilecektir.

4.2 Türkiye Elektrik Enerjisi Gelişimi

Sanayi Devrimiyle başlayan enerji kullanımındaki artış gelişen teknoloji ve artan sosyal refahla yükselerek devam etmektedir. Dünya Enerji Konseyi ve diğer kurumların (UEA, IRENA vs.) raporlarında da açıkça görüldüğü gibi gelişmiş ülkelerin yüksek enerji tükettiği ve gelişmekte olan ülkelerin enerji tüketiminin hızla arttığı görülmektedir. Ekonomik ve sosyal olarak kalkınma şüphesiz beraberinde enerji tüketimini de artırmaktadır. İkincil enerji türlerinden olan elektrik enerjisi kullanım alanı genişliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle en fazla tercih edilen enerji türlerinden birisidir. Medeniyet seviyesinin geldiği noktada insanlığın temel ihtiyaçlarından birisi haline gelen elektrik, devletlerin sosyal hayat ve sanayi üretimi için karşılaması gereken en önemli girdilerdendir. Bugün ülkelerin gelişmişlik seviyesi ölçütlerinden birisi de elektrik enerjisi kullanımındır. Günlük hayatta ilk elektrik 1878'de Londra'da kullanılmış, ilk elektrik santrali ise 1882'de Londra'da kurulmuştur. Türkiye'de ise ilk elektrik Cumhuriyetten önce 1902'de Tarsus'ta su değirmeni üzerinde kurulan 2kw gücündeki dinamo sayesinde üretilmiştir. İlk elektrik santrali ise 1913'te İstanbul'da kurulan 15 MW gücündeki Silahtarağa termik santralidir (EMO, 2016; Kalkınma Bakanlığı, 2002).

Toplumsal hayatın refah seviyesini koruması ve sanayi üretimi enerjiyle güçlü bir ilişkisi olup, devlet politikalarında önemli bir yere sahiptir. Enerji üretimi ise

devletlerin sahip oldukları kaynaklar ve ithalatını yapabildikleri kaynaklarla doğrudan ilişkilidir. Elektrik enerjisinin kullanım kolaylığı, kullanılırken atık bırakmaması, teknolojinin getirdiği neredeyse tüm olanakların kullanımında yer alması nedeniyle, son yarım yüzyılda vazgeçilmez bir kaynak haline gelmiştir. Artan refah ile elektrik üretiminin de sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Türkiye elektrik tüketim tarihine bakıldığında da elektrik tüketiminin istisnalar hariç sürekli arttığı görülmektedir. 1923'te yeni kurulan devletin 32,8 MW kapasiteye sahip elektrik enerjisi artan nüfus ve gelişen sanayi faaliyetleri bakımından imkânlar ve devrin şartları dâhilinde arttırılmaya çalışılmıştır (EMO, TY). Bu dönemde sadece Tarsus, Adapazarı ve İstanbul illerinde elektrik bulunmaktaydı (Karabulut, 1999). 1923'de yapılan İzmir İktisat kongresinde ülkenin elektrifikasyonu konusu gündeme getirilerek bu alana yönelik politikalar üretilmeye çalışılmıştır. Cumhuriyet sonrası ülkenin elektrik üretim ve dağıtım işleri genellikle özel şirketler ve belediyeler aracılığıyla yapılmıştır. Yapılan yatırımlarla 1935'e gelindiğinde ülkenin kurulu gücü 126,2 MW'a ulaşmıştır (TEİAŞ,2017). Türkiye'nin elektrik üretimi 1930'ların sonuna kadar çoğunlukla özel sektör tarafından gerçekleştirilirken dünya genelinde egemen olan politikalar gereği devletçilik öne çıkmış ve bundan sonra kamu ağırlıklı yatırımlar görülmeye başlanmıştır. Özellikle 1933'te kurulan İller Bankası ve 1935'te kurulan Maden Tetkik Arama (MTA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) gibi kurumların elektrik üretimi ve dağıtımında etkin rol alması bu durumun bir kanıtı niteliğindedir.

Elektrik üretimi Cumhuriyet'in ilk yıllarından 1950'ye kadar ağırlıklı olarak termik santraller tarafından gerçekleştirilmiş, yakıt olarak petrol, linyit ve taşkömürü kullanılmıştır. 1950'de Türkiye enerji üretiminin %95,6'sı termik santrallerden sağlanırken %4,4 hidrolik güçten karşılanıyordu (Karabulut, 1999). 1960'tan sonra beş yıllık planları dâhilinde ülkenin önemli barajlı hidroelektrik santralleri (HES) yapılarak elektrik üretiminde hidrolik gücün payı arttırılmıştır. Tablo 9'da 1925 ile 2018 arası Türkiye elektrik üretim oranlarından da anlaşılacağı üzere, hidrolik güç her zaman termik santralin altında bir seviyede kalmış, 1980'de %48,8 oranla en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra düşüşe geçmiştir. 1980'lerin sonundan itibaren ise güneş, jeotermal, rüzgâr ve diğer enerji kaynakları devreye girerek ülkenin enerji

üretim çeşitliliği arttırılmıştır. Bu değişimde çevresel ve enerji arz güvenliğine yönelik eğilimlerin olduğu belirtilmelidir.

Tablo 8: Türkiye Elektrik Enerjisi Toplam Kurulu Kapasite Değişimi

Yıllar	Termik (MW)	Oranı (%)	Hidrolik (MW)	Oranı (%)	Diğer (MW) (Yenilenabilir)	Oranı (%)	Toplam (MW)
1925	33.3	99.7	0.1	0.3	0	0	33.4
1930	74.8	95.9	3.2	43469	0	0	78.0
1935	121.2	96.0	5.0	4.0	0	0	126.2
1940	209.2	96.4	7.8	43619	0	0	217.0
1945	237.7	96.7	8.2	43527	0	0	245.9
1950	389.9	95.6	17.9	43559	0	0	407.8
1955	573.5	93.8	38.1	43502	0	0	611.6
1960	860.5	67.6	411.9	32.4	0	0	1.272,4
1965	985.4	66.1	505.1	33.9	0	0	1.490,5
1970	1.509,5	64.8	725.4	35.2	0	0	2.234,9
1975	2.407,0	62.2	1.779,6	37.8	0,5	0,011	4.186,6
1980	2.987,9	51.2	2.130,8	48.8	0,5	0,009	5.118,7
1985	5.244,3	64.8	3.874,8	35.2	0,5	0,005	9.119,1
1990	9.550,8	58.5	6.764,3	41.5	0,5	0,003	16.315,1
1995	11.074,0	52,8	9.862,8	47,0	17,5	0,8	20.954,3
2000	16.052,5	58,8	11.175,2	40,9	42,7	0,3	27.270,4
2005	25.902,3	66,6	12.906,1	33,2	55,4	0,2	38.863,8
2010	32.278,2	65,1	15.831,2	32	1.414	2,9	49.523,2
2015	41.903,0	56,7	25.867,8	35,4	5.740,3	7,9	73.511,1
2016	43.862,2	55,9	26.681,1	34	7.954,2	10,1	78.497,5
2017	44.333,7	55,0	27.043,6	32	8.988,0	13	80.365,3
2018	45,748,0	51,7	28.192,1	31,8	14.610,9	16,5	88.551,0

Kaynak: TEİAŞ, ETKB, 2018

4.3 Türkiye Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Değişimi

Bir ülkenin enerji üretimi ülkenin jeostratejik konumu ve yeraltı zenginlikleriyle yakından ilişkilidir. Türkiye konumu itibarıyla Akdeniz İklim kuşağında ve zengin yeraltı enerji kaynaklarına sahip bölgelerle komşudur. Bu durum üreteceği elektriğe ve diğer kullanacağı enerji kaynaklarına ulaşım açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Yüz ölçümünün çoğunluğunda sahip olduğu yarı kurak iklim nedeniyle uluslararası su varlığı kriterlerine göre su azlığı yaşayan bir ülke olsa da, topoğrafik yapısı ve yükseltisi sonucu barajlı HES ile enerji üretim potansiyeli yüksektir. Fakat bu potansiyel tüm coğrafi bölgelerine dengeli dağılmadığında ülkenin önemli HES'leri Doğu ve Güneydoğu Bölgelerindedir. Artan tüketim miktarı ve termik santrallerin ithalata bağlı üretim olanakları, HES'lerin önemini arttırmıştır. Bu durum 1960'larda başlayan önemli HES projeleri ile hayata geçirilerek ülkenin bugün dahi önemli enerji üretim santrallerinin kurulması sağlanmıştır. Fakat 1980'lerde başlayan özelleştirme politikaları sonucu ve doğal gaz ithalatına yöneliş, termik santrallerin artmasına neden olmuş bu da hidroelektrik gücün toplam üretimdeki payını azaltmıştır (Karabulut, 1999). Bununla birlikte Türkiye elektrik enerjisi ihtiyacı ağırlıklı olarak termik santraller aracılığıyla giderilmiştir. Termik santraller Cumhuriyet'in kuruluşundan sonra kömür ve petrolle çalışırken bugün kömür eski önemini korusa da petrol yerine doğalgaz ve hidrolik güç hariç diğer yenilenebilir kaynaklar hızla devreye girmeye başlamıştır. Bu değişim de ekonomik, siyasi ve çevresel kriterler rol oynamaktadır.

4.4 Türkiye Hidroelektrik Durumu ve Gelişimi

HES'lerde suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile yani suyun üst seviyeden alt seviyeye düşmesi sonucu ortaya çıkan kinetik enerjinin türbinleri döndürmesiyle elektrik enerji elde edilir. Hidroelektrik enerji için su kaynağının bol olması kadar topoğrafik yapının da önemi vardır. Türkiye yarı kurak iklim özelliği ile su varlığı açısından zengin bir ülke olmasa da yer şekilleri ve yükselti değerleri sayesinde önemli hidroelektrik potansiyeline sahiptir (, 2018). Bir ülkenin sınırları içerisinde veya denizlere kadar oluşan tüm akışkanlardan elde

edilecek hidroelektrik potansiyele brüt teorik potansiyel denir. Fakat bunun hayata geçirilmesi mümkün olmadığından değerlendirilebilecek azami potansiyel teknik yapılabilir hidroelektrik potansiyel olarak adlandırılır. Diğer açıdan bu potansiyel de yerel ve ekonomik problemlerden dolayı değerlendirilemeyeceğinden, uygulanabilecek olana ekonomik hidroelektrik potansiyel denir. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin %2'si ve Avrupa'nın %18'i kadardır (DSİ, 2018).

Türkiye Cumhuriyet'inin ilk barajı Ankara'da kurulan Çubuk-1 barajıdır. Cumhuriyet'in ilk döneminde barajlar, yerli kaynak kullanması ve diğer faydaları nedeniyle üzerinde durulmuş fakat 1950'lere kadar büyük tesisler, dönemin şartları nedeniyle inşa edilememiştir. 1950'ler öncesi özel şirketler ve belediyelerin öncülük ettiği ve genellikle termik santrallerin tercih edildiği bir dönem olmuştur. 1950 ile 1970 arası dönem DSİ, İller Bankası, Etibank gibi kurumların ülkenin önemli projelerini hayata geçirdiği bir dönem olmuştur. 1952'de taşkömürüyle çalışan ilk büyük termik santral olan Çatalağzı faaliyete geçirilerek İstanbul'un enerji tüketimi karşılanmaya çalışılmıştır. İletim hatlarıyla uzak mesafelerin ihtiyacının karşılandığı bu ilk çalışma, bugünkü enterkonnekte sisteminde başlangıcı niteliğindedir. Türkiye genel olarak enerji üretim ve tüketim merkezlerinin farklılık arz ettiği bir ülkedir. Bu durum farklı kaynaklarla çalışan santrallerin koordineli çalışmasını ve dağıtımın düzenli olmasını gerekli kılmıştır. Özellikle 1970'de Türkiye Enerji Kurumu'nun kurulması enerji konusunun tek kurumundan idare edilerek kentlerin ve sanayinin ihtiyacı olan enerjiye düzenli, uygun ve çevreci bir şekilde ulaşması amaçlanmıştır. 1970 ile 1990 arası yurdun tamamının kırsal bölgeler dâhil elektrik enerjisine kavuştuğu bir dönem olmuştur.

Türkiye'nin brüt hidroelektrik potansiyeli diğer bir ifadeyle yüz ölçümüne düşen tüm sudan enerji üretebileceği varsayılırsa 433 milyar kWh, yapılabilir teknik potansiyel yani yüz ölçümüne ulaşan sudan teknik olarak yararlanılabilecek olan miktar ise, 216 milyar kWh, mali olarak yararlanılabilecek ekonomik potansiyel ise 146 milyar kWh'dir (DSİ, 2018). 2017 yılında hidroelektrik güçten 58,2 milyar kWh elektrik üretilmiştir (ETKB, 2018). Bu durum teknik yapılabilir potansiyelin yaklaşık

%24'ünün kullanıldığını göstermektedir. Türkiye'de 26 adet hidrolojik havzasında üretim miktarı bakımından küçük büyük HES'lerin olması, sadece kent yaşamı ve sanayi için değil kırsal bölgelerde de önemli gelişim sağlamaktadır. Özellikle ulaşımın zor olduğu kırsal alanlarda kurulacak küçük HES'ler ile bölge halkının refahı yükseltilebilecektir (İMO, 2015). Devlet Su İşleri (DSİ)'nin 2018 faaliyet raporuna göre tablo 12'de görüldüğü gibi işletmede 644, inşaat halinde 55 ve inşaatı başlamamış olan 554 adet toplam 1.253 adet HES projesi bulunmaktadır. İşletmedeki HES'lerin kurulu gücü ülke toplam kurulu gücünün %32 olup yıllık 99.051 GWh üretim sağlanmaktadır. Ekonomik ve sosyal hedefler doğrultusunda 2023 yılında, uygulamada ve planlamada olan diğer HES'ler ile 159.385 GWh güç üretimi gerçekleştirmek istenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için ise hidrolik gücün ekonomik kapasitesinin tümüyle uygulamaya konulması amaçlanmaktadır (YEGM, 2015). Bu hedefin belirlenmesi enerji arz güvenliği ve çevresel açıdan Türkiye'nin avantajına olacaktır.

Tablo 9: HES POTANSİYEL DURUMU

Potansiyel	HES Adedi	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran (%)
İşletmede	644	28.423	99.051	62
İnşaat Halinde	55	4.370	13.427	8
İnşaatına Henüz Başlanmayan	554	15.387	46.907	29
Toplam	1.253	48.180	159.385	100

Kaynak: DSİ 2018 Faaliyet Raporu, s48

HES'lerin diğer katkısı ise içme suyu temini, taşkın koruma, sulama, balıkçılık, rekreasyon yeri gibi sosyal hizmetlerin yerine getirmesidir. Diğer önemli bir konu ise, hidroelektrik santrallerin kullanım kapasitesi %74 iken termik santrallerin %65 civarında olması ve yatırım bedelini daha erken ödemesi HES'lerin avantajları arasındadır. Fakat kurulacak tesisin verimli tarım arazilerini ve yerleşimleri sular altında bırakması, doğal çevre üzerinde çeşitli etkileri de HES'lerin olumsuz yönleri olarak belirtilmektedir.

4.5 Türkiye Elektrik Üretiminin Fosil Kaynaklara Göre Değerlendirilmesi

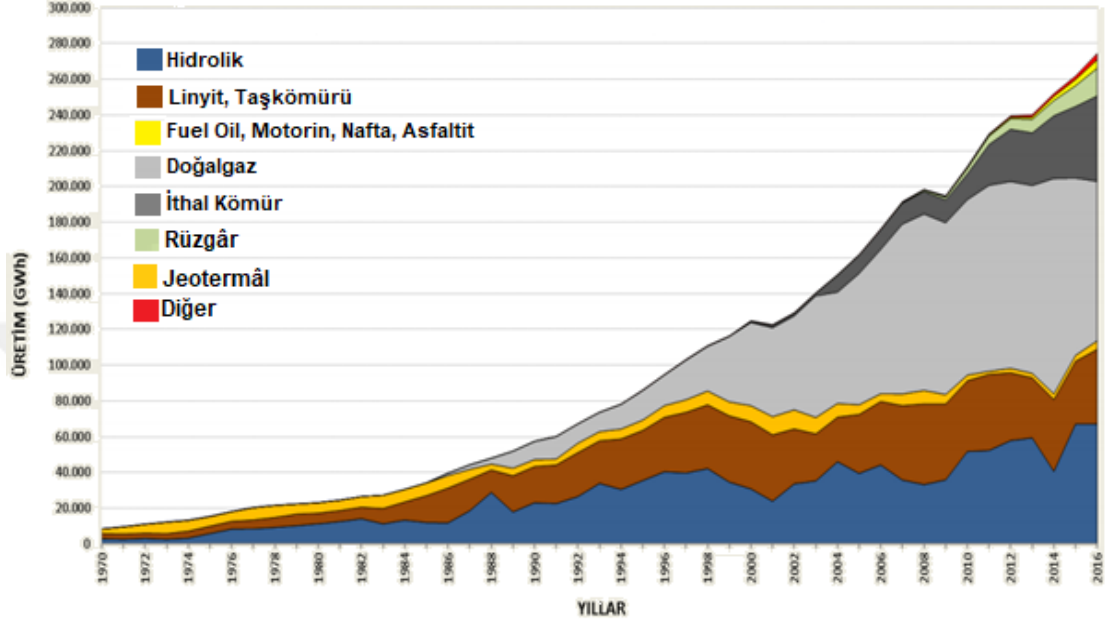
Termik santraller fosil yakıtlarda bulunan kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü santrallerdir. Yakıt olarak doğal gaz, taş kömürü, linyit veya fuel oil gibi yakıtlar kullanılarak önce ısı sonra kinetik enerji ve en sonunda elektrik enerjisinin elde edildiği santrallerdir. Kurulum maliyeti açısından hidroelektrik santrallere oranla daha kârlı olsa da Türkiye gibi enerji kaynağı ithalatı yapan ülkeler için ve çevresel maliyet düşünüldüğünde dezavantajlara sahiptir. Cumhuriyet'in ilk kurulduğu dönemden bugüne termik santraller ülke enerjisi üretiminin önemli bir bölümünü karşılamıştır. Özellikle 1923 ile 1950 arası petrol, taşkömürü, linyit gibi kaynaklarla bugünkünden daha düşük güç kapasitesindeki santraller ile belediye ve özel şirketler sanayinin ve kentlerin enerji ihtiyacını karşılamışlardır. 1950 sonrası başlayan ekonomik değişim ve 1970'lerde Güneydoğu Anadolu Bölgesi Projesi (GAP) ile hayata geçirilen önemli HES projeleri ile ülke ihtiyacına diğer kaynaklardan karşılık verilmeye çalışılsa da termik santraller her dönem daha fazla paya sahip olmuştur.

Grafik 15'te verilen bilgilere göre 1990'da 60.000 GWh'a yakın olan elektrik üretimi, 2000 yılında üç kat artarak yaklaşık 120.000 GWh'a, 2010 yılında ise 200.000 GWh'ın üzerine çıktığı görülmektedir. Bu artışta özellikle doğal gazın ithalatına yönelik uygulanan politikalar sonucu doğal gazla çalışan santrallerin artışı etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretiminde kullanımının hukuki alt yapısı ve desteklenmesi uygulaması ile güneş, jeotermal ve rüzgâr gibi kaynakların üretime belirgin şekilde katılması sağlanmıştır. Diğer bir nokta ise 2005 yılından sonra fuel-oil, motorin, nafta gibi enerji kaynaklarından elektrik üretim oranı önemli ölçüde azalmıştır. Günümüzde bazı tesislerin (hastahane, TV istasyonu, fabrika vs.) elektrik ihtiyaçlarını karşılamamanın haricinde genel tüketim için bu ürünler kullanılmamaktadır. Fuel oil, motorin, nafta gibi kaynakları kullanan toplam 56 adet santral bulunmakta ve toplam üretim kapasiteleri ise 4.727 GWh/yıl'dır ve toplam tüketimdeki oranı %1,82'dir

(enerjiatlası.com/santraller). Diğer dikkat çeken bir husus da ithal kömür ile çalışan santrallerin 2000 sonrası hızlı artışıdır. TÜİK verilerine göre 2019 yılında katı yakıt olarak 108.398 ton taşkömürü, 6.284,245 ton linyit, 385.817 ton taşkömürü koku üretimi gerçekleştirir. Ülke genelinde bu kaynakların tüketilme miktarları ise 2.791,516 ton taşkömürü, 6.212,659 ton linyit ve 444.256 ton taşkömürü koku olarak gerçekleşirken, bu kaynakların üretiminin tüketimi karşılama oranı ise taşkömüründe %3,9, linyitte %101,2, taşkömürü kokunda ise 86,8 olarak gerçekleşmiştir. Bahsi geçen kaynaklardan taşkömürünün %57,4'ü, linyitin %89,2'si termik santrallerde taşkömürü kokunun ise %97'si demir çelik sanayinde kullanıldığı belirtilmiştir (Tüik, katı yakıt, 2019). Bu durum Türkiye'nin taşkömürü tüketiminde dışa bağımlı olduğunu gösterirken, linyit üretiminin de ise zengin bir ülke olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum çevresel etkiler neticesinde eleştirilen kömürlü termik santrallerin diğer bir dezavantaj ile dışa bağımlı olması, farklı kaynakların elektrik üretiminde araştırılmasını ve yatırımların ona göre planlatılmasını gerektirmektedir.

1990'larda yapılan doğal gaz anlaşmaları sonucu artan ithalat ile ülke enerji üretim portföyünde önemli değişimler yaşanmıştır. Özellikle 1980'lerde yok denecek kadar az olan doğal gaz kullanımının 1990'larda başlayan kullanımdaki ani artış günümüzde dahi sürmektedir. 2014 yılında toplam enerji üretiminin %48,1'i doğal gazdan karşılanarak rekor seviyeyi yakaladıktan sonra düşüşe geçmiş ve 2018 yılının toplam elektrik üretiminin %30'unu gerçekleştirmiştir. 2018 yılında kurulu gücü 22.162 MW olan 275 doğalgaz santralinden 146 milyar kWh elektrik elde edilirken, taşkömürü ve linyit kullanan kurulu gücü 17.343 MW olan 42 santralden, 103 milyar kWh elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir (enerjiatlası.com/doğalgaz, 2019; ETKB, 2019).

Grafik 13: Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretimine Kaynaklarına Göre Değişimi (1970-2016)



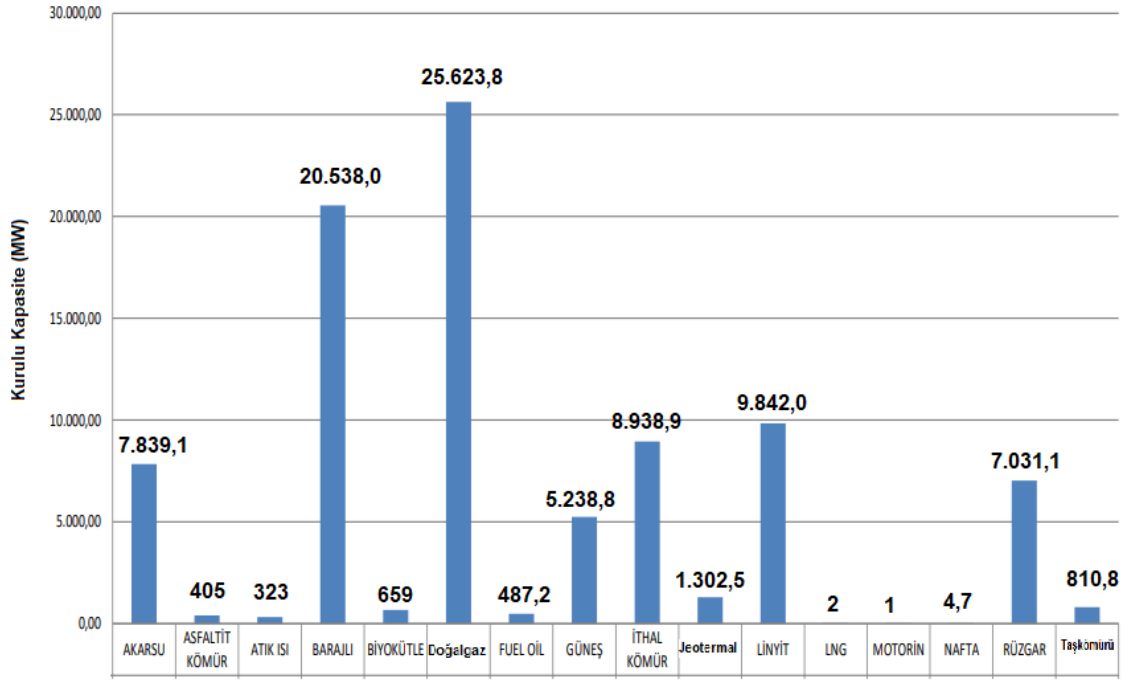
Kaynak: http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369

Türkiye elektrik enerjisi üretiminde önemli oranda termik santrallere bağlı durumdadır. Grafik 16’da 2018 yılı toplam elektrik üretimindeki kaynakların dağılımı verilmiştir. Grafiğe göre fosil kaynaklar (biyokütle, fuel oil + motorin, nafta, ithal kömür, taş kömürü + asfaltit, linyit ve doğal gaz + LNG) toplam kurulu gücün %52,7’sini (46.115,4 MW) oluştururken; yenilenebilir enerji kaynakları (jeotermal, barajlı ve akarsu hidroelektrik, güneş, rüzgâr) toplam kurulu gücün %47,3’ünü (42.272,5 MW) oluşturmaktadır (TÜİK, ETKB, TEİAŞ, 2019) .

Termik santrallerin özellikle Türkiye’de ithal kömür ve doğal gaz ağırlıklı olduğu düşünüldüğünde bu enerji bağımlılığının ülkenin sağlıklı kalkınma ve sosyal hayat kalitesini medeniyetin ulaştığı seviyede devam ettirmesi açısından siyasi, ekonomik konularda sakıncalar doğurabilecektir. 2017 yılında yapılan toplam 233.7 milyar dolar ithalatın 37.7 milyar doları enerji kaynaklarına ödenirken, dış ticaret açığı 47.4 milyar dolar olmuştur (TÜİK, 2018). Bu nedenle Türkiye’nin enerji

ithalatını azaltarak yerli ve yenilenebilir kaynaklara yönelmesi ve enerji verimliliği alanında çalışması gerekmektedir.

Grafik 14: Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı 2018



Kaynak: TEİAŞ, 2018

4.6 Türkiye Elektrik Üretiminin Yenilenebilir Kaynaklara Göre Değerlendirilmesi

Gelişen ekonomi ve artan sosyal refah ile enerji tüketimi arasında önemli bir ilişki vardır. Teknolojik her türlü cihaz ve araçlar ile değişen sosyal alışkanlıklar son yüzyılda dünya genelinde enerji tüketimini de arttırmıştır (WEC,2016). Bu nedenle gelişmiş ülkeler yüksek enerji tüketimine sahipken, gelişmekte olan ülkeler diğerlerine kıyasla daha az enerji tüketmektedir. Fakat ekonomik gelişmeye paralel olarak enerji tüketimini karşılamak için en fazla enerji üretimine yatırım yapan ülkeler de gelişmekte olan ülkelerdir. Sanayinin üretime devam etmesi ve sosyal hayatın ulaştığı medeni seviyede devamı için enerji en önemli girdi haline gelmiştir. Özellikle genel bir sınıflama ile Sanayi Devrimi'nin yaşandığı 19. yy. nin ikinci yarısı ile 20. yy. nin son çeyreğine kadar fosil yakıtlar neredeyse tek başlarına

insanlığın enerji ihtiyacını karşılasa da, 21. yy. kullanılan enerji kaynaklarının değişim içine girdiği bir dönem olarak görünmektedir. Gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülkede fosil kaynakların olmaması hem mali hem ekonomik sorunlara yol açabildiği gibi, çevresel problemlerin de ana etkeni konumundadır. Bu yüzden son yıllarda artan oranda dünya genelinde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretiminde tercih edilmektedir.

Türkiye ise yüksek oranda fosil enerji kaynağı ithal eden bir ülke olması nedeniyle bahsedilen ekonomik sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Enerji kaynağı ithalatına rağmen Türkiye önemli miktar da yenilenebilir enerji kaynağına sahip bir ülkedir. Fakat ülkenin sahip olduğu rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle gibi kaynaklar uzun dönemdir kullanımda olmayıp son yıllarda etkin bir şekilde üzerlerinde çalışılmaktadır. 2005 yılında ve sonraki yıllar enerji arz çeşitliliği açısından yenilenebilir kaynakların elektrik üretiminde kullanımı adına yapılan yasal düzenlemeler yenilenebilir kaynakların kullanımını hızla arttırmıştır. Tablo 11’de 2002 ile 2016 arasında Türkiye’de kaynaklardan ne kadar elektrik üretildiği (GWh) verilmiştir. En belirgin değişim belirtilen nedenlere bağlı olarak yenilenebilir kaynaklar da yaşanmış ve tüketimde on iki yılda %1400 artış yaşayarak ülke elektrik tüketiminin 2002’de %0,2’sini karşılarken; 2016’da tablo 11’de verildiği gibi %9,4’üne karşılar konuma yükselmiştir. Termik ve hidrolik enerji ise, on iki yılda iki katın üzerinde bir kapasite artışı göstermiştir. Ayrıca termik santrallerin toplam üretimin yaklaşık %67’sini gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu durum geçen sürede ülkenin yaşadığı nüfus artışının, artan sanayi faaliyetlerinin ve değişen sosyal alışkanlarının elektrik tüketimi üzerindeki etkisini bir açıdan kanıtlamaktadır.

Tablo 10: Türkiye 2002 – 2016 Arası Elektrik Üretim Kaynaklarının Değişimi

Yıllar	Termik (coal+natural gas+other)(GWh)	Hidrolik (GWh)	Yenilenebilir (wind+solar+ geothermal) (GWh)	Toplam (GWh)
2002	95,563	33,684	153	129,400
2003	105,101	35,330	150	140,581
2004	104,464	46,084	151	150,698
2005	122,242	39,561	153	161,956
2006	131,835	44,244	221	176,300
2007	155,196	35,851	511	191,558
2008	164,139	33,270	1,009	198,418
2009	156,923	35,958	1,931	194,813
2010	155,828	51,796	3,585	211,208
2011	171,638	52,339	5,418	229,395
2012	174,872	57,865	6,760	239,497
2013	171,812	59,420	8,921	240,154
2014	200,417	40,645	10,901	251,963
2015	179,366	67,146	15,271	261,783
2016	184,889	67,268	21,230	273,387

Kaynak: YEGM, TEİAŞ, ETKB, 2017

Türkiye özellikle dünya üzerindeki konumu, denizlerle çevrili olması ve topoğrafik özellikleri sayesinde rüzgâr ve güneş potansiyeli yüksek bir ülkedir. Diğer taraftan jeolojik yapısı sayesinde jeotermal kaynaklarca zengin, kentsel, tarımsal ve hayvansal atıklar sayesinde de kayda değer şekilde büyük bir biyokütle potansiyeli taşımaktadır. Yüksek üretim kapasitesi son yıllarda kullanıma açılarak yapılan kanun - yönetmelik ve destek mekanizmalarıyla özel sektörün bu alanda gelişiminin önü açılmıştır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM)'nin yaptığı rüzgâr analiz çalışmasına göre 7,0 m/sn hız ve üzerinde kara ve deniz sahasında toplam 47.849 MW elektrik üretecek kapasite vardır. Güneş enerjisinde ise yıllık 380 milyar kWh üretim potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye'nin 2017'de 295 milyar kWh elektrik üretim yaptığı düşünüldüğünde bu kaynakların önemi anlaşılabacaktır. Jeotermal ve biyokütle ise bugün için az ama gelişen teknolojiyle büyük oranlarda üretim yapılacak kaynaklar olarak belirtilmektedir (Uğurlu, Gökçöl; 2017) . Tablo 12, 2002 ile 2017 arasında kaynaklar bazında yaşanan değişimi göstermektedir. Tablo rüzgârın yenilenebilir kaynaklar arasında önemli bir paya sahip olduğunu ve tüm yenilenebilir kaynakların hızlı artış yaptığını kanıtlamaktadır.

Yenilenebilir kaynaklar dünya genelinde önemli bir potansiyel taşımakta ve gelişen teknolojiyle kurulum maliyeti düşerek, bu kaynaklardan enerji üretimi avantajlı hale gelmektedir. Bu durum gelecekte yaşanacak teknik gelişmeler düşünüldüğünde enerji ithalatçısı olup, yüksek yenilenebilir kaynağa sahip Türkiye gibi ülkeler için büyük önem taşımaktadır.

Tablo 11: Türkiye 2002 – 2017 Elektrik Üretim Kaynakların Oranları

YIL	Kömür (%)	Doğal Gaz (%)	Diğer (%)	Hidrolik (%)	Rüzgâr (%)	Jeotermal (%)	Güneş (%)
2002	21.9	26.5	13.0	38.4	0.1	0.1	0.0
2003	23.2	28.2	13.2	35.3	0.1	0.0	0.0
2004	22.5	30.8	12.2	34.3	0.1	0.0	0.0
2005	23.5	31.6	11.6	33.2	0.1	0.0	0.0
2006	25.2	31.2	11.2	32.3	0.1	0.1	0.0
2007	24.7	31.5	10.6	32.8	0.4	0.1	0.0
2008	24.1	32.1	9.7	33.1	0.9	0.1	0.0
2009	23.5	32.5	9.6	32.5	1.8	0.2	0.0
2010	24.0	32.5	8.6	32.0	2.7	0.2	0.0
2011	23.6	30.2	10.3	32.4	3.3	0.2	0.0
2012	22.0	30.1	9.3	34.4	4.0	0.3	0.0
2013	19.6	31.6	9.1	34.8	4.3	0.5	0.0
2014	21.2	30.9	8.0	34.0	5.2	0.6	0.1
2015	21.2	29.1	7.1	35.4	6.2	0.9	0.3
2016	22.1	28.3	6.2	34.0	7.3	1.0	1.1
2017 (June)	21.6	28.2	6.1	33.7	7.7	1.1	1.7

Kaynak: YEGM, TEİAŞ, ETKB, 2017

BEŞİNCİ BÖLÜM

5 TÜRKİYE’DE ENERJİ DURUMU VE RÜZGÂR POTANSİYELİ

Bu bölümde öncelikle Türkiye’nin fosil kaynaklara olan bağımlılığı ve bu kaynakların oluşturduğu riskler ve dezavantajları özet olarak açıklanacak sonrasında fosil kaynaklar ile yenilenebilir kaynakların çevresel ve maliyet karşılaştırması yapılacaktır. Ardından tezin temel konusu olan Türkiye rüzgâr potansiyeli ve bu potansiyel ardındaki coğrafi faktörler analize edilerek, Türkiye’nin matematik konumu ve bölgesel olarak etkisinde kaldığı atmosfer sisteminin sağladığı rüzgâr gücü ortaya konulmaya çalışılacaktır. Son kısımda ise rüzgâr enerjisi avantaj ve dezavantajı üzerinde durulacaktır.

5.1 TÜRKİYE ENERJİ DURUMU

Enerji ulaşılan gelişmişlik seviyesinin korunması ve ilerletilmesi için gereken önemli bir girdidir. Sanayi, ekonomi ve sosyal hayatın ulaştığı nitelikte devamı için ihtiyaç olan enerji, ülkeler tarafından sanayi devriminden günümüze artan oranlarda talep edilmektedir. En fazla enerji talep artışı gelişmişlik yolunda adımlar atan, hızlı yatırımlar yapan gelişmekte olan ülkelerden geldiği görülmektedir. Ulaştığı ekonomik nitelik, yaptığı yatırımlar ve uyguladığı politikalar ile Türkiye’de gelişmekte olan ülkeler kategorisindedir. Bunu enerji tüketimindeki artış ve sanayi üretiminden görmek mümkündür. 2000 yılı kişi başı 1908 kWh olan elektrik tüketimi, 2015’de 3373 kWh olarak gerçekleşmiştir (enerjiatlası.com, 2019). Bu artış Türkiye’nin endüstriyel ve sosyal gelişiminin bir göstergesidir. Fakat dördüncü bölümde değinildiği üzere; Türkiye önemli oranda enerji ithalatçısı bir ülke konumundadır. 2017 yılında 25,8 milyon ton petrol, 53 milyar 484 milyon m³ doğalgaz, 37.474 ton taşkömürü ithalatı gerçekleştirilmiştir. İthal edilen bu kaynaklarda dışa bağımlılık oranı ise petrolde %93, doğalgaz da %99, taşkömüründe ise %95 civarındadır (ETKB, 2019). 2018 yılı toplam ithalat tutarı 223 milyar 39 milyon dolar olarak gerçekleşen Türkiye’de aynı yıl enerji ithalatına 42 milyar 999 milyon dolar ödenmiştir. Belirtilen yılda Türkiye’nin 27 milyar 633 milyon dolar açık vermiş olması enerji ithalatının ülke ekonomisi için ne kadar kritik olduğunu

göstermektedir (TÜİK, 2018). Belirtilmesi gereken önemli bir durum ise Türkiye'nin gelişen sanayi ve değişen tüketim alışkanlıkları neticesinde hızla artan ve artacağı tahmin edilen enerji tüketiminin gelecekte önemli bir sorun olarak ülke gündeminde yer alacağıdır. Fosil kaynaklara %72 civarında bağımlılığı olan Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ekonomik, siyasi, sosyal alanda yararlar sağlayacaktır.

Enerjinin sanayi üretimi, ekonomik yapı ve sosyal hayat için vazgeçilmezliği düşünüldüğünde enerji arz güvenliği, ülkelerin en önemli konularından biri haline gelmektedir. Özellikle Türkiye gibi ithal enerjiye bağımlılığı yüksek ülkeler yaşanan ekonomik - siyasi krizler ve farklı nedenlerle son yıllarda sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimlerini arttırıp ve bu alanlara yönelik yatırımların önünü açarak akıllı bir tercih yapmışlardır. Günümüzde dünyada en fazla kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik güç, rüzgâr, güneş ve biyokütledir. Türkiye'de belirtilen tüm kaynaklar bulunmakta ve ekonomik kapasiteleri ülkenin enerji bağımsızlığını sağlayabilecek oranlardadır. Özellikle coğrafi konumu, etkisi altında olduğu basınç merkezleri, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve yer şekilleri Türkiye'nin rüzgâr enerjisinde önemli bir potansiyel sahibi olmasında önemli etken olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları yanı sıra sunduğu avantajlar ve dünyadaki artan kullanımıyla düşen maliyeti neticesinde rüzgâr enerjisi, Türkiye'nin de gelecekte enerji arz çeşitliliğinde önemli oranda yer alması beklenmektedir. Sadece ekonomik değil çevresel etkileri düşünüldüğünde rüzgâr enerjisinin, yakın gelecekte güçlü bir konuma ulaşacağı güncel yaklaşımlarından anlaşılmaktadır.

Artan sanayi faaliyetleri, kentleşme, değişen tüketim alışkanlıkları, artan nüfus ve gelişen teknoloji ile toplumlar daha fazla enerjiye bağımlı hale gelmektedir. Gelişmiş ülkeler ulaştıkları sanayi ve tüketim seviyelerinden dolayı yüksek enerji tüketimine sahipken, gelişmekte olan ülkeler yaptıkları yatırımlarla giderek daha fazla enerji tüketimi gerçekleştirmektedir. Artan enerji tüketimi beraberinde birçok sorun getirmektedir. Özellikle bu artış seviyesi sonucunda telafisi zor çevresel sorunlar ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Küresel ısınma üzerinde birinci derece

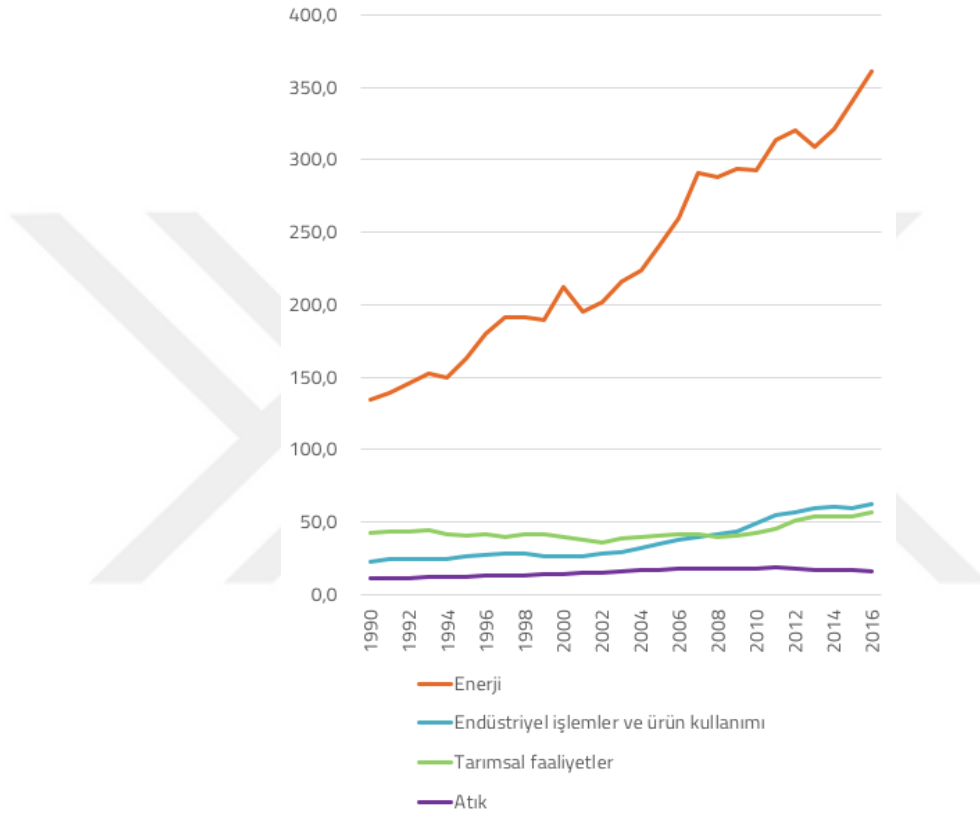
etkili olan CO₂ salınımı nedeniyle ısınan atmosferin anormal davranışlar sergilemesinin normalleşeceği ve bunun düzeltilemez olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle dünya genelinde birçok üniversite, kurum ve kuruluş konuyla ilgili çalışmalar yürütmektedir. Oluşan kamuoyunun ve geleceğe dönük politikaların temelinde ise; çevre sorunlarına yol açtığı bilinen fosil kaynak kullanımının azaltılarak yerine yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması gelmektedir.

Türkiye, OECD üyesi ülkeler arasında en hızlı büyüyen ülkeler kategorisinde yer almış, bu artışın bir sonucu olarak enerji tüketim oranı 2008 – 2016 arasında %76 oranında artarken, OECD ülkeleri arasında en fazla sera gazı salınım miktarına ulaşmıştır. OECD Çevre Performans İncelemesi (ÇPİ) raporunda Türkiye'nin sera gazı salınım miktarında ve hava kirliliğine bağlı ölüm oranlarında OECD ortalamasından yüksekte iken dizel ve benzinli araçlardaki yüksek vergi oranları ile çevre vergilerinde OECD ortalamasının üzerinde yer aldığı belirtilmekte ve yapılması gerekenler sıralanmaktadır. Sanayi faaliyetlerinde alınacak önlemler, atmosferin korunması ve çevre kirliliği konularında uygulanabilecek tedbirler sıralanmıştır. Ayrıca Paris Anlaşması ile yürürlüğe giren 2020 iklim değişikliğinin etkilerini azaltma bildirisine Türkiye imza atan fakat onaylamamış olan tek OECD ülkesi konumundadır. Bu durum ulusal çevre ve sosyal sorunlar açısından önemli olduğu kadar uluslararası alanda da bir etkiye sahiptir. Üyelik sürecindeki AB programlarının ve Kyoto Protokolünün' de öngördüğü şekilde Türkiye sera gazı salınımı başta olmak üzere diğer alanlarda yeni düzenlemeler yapmalıdır. Özellikle grafik 17'de gösterildiği gibi sera gazı salınımının yüksek oranda enerji üretiminden kaynaklandığı gerçeği ile Türkiye enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara daha fazla yer vermelidir.

2016 yılında Türkiye'de 1990 yılına oranda sera gazı salınımı %135,4 oranında artarak 496,1 Mt CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Bu miktarın %72'si enerji üretiminden, %12,6'sı endüstriyel işlemlerden, %11,4'ü tarımsal faaliyetlerden ve %3,3'ü atıklardan meydana gelmiştir. Grafik 17'de dikkati çeken bir diğer hususta; enerji kaynaklarından kaynaklı gazların %64'den %73'e çıkmış olması ve tarımsal faaliyet nedenli emisyonun %22'den %11'e düşüşüdür. Bunlara ek olarak atık kaynaklı sera gazı emisyonunda önemli bir değişim yaşanmadığı görülmektedir.

Diğer bir nokta ise 2001 ve 2008 dünya ekonomik krizlerinde sanayi üretimlerinin düşmesi sebebiyle enerji sektörü başta olmak diğer alanlarda da sera gazı emisyonunda düşüş meydana gelmiştir.

Grafik 15: Sektörlere Göre Türkiye Sera Gazı Emisyonu (milyon ton) 1990 - 2016



Kaynak: <https://www.iklimhaber.org/> (Erişim Tarihi: 10.05.2019)

Enerji kaynaklarının vazgeçilmezliği ve Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için tüketimlerinde yaşanacak artış, bu kaynakların kullanımında çevresel ve ekonomik olarak en doğru tercihi yapmayı zorunlu kılmaktadır. Tablo 13'te verilen enerji kaynaklarının çevresel etkileri sınıflamasında fosil kaynakların (petrol, doğal gaz ve kömür) çevresel etkilerinin en fazla olduğu görülmektedir. Tabloda görüldüğü gibi kömür tüm çevresel sorunlara neden olarak kullanımının yaratacağı zararlar hakkında fikir vermektedir. Aynı şekilde petrol ve doğal gaz tablodaki neredeyse tüm çevresel zararlara sahip olmalarıyla dezavantajları yüksektir. Fosil kaynakların 2040 yılından sonra en önemli çevresel sorun olacağı tahmin edilen iklim değişikliğine neden olmaların yanında hava, su ve toprak kirliliklerine neden olmaları insanları

önemli bir karar noktasına getirmiştir. Aynı şekilde bu kaynakların gürültü (petrol hariç) ve radyasyona (doğalgaz hariç) neden oluşları biyolojik, kimyasal birçok soruna kaynak oluşturdıklarını göstermektedir. Fosil kaynakların yol açacağı zararların telafisinin çok zor ve maliyetli oldukları düşünüldüğünde kullanımın da devletler kadar bireyler de ihtiyatlı davranmalıdır. Buna rağmen yenilenebilir kaynaklar en az çevresel etkiye sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir (tablo 13). Özellikle güneş enerjisi hiçbir zararı olmaması bakımından avantajlı bir konumdur. Jeotermal kaynak ise sadece toprak ve su kirliliği gibi önlenme olasılığı olan bir etkiye sahipken, rüzgâr enerjisi bir tek gürültü etkisine sahiptir. Fakat bugün için yaşanan gürültü sorunu gelişen teknoloji ve tekniklerle çözümü sağlanacak bir konudur. Her açıdan yenilenebilir kaynaklar çevresel etki açısından belirgin bir şekilde fosil kaynaklara göre avantajlı bir konumdur ve bu üstünlük geçici bir durum değildir. Bu sebeple enerji kaynak kullanımı kararları gelecek nesiller düşünülerek verilmeli ve sürdürülebilir bir sistem için çalışılmalıdır.

Tablo 12: Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri

	İklim Değişikliği	Asit Yağmuru	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	X	X	X	X	X	-
Kömür	X	X	X	X	X	X
Doğalgaz	X	X	X	-	X	-
Nükleer	-	-	X	X	-	X
Hidrolik	X	-	X	X	-	-
Rüzgâr	-	-	-	-	X	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	X	X	-	-

Kaynak: DMİ, 2003

Enerji kullanımında önemli başlıklardan birisi de kaynak maliyeti ve yararlanma ömrü hususudur. Fosil kaynakların bir kullanım ömrü olmasına rağmen yenilenebilir kaynakların sınırsız oluşu, bu kaynakların en önemli avantajı sayılabilir. Maliyet karşılaştırmasında ise gelişen teknolojiyle yenilenebilir kaynaklardan enerji üretmek daha hesaplı hale gelirken, gelecekte teknolojiyle bu durumun daha da iyileşeceği öngörülmektedir. Tablo 14'te enerji kaynaklarının kalan ömrü ve maliyet karşılaştırması gösterilmektedir. Fosil kaynakların çevresel dezavantajları pozisyonları maliyet ve kullanım ömrü hususunda da devam etmektedir. Petrol ve doğalgazın yetmiş yıl içinde biteceği ve kömürün onlara göre uzun yararlanma ömrü

olmasına rağmen çevresel etkileri ve yatırım maliyeti nedeniyle yöneticileri farklı kaynaklara yönlendirmektedir. Ayrıca petrolün yatırım maliyetinin diğer kaynaklara oranla yüksek olması ve dışa bağımlılık yaratması en büyük dezavantajı sayılabilir. Doğalgaz ise yatırım maliyeti uygun olsa da dışa bağımlılık yaratması nedeniyle karar vericilerin yönelimlerini etkilemektedir. Buna rağmen tabloya göre rüzgâr, jeotermal ile birlikte yüksek yatırım maliyeti gerektirse de yerel kaynak olmaları yani dışa bağımlılık oluşturmamalarıyla dikkat çekmektedir. Yerel kaynaklardan hidrolik güç en düşük yatırım maliyetine sahip iken, güneş ise en yüksek üretim maliyetine sahip kaynak olarak görülmektedir. Fakat iklim değişiminin getirdiği kaygılar, ekonomik sorunlar ve diğer sebepler, yenilenebilir kaynaklara yönelik çalışmaları ve yatırımları arttırarak tabloda görülen maliyet rakamlarını değiştireceği kesindir. Buna bağlı olarak rüzgâr başta olmak üzere diğer yenilenebilir kaynakların gelecekte kaçınılmaz olarak dünyanın temel enerji kaynağı olacağını söylemek yanlış olmaz.

Tablo 13: Enerji Kaynaklarının Karşılaştırması

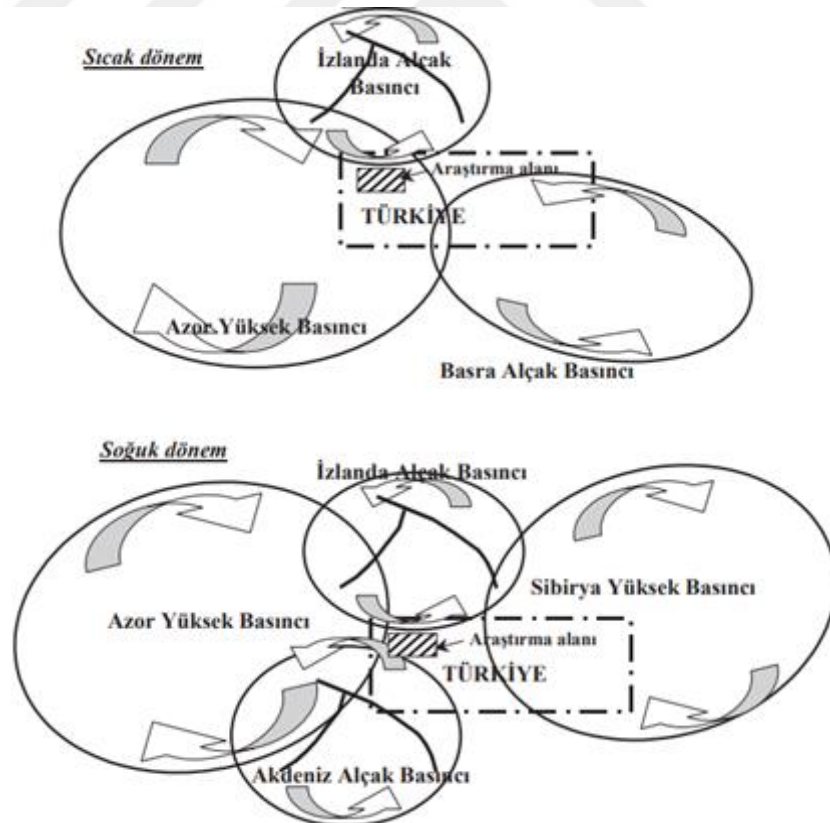
	Dışa Bağımlı / Yerel	Kalan Ömür* (Yıl)	Yatırım Maliyeti** (\$/kWh)	Üretim Maliyeti** (cent/kWh)
Petrol	Dış	40-45	1500-2000	6,0
Kömür	Yerel/Dış	200-250	1400-1600	2,5-3,0
Doğalgaz	Dış	60-65	600-700	3,0
Nükleer	Dış		3000-4000	7,5
Hidrolik	Yerel	-	750-1200	0,5-2,0
Rüzgâr	Yerel	-	1000-1200	3,5-4,5
Güneş	Yerel	-	Yüksek	10,0-20,0
Jeotermal	Yerel	-	1500-2000	3,0-4,0

Kaynak: DMİ, 2003

5.2 Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Sahip olduğu matematik konumun yanında üç tarafının denizlerle çevrili olmasıyla, yükselti ortalamasının fazla, ayrıca birçok dağ ve vadi bulunan yer şekilleriyle Türkiye, önemli rüzgâr potansiyeline sahiptir. Orta kuşağın güneyinde bulunması nedeniyle Batı Rüzgârının ve mevsimlere göre farklı basınç merkezlerinin etkisi altına giren bir coğrafyada bulunması, Türkiye'deki çok çeşitli rüzgâr kaynakları varlığının temel sebebidir. Koç, Kuzeybatı Anadolu'da Hava Tipleri çalışmasında basınç merkezlerinin, hava tipleri oluşumunda ve iklim özelliklerinde

etkili olduğunu vurgulamış, bahsi geçen bölgenin yıl boyu devamlı olmasa da 13 farklı hava tipinin etkisinde olduğu belirtilmiştir. Çalışmadan alınan şekil 24'te Türkiye üzerinde sıcak ve soğuk dönemde etkili olan basınç merkezlerinin etki alanları gösterilmektedir. Dinamik kökenli İzlanda Alçak Basınç Merkezi ve Azor Yüksek Basınç Merkezi yıl boyu etkinliğini korurken termik kökenli Sibirya Yüksek Basınç Merkezi kış mevsiminde, Basra Alçak Basınç Merkezi ise yaz mevsiminde etkili olmaktadır. Bu durum yıllık ve günlük hareketler ile eksen eğikliğinin temel sonucu olduğu gibi Türkiye'nin orta kuşağın güney kısmında yer almasıyla da ilgilidir. Bu basınç merkezleri mevsimsel olarak hâkim oldukları alanları değiştirirken; hava tiplerinin karşılaşmasına ve etkili rüzgârların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum dört mevsimin aktif olarak yaşandığı Anadolu Coğrafyasının yıl boyu rüzgâr almasına ve verimli rüzgâr sahası olmasına temel sebeptir.



Şekil 23: Türkiye’de Sıcak ve Soğuk Dönemde Etkili Olan Basınç Merkezleri

Kaynak: Koç T., 2008

5.2.1 Türkiye Üzerinde Etkili Olan Basınç Merkezleri

İzlanda Alçak Basınç Merkezi: Tropikal bölgelerden 60° kuzey enlemine esen sıcak hava bu bölgede soğuk ve kuru bir ortamla karşılaşınca yükselim hareketi gösteren alçak basıncın oluşmasına neden olur. Meteorolojik bakımdan çok değişkenli bu hava bölgesi gezici alçak basınçların oluşmasına da neden olur ki, Batı Rüzgârlarına katılarak kıtalar üzerinde etkili olur. Bu basınç merkezi kuzeybatıdan Türkiye üzerine yaklaştığında orografik yağışlara neden olduğu gibi sert rüzgârlara da sebep olmaktadır. Kış aylarında etkili olan bu basınç merkezi Sibirya YB'nin etkin olmadığı dönem, Türkiye üzerinde etkili olarak yağış ve ılımanlaştırıcı bir etki yapar.

Sibirya Yüksek Basınç Merkezi: Kuzey Yarım Kürede, Sibirya üzerinde kış mevsiminde etkisi artan kuru ve soğuk hava kütlesidir. Kış mevsiminde Türkiye üzerinde etkili olur. Doğu Anadolu Bölgesi'nde sert kışların geçmesine neden olan bu hava bölümü bazı zamanlar Akdeniz'e inerek tropikal hava kütlesi ile karşılaşır ve Akdeniz üzerinde geçici bir cephe oluşturur. Etkili olduğu dönemler Doğu Anadolu Bölgesinde sert kışların geçmesine neden olur.

Azor Yüksek Basınç Merkezi: Tropikal bölgeden kuzeye doğru hareket eden hava kütlesinin dinamik nedenlerle oluşturduğu bu basınç merkezi, Türkiye üzerinde yıl boyu etkili olmaktadır. 30° ve 40° Kuzey enlemlerinde etkili olan bu sistem kış mevsiminde Avrupa üzerinde ılımanlaştırıcı ve yağış getirici etki yaparken Anadolu Yarımadası'na kuru bir hava olarak ulaşır ve alçak basınç merkezlerinin oluşmasına neden olur.

Basra Yüksek Basınç Merkezi: Termik nedenlerle oluşan bu basınç merkezi yaz aylarında Türkiye'de etkili olmaktadır. Etkili olduğu dönem Anadolu'da kuru ve yüksek sıcaklar yaşanır. Yaz aylarında etkili olması yanında kışın etkisi kaybolur.

Bu basınç merkezlerinin ve genel atmosfer dolanımı sonucu Anadolu Yarımadası çevresinde çeşitli bölgesel rüzgârlar varlık gösterir. Bu rüzgârların

mevsimlere göre hızı ve frekansı değişir. Geldikleri bölgelerin genel atmosfer değerlerini Türkiye'ye taşıyarak rüzgâr, sıcaklık, nem gibi yani iklimsel unsurları etkilerler. Nemli bölgelerden gelen rüzgârlar kuru havadan daha yoğun olduğundan rüzgâr enerjisi üretimi için daha verimlidir. Kıyı şeritleri genel olarak yeryüzündeki okyanus, deniz ile karalar arasında bir sınır olduğundan önemli basınç geçişlerine sahip olurlar; bu nedene ve belirtilen yoğunluk etkisine göre bu alanlarda rüzgâr enerjisi üretmek daha kolay ve mantıklıdır. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olmasının yanında bahsedilen basınç merkezleri neticesinde önemli rüzgâr gücü sahibidir. Bu basınç merkezlerinin sahip olduğu hava karakteri Anadolu'da mevcut hava tipiyle temas kurarak önemli bir rüzgâr potansiyeli ortaya çıkarır. Ayrıca bu hava cepheleri bölgesel rüzgârlarında ana kaynağıdır.

5.2.2 Bölgesel Rüzgarlar

Karayel: Romanya içlerinde, Rusya steplerinde oluşan alçak basıncın etkisiyle varlık gösterir. Sıcak, kuru bir ortam oluşmasına neden olur. Yağmur sonrası kuzeybatı istikametinden birkaç gün boyunca eser (harita 1).

Yıldız: Genellikle Marmara ve Karadeniz'de soğuk cephenin geçişinden sonra eser. Soğuk ve yağış getirici etkisi vardır (harita 1).

Poyraz: Karadeniz'in kuzeydoğusundan (harita 1) sert ve zaman zaman tehlike oluşturabilecek hızda esen bölgesel rüzgârdır. Poyraz rüzgârları, kuzeydeki yüksek basınç ile Karadeniz üzerinde oluşan alçak basınç farkının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Kış döneminde Karadeniz dağlarının denize bakan yamaçlarında kar yağışına neden olabilir.

Krivetz: Rusya'nın ovalarında oluşan yüksek basınç ve Adriyatik Denizi üzerinde oluşan alçak basınç sonucu gelişen ve sıcaklığı hızlı düşürücü özelliği olan soğuk bir bölgesel rüzgârdır (harita 1). Karadeniz'de de alçak basınç alanlarına esme niteliği kazanabilir. Kışın ve ilkbaharda etkindir.

Bora: Orta ve Doğu Avrupa’da yüksek basınç, Tiran Denizi’nde alçak basınç oluştuğunda veya Adriyatik Denizi’nde gezici alçak basınçlar görüldüğünde eser. Sert ve soğuk nitelikli bir rüzgârdır. Özellikle İtalyan kıyı kentlerinde estiği ilkbahar ve kışları aylarında sert bir havanın hâkim olmasına neden olur. Türkiye üzerinde de etkili olan Bora, güney kıyılarımızda Antalya ve Adana doğrultusunda alçak basınçları takip eder ve şiddetli rüzgârların oluşmasına neden olur. Kış mevsiminde Karadeniz üzerinde alçak basınç oluştuğunda kuzeydoğu yönlü şiddetli rüzgârın oluşmasının sebebidir.

Mistral: Fransa’nın kuzey ve kuzeybatısından Akdeniz’e doğru esen soğuk rüzgârdır(harita 1). Rhone Vadisi içinde kanalize olarak bu bölgede etkili olur. Diğer soğuk rüzgârlar gibi kışın ve ilkbaharda etkindir.

Kesişleme: Güneydoğu’dan Anadolu’ya esen sıcak ve kuru rüzgârdır (harita 1).

Kible: Anadolu’nun güneyinden esen ve geldiği yön itibariyle ismini alan nemli ve sıcak rüzgârdır (harita 1).

Sirokko: Büyük Sahra’da oluşan yüksek basınç ve Akdeniz bölgesinde oluşan alçak basınç sonucu meydana gelen bölgesel rüzgârdır. Geldiği yer itibariyle sıcak ve kurak olan bu rüzgâr, Akdeniz üzerinden geçerken nem alarak Dalmaçya, İtalya ve Yunanistan’a yağış bırakır. Atlas Dağları üzerinden geçen bölüm ise fön etkisiyle daha fazla ısınır ve şiddetlenir. Ardel’e göre Suriye, Irak, Arabistan’da samyeli olarak isimlendirilen rüzgâr esasen Sirokkoyu teşkil eder.

Hamsin: Sirokko karakterine sahip hamsin ise Libya ve Mısır üzerinden esen sıcak ve kuru rüzgârdır. Şubat, mart, nisan, mayıs aylarında esen Hamsin, Akdeniz ile doğu sahra arasındaki basınç farkından meydana gelir. Doğu Akdeniz’de kutbi hava ile karşılaşmasında şiddetli rüzgârlar ortaya çıkar.

Lodos: Türkiye’nin batısında güneybatı yönlü esen sıcak rüzgârdır. Kış döneminde estiğinde karların erimesine bu da, sel ve taşkınlara neden olabilmektedir. Zaman zaman Ege, Marmara ve Batı Akdeniz’de deniz ulaşımı etkileyebilmektedir.



Harita 1: Türkiye Çevresinde Bölgesel Rüzgarlar

Kaynak: <https://www.mgm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 08.05.2019)

Fön: Dağ yamaçlarından tabana doğru inildikçe adyabatik ısınmaya bağlı olarak nispeten kuru ve sıcak rüzgârlara denir. İsmi Alpler'in Föhn bölgesinden almıştır. Akdeniz'de oluşan yüksek basınç ile Avrupa'nın alçak basıncı arasında oluşan ve Alplerin İtalya'ya tarafına yağış bıraktıktan sonra İsviçre kısmında hızlı sıcaklık artışı yaşanmasına neden olan rüzgârdır. Klasik, Antisiklonal ve Serbest atmosfer fönü olarak üç tipi bulunmaktadır. İlki yüksek basıncın dağ sıralarını aşmasıyla oluşurken, antisiklonal yüksek basıncın dağ yamacından çevreye inmesiyle oluşur. Serbest atmosfer fönü ise sıcak çukur bölgelerde sıcaklık terselmesiyle meydana gelir. Bu türde fön yükseklerde etkilidir (Ardel, 1973).

Anadolu yarımadasında fön ilkbaharda iç bölgelerdeki yüksek basınç alanından güney ve kuzey kıyı bölgelerindeki alçak basınç alanlarına doğru gerçekleşir. Fön kıyı bölgelerine sıcak hava getirdiğinden buradaki nem oranını azaltmaktadır. Doğu Karadeniz'de Trabzon Giresun bölgesinde etkili olduğu gibi Antalya ve Doğu Akdeniz'de ilkbahar döneminde önemli fön rüzgârları görülmektedir. (Ardel, 1973).

Türkiye’de mevsimsel geçişlerden ve topoğrafyaya bağlı olarak oluşan fönler üzerine çalışma yapan Erinç, Karadeniz ile Doğu Anadolu arasında fön mekanizmasıyla oluşan önemli dönemsel rüzgârların varlığını ortaya koymuştur. Bu rüzgârlar verimli enerji potansiyeline sahiptir. Aynı şekilde Gönençgil’in fön rüzgârı incelemesi yaptığı doktora tezinde İç Anadolu ve Akdeniz arasında meydana gelen sıcaklık farklılaşması ve yer şekilleri neticesinde Antalya civarında önemli fön rüzgârı potansiyelinin varlığı vurgulanmıştır (Gönençgil,1993). Fön oluşum mekanizmasının geniş oluşum imkânı bulduğu Türkiye Coğrafyası harita 3 ve 4 üzerinden incelendiğinde, deniz ve kara karşılaşma sahalarının önemli rüzgâr enerji potansiyeline sahip olduğu görülecektir. Akdeniz, Karadeniz bu sahalara yükselti ve sıcaklık farklılaşması neticesinde verilecek en iyi örnekler olup; Yıldız Dağları, Nur Dağları, Orta ve Batı Karadeniz Dağları fönün etkili olduğu, rüzgâr enerjisi yüksek sahalardır.

Gündoğusu: Doğudan esen soğuk ve kuru rüzgârdır. Rusya ve Kafkasya’da yüksek basınç etkisinde oluşur.

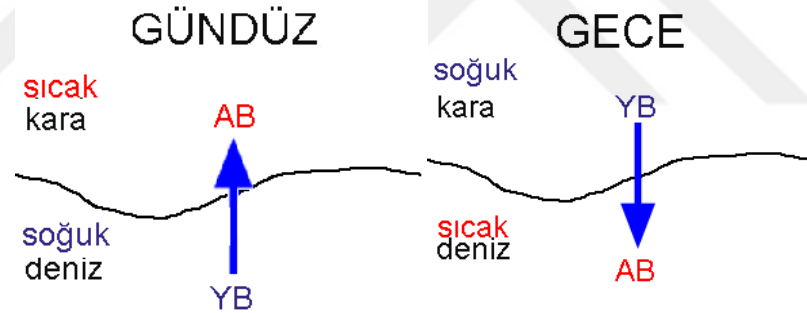
Günbatısı: Batıdan esen sıcak ve nemli rüzgârlardır. Türkiye’nin batısında yağışlara neden olur ki yaşamı etkileyebilmektedir. (<https://www.mgm.gov.tr>, 2019)

5.2.3 Günlük Rüzgârlar

Günlük basınç değişimi nedeniyle oluşan rüzgârlar topografyanın sıcaklık değerlerine göre meydana gelir ve bunlara meltem rüzgârları denir. Kara ve denizler ile vadi ve dağların gün içerisinde farklı ısınmaları sonucu oluşan bu rüzgârlar 30 ile 40 km mesafede 3-4 saatlik bir süre etkili olmaktadır. Bir yarımada olan ve birçok vadi ve dağa sahip Türkiye coğrafyasında da etkili olan meltemler, genel atmosfer dolanımı veya bölgesel geniş basınç kuşaklarının etkisiyle şiddetli rüzgârların meydana gelmesine yol açar. Estiği yöne göre isimlendirilen dört farklı meltem vardır. Bunlar;

Kara ve Deniz Meltemi

Geceleri karalar ısıma nedeniyle daha fazla ısı kaydedip soğurken denizler karalara nispeten sıcaklığını korur. Bu şekilde karalar üzerinde yüksek basınç, denizler üzerinde ise alçak basınç meydana gelir. Oluşan basınç farkı nedeniyle karadan denize esen rüzgâra kara meltemi denir. Gündüzleri ise soğuma alanları değişeceğinden mekanizma tersine işler ve denizden karaya esen deniz meltemi oluşur (şekil 5.2). Yazın Karadeniz ve Akdeniz’de belirgin şekilde kara ve deniz meltemleri meydana gelir. Ege Bölgesi’nde deniz meltemine ise imbat denir. Yazları esen imbat serinletici etkisiyle canlılar için önemli olduğu kadar bölgesel basınç merkezleriyle birleştiğinde adalarda ve kıyı bölgesinde etkili rüzgârlar oluşturur. Özellikle Batı Rüzgarları’nın etkisini arttırdığı dönemde esmesi ile rüzgar şiddetini artırarak rüzgar potansiyelini yükseltmektedir.



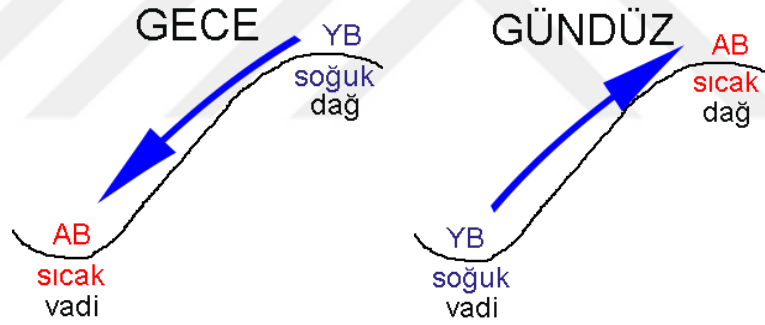
Şekil 24: Kara ve Deniz Meltemi

Kaynak: <http://www.lcdegitim.com/> (Erişim Tarihi: 03.04.2019)

Etezyen: Ege Denizi’nde eski Yunanlıların etezyen ismini verdiği Ege adalarına kuzeyden esen mevsimlik rüzgâr vardır ki bu rüzgâr genel atmosfer dolanımının bir sonucu olarak meydana gelir. Mevsimsel olarak tropikal basınç merkezlerinin kuzeye ilerlemesi ve Akdeniz’de alçak basınç merkezlerinin oluşması nedeniyle etezyen oluşur. Mayıs ve eylül ayları arasında esen bu rüzgâr kara ve deniz meltemlerini güçlendirerek ağaçları kıracak derecede şiddetli esebilir (Ardel, 1973).

Dağ ve Vadi Meltemi

Kara ve deniz meltemlerinin oluşma mekanizmasına benzer şekilde gündüzleri dağların tepe ve sırtları alçak basınç alanı iken vadilerde alçak basınç oluşur. Gündüzleri vadilerden dağ sırtlarına doğru esen bu rüzgâra vadi meltemi denir. Geceleri ise dağ üzerinde yüksek basınç, vadilerde alçak basınç oluşur. Bu şekilde dağ yamaçlarından vadi tabanlarına doğru esen rüzgâra dağ meltemi ismi verilir. Harita 4, 6 ve 8 karşılaştırıldığında Anadolu'nun iç bölgelerinde akarsularca yarılmış vadilerin veya dağ tabanların önemli rüzgâr potansiyel alanı olduğu görülmektedir. Bu ortaya çıkan sonuca günlük oluşan meltemlerinde etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 25: Dağ ve Vadi Meltemi

Kaynak: <http://www.lcdegitim.com/> (Erişim Tarihi: 03.04.2019)

5.2.4 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Değerlendirmesi ve Analizi

Her hangi bir bölgede rüzgâr enerjisi yatırımı yapılmadan önce yapılması gereken önemli işlerden birisi bölgenin rüzgâr potansiyelinin günümüz modern yöntem ve tekniğine uygun bir şekilde analiz edilmesidir. RES yatırımlarının maliyetinin yüksek miktarlar olduğu düşünüldüğünde yapılacak analiz yatırımın geleceği açısından önemlidir. Geçmişte bölgelerin rüzgâr enerji potansiyeli sıklıkla ölçülmeyen meteorolojik sayımlara ve topoğrafik basit incelemelere göre

değerlendirilirken günümüzde saatlik, günlük, haftalık ve yıllık olarak ayrıca yüzey değerleri de dikkate alınarak çok boyutlu bir şekilde bilgisayar ortamında veriler kayıt edilerek incelenir ki, yanılma payları bu nedenle çok düşüktür. Türkiye’de ilk Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) çalışması 1984 ve 2002 yıllarında gerçekleştirilmiş (harita 2) fakat veri eksikliği ve bilgisayarda verilerin işlenmesi mümkün olmadığından yeni bir REPA çalışmasını zorunlu kılmıştır. Bu nedenle 2006’da MTA, EİE tarafından yeni bir çalışma başlatılarak rüzgar verilerinin coğrafi bilgiler sistemine (CBS) entegre şekilde, 200x200m’lik çözünürlükte yeni bir atlas oluşturulmuştur (harita 3,6,7,8 ve 9). Çalışma, rüzgâr enerji üreticisi olmak isteyen büyük, orta veya küçük ölçekli tüm işletmelere, üniversite ve farklı kurumların başvuru kaynağı haline gelmiştir. REPA sadece rüzgâr için değil orman, doğa, inşaat, hava kirliliği gibi farklı alanlarda da kullanılabilir. Yapılan ölçüm Türkiye rüzgâr potansiyelini ve enerji kaynak potansiyelini belirlemesi açısından önemlidir.

REPA, küresel, orta ve mikro ölçekli üç farklı nümerik hava analiz verilerinin çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Modelleme sonucu kara ve denizlerde rüzgâr potansiyeli hesaplanmıştır. REPA oluşturulurken Avrupa rüzgâr potansiyel atlasının da yapıldığı Danimarka Meteoroloji Teşkilatı’nın geliştirdiği WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılmıştır. Elde edilen verilerin hata payı ise %7 oranındadır (Malkoç, 2009). WAsP paket programı rüzgâr hız verilerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uygun dağılım gösterdiği varsayımına dayanarak tahmin yapar. Weibull dağılımı rüzgârın hız ve frekans verilerini kullanarak değişkenli olasılıklar sunan bir hesaplama yöntemidir. Gerçek verilere yakın hesaplama yaptığından tercih edilir. Bu dağılım modeli yanı sıra bir bölgede ortalama rüzgâr hızı biliniyorsa Rayleigh Dağılımı da kullanılabilir. Bu hesaplamalar bölgenin rüzgâr yatırımı açısından uygunluğunu göstermesi açısından değerlidir. Weibull Dağılımı üç temel veri bilgisi ile bölgesel rüzgâr potansiyeli ortaya koymaktadır.

1. Saatlik rüzgâr verisi
2. Bölge pürüzlülük bilgisi
3. Yakın çevre engel bilgisi
4. Bölgenin topografyası

WASP, yukarıdaki bilgileri kullanan alt modellemeler ile rüzgâr potansiyel belirlemesi yapmaktadır (MGM, rüzgâr atlası). Bu program ile 30m, 50m, 70m, 80m ve 100m yükseklikte rüzgâr enerji hızı, yoğunluğu ve kapasite haritaları üretilmiştir. Ayrıca iller bazında da tüm Türkiye'nin rüzgâr potansiyeli, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) internet sayfasında yayınlanarak üretici ve ilgililere bilgi sağlanmaktadır. REPA yardımıyla;

1. 30 m, 50 m, 70 m ve 100 m yüksekliklerdeki yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük ortalama rüzgâr hızları (m/s)
2. 50 ve 100 m yüksekliklerdeki yıllık, mevsimlik ve aylık rüzgâr güç yoğunlukları (W/m^2)
3. 50 m yükseklikteki yıllık rüzgâr kapasite faktörü (%)
4. 50 m yükseklikteki yıllık rüzgâr sınıfları (1-7 arasında)
5. 2 ve 50 m yüksekliklerdeki aylık hava sıcaklığı
6. Deniz seviyesinde ve 50 m yükseklikteki aylık hava basıncı (mb) değerleri gibi veriler elde edilmiştir.

REPA her kapasitede ki yatırım için yatırımcıların genel bilgi sahibi olmalarını, yatırım yapılması planlanan alanın genel özellikleriyle rüzgâr kapasitesini ve maliyetinin hesaplanmasında yardımcı olması amacıyla hazırlanmıştır. Fakat rüzgâr kaynağı zengin görülse de bazı noktalar yatırım için uygun olmayabilir. Bunlar;

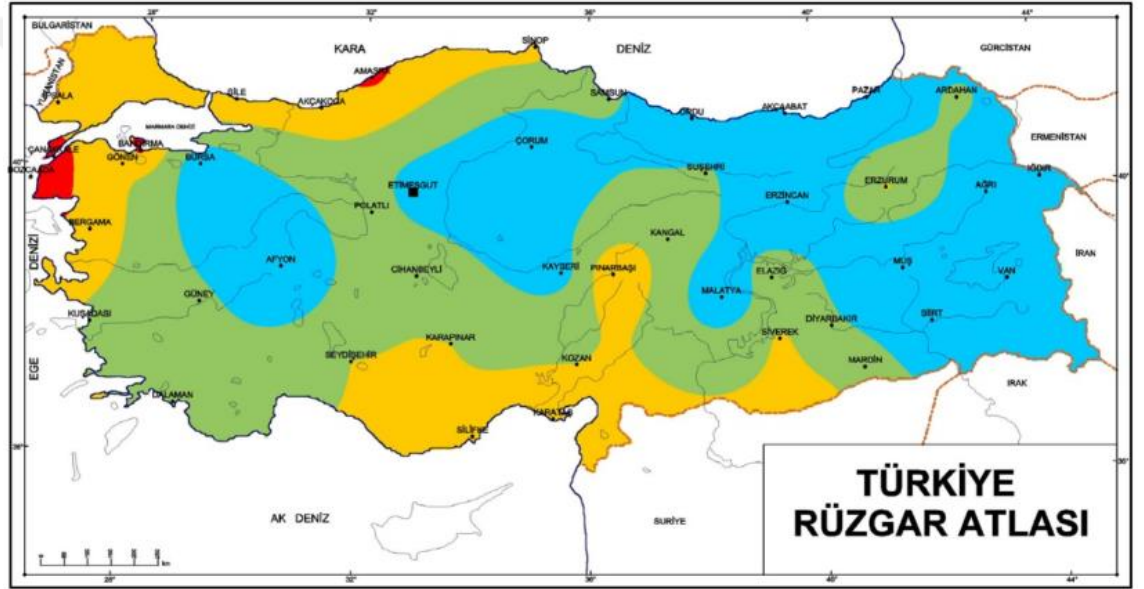
1. Yükseltisi 1.500 m ve eğimi %20'den fazla olan alanlar
2. Mücavir alanlar ve köyler
3. Kara ve demir yolları ile hava alanları ve limanlar
4. Akarsular, göller ve orman alanlarının bir bölümü ile çevre koruma alanları
5. Enerji santralleri
6. Emniyet kuşakları
7. Derinliği 50 m'den fazla olan deniz alanlarıdır.

Türkiye toplam alanından bu alanlar çıkarılarak 50 m yükselti de rüzgâr güç yoğunluğu $300 W/m^2$ olan ve rüzgâr hızı 6.8 m/s büyük olan alanlarda, kilometre başına 5 MW üretilbileceği öngörülerek rüzgâr potansiyeli hesaplanmıştır. 1989 ve

1998 yılları arasında yapılan saatlik rüzgâr ölçüm verisine göre hazırlanan atlas (harita 2) 10m yükseklikteki hız ve yoğunluk ölçümünü dikkate almıştır. Bu durum 2006'da üretilen REPA ile önemli bazı farklılıklar içermektedir ki bunun temel sebebi son yapılanın 50m ve üstündeki alanların verisini kullanmasıdır. 10m verilerini sunan harita 2 incelendiğinde en büyük potansiyelin Çanakkale'de Biga ve Gelibolu yarımada ile Batı Karadeniz'de Zonguldak'ta kıyı bölgesinde dar bir alan olduğu anlaşılmaktadır. Bu alanların haricinde Ege'nin kuzey kesimi, Batı Karadeniz'den Yıldız Dağları'na kadar olan bölge ve Doğu Akdeniz Hatay civarı rüzgâr enerjisi açısından verimli alanlar olarak görülmektedir. Fakat harita 2'de 50m yükselti de farklı topografyaların rüzgâr gücü hakkında bilgi verilmiştir. Bu haritadaki tabloya göre en verimli alanlar tepe ve bayır alanlardır. Bu alanlarda en yüksek hızda (11.5 m/s) esecek rüzgârdan m^2 'de 1800 W enerji üretilebileceği belirtilmektedir. İkinci sırada kıyıdan 10 km uzakta açık denizde en yüksek verimin elde edileceği belirtilmektedir. Açık denizde esecek en hızlı rüzgârda (9 m/s) m^2 'de 800W enerji üretilebileceği ifade edilmiştir. Üçüncü sırada kıyı bölgeleri gelmektedir. Bu alanda esecek en hızlı rüzgârda (8.5 m/s) m^2 'de 700W enerji üretileceği belirtilmiştir. Dördüncü sırada açık alanlar gelir ki iç bölgelerde kurulacak santraller bu tahminlere göre inşa edilmektedir. Bu alanlar rüzgâr esişini engelleyici yapının olmadığı, dağ veya yamaç bölgelerdir. Bu alanlarda esecek en hızlı (7,5 m/s) rüzgârda m^2 'de 500 W enerji üretilebilecektir. Beşinci ve en verimsiz alanlar ise rüzgâr esişini engelleyici yapıların olduğu kent veya orman alanlarıdır. Bu alanlarda en hızlı (6 m/s) rüzgârdan m^2 'de 250W enerji elde edileceği belirtilmiştir. Belirtilen alanların rüzgâr hız ve üretim potansiyelleri 2006'da hazırlanan REPA ile karşılaştırıldığında yanlışlar içerse de alan kıyaslaması ve Türkiye Coğrafya'sının rüzgâr üretim alanları genel hatlarıyla doğru hesap edilmiştir.

2002'de hazırlanan harita 2'de sadece Ege Denizi'nin kuzeyinde Çanakkale çevresi ve Zonguldak kıyısında dar bir alan yüksek verim bölgesi olarak gösterilse de, 2006'da hazırlanan REPA'da (harita 3,6,7,8 ve 9) yüksek verimli alanların farklılık arz ettiği görülmektedir. Ege Denizi kıyı şeridinin Biga'dan başlayarak Muğla'ya kadar olan kesimi, Güney Marmara ve İç Anadolu'da Sivas, Kayseri, Niğde, Karaman hattı boyunca bir bölgenin ve Doğu Akdeniz'in önemli bir rüzgâr

enerji üretim alanı olduğu görülmektedir. 2002 REPA’da belirtildiğinin aksine Batı Karadeniz Bölümü’nün orta hatta az verimli bir alan olduğu görülmektedir. Bu hatalı veya eksik göstergeler rüzgâr ölçümünün 10m yükseltiyle sınırlandırılmasından kaynaklandığı aşikârdır. Türkiye 50m ve 100m rüzgâr hızları haritaların (harita 6,7 (50m) ve 8, 9 (100m)) karşılaştırıldığında yükseldikçe rüzgâr enerji potansiyelinin arttığı net bir şekilde görülecektir. Türbin boyutlarının da bu sebeple büyütüldüğü düşünüldüğünde rüzgâr gücü için topografyanın etkisinden uzak ve türbülans olasılığı olmayan bölge ve yükselti araştırmalıdır.



Beş farklı topografik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri ¹					
Kapalı Alanlar ²	Açık Araçlar ²	Kıyılar ²	Açık Dağlar ²	Tepe ve Bayır ²	
m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	
> 6.0	> 7.5	> 8.5	> 9.0	> 11.5	> 1300
5.0 - 6.0	6.5 - 7.5	7.0 - 8.5	8.0 - 9.0	10.0 - 11.5	1000 - 1300
4.5 - 5.0	5.5 - 6.5	6.0 - 7.0	7.0 - 8.0	8.5 - 10.0	700 - 1000
3.5 - 4.5	4.5 - 5.5	5.0 - 6.0	5.5 - 7.0	7.0 - 8.5	400 - 700
< 3.5	< 4.5	< 5.0	< 5.5	< 7.0	< 400

1. Rüzgar potansiyeli, rüzgarın gücünü temsil etmektedir. Rüzgar türbini halihazırda potansiyelin % 20 ile % 30 luk bölümünü kullanabilir. Potansiyel hesaplamaları; deniz seviyesinde 1 Atm lik standart basınç ve 15 °C sıcaklığa karşılık gelen 1.23 kg-m³ hava yoğunluğuna göre yapılmıştır.
2. Yerleşim alanları, ormanlar ve rüzgar kancasının yoğun olduğu tarım alanları (pürüzlülük sınıfı 3)
3. Az sayıda rüzgar kancasının olduğu açık araziler (pürüzlülük sınıfı 1). İç bölgelerde en fazla tercih edilen alanlar genellikle bu sınıfta bulunmaktadır.
4. Düzgün kıyı alanları ve çok az sayıda rüzgar kancası içeren kara yüzeyleri (pürüzlülük sınıfı 1). Eğer hakim rüzgar yönü deniz tarafından ve sürekli ise, potansiyel daha fazla olabilir.
5. Kıyılardan en az 10 km uzaklıktaki açık denizler (pürüzlülük sınıfı 0).
6. Bütün sınıflarda % 50 ye varan bir hız artışı görülmektedir ve bu sonuç 400 m yüksekliğinde ve 4 km çapındaki sınırlı bir lepede yapılan hesaplamalarda elde edilmiştir. Rüzgar hızındaki artış; tepenin yüksekliğine, uzunluğuna ve yapısına bağlıdır.

Harita 2: Türkiye Rüzgâr Atlası 2002

Kaynak: DMİ, EİE,2002

Türkiye rüzgâr hız ortalamasının 2,58 m/s olarak belirtilen 2002 REPA’da bölge rüzgâr hız ortalamalarına göre Marmara, Ege ve Akdeniz, İç Anadolu, Güneydoğu ve Doğu Anadolu Bölgesi şeklinde sıralanmaktadır (tablo 15). Karadeniz ortalamasının düşük olmasına rağmen Batı Karadeniz Bölümü rüzgâr potansiyeli bakımından bölgenin genelinden daha iyi iken Doğu Anadolu’da ise bazı dağ kesitlerinde rüzgâr potansiyelinin olduğu görülmektedir. Rüzgâr yoğunluğu bakıldığında ise rüzgâr hızına paralel şekilde bir bölge sıralaması olduğu

görülmektedir. Bu ortalama bugün yapılan modern ölçüm ve 2006 REPA ile kıyaslandığında önemli hatalar içermektedir. Türkiye ortalaması olarak verilen oran 10m yükseltide ve sadece meteorolojik amaçlar için yapılan araştırmalardan alınan bilgilerdir. Eğer bu bilgiler ülke coğrafyasının gerçeği olsa, bugün ulaşılan rüzgâr kurulu gücü bir hayal niteliğinde olurdu. Buna rağmen araştırma yükseltisinin 2006'da 50m ve üzerine çıkması Türkiye'nin asıl rüzgâr gücünü ortaya çıkarmıştır.

Tablo 14: Bölgelere Göre Rüzgâr Hız ve Yoğunlukları

Bölge	Yıllık ortalama rüzgâr hızı (m/s)	Yıllık ortalama rüzgâr yoğunluğu (W/m ²)
Marmara Bölgesi	3,29	51,91
Ege	2,65	23,47
Akdeniz	2,45	21,36
İç Anadolu	2,46	20,14
Karadeniz	2,38	21,31
Doğu Anadolu	2,12	13,19
Güneydoğu Anadolu	2,69	29,33
Ortalama	2,58	25,82

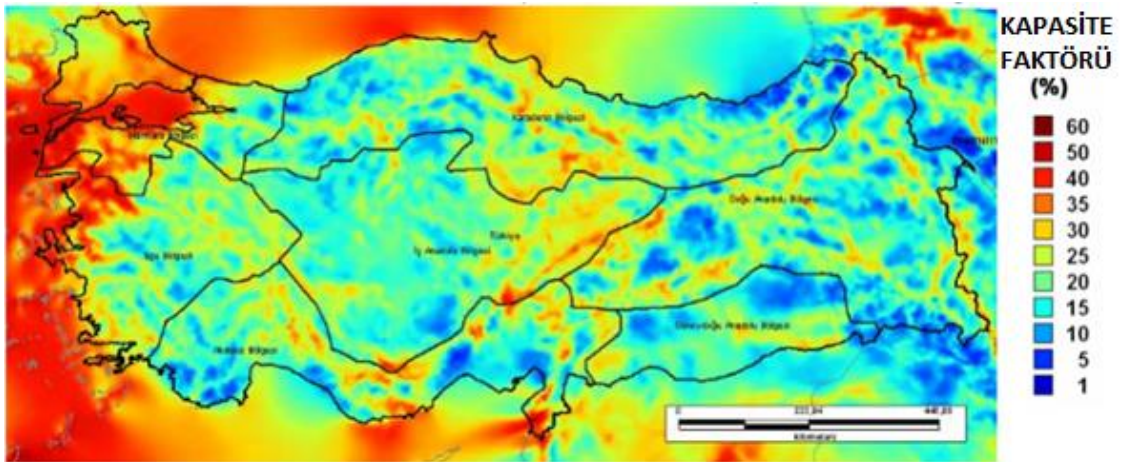
Kaynak: DMİ, EİE, 2002

2006 REPA'ya göre Türkiye'de en verimli rüzgâr enerji alanları Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgesi olarak dikkat çekmektedir. Bu bölgelerin sonbahar sonu, kışın ve ilkbahar başında orta enlem ve Akdeniz siklonunun neden olduğu fırtınalara maruz kalması ve ilkbahar sonu, yaz ve sonbahar başında kuzey merkezli rüzgârların bu coğrafya da belirgin şekilde etkinliğini arttırması, bu bölgelerin önemli rüzgâr potansiyel sahibi olmalarında etkilidir. Ayrıca REPA incelendiğinde kıyı ve kıyı bölgeleri ile iç bölgelerdeki dağ ve vadi çevrelerinin önemli rüzgâr potansiyel alanları olduğu görülmektedir. Bunu harita 3'de verilen 50m Türkiye Rüzgâr Kapasite Haritası ile harita 4'te verilen Türkiye fiziki haritası karşılaştırmasıyla incelemek daha yararlı olacaktır. Batı rüzgârının etki alanı olan kıyı Ege ve basınç karşılaşma alanı olan Kuzey Ege ile Güney Marmara yüksek rüzgâr potansiyeli sunarken, Doğu Akdeniz dağların denize olan konumları nedeniyle önemli rüzgâr alanı oluşturduğu görülmektedir. Bu bölgelerin rüzgâr potansiyellerin de denizellik karasallık yanı sıra mevsimlik basınç farklarının bu alanlarda etkili olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır. Karadeniz'de batı ve doğu bölümü hariç orta kesim kuzeyli

rüzgârların iç kesimlere girmesine imkân veren dağ yükseltisi nedeniyle önemli rüzgâr alanı içerisindedir.

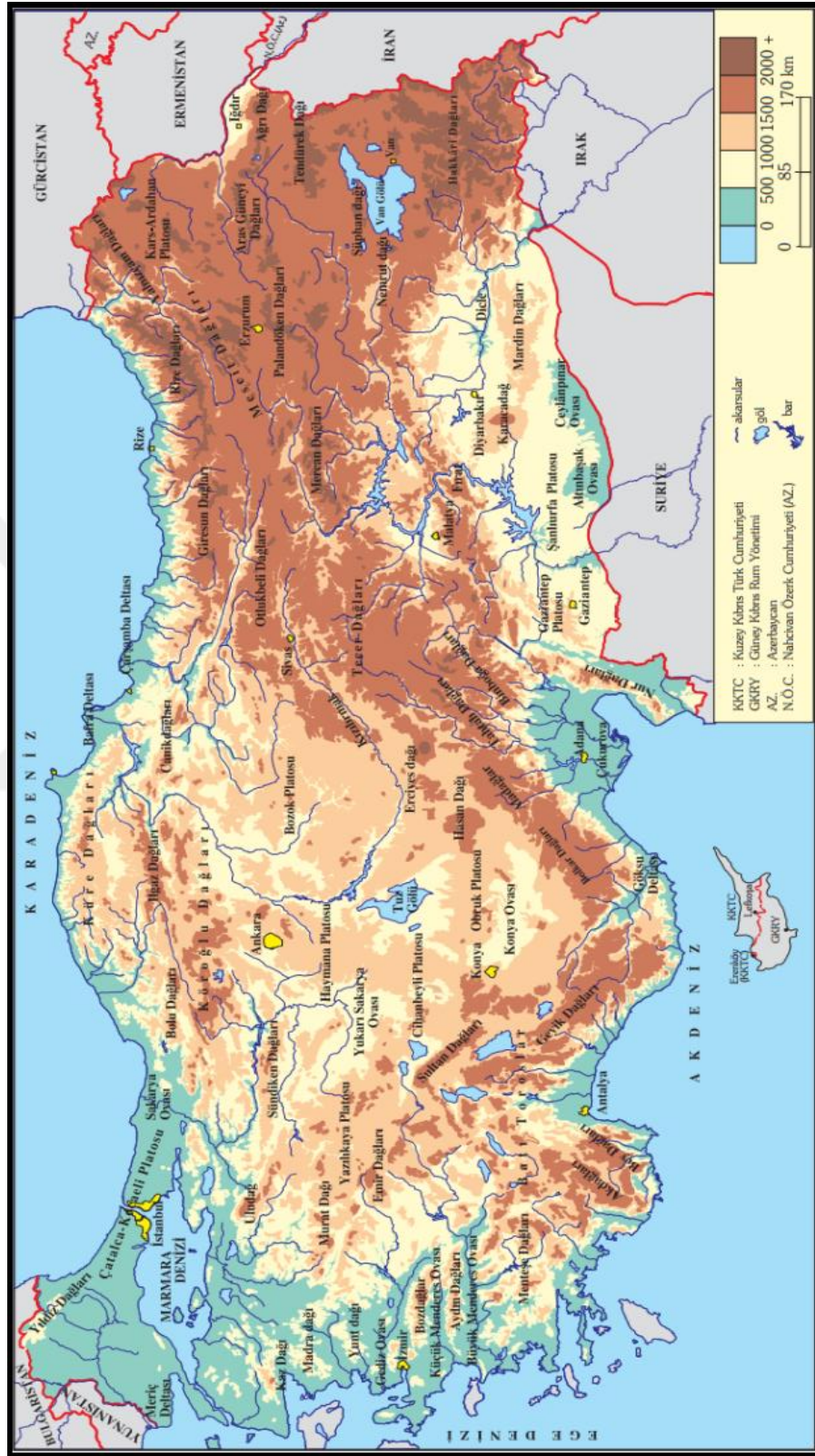
Klimatolojik analizlerde Türkiye coğrafyası orta kuşağın değişken hava bölümü içerisindedir. Özellikle kış mevsiminde güneye kadar inen kuzey merkezli basınç merkezleri ile yazın güneyden gelen alçak basınçların etkisi altına girer ve bu durum rüzgârları etkilediği kadar sıcaklık ve nemi yani iklimini etkiler. Orta kuşakta sabit bir basınç rejimi olmadığı için net bir rüzgâr sisteminden bahsedilemez. Kış mevsiminde alçak basınç merkezi olan Akdeniz çevresi birçok koldan yaklaşan orta kuşak rüzgârlarına ev sahipliği yapar. Ardel bu rüzgârların 5 farklı koldan Girit üzerinden Doğu Akdeniz'e, Romanya üzerinden Karadeniz e ve Yunanistan üzerinden Ege Denizi'ne ulaştığını beyan eder. Ulaşan bu rüzgârlar mevsimsel olarak hız ve yoğunlukları değişse de bölgelerde önemli rüzgâr potansiyeli sağlamaktadır.

Çiçek'in (2017) Türkiye'de Termik Dönemler yayılımı üzerine yaptığı çalışmada sıcaklık dağılışında Türkiye'nin matematik konumun etkili olduğunu belirtir. Orta kuşak ülkesi olan Türkiye yıl içerisinde belirgin dört mevsim yaşarken sıcaklık farkları da buna binaen belirgin değişimler gösterir. Karasallık, bakı, yükselti, dağların uzanışı gibi özel konum nitelikleri ise yerel sıcaklık farklarının daha fazla artmasına veya azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum mevsimsel ve günlük sıcaklık değişimi üzerinde etkili olabilmektedir. Bu etki ise basınç farklarına ve dolayısıyla rüzgâr sıklığı ve şiddeti üzerinde değişimlere yol açabilmektedir.



Harita 3: Türkiye Ortalama Rüzgâr Kapasitesi – 50m

Kaynak: ETKB, MGM, YEGM, 2006



Harita 4: Türkiye Fiziki Haritası
Kaynak: MGM

Elektrik İşleri Enstitüsü'nün 2006 REPA'ya göre düzenlediği Türkiye rüzgâr sınıflandırması; toplam ve deniz üstü olmak üzere tablo 16 ve 17'de verilmiştir. Tablolar birlikte değerlendirildiğinde Türkiye toplam potansiyel uygulanabilir rüzgâr potansiyeli 47.849,44 GW iken, deniz üstü potansiyeli ise 10.463,28 GW civarındadır. Diğer bir deyişle karasal alanlarda yaklaşık 38 GW'lık bir potansiyel mevcuttur. Toplam potansiyelin yaklaşık 30 GW'ı iyi sınıfında yer alan rüzgârlar oluştururken, 5 GW'ı ise sıra dışı sınıfında yer alan rüzgârlar meydana getirir. Rüzgâr sınıflarının bu şekilde oluşması rüzgâr esiş hızının, konumun, denizellik ve yerçekillerinin bir sonucudur(Malkoç, 2007; Çalışkan, 2011).

Tablo 15: Türkiye İyi - Sıra Dışı Sınıflar için 50m Toplam Rüzgâr Potansiyelleri

Rüzgar Düzeyi	Rüzgar Sınıfı	Rüzgar Gücü ($W \cdot m^{-2}$)	Rüzgar Hızı ($m \cdot s^{-1}$)	Toplam Potansiyel (MW)
İyi	4	400 – 500	7,0 – 7,5	29.259,36
Çok iyi	5	500 – 600	7,5 – 8,0	12.994,32
Mükemmel	6	600 – 800	8,0 - 9,0	5.399,92
Sıra dışı	7	> 800 >	9,0	195,84
			Toplam	47.849,44

Tablo 16: Türkiye İyi - Sıra Dışı Sınıflar için 50m Deniz Alanları Toplam Rüzgâr Potansiyelleri

Rüzgar Düzeyi	Rüzgar Sınıfı	Rüzgar Gücü ($W \cdot m^{-2}$)	Rüzgar Hızı ($m \cdot s^{-1}$)	Toplam Potansiyel (MW)
İyi	4	400 – 500	7,0 – 7,5	5.133,20
Çok iyi	5	500 – 600	7,5 – 8,0	3.444,80
Mükemmel	6	600 – 800	8,0 - 9,0	1.742,56
Sıra dışı	7	> 800 >	9,0	142,72
			Toplam	10.463,28

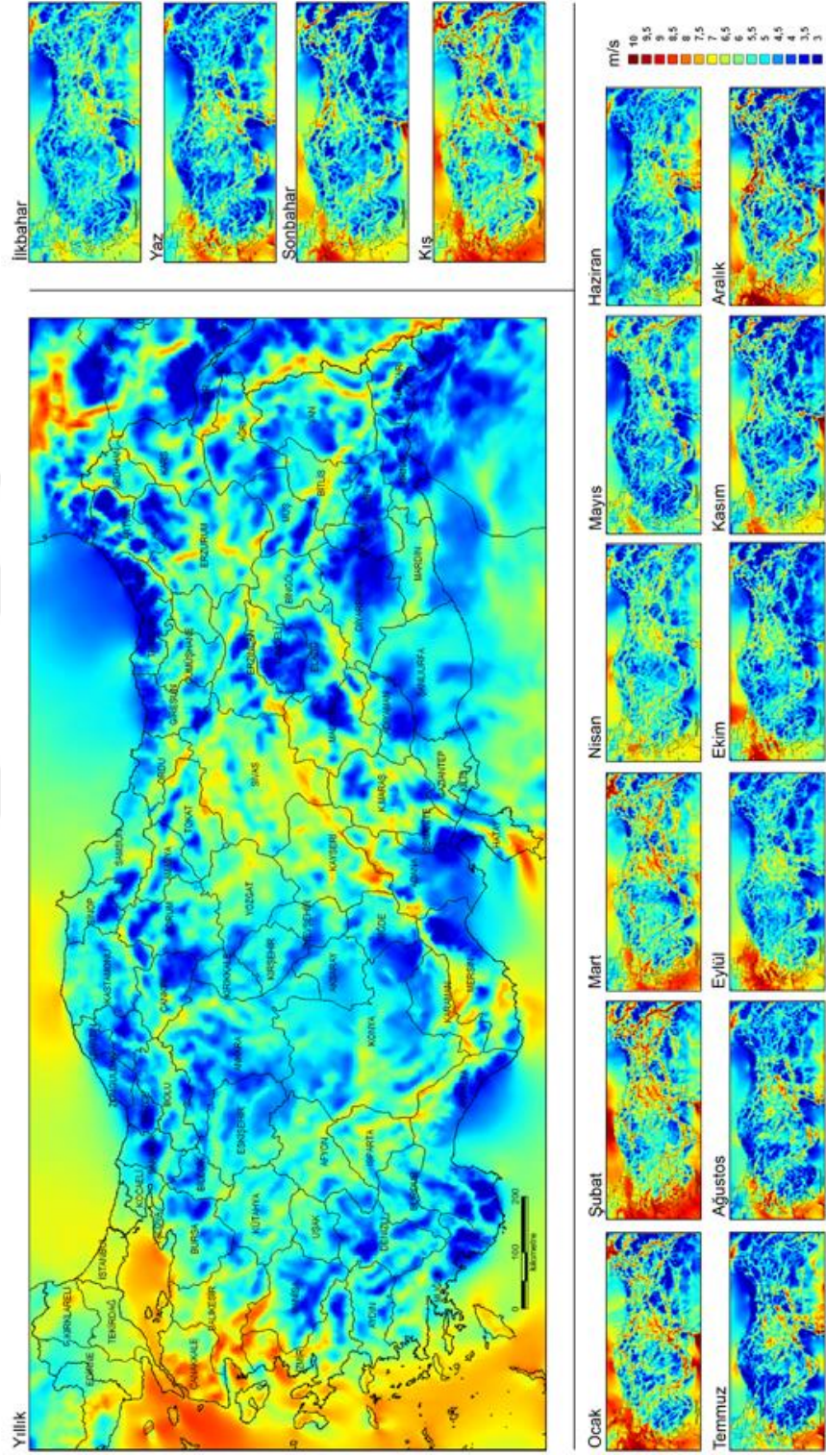
Kaynak: EİE, <https://www.bantb.org.tr/> (Erişim Tarihi: 04.04.2019)

Rüzgâr enerjisinden en uygun yararlanma değerleri 7 m/s hız, 600 W/m² yoğunluk ve %35 kapasite faktörü olduğu ölçülmüştür. Bu bilgi ışığında harita 6, 7, 8 ve 9'de verilen Türkiye rüzgâr hız ve yoğunluk değerleri incelendiğinde Marmara, Ege, Akdeniz ve İç Anadolu'da yatırım yapılabilir alanlar olduğu ortaya çıkmaktadır. 2018 yılı sonu itibarıyla toplam kurulu rüzgâr gücünün 7.369 MW olduğu ve bunun; 2.832,0 MW'ı Ege (%38,4), 2.448,9 MW'ı Marmara (%33,2), 996,1 MW'ı Akdeniz (%13,5) ve 726,7 MW'ı İç Anadolu (%9,8) bölgesinde olduğu görülmektedir (TÜREB, 2019). Bu durum 2006 REPA'nın yaptığı ölçümlerin doğruluğunu ortaya koyması açısından önemlidir.

RES kurulu gücünün şehirler bazında ilk 5'te sırasıyla İzmir, Balıkesir, Manisa, Hatay ve Çanakkale gelmektedir. Harita 4 ve 5 birlikte ele alındığında Batı Rüzgarları'nın etkili olduğu bu kentlerin en fazla yatırımı aldığı görülmektedir. Ayrıca mevsimsel hava geçişleri ile kara – deniz meltemi ile bölgesel hava geçişlerinin bölgede olmasıyla ortaya çıkan rüzgârlar, en fazla rüzgâr yatırımlarının bu kentlere olmasının diğer nedenidir.

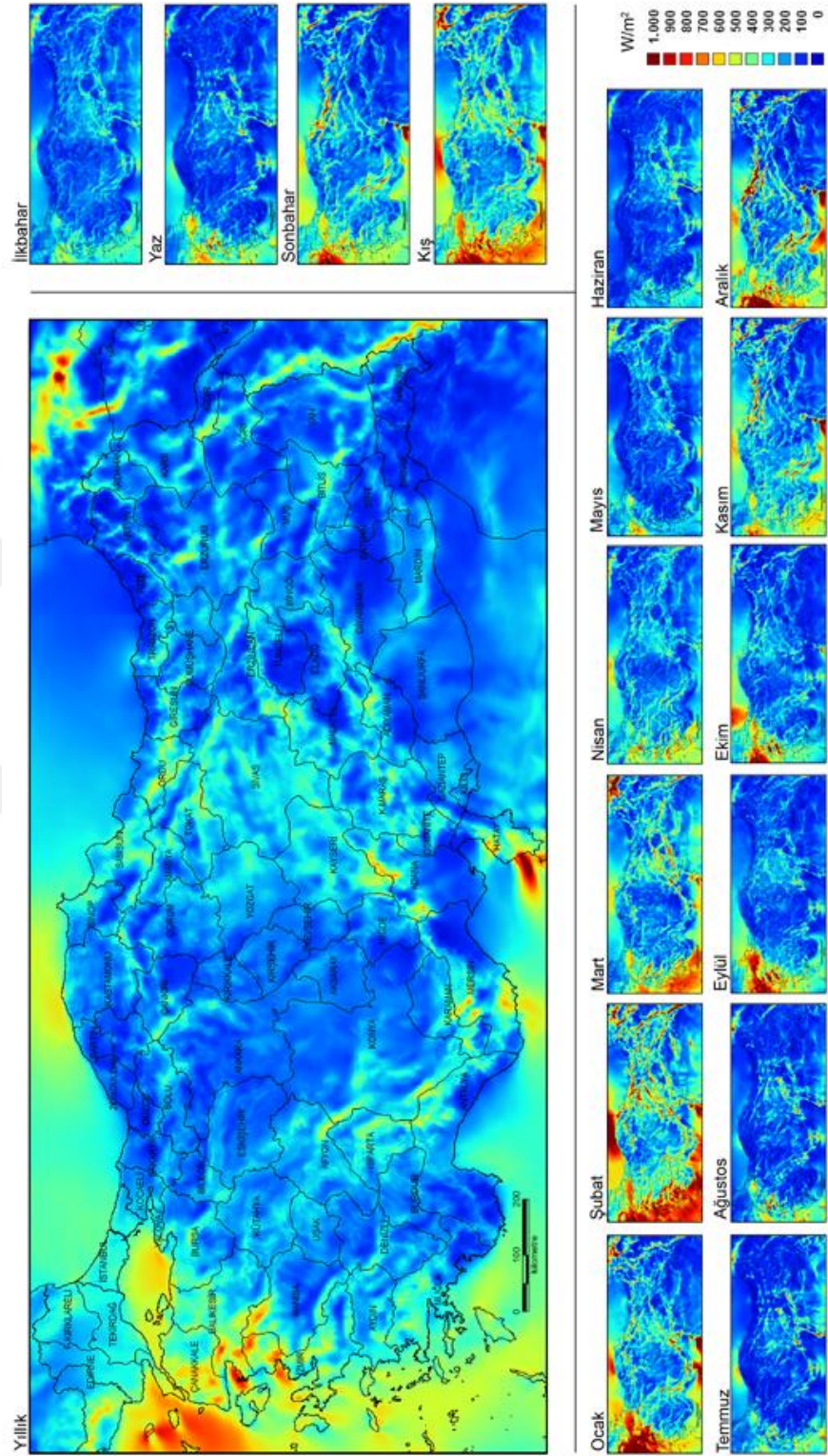
Harita 6, 7, 8 ve 9 birlikte ele alındığında yukarıda bahsedilen coğrafi nedenlere bağlı olarak Ege, Güney Marmara, Akdeniz ve İç Anadolu'da bazı bölgeler önemli rüzgâr alanlarıdır. Bu durumun bir sonucu olarak harita 5 ortaya çıkmıştır. En fazla kurulu gücün olduğu bölge ve kentler en fazla rüzgâr potansiyeli sahip alanlardır. Şuan için denizüstü RES'i bulunmayan Türkiye Coğrafya'sında yakında denizde de benzer bir dağılımın olacağını kanıtlamaktadır. Fakat hemen belirtilmelidir ki, deniz de topoğrafik engellerin olmaması nedeniyle potansiyeli ve gelişmenin daha fazla olacağı söylenebilir. Fakat burada da deniz tabanının yapısı ve maliyet unsurları devreye girer ki, bu alanda çalışmaların yapılması önemlidir.

Harita 6 ile 7 50m yükseklik verisinin sonucu iken; 8 ile 9 100m verileri ile hazırlanmıştır. Haritalar kıyaslandığında yükselti ile önemli oranda rüzgâr hızı ve yoğunluğu kazanılmaktadır. Bu nedenle günümüzde devamlı daha büyük boyutlarda rüzgâr türbinleri inşa edilmek istenmektedir. Bu durum göz önünde tutularak gelişecek teknik imkânlar neticesinde Türkiye rüzgâr kapasitesinin daha yükseklerde ölçümleri yapılarak rüzgâr potansiyeli yükseltilebilecektir. Fakat belirli bir yükseltiden sonra hem mimari sorunlar ve türbülans hem maliyet sorunu olacağına bir sınırın olduğu belirtilmelidir. Türkiye'nin son on yılda geldiği nokta düşünüldüğünde bu konuda araştırma, ARGE ve teşvikler konusunda daha çalışılmaktadır.



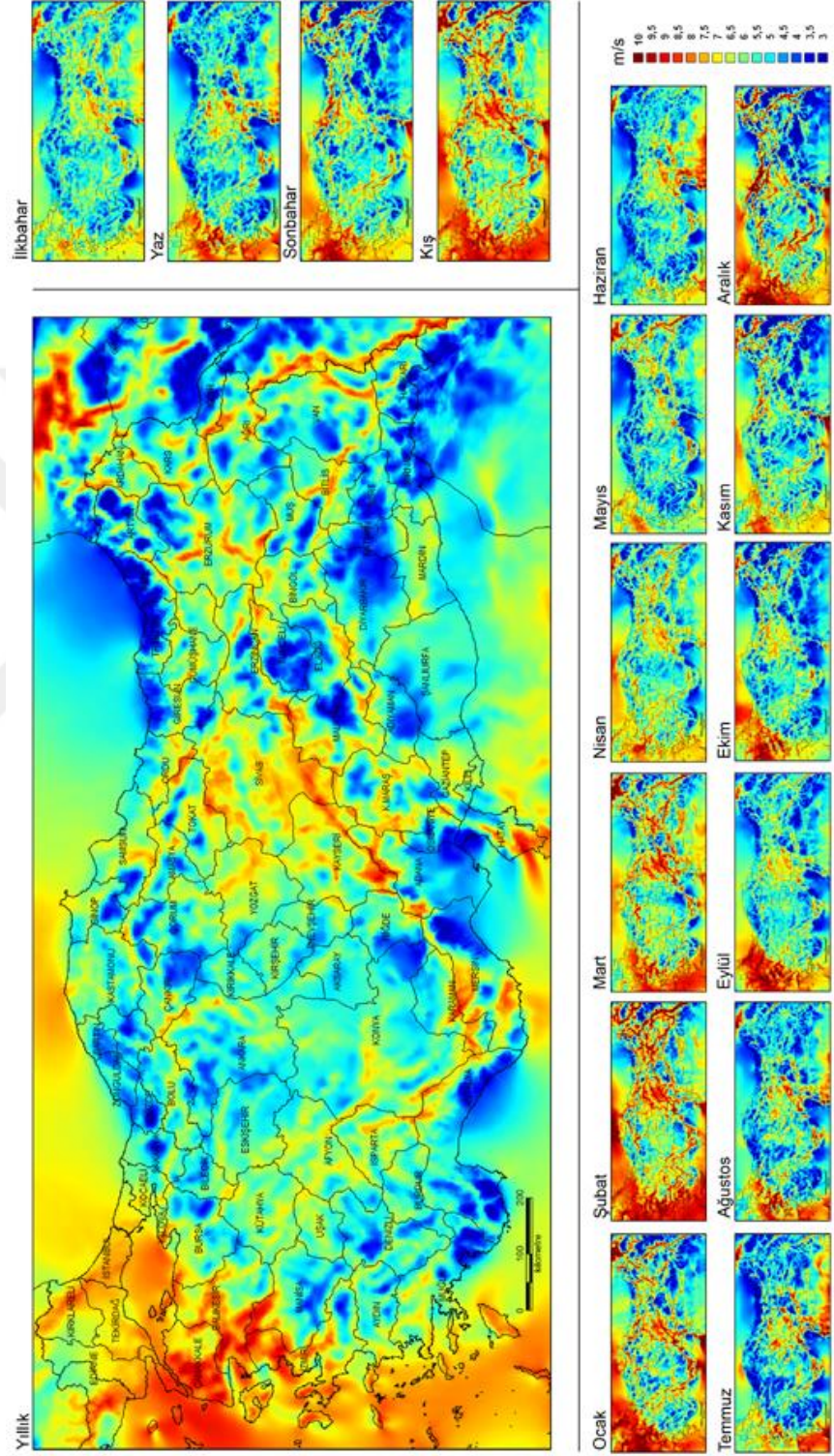
Harita 6: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Hızı Dağılımı – 50m

Kaynak: ETKB, MGM, YEGM, 2006



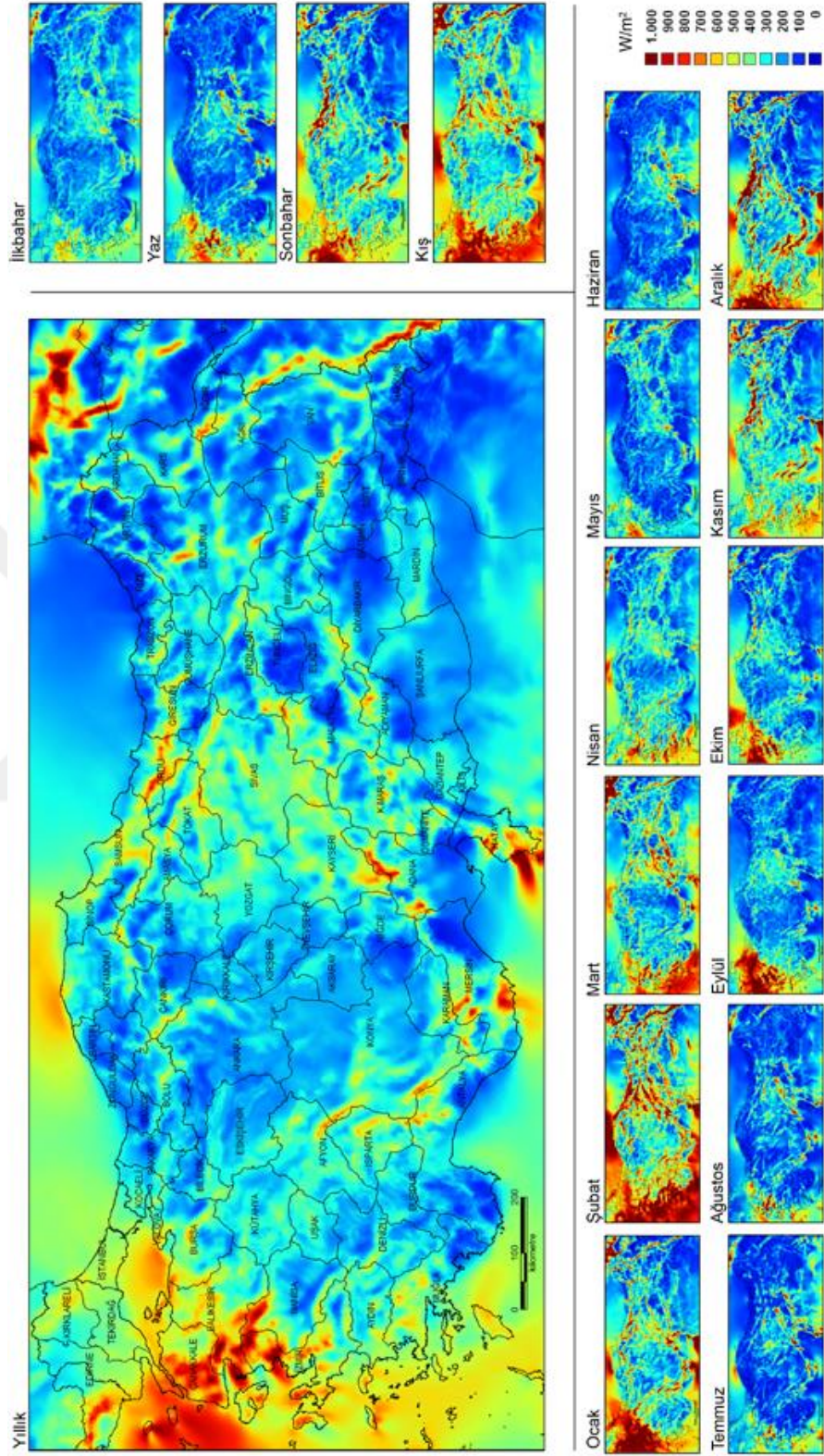
Harita 7: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Güç Yoğunluğu Dağılımı – 50m

Kaynak: ETKB, MGM, YEGM, 2006



Harita 8: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Hızı Dağılımı – 100m

Kaynak: ETKB, MGM, YEGM, 2006



Harita 9: Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Güç Yoğunluğu Dağılımı – 100m

Kaynak: ETKB, MGM, YEGM, 2006

5.3 TÜRKİYE RÜZGÂR ENERJİ DURUMU

Modernleşme ve kalkınmanın önemli girdilerinden birisi olan elektrik enerjisi, tüm ülkelerin karşılamak zorunda olduğu ikincil bir enerjidir. Elektrik enerjisi günlük yaşamdan, sanayi üretimine geniş bir alanda kullanılan kaynak haline gelmiştir. Dünya elektrik enerjisi tüketimine bakıldığında gelişmiş ülkelerde en fazla tüketim gerçekleştirirken, gelişmekte olan ülkelerin ise hızla tüketim oranlarının arttığı görülmektedir (UEA,2018). Nüfus artışı, teknolojik gelişim ve sanayi üretimiyle gelişmekte olan ülkeler kategorisinden bulunan Türkiye’de de elektrik enerjisi tüketimi hızla artmaktadır. Elektrik enerjisi kurulu gücündeki artış bunun bir kanıtı niteliğindedir. Türkiye’de 1925’te toplam elektrik enerjisi kurulu gücü 33.4 MW iken, 1950’de 407,8 MW, 1975’te 4.186,6 MW, 2000’de 27.264,1 MW ve 2018’de 88.551 MW’a ulaşmıştır (TEİAŞ, 2018; ETKB, 2019). Bu artış öncelikle yerli kaynaklarla karşılanmaya çalışılmış olsa da yerli kaynakların rezerv yetersizliği ülkeyi ithal kaynaklarla ihtiyacını karşılamaya zorunlu kılmıştır. 2018 yılında elektrik enerjisinde ithal kaynak oranı %51,03 iken; yerli kaynak oranı %48,97 olarak gerçekleşmiştir (enerjiatlası.com, 2018). Bu durum Türkiye’nin siyasi ve ekonomik risk potansiyelini arttırarak çözüm bulunması gereken bir konu haline getirmiştir.

1970’ler ile başlayan enerji krizleri enerji arz güvenliği konusunda ülkelerin politikalar üretmesini gerekli kılmış, bu nedenle ülkeler kaynak çeşitliliği ve yerli - yenilenebilir kaynaklara yönelmişlerdir. Rüzgâr enerjisi gelişim tarihinde de bahsedildiği üzere 1970’ler ile dünya genelinde rüzgâr teknolojisine yönelik çalışmalar ve rüzgâr enerji yatırımları ciddi artış kaydetmiştir. Fakat Türkiye’nin bu alana girişi İzmir Çeşme’de 1998’de 600 kWh’lık 12 adet türbinden oluşan ilk rüzgâr enerji santralinin (RES) açılışı ile gerçekleşmiştir. 2000’de Bozcaada’da 600 kWh’lık 17 adet rüzgâr türbininden oluşan RES inşa edilirken, 2003 yılında ise 2 adet 600 kWh’lık Sunjüt RES kurulmuştur (enerjiatlası.com,2019; Kısar, 2016) . Kurulan bu santrallerden sonra 2005 yılında ilk defa yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine yönelik kanun çıkarılıp (5346 sayılı kanun), çeşitli teşvik ve muafiyetler getirilerek bu kaynaklardan yararlanmanın önü açılmıştır. Bundan

sonraki süreçte rüzgâr başta olmak üzere diğer yenilenebilir kaynaklara yönelik yatırımlar artmıştır. Bu nedenle önce Türkiye rüzgâr enerjisi gelişimi sonra Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklara yönelik kanun ve teşvik sisteminin gelişiminin irdelenmesi önemlidir.

5.3.1 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Gelişimi

Anadolu coğrafyası verimli toprak yapısı, uygun iklimi ve akarsulara sahip olması ve kıtalararası köprü konumunda bulunması neticesinde tarihte birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır. Tarımsal üretime imkân veren coğrafya, tarımsal gelişmelerinde yaşandığı bir mekân haline gelmiştir. Sulama kanallarının yapılması, tarımsal kanunların yazılması bunun bir kanıtı niteliğindedir. Yine aynı şekilde yel değirmeni adı verilen ve diğer medeniyetlerden Anadolu'ya getirilen alet; tahılların öğütülmesinde, su kuyularının çalışması gibi faaliyetlerde kullanılmıştır. Bugünkü teknolojik ölçümlerin çok uzağında coğrafi gözlem ve tahminlere dayanılarak kurulan yel değirmenlerine çoğunlukla; Ege, Marmara, Akdeniz Bölgeleri'nde rastlanılmaktadır. Bu bölgelerin bugün Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu gücünün en yoğun olduğu alanlar olması tesadüf değil coğrafyayı iyi okumanın bir neticesidir. Günümüzde yel değirmenlerine; Muğla (Bodrum, Marmaris, Yalıkavak), Bursa (Gölyazı), İzmir (Alaçatı, Foça), Aydın (Didim), Bolu (Göynük), Ankara (Altındağ), İstanbul (Kadıköy), Çanakkale (Bozcaada) gibi şehirlerde rastlanılmakta veya var olduğu tarihi kaynaklardan öğrenilmektedir (www.turkmeclisi.org, 2019). Bu değirmenlerin bazıları 19. yy. de inşa edildiği çalışmalarda tespit edilse de, günümüzde faal olarak kullanılmamaktadır. Elektriğin icadıyla önemini kaybeden değirmenler, restore edilerek harabe olmaktan kurtarılmak istenmektedir bu açıdan Kültür ve Turizm Bakanlığı, yel değirmenlerini turizme kazandırmak için çeşitli çalışmalar yürütmektedir (www.izmirdergisi.com, 2019)

Ayrıca Anadolu'da denizci medeniyetler ve beylikler rüzgâr gücüyle deniz yolu ulaşımını sağlamışlar bu neticede ticari ve kültürel gelişmeler yaşanmıştır. Osmanlı döneminde özellikle kadirga adı verilen yelkenli savaş gemileri ve diğer küçük yelkenli kayıklar, coğrafyamızda rüzgâr gücünün kullanım alanlarına örnek

verilebilir. Bugün dahi yelkenli gemiler bulunmakta fakat ticari veya askeri amaçtan ziyade spor veya avcılık gibi faaliyetlerde kullanılmaktadır. Günümüz ihtiyaçları ve teknolojisi gereği rüzgâr artık büyük çoğunlukla elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Bu açıdan ülkemizin rüzgâr gücü gelişimi 20. yy. da denk gelmektedir ve aşağıda bu gelişim ele alınacaktır.

5.3.2 Yenilenebilir Kaynakların Mevzuatı ve Yatırım Gelişimi

2000’li yıllarla birlikte Türkiye, enerji tüketimine karşılık vermesi için kamu ve özel sektörün faaliyet alanını genişletmiş, Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK)’nu da kurarak yeni sistemin kontrol mekanizmalarını oluşturmuştur. 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun (5346 sayılı Kanun, Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK)) çıkarılarak ilk defa yenilenebilir kaynakların resmi olarak kullanımını tanımlamış, çevresel ve ekonomik kaygılarla bu alana yatırımların artması için çeşitli teşvik programları belirlemiştir. Elektrik enerjisi sektörünü düzenleyici ve yenilenebilir kaynakların da kullanımı kanun maddelerince zamanla düzenlenmiştir. Bunlardan en önemlisi 2010 yılında destekleme mekanizmasının kapsamı genişletilerek (yararlanma tarihi 2015’ten 2020’ye alınmış) ve çeşitli vergi indirimleri, arsa kullanım teşvikleri sağlanmıştır. (Yılmaz, Hotunoğlu, 2015). 2013 yılında ise EPDK tarafından YEK destekleme mekanizması (YEKDEM) çıkarılarak asıl atılımın önü açılmıştır. YEKDEM’in üç önemli yatırım desteği; sabit fiyat garantisi, lisansız üretim ve mali (KDV istisnası, gümrük vergisi vs.) teşvikleridir. Beş yenilenebilir kaynağa yönelik açıklanan sabit alım garantisi şu şekildedir; biyokütle ve güneş kWh başına 13 cent, jeotermal kWh başına 10,5, rüzgâr ve güneş ise kWh başına 7,3 cent teşvik almıştır (YEGM, 2019). Bu durum 2014 yılına kadar birkaç tane olan YEKDEM kapsamındaki santral sayısını 2015’te 234’e çıkmasına yol açmıştır (enerjiensitüsü, 2018). Özellikle döviz kurunda yaşanan artış ile yüksek kazanç beklentisi bunun en temel sebebidir.

Bugün yaşanan bu yüksek artışın bireysel tüketicilere ve sanayi üretimi yapan tüketicilere zararı olduğunu gerekçesiyle çeşitli eleştiriler yapılmaktadır. Ayrıca 2020

yılında YEKDEM'in son bulacak olması, bu alana yönelik yatırım yapmak isteyen ve hali hazırda üretim yapan santrallerin geleceği konusunda kararsızlıkları beraberinde getirmektedir. Bu konu çözülmesi gereken bir husus olarak beklemektedir.

Lisansız üretim ise ithalata bağılılığın azaltılması açısından önemli olup bu konuda 2013 düzenlemesiyle 1 MW olarak belirlenen lisansız üretim kapasite sınırı, Mayıs 2019 düzenlemesi ile 5 MW'a yükseltilmiştir. Amaç daha fazla kişinin katılımı sağlamak ve daha fazla üretim yapmaktır çünkü en son 2014 yılında araştırmaya göre lisansız üretim yapan tesis sayısı 114 gibi sınırlı bir rakamda kalmıştır (lisanssizelektrik.org, 2019). Neredeyse tüm yenilenebilir kaynak türlerine sahip Türkiye'nin, özel ve tüzel kişileri lisansız üretime özendirilmesi ekonomik ve sosyal faydalar sağlayacaktır.

Mali teşvikler ise yenilenebilir kaynağın türüne göre değişen ve malzeme veya arsa gibi konularda yardımı öngören bir destek sistemidir. Bu destek özellikle bu sektöre yerli üretim yapan sanayicinin de desteklenmesi anlamına geldiğinden makroekonomi olarak ülkenin faydası büyük olacaktır.

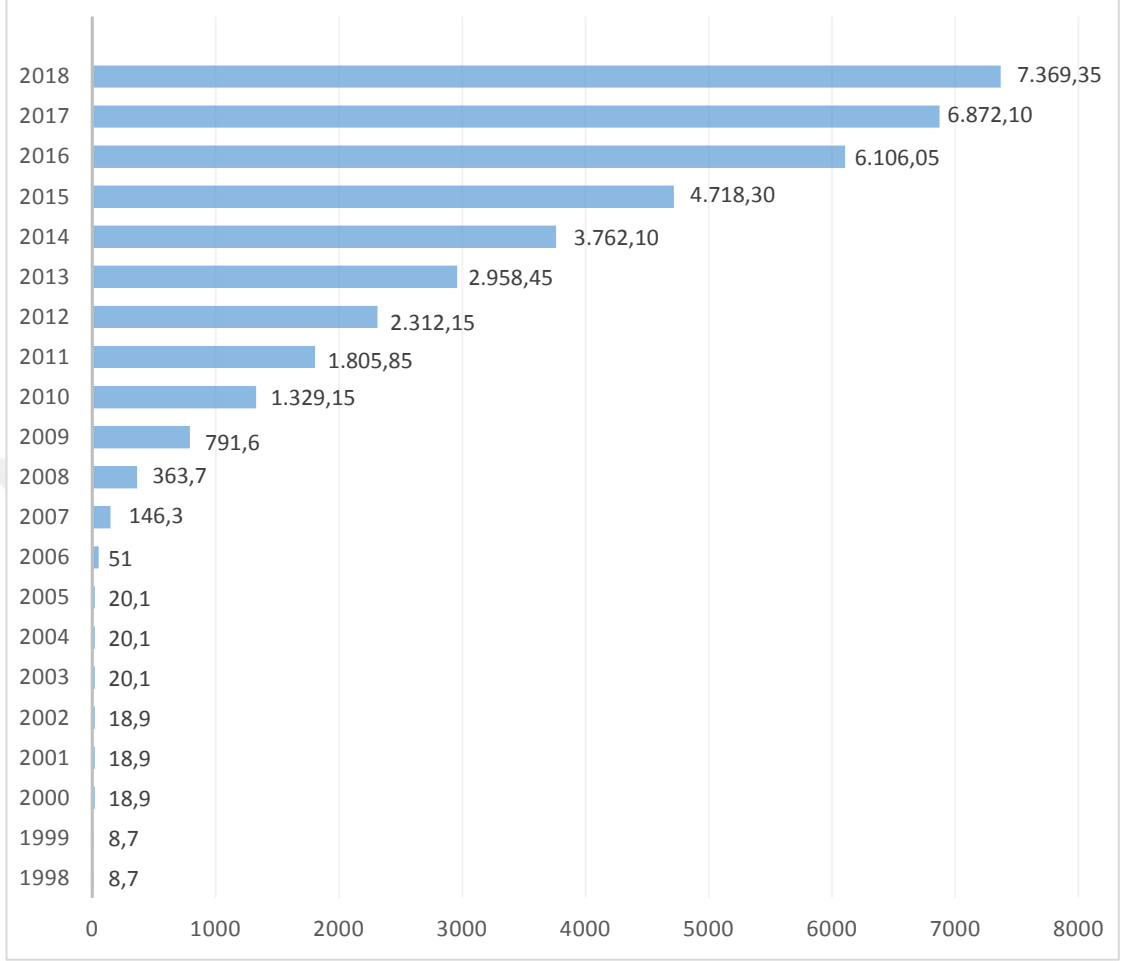
2009 yılında Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi yayınlanarak Türkiye'nin 2030'a kadar enerji stratejisi belirlenmiştir. Belgeye göre Türkiye'nin 2023 yılında elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynakların payını toplamda %30'a çıkarması planlanmaktadır. Kaynakların ulaşacağı miktarlar ise; rüzgârda 20 GW, jeotermalde 600 kWh, güneşte 5 GW, katı biyokütlede 1 MW, hidrolik güçte 34 GW kapasiteye ulaşması hedeflenmektedir (YEGM, 2019; REN21, 2018). Hedeflerin gerçekleşmesi için belirlenen destekleme sistemleri başta rüzgâr olmak üzere diğer yenilenebilir kaynakların önemli oranlarda artışını sağlamış ve sağlayacaktır.

5.3.3 TÜRKİYE RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRALLERİ VE ÜRETİM DURUMU

Artan elektrik enerji ihtiyacının yüksek oranlarda ithalatla karşılanması ve çeşitli riskler, Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklara yönelmesine neden olmuştur. Buna bağlı olarak 2005 yılında çıkarılan kanun ve sonraki yıllar teşvik programlarının belirlenmesi ile rüzgâr enerjisine yönelik yatırımlar hızlanmıştır. 2000 – 2007 arasında 4.0000 MW kapasitesindeki projeler her hangi bir yarışma yapılmadan lisanslanmıştır. Netleştirilen desteklemesi sistemi sonrası 2007 yılında ise EPDK'ya 78.000 MW rekor başvuru gerçekleşmiştir. Belirtilen tarihte ülkenin toplam kurulu gücünün iki katı olan bu başvuru miktarının nedeni, teşvikler ve enerji talebine olan güvendir. Fakat bu yatırımlara yönelik seçim kriteri ve ölçüm zorunluluğu bu dönemde olmaması sonra ki 3 yıl başvuru eleme kriteri oluşturulmasını neden olmuştur. İlk olarak 8.000MW kapasiteye onay verilmiştir.

Grafik 4'te 2008 ile 2018 yılları arası Türkiye rüzgâr enerjisi toplam kurulum kapasitesi gösterilmiştir. Grafiğe göre geçen on yılda ortalama yıllık %38 kapasite artışı yaşanmıştır. En yüksek oransal artış 2008 ile 2009 arası yaşanırken, güç büyüklüğü olarak 2016 yılında önemli yatırımların devreye girildiği görülmektedir. Genel artışın ardında YEKDEM'in sağladığı teşvikler ve enerji tüketiminin yüksek olması sayılabilir. 2016 yılındaki yüksek artışın nedeni olarak ise YEKDEM son kayıt yılı olması ve yatırımcıların bu teşvikten yararlanma hevesi gösterilebilir. 2018 itibariyle rüzgâr kurulu gücü 7.369,35 MW ulaşmış, bu kapasite Türkiye toplam elektrik enerjisi kurulu gücünün %7,9'unu oluşturmaktadır. Üretilen toplam elektriğin (303,3 Milyar kWh) ise %6,6'sı rüzgârdan sağlanmıştır. Bu durum rüzgâr potansiyeli ve enerji tüketim artışına paralel olarak artış göstereceği yapılan lisans başvurularından anlaşılmaktadır (EPDK, 2018).

Grafik 16: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kurulu Kapasitesi Değişimi

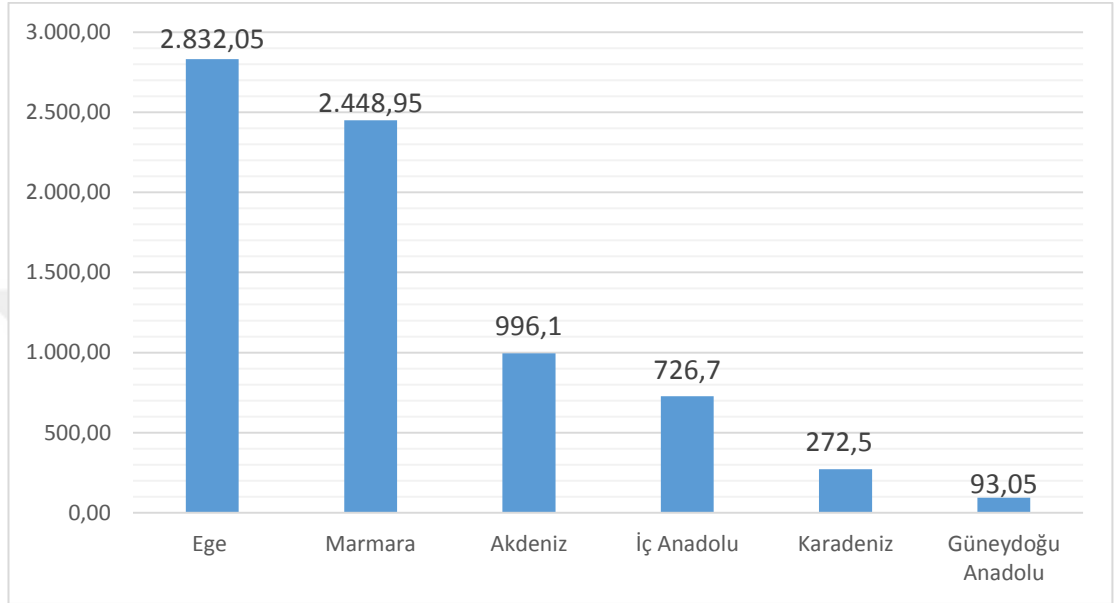


Kaynak: TÜREB, 2019

Türkiye’de RES’ler ülke coğrafyasının tamamının aynı hız, kapasite ve yoğunlukta rüzgâr potansiyeline sahip olmaması neticesinde dengeli dağılmamış; rüzgâr potansiyeline paralel olarak Ege ve Marmara Bölgesi önemli bir yoğunluk kazanmıştır. 2018 sonu itibariyle işletmede 180 adet RES bulunan Türkiye’de kurulu güçlerine göre bölgesel dağılım grafik 4’te gösterilmektedir. 2.832,05 MW’ı Ege, 2.448,95 MW Marmara, 996,10 MW Akdeniz, 726,70 MW İç Anadolu, 272,50 MW Karadeniz ve 93,05 MW Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde bulunmaktadır. Bölgelerin bu şekilde sıralanması rüzgâr hızı, kapasite ve yoğunluklarına yani rüzgâr enerji üretim potansiyelleri ile doğrudan ilişkilidir. Doğu Anadolu Bölgesi’nde ise bu nedenlerle birlikte ve eğim, ulaşım şartları gibi farklı sebeplerden işletmede santral bulunmamaktadır. İnşa halinde olan 606,2 MW gücündeki RES’lerin bölgelere göre

dağılımı ise %65,75'i Marmara (398,60 MW), %22,91'i Ege (138,90 MW), %8,2'si İç Anadolu (49,80 MW) Bölgesi şeklindedir.

Grafik 17: 2018 Yılı Bölgelere Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Kapasitesi

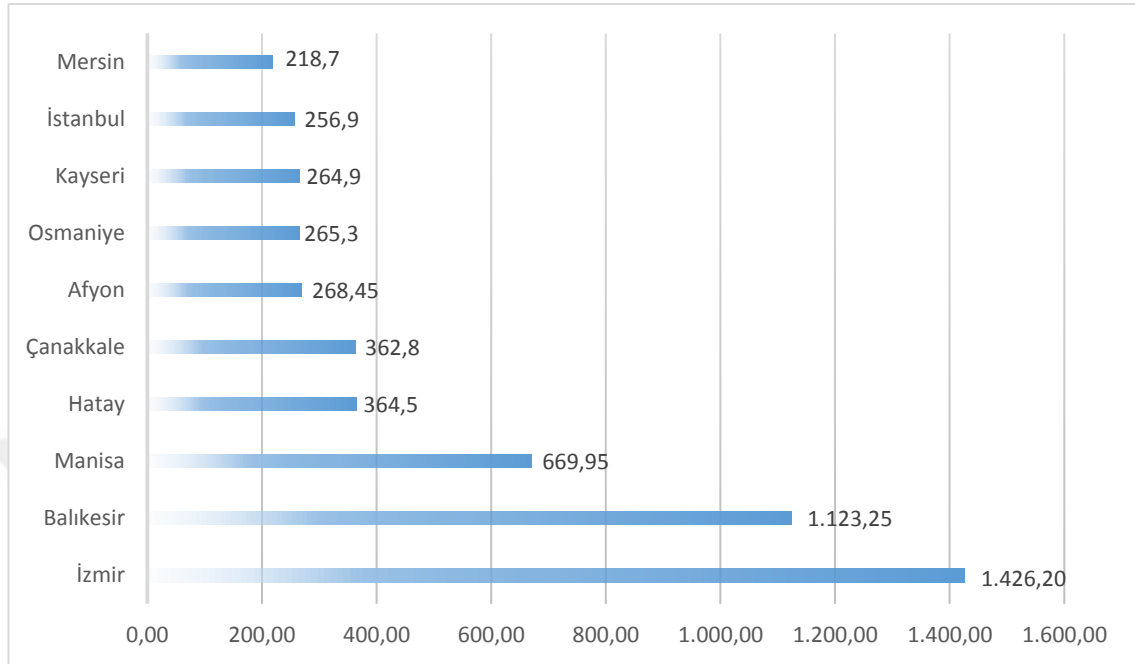


Kaynak: TÜREB, 2019

Rüzgâr enerjisinin batı bölgelerde yoğunlaşmış olması, sanayi faaliyetlerinin ve kentsel nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bu bölgelerin enerji ihtiyacını karşılaması açısından önemlidir. Mesafenin kısaltması maliyeti ve kayıpları azaltırken diğer taraftan bakım ve onarım işlemlerini kolaylaştıracaktır.

Özellikle Marmara ve Ege Bölgesi'nde yerli üretimin artışı, sanayinin girdi maliyetlerini düşürecek ve yoğun nüfuslu kentlerde ucuz elektrik sağlayacağından refah seviyesinde ilerleme kaydedilecektir. Kurulu güçlerin iller bazında dağılımına bakıldığında ise İzmir, Balıkesir, Manisa sırasıyla ilk üç sırada gelmektedir (grafik 6). Rüzgâr güç kapasitesine göre ilk on kentin bölgelere göre dağılımı ise; üçü Ege, üçü Marmara, üçü Akdeniz ve biri İç Anadolu'da olduğu görülmektedir. İlk on şehrin toplam gücü ise 5.220,95'tir. Bu miktar toplam kurulu gücün %70'ini oluşturmaktadır.

Grafik 18: 2018 Yılı İller Bazında Rüzgar Enerjisi Kurulu Kapasitesi



Kaynak: TÜREB, 2019

5.3.4 Rüzgar Türbin Seçimi ve Türkiye’de Rüzgar Türbinleri

Rüzgâr türbini boyut ve güç büyüğü, kurulacağı sahanın rüzgâr hızı, kapasitesi ve yoğunluk faktörüne göre değişmektedir. Rüzgâr türbini rotoruna gelen farklı yoğunluktaki havanın uyguladığı kuvvetle kanatların çevirmesi ile enerji üretileceğinden yoğunluk ve üretim arasında doğru ilişki vardır. Bu nedenle gelen havanın yoğunluğunun fazla oluşu ve hızı üretilcek enerjiyi de arttıracaktır. Hava soğuk ve nemli iken yoğun olacağından havanın nemli olduğu mevsimler üretim artacaktır. Rotor çapı ve kule yüksekliği de üretimi etkileyen önemli faktörlerdendir. Türbin rotor çapı iki kat büyüdüğünde rotor süpürme alanı dört kat artacak dolayısıyla üretilcek enerji dört kat artacaktır. Rüzgârın yükseldikçe daha hızlı estiğine göre kule yüksekliği de enerji üretiminde önemlidir (harita 6 ile harita 8). Danimarka Rüzgâr Endüstrisi’nden alınan tablo 4’e göre rotor çapı büyüklüğü ile enerji üretimi arasında asimetrik bir ilişki vardır. Örnek olarak tablo 4’te verilen ilk iki veriye göre çap büyüklüğündeki %70 artış, üretimde %400’lük bir artış sağlamaktadır. Rüzgâr analizinin iyi yapılmış olması ve buna göre türbin çeşidinin

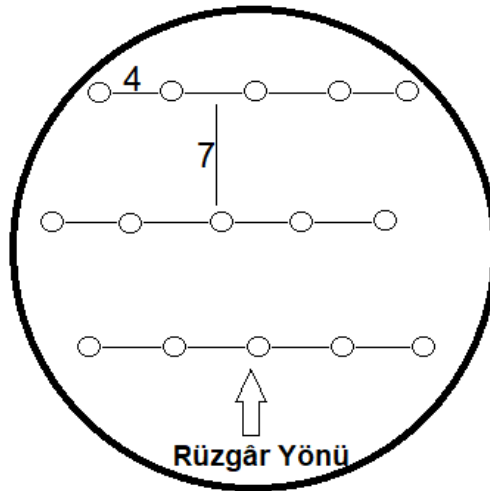
seçimi bu açıdan önemlidir. Aksi durumda ya rüzgâr potansiyeli gerektiği gibi kullanılmayacak ya da yanlış türbin seçimi ile masraf arttırılacaktır.

Tablo 17: Rüzgâr Türbin Çapı ve Güç Çıkışı

Rotor Çapı (m)	Güç Çıkışı(kW)
10	25
17	100
27	225
33	300
40	500
44	600
48	750
54	1000
64	1500
72	2000
80	2500

Kaynak: <https://www.kuark.org> (Erişim Tarihi: 20.06.2019)

Türbinlerin boyutları için rüzgâr analizi kadar türbinlerin hangi mesafe de santral içine yerleştirilmesi de üretilecek enerji miktarını etkilemesi bakımından önemlidir. Yapılan analize göre aynı sıradaki türbinler arası mesafe rotor çapının 4 katı olması gerekirken, sıralar arasında ise rotor çapının 7 katı mesafe bırakılmalıdır (şekil 23). Çünkü türbinler rüzgârı karşıladıktan sonra yönünde ve gücünde sapmalara yol açar (Ağçay, 2007).



Şekil 26: Türbinlerin Saha İçinde Dizilişi

Kaynak: Ağçay, 2007: 11

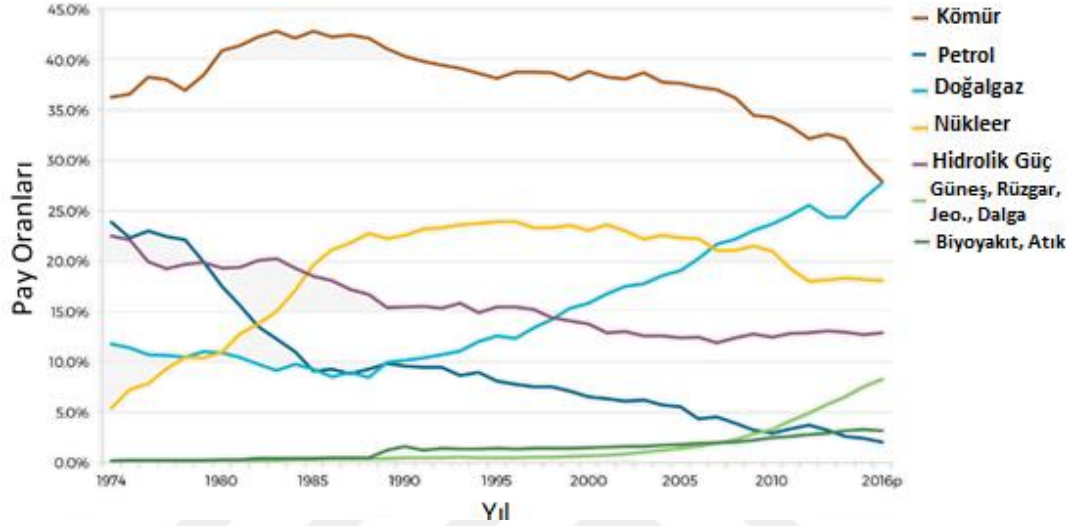
Türkiye’de işletmedeki rüzgâr türbinleri incelendiğinde 600 kWh ile 3.9 MW arasında değişen güçlerde rüzgâr türbinlerinin olduğu görülmektedir. En güçlü türbinin Afyonkarahisar’da Eber RES’de bulunurken, en düşük kapasiteli türbinin ise birçok santralde rüzgâr potansiyeline göre kurulduğu görülmektedir. Türkiye RES’lerinde türbin marka dağılımında ise ilk dört sırada Nordex (Almanya), Vestas (Danimarka), Enercon (Almanya) ve General Electric (GE) (ABD) geldiği görülmektedir. Bu dört firmanın kurulu gücü 4.958,55 olup toplam kurulu güçteki payları %67’dir (TÜREB, 2019). Türbin marka seçiminde türbin bakımı ve işletmede yaşanacak sorunlara sundukları hizmet, kurulum hızı ve en önemlisi üretim performansı etkili olmaktadır.

5.4 Rüzgâr Enerjisi Avantaj ve Dezavantajları

Sanayi Devrimi sonrası artan enerji ihtiyacı dönemin yakıtı olan kömür ile giderilmiştir. 19. yy. kömür dönemi olarak tarihte yerini alırken 20. yy. petrol egemen olduğu hatta ekonomik çıkarlar nedeniyle iki dünya savaşının yaşandığı bir dönem olmuştur. Fakat II. Dünya Savaşı sonrası çevre ve sınırlılık kaygıları insanları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kömür atmosfere karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), kükürt dioksit (SO_2), bütan, propan ve azot oksitler (NO_x) gibi kirletici gazların salınımına yol açmaktadır. 20. yy. de ulaşım araçlarında kullanımı artan petrol, 1970 ve 1980’lerde yaşanan krizler sonucu fiyat ve ulaşılabilirlik açısından tartışılır hale gelmiştir (Akova, 2016). Bununla birlikte bazı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler petrol tüketimini azaltıp farklı kaynaklara yönelmek istese de şuan için sanayi ve diğer alanlarda petrol egemenliği hâkimdir. Özellikle Çin, ABD ve Hindistan günümüzde önemli petrol ve kömür tüketici olduğu gibi gelecekte de bu durumun belli bir zaman daha süreceği tahmin edilmektedir. Petrol ve kömürün kullanımındaki düşüş OECD ülkelerinin 1974 ile 2016 yılları arası elektrik enerjisi üretimindeki kullanılan kaynaklar grafiğinden (grafik 5.2) anlaşılmaktadır. Grafik 4’te kömür ve petrolün kullanımda yaşanan düşüş ile doğalgaz ve yenilenebilir kaynakların kullanımının artışı belirgin olarak görülmektedir. Ayrıca az da olsa biyokütle kullanımında artışı

görülmektedir. Bu durum enerji ihtiyacı için kullanılan kaynakların tercihinde belirgin değişimin olduğunu göstermektedir.

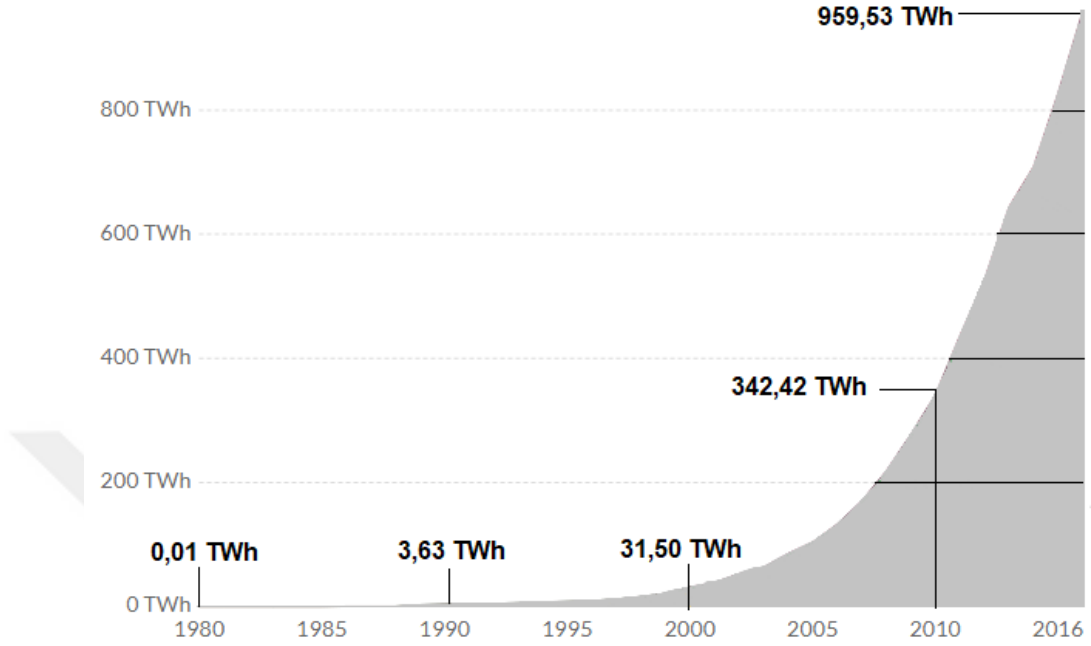
Grafik 19: 1974- 2016 Yılları arası OECD Ülkeleri Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynakların Değişimi



Kaynak: UEA, 2017

Değişimin sebepleri bazı kaynakların daha ucuz hale gelmesi, kaynakların yeryüzündeki dağılışı nedeniyle oluşan zafiyetler, fiyatların stabil olmaması, çevreci kaynaklara yönelik tercih değişimi olarak sıralanabilir (Akova, 2008). Genel olarak değişim temel sebepleri ise ekonomik, siyasi ve çevreci yaklaşımlardan kaynaklandığı söylenebilir. Bunun en belirgin olanı ise rüzgâr enerjisinde yaşanan belirgin artıştır. Grafik 18’de 1980 ile 2016 arasında dünya rüzgâr enerjisi üretim değişimi gösterilmektedir. Grafiğe göre 1980’de neredeyse yok sayılabilecek rüzgâr enerjisi üretim miktarı, diğer kaynakların dezavatajı ve rüzgârın avantajı neticesinde hızlı bir artış yaşayarak 2010 yılında 342,42 TWh’a ulaşmıştır. 2010’dan 2016 yılına kadar ise yaşanan üç kat artış ile 959,53 TWh’a yükselmiştir. 2016’da dünya toplam elektrik üretiminin 25.082 TWh olduğu düşünüldüğünde bunun yaklaşık %3,8’i rüzgârdan karşılanmıştır (ourworldindata.org, 2018). Yaşanan petrol krizleri, ekonomik sakıncalar ve çevresel etki ülkeleri otuz yılda önemli yatırımlar yapmasına neden olmuştur. Fosil kaynakların her geçen gün tükendiği dünyamızda bu yaşanan artışın diğer yenilenebilir kaynaklar dâhil süreceği şüphesizdir.

Grafik 20: 1980 – 2016 Dünya Rüzgâr Enerjisi Üretim Değişimi



Kaynak: ourworldindata.org, 2018

Rüzgâr enerjisi doğal, temiz ve sınırsız bir kaynaktır. Güneşin dünyayı homojen olarak ısıtmaması sonucu meydana gelen basınç farkları nedeniyle ortaya çıkan rüzgâr çeşitli yollardan binlerce yıldır insanoğlunun kullanımındadır. Öğütme, kesme, sıkıştırma ve yelkenli gemilerle ulaşım imkânı sağlamasının yanında son iki yüz yılda elektrik enerjisi üretilmesinde de kullanılmaktadır. Fakat rüzgâr enerjisinden elektrik enerji üretim aracı olan türbinler çeşitli problemlere yol açabilmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Rüzgâr santral kurulumunda önce en az 1 yıllık detaylı bir rüzgâr analiz çalışması yapılmalı ve bölgenin tüm mevsimler ne oranda rüzgâr gücü olduğu saptanmalıdır. Bu durum hem zaman alıcı hem maliyetli bir durumdur.
2. Türbinler yüksek yapılardır ve kuşların göç yolları üzerinde kurulduklarında, kuş ölümlerine neden olabilmektedir. Fakat kuşların göç yollarının analizi yapılarak türbin kurulumları buna göre ayarlanabilecektir.
3. Türbin ve diğer teknik aksamın çoğunluğu son döneme kadar yurtdışından geldiğinden, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması rüzgâr enerjisinin önemli bir dezavantajıydı. Fakat Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi (MİLRES) Projesi sayesinde bazı üniversite ve

Tübitak ortak çalışmasıyla yerli türbin ve ekipmanları üretimi gerçekleştirilerek maliyetler düşürülmek amaçlanmaktadır.

4. Rüzgâr enerji potansiyelinin çoğunlukla engebeli ve ulaşımı zor alanlarda bulunması, bu arazilere ulaşımı ve bölgenin imarının halledilmesi sorunu ortaya çıkarmaktadır. Özellikle lojistik ve ulaşım araçları bu alanda kurulum aşamasında önemli olduğundan teknik ekipman ve personel önemli bir ihtiyaç konumundadır.
5. Rüzgâr enerji yatırımlarının yoğun bürokratik işlemlere tabi olması ve yatırımcının yatırım için birden fazla belge için birçok kuruma tek tek başvuru yapmasıdır. ÇED, ölçüm raporu ve ana trafo bağlantı işlemleri tek kurum vasıtasıyla hızlı ve tek elden kontrolü ile işlemler daha çabuk halledilebilecektir.

Her ne kadar çeşitli sorunları olsa da rüzgâr enerjisi sahip olduğu potansiyel ve çevreci olması nedeniyle ülke için gelecekte önemli bir enerji çeşitliliği sağlayacaktır. Sayılan dezavantajlar veya sorunlar gelişen teknoloji ve alınan önlemlerle aşılabilecektir. Çünkü rüzgâr enerjisinin birçok avantajı vardır.

Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Sürekli, temiz ve yenilenebilir bir kaynaktır.
2. CO₂ salınımı yapmayan ve ürettiği enerji eşdeğeri fosil kaynakların kullanımı azaltarak karbon salınımı azaltan bir kaynaktır. Bu sayede küresel iklim değişiminin ve sera gazı azaltılmasının umut vaat edici bir konumdadır.
3. Kuruluş maliyeti bugün için fazla olsa da 20 – 30 yıllık kullanım dönemine yayıldığında geri getirisi yüksek bir kaynaktır. Zamanla ilerleyecek teknoloji ile maliyetler düşecek, rüzgârdan elde edilecek enerji verimi yükselecek bu da kârı arttıracaktır.
4. Rüzgâr santralleri 3-4 ay gibi kısa zamanda kurularak hızlı üretime geçebilmektedir. Kurum zamanı nükleerde 7, doğal gaz da 1- 2, hidrolik güçte 2- 10 yıl aralığını bulabilmektedir (Acar ve Doğan, 2008: 680).
5. Kırsal kesimde kurulacak santral için ödenecek bütçe bölge insanının refahını ve gelişimini sağlayacaktır.

6. Rüzgâr santralleri kuruldukları sahasının çok küçük bir alanını kullanmakta, kalan alan tarım, hayvancılık veya başka faaliyetler için kullanılabilecektir.
7. Ulaşımın zor olduğu, az gelişmiş yörelerde kurulacak rüzgâr santralleri ile bölgenin enerji ihtiyacı giderileceği gibi kalkınması da sağlanabilecektir.
8. Rüzgâr enerjisi dünya genelinde yüksek oranda işçi istihdam ederek işsizlik konusunda da ülkelere yardımcı olmaktadır. Hatta IRENA verilerine göre tüm enerji sektöründe en fazla %40 ile en fazla kadın istihdamı rüzgâr enerji sektöründe olmaktadır (IRENA, Employment Rate).

Türkiye gelişen ekonomisi, artan nüfusu ve değişen tüketim alışkanlıklarıyla enerji tüketimi artan bir ülkedir. Artan enerji tüketimini farklı kaynaklardan karşılamak hem ekonomi hem siyasi açıdan ülkenin faydasına olacaktır. Ayrıca küresel iklim değişikliği nedeniyle enerji tercihleri dünya genelinde yenilenebilir kaynaklara doğru değişim içerisinde. Son on yıllarda yenilenebilir kaynaklar ülkelerin enerji arz güvenliği öncelikli olmak üzere çevresel etkileri en aza indirme kaygısıyla artmaktadır. Türkiye sahip olduğu matematik konum, yer şekilleri, denizel etki nedeniyle önemli rüzgâr potansiyel alanıdır. 2018 yılı itibarıyla 88GW'a ulaşan toplam kurulu gücü yanında 48GW sadece rüzgâr potansiyeline sahip bir ülke olması enerji de kendine yetebilme açısından önem arz etmektedir. Türkiye diğer yenilenebilir kaynaklar bakımından da zengin bir ülkedir. Orta kuşağın güneyinde yer alan bir ülke olması nedeniyle zengin güneş enerjisine sahipken, genç oluşumlu jeolojik yapı sayesinde jeotermal kaynak bakımından da potansiyeli yüksektir. Ayrıca nüfus miktarı, tarım ve hayvancılık faaliyetleri ve %27 orman varlığı ile önemli bir biyokütle zengini ülke konumundadır. Ayrıca yükselti ortalaması fazla derin vadiler ve geniş akarsu ağı sayesinde aynı zamanda hidrolik kapasitesi de yüksektir. Bu avantajlı konumu Türkiye'yi gelecekte artacak olan enerji tüketiminde önemli bir yerlilik, maliyet ve siyasi risk yönünden elini güçlendirecektir.

Gelişen ekonomisi, yükselen enerji ihtiyacı ve artan nüfusu ile Türkiye enerji talebi şüphesiz artacak bir ülkedir. Enerji talebinde yaşanacak bu artış şuan dışarı bağımlı olunan fosil kaynaklarca karşılanamaz. Artan talep yerel yenilenebilir kaynaklarca sağlanması en doğru ve akılcı çözüm olacaktır. Bu açıdan MİLRRES, Yekdem gibi

uygulama ve projeler yenilenebilir kaynakların önünü açması açısından önem arz etmektedir. Mayıs 2019’da yayınlanan bir genelgeyle lisansız yenilenebilir kaynak kullanım kotasının 1 MW’dan 5 MW’a çıkarılması işletmelerin kendi enerji ihtiyacını kendilerinin karşılaması açısından önemli olup, enerji de dışa bağımlılığı azaltıcı adımlardır. Bu ve benzeri uygulamalar ile Türkiye’nin geleceğinin kendi kaynaklarınca elde edilecek enerjiyle aydınlatılması hem ekonomi hem toplum açısından avantajlar sağlayacaktır.



ALTINCI BÖLÜM

6 UYGULAMA İNCELEMESİ

Çalışmanın bu bölümünde örnek bir RES incelenerek yukarıda bahsi geçen bilgi ve analizlerin işletme de nasıl hayata geçirildiği görülmek istenmiştir. İncelenen RES, İstanbul Hadımköy’de bulunan ve 2003 yılından beri faaliyet olan, 1.2MW kapasiteli küçük bir santraldir. Bu bölümde sırasıyla santral lokasyonu, türbin özellikleri ile aylık ve yıllık üretim kapasitesi ve son olarak santrallin rüzgâr potansiyeline göre yer seçimi ve kurulumu incelenecektir. Ayrıca işletmede olan bir RES’in sigorta, çalışma şartları, bakım gibi konuları hakkında bilgi verilecektir.

6.1 İstanbul Hadımköy’de Örnek RES İncelemesi

Çalışmada ortaya konan analizlerin ve bilgilerin bir uygulamada tatbiki yapılmak istenmiş, bu amaçla İstanbul Hadımköy’de 2003 yılında inşa edilen Türkiye’nin kuruluş tarihine göre üçüncü rüzgâr enerji santrali incelenmiştir. Araştırmanın kapsamı; türbin boyutları, üretimi, türbin maliyeti, bakımı ve en önemlisi santral sahasının rüzgâr özelliklerinin incelenmesini içermektedir. Araştırma yapılan RES sahası İstanbul’un Arnavutköy ilçesinin Hadımköy semti sınırları içerisinde yer almaktadır (harita 10). RES’in bulunduğu bölge deniz seviyesinden 160 metre yükseklikte yamaç sayılacak bir alandır. Otoprodüktör lisansı ile açılan RES, bugün üretim lisansı ile faaliyetini sürdürmektedir.



Harita 10: İncelenen RES Sahası

Kaynak: İBB, Şehir Haritası, 2019

6.2 Türbin Özellikleri ve Üretim

Santral bir fabrikası sahası içerisinde, fabrikanın kendi elektrik ihtiyacına yönelik olarak kurulmuştur. Türbinlerin kurulumundan önce o alana 45 KW'lık kuyu motoru çalıştırmak amacıyla bir türbin yerleştirilmiş, alınan verim neticesinde türbin sayısı ikiye çıkarılıp, gücü büyütülerek enerji tasarrufu ve güvenliği sağlanmak istenmiştir. Enercon firmasıyla yapılan görüşmeler neticesinde çeşitli analizler yapılmış ve önerilen lokasyonlara türbinler inşa edilmiştir. Kurulumdan önce Enercon rüzgâr analizi yapmış ve rüzgâr kapasite faktörü ile rüzgâr hızı verilerine göre türbin büyüklüklerini belirlemiştir. Santral özellikleri;

Türbin sayısı: 2

Güç: 600 KW + 600 KW = 1.2 MW

Türbin tipi: Rüzgârı karşıdan alan, dişli kutusu olmayan

Marka: Enercon

Kule yüksekliği: 48m

Kanat genişliği: 44m

Yıllık elektrik üretim kapasitesi: 600 kW x 24 saat/gün x 365 gün/yıl x %30 (yapılan ölçümlerde bölgenin rüzgâr kapasite faktörünün %32 ile %28 arası olduğu görülmüş, hesaplama için ortalama bir değer olarak %30 seçilmiştir.)

= 158.000.000 x 2 (iki türbin olduğu için)

316.000.000 KW/yıl'dır.

Kayıtlara göre türbinlerden aylık ortalama 250.000 KW elektrik üretimin sağlandığı ve bu miktarın fabrikanın aylık enerji tüketiminin 1/6'sı kadarına tekabül ettiği görülmüştür. Üretim miktarı mevsimsel ve aylık olarak değişebilmektedir. Üretim miktarının en fazla kış aylarında (yaklaşık 300 KW) en düşük ise yaz aylarında (yaklaşık 100 KW) gerçekleştiği kayıtlarda görülmektedir. Bu durum bölgede etkili olan hâkim rüzgârlarının ve basınç merkezlerinin dönemsel değişiminin etkisinin bir sonucudur. Kurulum dâhil santral 1.5 milyon dolara mâl olmuş, geri ödemesini beş yılda gerçekleştirmiştir (Fabrikanın Yıllık Maliyet Raporu, 2010). Periyodik bakımları Enercon firması tarafından yapılan türbinler, yaz döneminde büyük bir bakıma alınmaktadır. Fabrika ve Enercon arasında yapılan uygunluk anlaşması

gereği belirlenen çalışma süresinin %98'i türbinler çalışır durumda olmak zorunluluğu taşımaktadır. Yani çalışma süresinin ancak %2'si yetkili firma tarafından bakım için kullanılabilecek geri kalan kısımda türbinler çalışır durumda olacaktır. Bu duruma uyulmadığında yani %2 istisnai çalışmama zaman aralığı geçildiğinde yaşanacak enerji üretim kaybı Enercon tarafından karşılanmaktadır. Örnekle açıklarsak rüzgâr potansiyeline göre türbinlerin yılın yüz günü çalışacağı varsayılırsa rüzgârın esişi veya başka nedenler hariç türbinler ancak bakım için iki gün durdurulabilecek doksan sekiz gün çalışır durumda tutulacaktır. Eğer türbinler iki günden fazla çalışmazsa, çalışmadığı günlerin zararı Enercon tarafından karşılanacaktır (Fabrika Görüşme Sorularından Derlendi).

Türbinlerden elde edilen elektrik direkt fabrika tüketimine aktarılmamakta, griding adı verilen yöntemle üretilen elektrik önce ana elektrik dağıtıcı sisteme aktarılmakta sonra şebekeden fabrika ihtiyacına göre alınmaktadır. Santrallerin sisteme bağlantısı iki tür gerçekleşmektedir. Birisi trafoya, diğeri yükseltici veya düşürücü ile şebekeye bağlanma yöntemidir. Bu bağlantılar sırasında gerilim veya bazı teknik sorunlar maliyeti artırabilmektedir. İncelenen RES yer altından şebekeye bağlantılı bir sisteme sahiptir.

6.3 RES'in Kurulum Yeri ve Rüzgâr Potansiyeli

Marmara ve Karadeniz'in kesişim noktasında bulunan İstanbul, hava geçişlerinin yaşandığı bir konumdadır. Ayrıca bulunduğu enlem neticesinde genel itibarıyla kuzey merkezli basınç merkezlerinin etkisinde olmakla birlikte güney merkezli basınç merkezleri de kentte etkili olmaktadır. Bununla birlikte şehirde etkili olan rüzgârların hızını ve frekansını yer şekillerinin etkilediği kadar bölgesel atmosfer değişimleri belirleyicidir. İstanbul'da yapılan rasatlara göre kentin hâkim rüzgâr yönü kuzeydoğu (Poyraz) olup yılın 126 günü estiği ölçülmüştür. Etkili olduğu dönemde yağış ve soğutucu etki yapan Poyraz, şehrin rüzgâr potansiyelinde önemli bir yere sahiptir. Poyrazla birlikte kuzey ve kuzeybatı yönlerinden de kent etkili rüzgârlar almaktadır. Kış mevsiminde Avrupa ve Balkanlar'da oluşan yüksek basınç merkezlerinin güneydoğu istikametinde hareket ederek iki kola ayrıldığı; kollardan biri Ege kıyılarında etkili olurken diğerrinin Çanakkale Boğazı, Marmara Denizi ve

İstanbul üzerinden geçerek Karadeniz'e ulaştığı belirtilmektedir ve bu durumun İstanbul rüzgâr potansiyelinde önemli bir yeri vardır (Ardel, 1973). İlkbahar ve sonbahar arasında ise güneybatı istikametinden de etkili rüzgârlar kente ulaşmaktadır. Sonuç itibariyle İstanbul için çizilecek bir rüzgârgülünde en belirgin yön kuzeydoğu olurken kuzey ve güneybatı yönleri onu takip edecektir (türkiyehava.com,2019).

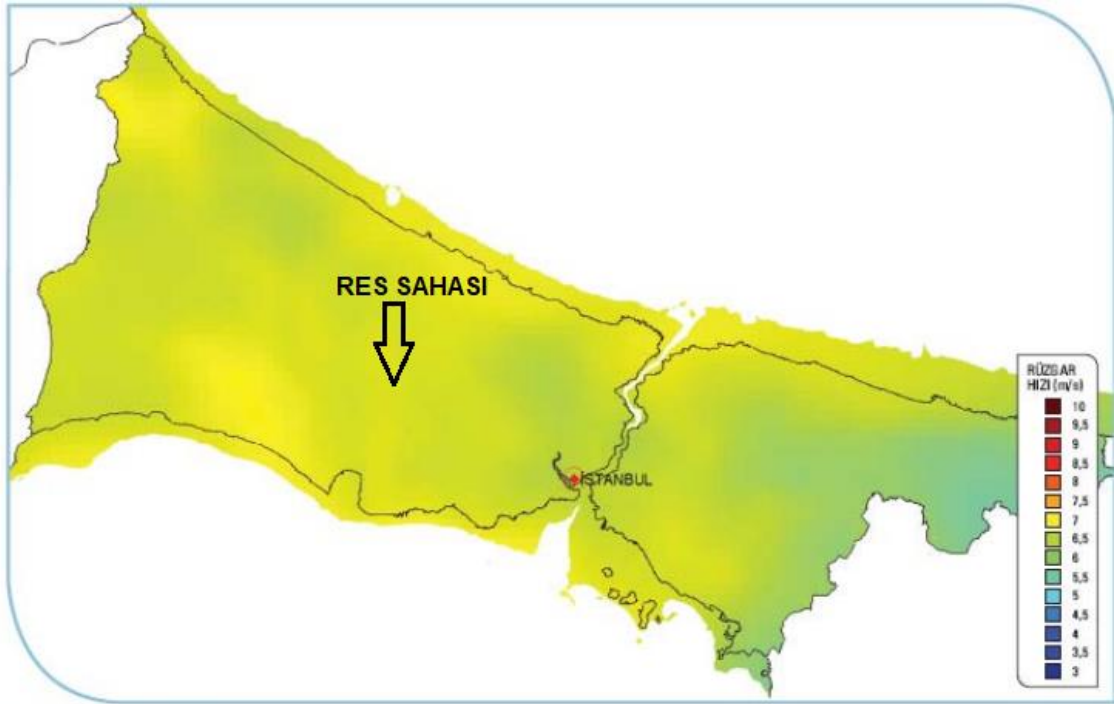
Karadeniz ve Marmara kıyılarında önemli rüzgâr hızı varlığı mevsimsel basınç geçişlerinin ve denizel – karasal kökenli basınç farklarının bu alanlarda fazla olmasıyla ilgilidir. Şile ile Kumköy arası kıyı şeridi incelendiğinde önemli rüzgâr hızına sahip olduğu görülmektedir (harita 6.2). Harita 6.2 ve 6.3'te dikkat çeken husus ise yüksek kesimlerde rüzgâr hızı fazla iken alçakta kalan “dulda” olarak ifade edilen rüzgâr ve yağmur almayan alanların rüzgâr hızları düşüktür ki, bunda yer şekillerin etkisi büyüktür. Büyükçekmece Gölü'nün batısı ve kuzeybatısı ile Esenyurt Hadımköy arası yükseltinin fazla, rüzgâr hızının yüksek olduğu alanlardır. Silivri, Çatalca ve Büyükçekmece üçgeni ise, benzer şekilde yükseltinin fazla ve basınç merkezlerinin karşılaşma alanı olması nedeniyle önemli rüzgâr bölgesidir. Anadolu Yakası'nda ise Kayış Dağı çevresi ve Kadıköy – Üsküdar kıyı alanında dikkate değer rüzgâr potansiyeli bulunmaktadır (harita 6.3). Bu bölgeler ortalama 7 m/s rüzgâr hızı ve %30 civarı rüzgâr kapasite faktörüyle (harita 6.6) İstanbul gibi elektrik tüketiminin yüksek olduğu bir şehirde önemli bir kaynak olabilir.

Harita 6.2 ve 6.3 birlikte değerlendirildiğinde İstanbul'da rüzgâr hızının kuzey ve güney kıyı şeritlerinde, çevresine göre yüksek alanlarda ve bu alanların çevresinde (yamaç alanlarda) fazla olduğu görülmektedir. REPA'dan alınan bilgilere göre İstanbul'da toplam 4.176 MW rüzgâr enerjisi güç potansiyeli bulunmakta, bunun 4.164 MW'ı 6.8 ile 7.5 m/s hızında esen alanlardan elde edilmektedir. Bugün İstanbul'da on bir adet işletmede, sekiz adet inşa halinde rüzgâr enerji santrali bulunmakta ve gelecekte sayısının artması beklenmektedir (enerjiatlası.com). İşletmede olan ve inşa halinde bulunan RES'lerin harita 6.2, 6.3 ve 6.4 birlikte değerlendirildiğinde şehirsiz yapılarından uzakta, çevrelerinde başka engelleyici yükseltinin bulunmadığı ve hava olaylarının etkili olduğu alanlarda bulundukları

görülmektedir. Bu alanlar bitki örtüsü bakımından ve eğim değerince de rüzgâr enerjisinden yararlanmaya müsaittir.

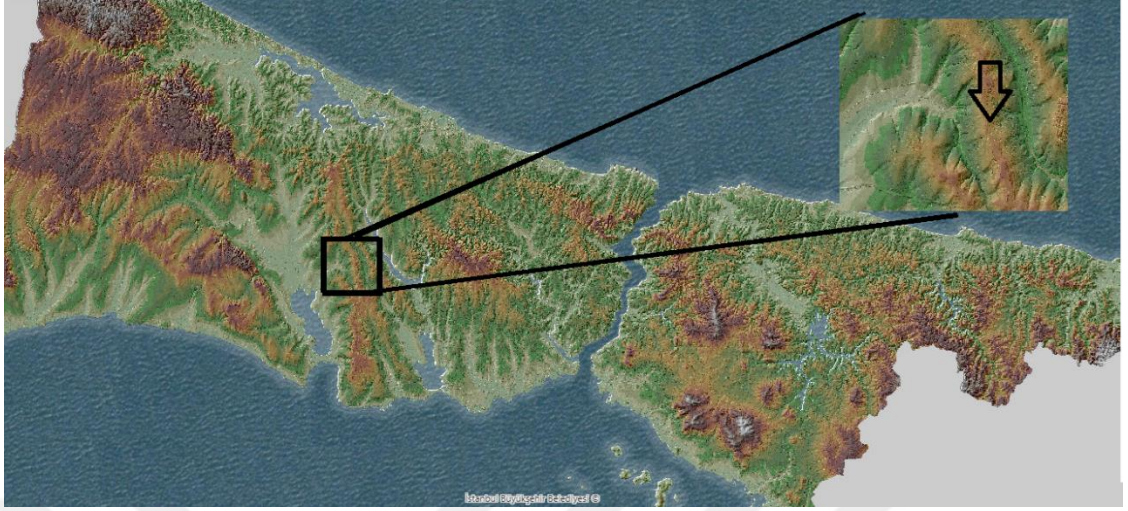
İstanbul'un Elektrik Üretim - Tüketimi ve Rüzgâr Enerjisi

İstanbul'un elektrik enerjisi üretim ve tüketim durumu ise şöyle özetlenebilir; şehirde 36 lisanslı 15 lisansız toplam 51 rüzgâr enerji santral vardır ve kurulu güçleri 2.734 MW olup yıllık 7.798 GW elektrik üretmektedir. Yıllık üretim, Türkiye toplam üretiminin %3,05'i kadar olup şehrin tüketimini karşılama oranı %17'dir. Şehrin toplam kurulu gücünün 231,45 MW'ı işletmedeki rüzgâr enerji santrallerinden sağlanmaktadır (enerjiatlası.com, 2019). Artan enerji tüketimi ve İstanbul'un büyüme ivmesi düşünüldüğünde ülke genel politikasında olduğu gibi, şehrin enerji arz güvenliği ve çevre korunumu açısından rüzgâr, çeşitlilik sağlaması bakımından dikkate değer bir potansiyel taşımaktadır. İstanbul'un rüzgâr kapasitesinin, bugün toplam kurulu kapasitesinin yaklaşık 1.5 katı olduğu düşünüldüğünde rüzgâr değerlendirilmesi gereken bir kaynak olarak görülmektedir.



Harita 11: İstanbul Rüzgâr Hızı (50m) ve İncelenen RES Sahası

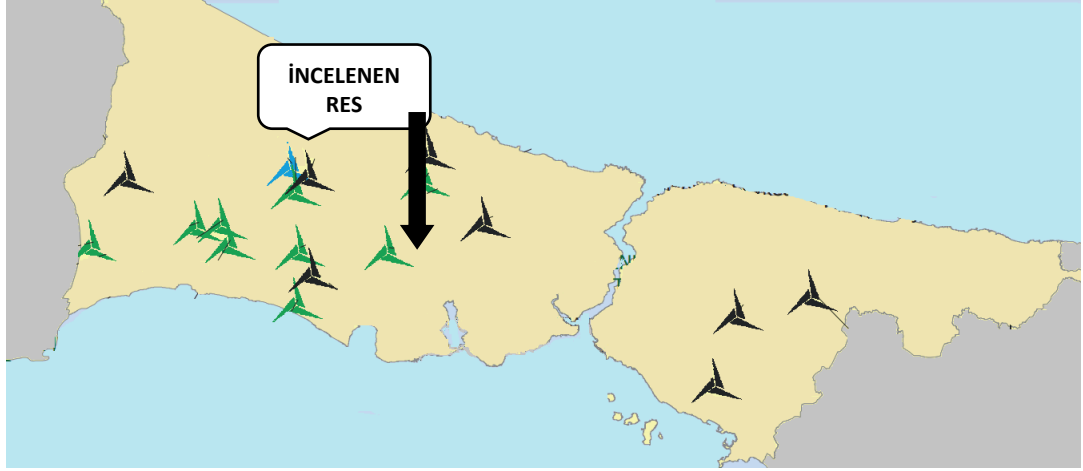
Kaynak: YEGM, 2019



Harita 12: İstanbul Kabartma ve İncelenen RES Sahası

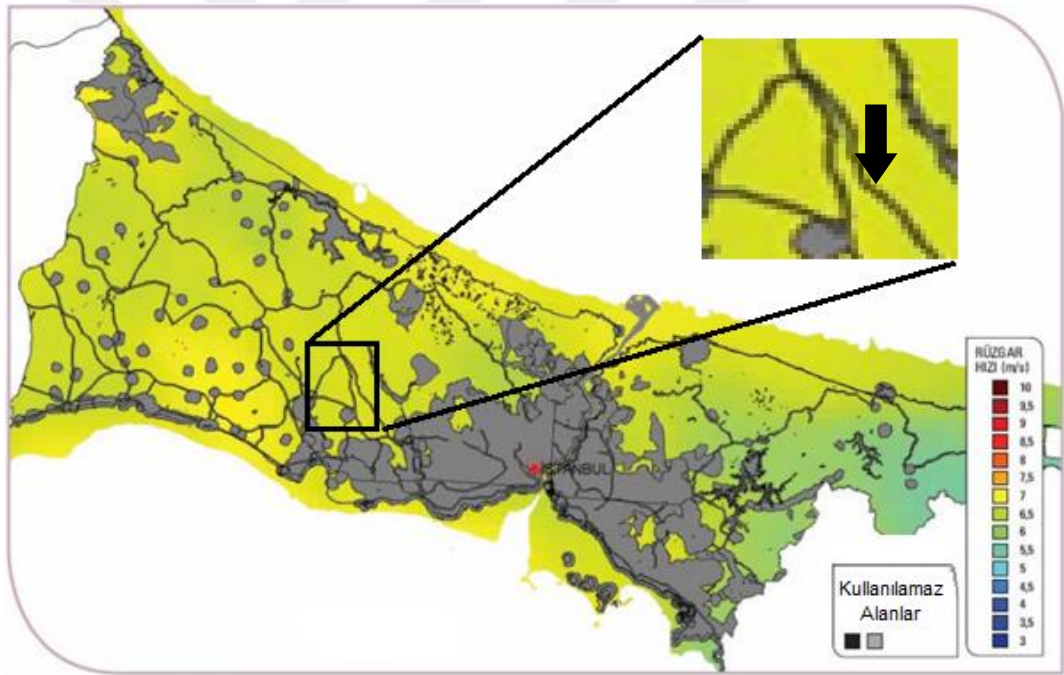
Kaynak: <http://sehirharitasi.ibb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 03.06.2019)

Harita 6.4'te İstanbul rüzgâr santrallerinin bulunduğu noktalar incelendiğinde yukarıda bahsedilen rüzgâr enerji potansiyelinin yüksek olduğu alanlarla uyduğu görülecektir. Özellikle Büyükçekmece Gölü batısında santraller belirli bir hıza da yoğunlaşmaktadır. Bu durumun nedeni Harita 6.3'de görüldüğü gibi yükseltiyle rüzgâr potansiyelinin artışıdır. Benzer nedene bağlı olarak iç kesimlerdeki diğer santraller kurulmuş, kıyıya yakın santraller de ise deniz üzerinden gelen rüzgârları kullandıklarından, daha alçak fakat çevresinde engelin olmadığı bölgeler kullanılmıştır. Harita 6.5'te görüldüğü gibi İstanbul şehrsel alanı tamamıyla rüzgâr enerjisine elverişli olmayıp konut, orman, park, koruma alanı ve engebenin fazla olduğu bölgeler olduğundan kullanılamaz olarak belirtilmektedir. İncelenen santralin ise rüzgâr enerjisinden yararlanmaya uygun bir sahada olduğu görülmektedir.



Harita 13: İstanbul Rüzgâr Santralleri ve İncelenen RES

Kaynak: TÜREB, 2019



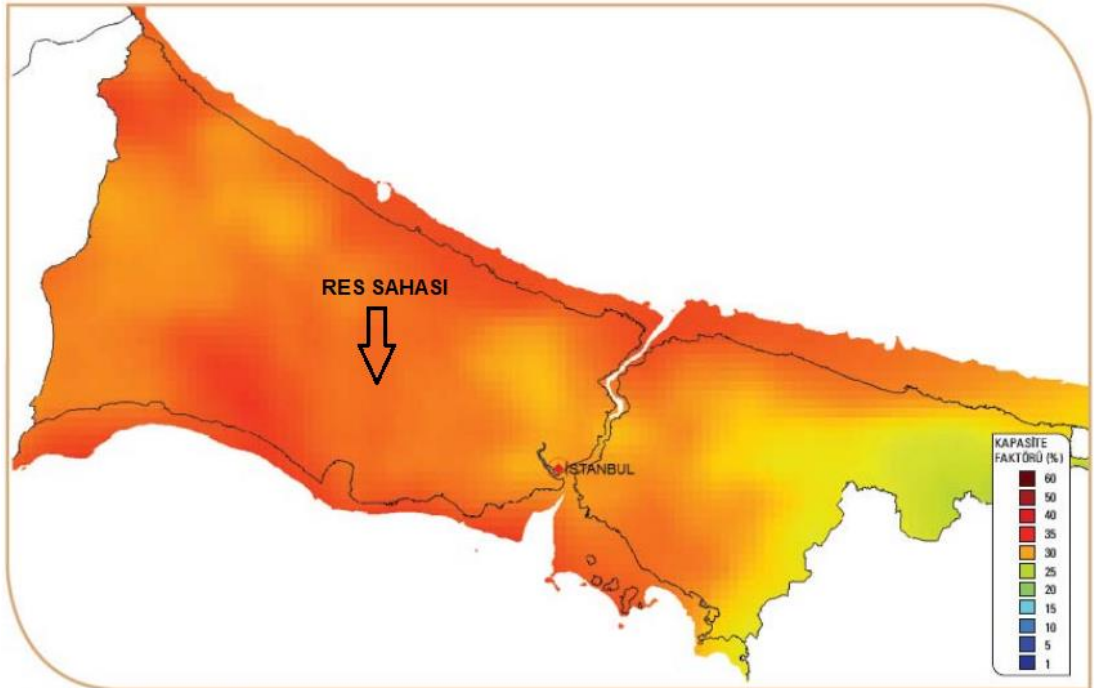
Harita 14: İstanbul Rüzgâr Enerji Santrali Kurulabilir Alanlar

Kaynak: YEGM, 2019

Harita 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5 birlikte ele alındığında örnek uygulama olarak seçilen Sunjüt RES sahası yükselti avantajı ile rüzgâr potansiyeli fazla olan bir sahada kurulmuştur. Santral, ortalama yükseltinin 40m olduğu kentte 160m yükseltide ve harita 6.3 görüldüğü gibi sırt şeklinde bir arazi üzerine inşa edilmiştir. Bölgenin ortalama rüzgâr hızı 7 - 7.5 m/s civarında olup harita 6.6'da görüleceği üzere kapasite faktörü fabrika kayıtlarında da beyan edildiği gibi %30 civarındadır. Bu

potansiyelle santral yıllık ortalama 300.000.000 kWh elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Bulgulara göre verimli sayılacak bir üretim gerçekleştiren santral, türbin güç oranları ve üretim açısından uygun bir rüzgâr sahasına inşa edildiği görülmektedir.

Rüzgâr kapasite faktörü (harita 6.6), rüzgâr hız (harita 6.2) oranlarına paralel bir dağılım göstermekle birlikte Karadeniz kıyısında Şile – Kumköy arası, Marmara Denizi kıyısında Silivri - Kadıköy arası değerlendirilecek önemli bir potansiyel görülmektedir. Ayrıca kapasite faktörü (harita 6.6), rüzgâr hızı (harita 6.2), ve rüzgâr santral (harita 6.4), haritaları incelendiğinde rüzgâr hızı yüksek olan yerlerin en önemli kapasiteye sahip olduğu ve bu nedenle de yoğun şekilde santral kurulum alanı olarak seçildiği görülür. İncelenen santralde de türbin boyutları ve gücü, bölgenin kapasitesine uygun inşa edilerek enerji kaybı veya yatırım maliyet artışı yaşanması engellenmiştir. Bu açıdan santralin doğru ölçüm ve hesaplamalar sonucu yüksek verim sağlanacak bir sahada olduğu görülmektedir.



Harita 15: Kapasite Faktörü Dağılımı – 50 metre

Kaynak: YEGM, 2019

İncelenen santral çevresel etki açısından incelendiğinde tv ve radyo frekanslarına zarar vermediği, yılda en fazla dört – beş kuşun türbin çevresinde ölü bulunduğu öğrenilmiştir. Gürültü kirliliği açısından ise kurulum sahasının sanayi bölgesi olup işlek bir cadde yakınında olması neticesinde ağır vasıtaların türbin çalışma sesini kapattığı, türbinlerin 20 – 30m yakında rahatsız etmeyen bir sesin geldiği görülmüştür. Ayrıca türbin çevresinin yerleşme alanı olmaması insanların sürekli türbin sesine maruz kalmalarını da engellemektedir (Fabrika Görüşme Sorularından Derlendi).



SONUÇ

Yaşadığımız çağın tartışmasız önemli ihtiyaçlarından biri olan enerji, birçok beşeri faaliyete imkân vermesi nedeniyle erişimini zorunlu kılmaktadır. Sosyal hayatın ulaşılan medeni seviyede devamı ve ekonomik faaliyetlerin sağlıklı sürmesi ve devamlılığın sağlanması için devletlerin gündeminde enerji geniş yer tutmaktadır. Enerji üretiminin sağlandığı enerji kaynaklarının dünya üzerine dengeli dağılmamış olması neticesinde, enerji ithal ve ihraç eden ülkeler ortaya çıkmış, artan enerji tüketimiyle ticareti de o oranda artmıştır. Projeksiyonlarda enerji tüketiminin artacağı bilgisiyle ticaretinin de artacağı belirtilmektedir. Bu durum enerji kaynaklarına stratejik bir önem katmış ve ülkelerin ekonomik ve sosyal hayatlarını dengeli sürdürebilmesi için yeni politikalara ve yeni kaynaklara yönelmelerine neden olmuştur. Ayrıca ağırlıklı olarak kullanılan kaynakların çevresel etkisi de alternatif kaynak bulunmasını etkileyen diğer bir önemli etkidir.

İlk insanlar günlük yaşamları için kendi kas gücünden yararlanmış sonrasında; hayvan, hayvan atıkları ve odun gibi kaynaklardan enerji ihtiyacı giderilirken, günümüz modern hayatını da etkileyen Sanayi Devrimi, enerji tür ve kaynaklarına yeni bir düzen getirerek, hem enerji kaynaklarının hem de enerji kaynaklarına ulaşımın önemini arttırmıştır. Sanayi Devrimi'yle kullanımı artan ilk kaynak kömür olmuş ve yaklaşık iki yüzyıl egemenliğini korumuştur. 19. yy. ile kullanım alanı genişleyen petrolün devreye girmesiyle kömür, eski değerini kaybetmesine rağmen rezerv varlığı ve ekonomik gerekçelerle hala kullanımı yoğun olarak sürmektedir. Dünya'nın enerji alanında kırılma noktalarından biri olan Sanayi Devrimi dönemin tekniği ve imkânları neticesinde yoğun olarak fosil kaynakların kullanımının önünü açmıştır. Teknik gelişmelere paralel olarak tüketimi artan kömürün rezerv dağılışına bakıldığında %31'i Avrupa – Avrasya'da, %41 Asya – Pasifik'te, %25'i Kuzey Amerika'da, %1,4'ü Afrika – Doğu Akdeniz'de, %1,4 Orta ve Güney Amerika'da bulunmakta fakat petrolün %67,1'i Ortadoğu ve Orta ve Güney Amerika'da yer almaktadır. Petrolün ulaşım, sanayi ve diğer alanlarda artan kullanımı, petrol ihraç eden ülkelerin politik alanda ellerini güçlendirirken, ithal eden

Ülkelerin enerji arz riski yaşayabileceğini gündeme getirmiştir. 2017 yılı dünya kömür tüketiminin %76,5'i, petrol tüketiminin ise %40'ı Çin, ABD ve Hindistan tarafından gerçekleştirilmiştir (BP,2018). Buna rağmen kaynakların rezerv dağılışına bakıldığında kömürde nispeten olumlu durum görülse de, sayılan ülkeler petrol de dışa bağımlı konumdadır. Ayrıca kömür ve petrolün kimyasal bileşikleri nedeniyle atmosfere en fazla sera gazı salınımı yapan fosil yakıt olmaları neticesinde devletlerin farklı kaynaklara yönelimini zorunlu kılmış; nükleer, doğalgaz ve hidrolik güç üzerinde yatırımlar 20. yy. nin ikinci yarısında artmaya başlamıştır. 1970'lerle doğalgaz tüketimi artış göstererek önemli bir bağımlılık oranına ulaşılmış fakat petrole benzer şekilde üretim ve tüketim bölgelerinin asimetrik oluşu aynı sorunların yaşanmasına ve çözüm yollarının aranmasına neden olmuştur. Petrolün enerji arzında risk olasılığına sahip olması ve kömürle birlikte çevresel etkiye, mali dengesizliğe neden olmaları farklı kaynaklara yönelimin diğer nedenidir. 1970'lerde yaşanan petrol krizleri başta petrol olmak üzere diğer fosil kaynaklara bakışı değiştirerek enerji arz çeşitliliğini zorunluluğunu ortaya koymuştur. Bu dönem sonrası doğalgaz tüketiminde yaşanan artış krizlerin bir sonucu olsa da, artan tüketim doğalgazı lkelerarası stratejik bir araç haline getirmiştir. Fakat günümüzde dahi ağırlıklı olarak fosil kaynakların kullanımını söz konusudur. Bu duruma teknik imkânlar, ekonomik sisteminin yapısı ve siyasal bakış etkili olmaktadır. Dünya enerji tüketiminin %80 fosil yakıtlardan karşılansa gelecekte bu durumun değişeceği, bu kaynakların belirtilen nedenler ve rezerv mrlерinin azalmasına bağlı olarak kullanımlarının kısa vadede olmasa da uzun dönemde azalacağı öngörülmektedir. Uluslararası kuruluşların küresel enerji raporları ve insan hayatına fosil kaynakların etkisini ortaya koyan belgeler neticesinde, ülkeler zorunlu olarak enerji kaynak değişimine yapmak durumunda kalacaklar, belki yaptırımlarla karşılaşacaklardır. Fakat enerjiye olan bağımlılık devam edeceğinden fosil kaynakların yerine ikame edecek yeni ve alternatif kaynakların bulunması da enerji politikaları geleceği için büyük önem arz etmektedir.

Doğada sınırsız olarak bulunan bu nedenle fiyat artış riski taşımayan ve yerli olması nedeniyle siyasi bir araç olarak kullanılamayacak yenilenebilir kaynaklar; oluşturdukları istihdam, yerli üretim ve çevreyi koruma imkânları neticesinde dikkat

çekmektedir. Bu nedenle enerji tüketimi yüksek gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler, değişecek enerji tercihlerine ayak uydurmak için yenilenebilir kaynaklara yönelik araştırma ve yatırımları ile bu alanın gelişiminin öncüleri olmuşlardır. Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 'Küresel Isınmada 1,5°C Raporu' gelecek yirmi yılda sera gazı salınımında yeni düzenlemeler ile bir azalım yapılmadığı takdirde kaçınılmaz olarak küresel ısınmanın kritik 2°C üzerine çıkarak geri dönüşü olmayan bir sürecin başlayacağını belirtmektedir. Sera gazı salınımının yaklaşık %50'si sanayi faaliyetleri ve elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanması bu sektörlerde yeni düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır. %14 paya sahip ulaştırma sektörünün de elektrikli araç kullanımına geçerek petrol tüketiminin azaltılmasının hedeflendiği düşünüldüğünde elektrik enerjisi üretimi için tercih edilecek kaynaklar önem kazanmaktadır. Bu konuda REN21'in raporuna göre 2040 yılına kadar 2 milyon olan elektrikli araç sayısı 280 milyon âdete çıkarak önemli bir gelişme gösterecek bu durum elektrik üretimi için kullanılan kaynakların önemini arttıracaktır.

Enerji tüketiminin artışının durdurulamayacağı ve sera gazı etkisinin fosil kaynakların kullanımıyla azaltılamayacağı düşünüldüğünde en doğru ve ekonomik kararın yenilenebilir kaynaklar olduğu aşikârdır. Bu sebeple ülkeler son yıllarda artan oranlarda bu kaynaklara yatırımlarını arttırmakta hatta 57 ülke %100 yenilenebilir kaynak hedefi koyarak bir ilki gerçekleştirme gayreti içindedir. Bu durum gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeleri yenilenebilir kaynaklara yönelterek rezerv ömrü her gün azalan fosil kaynakların kullanım ömürlerini uzatmayı ayrıca doğanın korunmasına yardımcı olmaya çalışmaktadırlar. Bu bakımdan 1970'lerde ilk defa devletlerin ciddi olarak gündemine aldığı 1990'lardan sonra uygulamaya koyduğu ve geleceğin kaynağı olarak görülen yenilenebilir kaynaklar artık bugün üzerinde durulması, çalışılması, potansiyellerinin belirlenerek, üretime geçilmesi gereken açılmamış hazine niteliğindedir.

Petrolde %90, doğalgazda %99, taşkömüründe %95 oranında ithalata bağımlı olan Türkiye ise, dünyanın gerisinden de olsa yenilenebilir kaynaklara yönelik çalışmalara başlayarak zengin potansiyelini analiz etme girişimlerine girişmiştir.

1975'te ilk jeotermal kaynakla çalışan elektrik santralinden (Kızıldere Santrali) sonra 1998'e kadar önemli bir yenilenebilir yatırım yapılmayan ülkemizde, 2005 yılında yenilenebilir kaynaklara yönelik çıkan ilk kanun ve sonraki yıllar gelen destekleme ve düzenleyici yönetmelik ve kanunlarla önemli gelişme göstermiştir. Elektrik üretimi için belirlenen yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) 2005 yılında çıkarılan kanun ile düzenlenmiştir. Sonrasında bu kaynakların ekonomik potansiyelleri araştırılmış ve YEK destekleme mekanizması (YEKDEM) ile ülke ihtiyacına yönelik yatırımların önü açılarak özel sektör özendirilmiştir. Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardaki ekonomik kapasitesinin ve 2018 itibarıyla bu kapasitenin kullanılan miktarı tablo 18'de verilmiştir. Veriler bu alanda büyük bir potansiyelin varlığını kanıtlar niteliktedir. Tabloya göre yüksek potansiyele sahip rüzgâr gücünün ancak %13'ü kullanıma girmiş, 2018 itibarıyla ancak 7.369 MW kapasiteye kullanıma açılmıştır. Matematik konumu sayesinde güneş enerjisinde avantajlı olan Türkiye, kurulu gücün binlerce katında güneş enerjisi üretecek potansiyele sahiptir. Üretilen elektriğin 10.000 katı elektrik üretmeye yetecek bir kapasitesi olmasına rağmen bugün ancak 5.063 MW kurulu güce sahiptir. Jeotermal kaynaklarda ise su sıcaklığı direkt kullanımlara uygun olmasına rağmen, geliştirilecek farklı yöntemlerle bugün kurulu gücün (1,238) on katı üretimin yapılacağı bazı çalışmalarda belirtilmektedir. Kentsel nüfusu, bitki ve hayvan varlığı ve atık miktarı ile yüksek potansiyele sahip Türkiye'nin, bazı belediye ve özel şirketler aracılığıyla biyokütleden elektrik üretmek için ancak 811 MW kapasitesinde bir gücü bulunmaktadır. Bunların haricinde biyogaz ve biyodizel yakıtlar üretebilecektir. Özellikle ulaşım sistemlerinin petrol bağımlılığı düşünüldüğünde biyodizel önemli bir yerlilik kazandırarak ülke avantajına gelişim sağlayabilecektir. Hidrolik gücün uygulanabilir ekonomik potansiyeli 140.000MW olmasına rağmen ancak 27.912 MW'ı işletmeye açılmıştır. Hidrolik güç yapılacak barajlar ile gelecekte yaşanacağı belirtilen su sorunlarına da çözüm olması ve sunduğu diğer avantajlar neticesinde önem arz etmektedir.

Tablo 18: Türkiye’de Yenilenebilir Kaynakların Potansiyeli ve Kullanım Miktarı

Enerji Türü	Ekonomik Kapasite	2018 itibariyle Kurulu Kapasite
Rüzgâr	40.000 MW (Kara üstü) 8.000 MW (Deniz üstü)	7.369 MW
Güneş	80 MTEP (1.311 kWh/m ²)	5.063 MW
Jeotermal	31.500 MW	1,238 MW
Biyokütle	8,6 MTEP (katı atık) 1,5 - 2 MTEP (biyogaz)	811 MW
Hidrolik Güç	140.000 MW	27.912 MW

Kaynak: ETKB, 2019

Yenilenebilir kaynakların potansiyeli gelişen teknik ve teknolojiyle birlikte şimdiye kadar olduğu gibi gelecekte de artacak ve ülke enerji arz riskini azaltıp, mali ve siyasi fayda sağlayabilecektir. Örneğin üç tarafı iç denizlerle çevrili olan ülkemiz şimdilik dalga enerjisinden faydalanma konusundan uzak olmasına rağmen yaşanacak gelişmeler ve uygun yatırım bedelleriyle önemli bir kazanç sağlayabilecektir.

Türkiye’nin artan nüfusu ve sanayi faaliyetleri, gelişen teknoloji ve refah seviyesi neticesinde kuşkusuz enerji tüketimi artacaktır. İthal kaynaklara olan bağımlılığın düşmesi, Paris İklim Anlaşması ve Kyoto Protokolü’nün öngördüğü şekilde sera gazı salınımının aşağı çekilmesi için yenilenebilir kaynakların enerji kullanımındaki yeri arttırılmalıdır. Bu konu ülkenin siyasal ve ekonomik yapısını etkilediği kadar toplumun refah seviyesinden taviz vermeden, modern yaşamın getirilerinden mahrum olmadan, bağımsız yaşaması için de önemlidir. Çalışma da bu düşünce ile enerji de yenilenebilir kaynakların özelde ise rüzgâr enerjisinin ülke

enerji bağımsızlığı kazanmasındaki rolünün araştırılmış ve önemli bir enerji arz avantajının yakalanacağı saptanmıştır.

Rüzgâr enerjisi sahip olunan coğrafyanın rüzgâr potansiyeline bağlı olarak üretileceğinden, coğrafyayı anlamak önemlidir. Güneşin dünya yüzeyine eşit miktarda enerji ulaştıramaması neticesinde bölgeler arasında sıcaklık değişiminin oluşması sonucunda, sıcak bölgelerde alçak; soğuk yerlerde yüksek basınç merkezleri meydana gelir. Bu merkezlerin atmosfer içinde basınç farkı ve dünyanın dönüşü nedeniyle birbirlerine yönelik yaptıkları hava hareketine rüzgâr denir ve güneş ve atmosfer varlığıyla birlikte bu sistem sonsuz bir düzende devam edecektir. Bu sonsuz kaynak taşıdığı kinetik enerjiyle geçmişte farklı şekillerde kullanılırken günümüzde en önemli enerji türlerinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Türkiye sahip olduğu konum ile en aktif atmosfer yapısının egemen olduğu orta kuşağın güneyinde bulunmaktadır. Bu durum iki açıdan ülke coğrafyasının rüzgâr potansiyelini arttırmaktadır. Biri küresel rüzgârlardan Batı Rüzgârının, Anadolu Coğrafyası'nda etkili olması, diğeri ise bulunduğu kuşakta etkili olan basınç merkezlerinin yıl boyu değişen oranlarda ve zamanlarda ülkeyi etkisi altına almaktadır. Bu değişken hava sistemi rüzgâr varlığının dolayısıyla rüzgâr potansiyelinin güçlenmesinde etkili olmaktadır. MGM, EİE'nin ortak projesi kapsamında ortaya konan REPA ile Türkiye'nin zengin bir rüzgâr kaynağına sahip olduğu ve bu kaynaktan yapılacak üretimin ülke enerji bağımsızlığında ve çevre korumasında önemli bir araç olacağı kanıtlanmıştır. Basit ve kurulumu hızlı rüzgâr türbini sayesinde elektrik üretimine imkân veren rüzgâr, önce yapılan ölçümler ve saha çalışması sonrası üretime geçebilmektedir.

Batı Rüzgârı, Türkiye'de; Ege Bölgesi, Güney Marmara ve Doğu Akdeniz'de rüzgâr potansiyelini arttırarak bu alanların önemli yatırım sahası olmasına sağlamıştır. En fazla rüzgâr kapasitesine sahip on ilin dokuzu bu üç bölgede bulunmaktadır. Bu bölgelerden sonra en verimli rüzgârlar İç Anadolu ve Batı Karadeniz'de bulunmaktadır. En yüksek rüzgâr kurulu gücüne sahip ilk on şehir sırasıyla; İzmir, Balıkesir, Manisa, Hatay, Afyonkarahisar, Osmaniye, Kayseri, İstanbul, Mersin, Aydın'dır. Ayrıca İç Anadolu bölgesinde dağ röllyefi ve mevsimsel

basınç değişkenleri etkisiyle rüzgâr gücünün verimli olduğu Sivas, Nevşehir, Niğde, Karaman; MGM rüzgâr hız ve yön ölçümüne göre rüzgâr bakımından verimli alanlardır. Doğu Anadolu Dağları'nın ve Orta Torosların İç Anadolu ile sınır olduğu bölgede bulunan bu kentler çevrelerindeki dağları aşarak İç Anadolu'ya kadar sokulan rüzgârlar, yerel basınç farklarıyla ve dağ – vadi meltemlerinin bir hat boyunca esmesi neticesinde rüzgâr gücü yüksektir.

Türkiye'de yenilenebilir kaynakların kullanımına imkân veren yasal düzenlemelerin geç başlaması, uygulama detaylarında belirlenmesini geciktirmiştir. 2007 yılında yapılan 78.000MW rekor başvurunun seçimi ve lisanslanması 2011 yılına kadar sürmüş, bu durum ülke kaynaklarının kullanımı bir anlamda geciktirmiştir. Şuan için 14 kurum ve onların 50 biriminin onayından geçmesi ile RES yatırımları yapılabilmektedir. Bu durumun yaşattığı karmaşıklık, üretime geçişin aksaması gibi nedenlerden dolayı sektöre girmek isteyenler tarafından daha az bürokrasi ve sade başvuru sistemi istenilmektedir.

Bugün 180 RES'te, 3.085 adet türbin ile ülkenin yıllık toplam elektrik tüketiminin %7'si karşılanmaktadır. RES'ler çeşitli dezavantajlarına rağmen, yerli kaynak kullanılması, istihdam sağlaması, çevreci oluşu, bölgesel refah artışına katkı da bulunması, hızlı üretime geçmesi, bakım masrafının az olması ve gelişen teknolojiyle düşük yatırımlardan yüksek verim alınacağı tahminiyle Türkiye'nin bağımsız enerji, bağımsız ekonomi ve sonucunda güçlü ülke statüsü kazanması için değerlendirilmeli, araştırılmalı ve çalışılmalıdır.

KAYNAKÇA

- ABD, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi, 2019 **‘Güneş Enerjisi Bilgilendirmesi’** (<https://www.energy.gov/eere/wind/wind-energy-technologies-office> Erişim Tarihi: 05.07.2019)
- ABD, Enerji Bilgi Yönetim İdaresi, 2019 **‘Küresel Rüzgâr Enerjisi 2019’** (https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=wind_history Erişim Tarihi: 05.07.2019)
- AĞÇAY, M., 2007 **‘Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Arz Talep Dengesinin Tespiti, Üretim Projeksiyonuna Yönelik Rüzgâr Elektrik Santrali Tasarımı RES’in Kurulum Maliyetlerinin ve Üretim Parametrelerinin Analizinin Matlab&Simulink İle Yazılan Programda Yapılması’** İTÜ, Basılmamış Bitirme Tezi, İstanbul.
- AKOVA, İ., 2008 **‘Yenilenebilir Enerji Kaynakları’** Nobel Yayınları, İstanbul.
- AKOVA, İ., 2016 **‘Enerji Kullanımındaki Değişimler’** Nobel Yayınları, İstanbul.
- AKOVA, İ., 2003 Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, **Coğrafya Dergisi**, Sayı 11, s 47 – 73, İstanbul.
- AKOVA, İ., 2011 **‘Development Potential of Wind Energy in Turkey’** **EchoGeo Dergisi**, Sayı 16, İstanbul.
- ALTUNTAŞOĞLU, Z., 2013 **TÜREK Konferans Sunumu**, TMMOB MMO Enerji Çalışma Grubu, İstanbul.
- Arıcı, E., 2018 **‘Res Önlisans İzin Süreçleri ve Kurumlar Arası İlişkiler’**, TÜREK Konferans Sunumu, Ankara.
- APAYDIN, M., ÜSTÜN, A. K., KURBAN, M., BAŞARAN FİLİK, Ü., 2009 **‘Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Jeneratörlerin Karşılaştırılmalı Analizi’**, **V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, s. 105, Ankara.
- ARDEL, A., 1973 **Umumi Coğrafya Dersleri Notları Klimatoloji**, İstanbul Üniversite Yayınları, s73, İstanbul.
- AVCIOĞLU ONURBAŞ, A., 2017 **‘Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Dersi 7’** Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ankara.

- AVŞAROĞLU, M. K., TUĞCAN, T., SERİNDAĞ, S., 2006 “**Rüzgâr Türbinlerinde Topraklama ve Yıldırımdan Korunma Sistemleri**”
- AVRUPA ENERJİ KOMİSYONU, 2012 “**Enerji Yol Haritası 2050**”, Publications Office of the European Union, Belçika.
- BP, 2018 ‘BP Dünya Enerji İstatiksel Görünümü’ **Doğalgaz Raporu.**
- BP, 2018 ‘BP Dünya Enerji İstatiksel Görünümü’ **Petrol Raporu.**
- BP, 2018 ‘BP Dünya Enerji İstatiksel Görünümü’ **Kömür Raporu.**
- ÇINAR, B., 2008 “Tarihte Üçüncü Güç ve Orta Asya Enerji Savaşları”, **Güvenlik Stratejileri Dergisi**, s. 20–44.
- Devlet Su İşleri, 2018 Devlet Su İşleri 2018 Faaliyet Raporu, s. 48. Ankara
- DMGM, 2005 “**Klimatoloji 1**”, Yayın nu: 2005, 1. BASKI, DMİ YAYINLARI, Ankara.
- DMGM, 2005 “**Klimatoloji 2**” DMİ YAYINLARI, Ankara.
- Dışişleri Bakanlığı, 2019 “**İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi**”
<http://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa> (Erişim Tarihi: 12.10.2018)
- ERİNÇ, S., 1984 **Klimatoloji ve Metotları**, İTÜ Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- ERİNÇ, S., 1984 ‘**Doğu Karadeniz Kıyılarında Fön ve Termik Tesirleri Hakkında**’
- ETKB, 2019 Biyokütle, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> (Erişim : 17.06.2019)
- ETKB, 2019 Doğalgaz, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal->

- Gaz (Erişim : 17.06.2019)
- ETKB, 201 Elektrik, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim : 17.06.2019)
- ETKB, 2019 Hidrolik, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik> (Erişim : 20.06.2019)
- ETKB, 2019 **Güneş**, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim : 18.06.2019)
- ETKB, 2019 **Jeotermal**, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal> (Erişim : 17.06.2019)
- ETKB, 2019 **Kömür**, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur> (Erişim : 17.06.2019)
- ETKB, 2019 **Petrol**, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol> (Erişim : 17.06.2019)
- ETKB, 2019 **Rüzgâr**, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (Erişim Tarihi: 18.06.2019)
- ETKB, 2019 **2017 Yılı Taşkömürü Sektör Raporu.**
- ETKB, 2014 2015 – 2019 Strateji Belgesi, **Resmî Gazete**, sayı: 25218, Ankara.
- ETKB, 2012 Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023, **Resmi Gazete**, Sayı: 28215, Ankara.
- ERMİş, M. 2007 ‘‘Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kaynaklarından Yararlanılmalıdır’’, **V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri.**
- EMO, 2015 ‘‘Türkiye Elektrik Tarihçesi’’ TMMOB ANKARA Şubesi haber 2009/4.
- EMO, 2016 **Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılım**, Ankara
- EMO, 2019 **Türkiye Elektrik Enerjisi İstatistikleri**, Ankara
- ESKİKAYA, Ş., 1978 ‘‘Dünya Enerji Kaynakları Arasında Kömürün Yeri’’, Türkiye 1. Kömür Toplantısı, s42, Ankara.
- EROL, O., 1993 **Genel Klimatoloji**, Gazi Büro Kitapevi, Ankara.

- GAZBİR, 2012 **‘Karbon Emisyonu Raporu’** Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği Derneği Sektör Çalışması.
- Gönençgil, B. 1993 **"Türkiye Üzerinde Zemin ve Yüksek Atmosferde Oluşan Fön Olayı, Antalya Örneği"** İ.Ü.Deniz Bilm. Ve Coğ. Enst. Doktora Tezi, İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ Deniz Bilimleri Ve Coğrafya Enstitüsü Klimatoloji.
- GÜLERSOY, T., ÇETİN, N. S., 2010 “Menemen Bölgesinde Rüzgâr Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması”, **Politeknik Dergisi**, Cilt:13 Sayı: 3 s. 209-213,
- TÜİK, 2019 **Katı Yakıt İstatistikleri**, Enerji Kaynakları Derleme, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=1966> (Erişim Tarihi: 05.03.2019)
- TÜİK, 2019 Enerji İthalatı, **Türkiye Dış Ticareti**, http://tuik.gov.tr/VeriTabanlari.do?vt_id=84&ust_id=104# (Erişim Tarihi: 15.03.2019)
- TÜİK, 2019 Cari Açık, **Ticaret İstatistikleri**, <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul> (Erişim Tarihi: 06.04.2019)
- TÜRKİYE KÖMÜR İŞLETMELERİ KURUMU, 2019 **2018 Yılı Faaliyet Raporu**, Ankara
- TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU, 2015 **2015 Taşkömürü Sektör Raporu**, Ankara.
- TÜRKİYE JEOTERMAL DERNEĞİ (TJD) <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/> (Erişim Tarihi: 16.03.2019)
- IEA, 2019 **“Dünya Enerji Görünümü 2018”**,

- IEA, 2019 "Yenilenebilir Enerji 2018" web semineri sunumu
- IEA, 2019 "Dünya Yenilenebilir Enerji Görünümü 2018"
- IEA, 2019 "Dünya Enerji Yatırımları Raporu 2018"
- IRENA, 2019 "Biyokütle" 2019 Erişim Tarihi: 19.03.2019
<https://www.irena.org/bioenergy>
- IRENA, 2019 "Güneş" Erişim: <https://www.irena.org/solar>
- IRENA, 2019 "Jeotermal" Erişim Tarihi: 23.03.2019
<https://www.irena.org/geothermal>
- IRENA, 2019 "Hidrolik" Erişim Tarihi: 02.05.2019
<https://www.irena.org/hydropower>
- IRENA, 2019 "Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050"
<https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition> Erişim Tarihi: 26.06.2019).
- KALYONCU
TÜRKEŞ, E. Ö.,
2012 "Avrupa Birliği'nde Rüzgâr Enerjisi: İspanya ve Türkiye Örneği" İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- KARABULUT, Y.,
1995 "Türkiye'de Enerji Üretimi, Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafya Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergi, S. 53-70. Ankara.
- KARABULUT, Y.,
1999 "Enerji Kaynakları", Ankara Üniversitesi Basımevi, ANKARA.
- KARAKUŞ, U., Jeotermal Enerjinin Kullanımı ve Kırşehir Örneği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, Cilt 21, Sayı 6, S.6, Kahramanmaraş.

- Kaya, K., Koç, E., 2015 “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.
- TURHAN Ç., 2003, KARAYILMAZLA R, S., KURT, R., ÇABUK, Y., SARAÇOĞLU, N., 2011 “BİYOKÜTLENİN TÜRKİYE’DE ENERJİ ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ”, **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, Cilt: 13, Sayı: 19, 63-75, Bartın.
- KAYA, K., KOÇ E., 2015 “Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kanat Profil Tasarımı ve Üretim Esasları”, sf4-5, Ankara.
- KOÇ, A., YAĞLI H., KOÇ, Y., UĞURLU, İ., 2018 “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi”, Mühendis ve Makina cilt 59, sayı 692, s. 86-114, Ankara.
- KOÇ, T., 2009 “Kuzeybatı Anadolu’da (Türkiye) Hava Tipleri”, **Çanakkale Araştırmaları Türk Yılığ**, Cilt 6, Sayı 6-7, Çanakkale.
- MGM, 2008 **Klimatolojik Rasat El Kitabı, DMİ Yayınları, Ankara.**
- MUNİCHRE, 2017 **‘Natural catastrophes 2017’ Raporu Topics Geo Dergisi.**
- NURBAY, N. ÇINAR, A. 2005 **"Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Türbinlerin Birbirleriyle Karşılaştırılması"**, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, s. 164-168, Kocaeli
- OECD, 2019 “Türkiye Çevresel Performans İncelemesi (ÇPİ).
- OECD, 2019 Enerjide Gelecek Elli Yıl, Yayınlar Başkanlığı, Fransa (<https://www.oecd.org/futures/17738498.pdf>_Erişim Tarihi: 25.05.2019).

- OECD, 2008 “Çevresel Görünüm 2019”
- ONURBAŞ
AVCIOĞLU, A.
2017 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ Dersi 7, **HİDROLİK ENERJİ**, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara
- REN21, 2019 “Yenilenebilir Kapasite İstatistikleri 2019,
<https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019> (Erişim Tarihi: 24.06.2019)
- REN21, 2018 “Yenilenebilir 2019 Küresel Statü Raporu”, REN21 Sekreterliği, Paris.
- REN21, 2018 “Yenilenebilir 2018 Küresel Statü Raporu”
- RİTM, 2019 RİTM Hakkında <http://www.ritm.gov.tr/aboutUs/ritm.php> (Erişim Tarihi: 26.08.2019)
- SAĞLAM M,
UYAR T. S. 2004 “Dalga Enerjisi ve Türkiye’nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli”, Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Ana Bilim Dalı Göztepe, İstanbul.
- SEVİM KAYA, C.
2014 ‘(Şeyl) Gazının Uluslararası Enerji Politikalarına etkileri’, Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, Cilt 1, Sayı 6, s. 49-64, İzmir.
- SEVİM, C., 2014 “Kaya (şeyl) Gazının Uluslararası Enerji Politikalarına Etkileri”, Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, Cilt 9, Sayı 64, İzmir.
- SEZER, Ö., 2007 ‘Konferanslar ve Çevre Sorunları: Çevre Kalkınma ve Etik Açısından Eleştirel Bir Değerlendirme’, Atatürk

- Kültür, Dil ve Tarih Kurumu, s4, Ankara.
- ŞAYENDE
YILMAZ, 2018 “Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli ve Gelişme Durumu”,
Makine Mühendisleri Odası Aylık Dergisi,
- TÜMERTEKİN, E.-
ÖZGÜÇ,N., 1997 “**Ekonomik Coğrafya- Küreselleşme ve Kalkınma**”,
Çantay Yayınevi, İSTANBUL.
- ÜLTANIR, M. Ö.,
1996 "Yel Değirmenlerinden Günümüze Rüzgâr Enerjisi",
Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı: 341, s: 56-61,
ANKARA.
- TÜREB, 2019 “**Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu**”, Ankara
- TÜREB, 2019 “**Türkiye Rüzgâr Enerji Santralleri**”, Ankara
- TÜREB, 2012 “**Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu**”, Ankara
- YEGM, 2019 Biyokütle,
<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle.aspx> (Erişim
Tarihi: 14.05.2019)
- YEGM, 2019 Güneş, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx>
- YEGM, 2019 Hidrolik <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/hidrolik.aspx>
(Erişim Tarihi: 17.05.2019)
- YEGM, 2019 Jeotermal,
<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/jeotermal.aspx> (Erişim
Tarihi: 14.05.2019)
- YEGM, 2019 Rüzgâr, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx>
(Erişim Tarihi: 25.06.2019)
- YILMAZ, M., 2012 ‘Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji
Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi’ ,
Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi,

Coğrafya Bölümü, Ankara

Yılmaz, O.,
Hotunluoğlu, H.,
2015

“Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye”,
Adnan Menderes Üniversitesi, **Sosyal Bilimler Enstitüsü**
Dergisi, Yıl: 2, Sayı: 2, s. 74-97, Aydın.

UN
ENVİROMENT,
FRANKFURT
SCHOOL,
BLOOMBERG
NEW ENERGY
FINANCE, 2017

“Yenilenebilir Enerji Yatırımlarında Küresel Trend 2018”,
Frankfurt.

WWF, 2018

"Yaşayan Gezegen Raporu 2018"

WEC, 2018

“Dünya Enerji Sorunları Monitörü”

İnternet Kaynakları

<http://www.lisanssizelektrik.org/sik-sorulan-sorular/> (Erişim Tarihi: 15.04.2018)

<http://www.technologystudent.com/energy1/wind2.htm>(Erişim Tarihi: 11.04.2018)

<http://gooenergy.com/projeler/r%C3%BCzgar-enerjisi.html>(Erişim Tarihi:
04.05.2018)

<https://www.solargain.com.au/timeline-history-solar-power>(Erişim Tarihi:
04.05.2018)

<http://www.lcdegitim.com/ygs-basinc-ve-ruzgar.html>(Erişim Tarihi: 17.11.2018)

<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>(Erişim Tarihi: 19.08.2018)

<https://worldbioenergy.org>(Erişim Tarihi: 21.05.2018)

<http://www.inovasyon.org/pdf/cd.bolum2.pdf>(Erişim Tarihi: 06.07.2018)

<https://www.statista.com/statistics/268385/global-new-installed-wind-power-capacity/>(Erişim Tarihi: 18.10.2018)

www.ruzgarsempozyumu.org(Erişim Tarihi: 09.06.2018)

<https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-are-advantages-and-disadvantages-offshore-wind-farms>(Erişim Tarihi: 15.07.2018)

<http://windenergyfoundation.org/about-wind-energy/history/>(Erişim Tarihi: 08.05.2018)

<https://www.lmwindpower.com/en/sustainability/learn-about-wind/history-of-wind>(Erişim Tarihi: 05.06.2018)

www.denizcilikbilgileri.com/ruzgar-yonleri-ve-beaufort-skalasi/ (31.05.2018)

<https://nsidc.org/cryosphere/glossary/term/coriolis-force> ((Erişim Tarihi: 30.08.2018)

<https://www.britannica.com/science/Hadley-cell> ((Erişim Tarihi: 30.05.2018)

<https://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/how-weather-works/global-circulation-patterns> (Erişim Tarihi 28.05.2018)

<http://www.amit-sengupta.com/worlds-pressure-belts/>(Erişim Tarihi: 09.06.2018)

<https://www.climate-charts.com/World-Climate-Maps.html#temperature> (Erişim Tarihi: 27.05.2018)

<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=15> (Erişim Tarihi: 28.05.2018)

<https://nsidc.org/cryosphere/glossary/term/coriolis-force> (Erişim Tarihi: 30.08.2018)

<https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2014/11/history-of-wind-turbines.html> (Erişim Tarihi: 13.07.2018)

<http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/ruzgar-turbinlerinde-neden-genellikle-uc-kanat-bulunur> (Erişim Tarihi: 17.06.2018)

<https://www.mto.com.tr/single-post/Yildirimdan-Korunma-Ruzgar-Turbinlerinin-Yildirimdan-Korunmasi> (Erişim Tarihi: 22.06.2018)

<https://www.kuark.org/2015/09/ruzgar-turbini-nasil-calisir/>(Erişim Tarihi: 24.09.2018)

http://www.yegm.gov.tr/genc_cocuk/Enerji_Nedir.aspx(Erişim Tarihi: 08.09.2019)

<https://www.iklimhaber.org/turkiye-sera-gazi-emisyon-istatistiklerine-yakin-bakis/>(Erişim Tarihi: 14.07.2018)

<https://cografyabilim.wordpress.com/tag/krivetz-ruzgari-ve-ozellikleri/>(Erişim Tarihi: 23.06.2018)

<https://cografyabilim.wordpress.com/tag/krivetz-ruzgari-ve-ozellikleri/>(Erişim Tarihi: 25.05.2018)

<http://www.enerjimag.com/turkiyede-ruzgar-enerjisi-santrali-nasil-kuruluyor/>(Erişim Tarihi: 03.04.2018)

<http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/ruzgar-turbinlerinde-neden-genellikle-uc-kanat-bulunur> (Erişim Tarihi: 28.07.2019)

https://cografyabilim.files.wordpress.com/2011/12/meteoroloji_unite_6_genel_dolasim_teoriler.pdf (Erişim Tarihi: 18.06.2019)

https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf (Erişim Tarihi: 15.08.2019)

<https://www.mmo.org.tr> (Erişim Tarihi: 22.08.2019)

windpowermonthly.com, 2019 (Erişim Tarihi: 08.09.2019)