



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
DARDANOS YERLEŞKESİNİN
RÜZGAR ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ
POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdul Maroof SHIRZAD

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. İsmail TARHAN**

ÇANAKKALE - 2021



ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Abdul Maroof SHIRZAD

25/06/2021

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını, desteğini, tecrübelerini, güler yüzünü ve samimiyetini esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. İsmail TARHAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen değerli dostum sayın Dr. Gul Agha SAGHINCH 'a teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı kıymetli arkadaşım sayın Ömer KUL'a teşekkürü borç bilirim. Son olarak hayatımın her evresinde hiçbir zaman bana desteklerini esirgemeyen çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Abdul Maroof SHIRZAD
Çanakkale, Haziran 2021

ÖZET

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ DARDANOS YERLEŞKESİNİN RÜZGAR ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

Abdul Maroof SHIRZAD

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. İsmail TARHAN

25/06/2021, 92

İnsanlığın ekonomik, kültürel, teknolojik ve sosyal yaşamındaki gelişimlerinde gereksinim duyduğu temel ihtiyaçların başında enerji ilk sıralarda gelmektedir. Günümüzde insanlığın yaşantısını konforlu ve güvenli hale getirmek için kullanılan teknolojik cihazların enerji tüketimlerini karşılamak üzere çoğunlukla, konvansiyonel enerji kaynakları olarak adlandırılan petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil kaynaklardan yararlanılmaktadır. Fosil kaynakların belirlenen olası rezervlerinin nispeten sınırlı olması ve özellikle son yıllarda çevre kirliliği, sera etkisi insan yaşamını ve sağlığını ciddi düzeylerde olumsuz etkileyen çevre etkilerinin gittikçe artarak hissedilmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimleri hızla artırmaktadır. Bu yönde; ülkemizde ve dünyada bazı ciddi çalışmalar ve uygulamalar görülmektedir. Üniversitemiz ve kampüslerinin yer aldığı Çanakkale ilinin şimdi rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyo-kütle enerjisi kaynaklarından yararlanılmasına yönelik çalışmaların, projelerin ve aktif çalışan tesislerin olduğu da göz önüne alındığında, yıllık 15 GWh enerji tüketimine sahip üniversitemizin elektrik enerjisi gereksiniminin güneş ve rüzgar enerji kaynaklarından yararlanılabilmesi amacıyla, üniversitemiz yerleşkelerinin güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi ve bu potansiyellerden yararlanılabilmesi üzerine çalışmaların yapılması önem

kazanmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmeler dikkate alındığında, enerji gereksinimlerini karşılamada yenilenebilir enerji kaynaklarının payı artmaktadır. Bu çalışmada; yarı-olimpik yüzme havuzunun, seraların ve bazı tesislerin yer aldığı Üniversitemiz Dardanos Yerleşkesi'nin güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla; Meteoroloji Genel Müdürlüğü meteorolojik verileri, GEPA ve REPA verileri yanında olanaklar ölçüsünde yerleşkedeki meteorolojik istasyon verilerinden de yararlanılmaya çalışılacaktır. Bu amaçla; elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesiyle, farklı fotovoltaik paneller ve rüzgar türbinleri için elektrik enerjisi üretimine yönelik potansiyellerin belirlenmesi ve modellerin oluşturulması hedeflenmektedir.

Anahtar sözcükler: Alternatif Enerji, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, ÇOMÜ Dardanos Yerleşkesi, Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

ABSTRACT

DETERMINATION OF WIND ENERGY AND SOLAR ENERGY POTENTIALS OF ÇANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY DARDANOS CAMPUS

Abdul Maroof SHIRZAD

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Energy Resource and Administration

Advisor: Prof. Dr. İsmail TARHAN

25/06/2021, 92

Energy is at the forefront of the most basic needs that humanity needs in its economic, cultural, technological development, and social life. Nowadays, fossil sources such as petroleum, coal, natural gas are mostly used to meet the energy consumption of the technological devices used to make life more comfortable and safe. Due to the relatively limited reserves of fossil resources identified, environmental pollution and environmental effects such as the greenhouse effect which seriously influence human life and health in recent years; tendencies towards cleaner and environmentally friendly energy sources such as wind, sun, geothermal, hydrogen are increasing. In this way; there are many serious studies, investigations, and some applications in our country and the world. Çanakkale city, where our university and campuses are located, has considerable efforts and active facilities to benefit from solar, wind, geothermal, and biomass energy sources. Our university has an annual energy consumption of up to 15 GWh; therefore, it is important to determine the solar energy and wind energy potentials of our campuses and to utilize these potentials so that the energy requirement of our university can benefit from these energy sources (i.e. sun and wind). considering the developments in renewable energy technologies in recent years, the share of renewable energy sources in meeting the energy demand has been increasing. In this study, it is aimed to determine the solar energy and wind energy potentials of our University Dardanos Campus where some facilities like a semi-olympic swimming pool and

greenhouses are located. For this purpose; meteorological data of the General Directorate of Meteorology, GEPA, and REPA data is going to be used, and as well as the meteorological station data on the campus will also be used. By analyzing and evaluating the obtained data, the potentials for electric energy production for different photovoltaic panels and wind turbines will be determined and models will also be tried to be established.

Keywords: Alternative Energy, Çanakkale Onsekiz Mart University, ÇOMU Dardanos Campus, Solar Energy, Wind Energy, Renewable Energy Resources.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI	i
ETİK BEYAN	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
TABLolar DİZİNİ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Güneş Enerjisi	2
1.2. Rüzgar Enerjisi	3

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5

2.1. Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı	5
2.2. Dünyada Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı	8
2.3. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli	11
2.4. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	17
2.4.1. Türkiye'de Rüzgar ve Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı	20
2.5. Çanakkale'de Güneş Enerjisi Potansiyeli	23
2.6. Çanakkale'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	25

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL YÖNTEM

28

3.1. Güneşin Yapısı ve Enerji Üretim Mekanizması	28
3.2. Güneş Işığından Elektrik Enerjisi Üretimi	29
3.2.1 Fotovoltaik (PV) Güneş Panelleri	29
Tek (Mono) Kristal Güneş Panelleri	32
Çok (Poli) Kristal Güneş Panelleri	33
İnce Film Güneş Panelleri	33
Esnek Güneş Panelleri	34
3.2.2. Henüz Satış Pazarı Olmayan Güneş Panelleri	35
Organik Güneş Hücresi	35
Perovskit Güneş Hücresi	36
3.2.3. Fotovoltaik Güneş Panellerin Uygulama Sistemleri	38
Şebeke Bağlantılı (On Grid) Güneş Panelleri Sistemi	38
Şebeke Bağlantılı (Off Grid) Güneş Panelleri Sistemi	38
3.2.4. Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik (CPV)	39
Düşük Sıcaklık Sistemleri (20-100 °C)	40
Orta Sıcaklık Sistemleri (100-300 °C)	41
Yüksek Sıcaklık Sistemleri (<300 °C)	41
3.2.5. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Termik Sistemleri (CSP)	41
Parabolik Oluk Kollektörler	42
Fresnel Aynalı Yoğunlaştırılmış	42
Merkezi Alıcı Kollektörler	43
Parabolik Çanak Kollektörler	43
3.2.6. Güneş Isı Panelleri	44
Aktif Güneş Sistemleri	44
Pasif Güneş Sistemleri	45
3.2.7. Güneş Enerjisi Kollektörleri	46
Düzlemsel Güneş Enerjisi Kollektörleri	46
Vakumlu Güneş Enerjisi Kollektörleri	47
3.2.8. Güneş Işınım Ölçümü	47
Doğrudan Işınım Ölçümü	48

Yaygın Işınım	48
3.2.9. Güneş Panellerin Potansiyel Analizi	49
3.3. Rüzgar Oluşumu	51
3.4. Rüzgar Güç Hesabı	54
3.5. Rüzgar Ölçüm Aletleri	56
3.6. Rüzgar Türbinleri	57
3.6.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT) ve Özellikleri	57
3.6.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT) ve Özellikleri	59
3.6.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (EERT) ve Özellikleri	59
3.7. Rüzgar Potansiyel Analizi	60
3.7.1. Weibull Dağılımı	60
3.7.2. Rayleigh Dağılımı	62
 DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI 	
4.1. Dardanos Yerleşkesinin Konumu ve Elektrik Tüketimi	65
4.2. Dardanos Yerleşkesinin Güneş Enerjisi Potansiyeli	67
4.3. Dardanos Yerleşkesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	70
 BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ ve ÖNERİLER 	
KAYNAKÇA	77
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Alan (m ²)
AK	Akü Kapasitesi
a-Si	Amorf Silisyum
AB	Astronomik Birim (1 AB = 149,6.10 ⁶ km)
ABD	Amerika Birleşik Devleti
AC	Alternatif (Dalgalı) Akım (Alternative Current)
A.Ş.	Anonim Şirket
Br	Brom
c	Ölçek Parametresi
CaTiO ₃	Kalsiyum Titanat
CdTe	Kadmiyum Tellür
C _{FF}	Dolum Faktörü
CH ₃ NH ₃	Metil Amonyum
CIGS	Bakir İndium Galyum deSelenit
Cl	Klor
CO	Karbon Monoksit
CO ₂	Karbon Dioksit
CPV	Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik Sistemler (Concentrated Photovoltaic Systems)
CSP	Yoğunlaştırılmış Güneş Termik Santrali (Concentrated Solar Thermal Power Plant)
ÇOMÜ	Çanakkale Onsekiz Mart Üpniversitesi
DC	Doğru (Düzgün) Akım (Direct Current)
DERT	Düşey Eksenli Rüzgar Türbini
DMİ	Devlet Meteroroloji İşler
E	Enerji
EERT	Eğik Eksenli Rüzgar Türbini
EİEİ	Elektrik İşler Etüt İdaresi
EİEİGM	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü

E_k	Kinetik Enerji ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$)
$f_R(v)$	Rayleigh Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$f_W(v)$	Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$F_W(v)$	Weibull Kümülatif Olasılık Dağılım Fonksiyonu
GaAs	Galyum Arsenit2GEPA Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
GW	Giga (Milyar) Watt
GWh	Giga (milyar) Watt Saat
H	Yıllık Ortalama Işınım değeri (kWh/m ²)
I	İyot
I_o	Işığın Ürettiği Akım
I_L	Pil Çıkış Akımı
I_s	Saturasyon (Doygunluk) Akımı
I_{SC}	Kısa Devre Akımı (Short - Circuit Current)
k	Şekil Parametresi
K	Kelvin
k_B	Boltzman Sabiti $(k_B = 1,3806503 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} = 1,381 \cdot 10^{-16} \frac{erg}{K}$ $= 8,617343 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K})$
kcal/cm ²	Santimetre Kare Başına Kilokalori
KGGS	Kapalı Geçen Gün Sayısı
km	Kilometre
km ²	Kilometre Kare
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt Saat
kWh/m ²	Metre Kare Başına Kilo Watt Saat
L	Yol-Kanat Kalınlığı (m)
Ltd	Limited
m/s	Saniye Başına Metre
mm	Milimetre
mm ²	Milimetre Kare
M.Ö.	Milattan Önce

M.S.	Milattan Sonra
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	Mega Watt
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
N	Veri sayısı
nm	Nanometre
NO	Azot Oksit
NO ₂	Azot Dioksit
Off Grid	Şebeke Bağlantısız
Off Shore	Açık Denizsel
On Grid	Şebeke Bağlantılı
On Shore	Karasal
P3HT	Poli3-Hexylthiophene
Pb	Kurşun
PCBM	Phenyl-C61-butyracitmethylester
PR	kayıp (%)
PS	Panel Sayısı
PV	Fotovoltaik
q	Elektrik Yüğü
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgar Enerji Santrali
s	Saniye
Si	Silisyum
q^v	Elektrik Yüğü
t	Zaman (s)
T	Mutlak Sıcaklık [$T(K) = 273 + t(^{\circ}C)$]
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TÜREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliğı
TWh	Tera (Tirilyon) Watt Saat
v	Hız (m/s)
V _i	i. Hız Değeri
V _{ort}	Ortalama Hız Değeri

V	Hacim (m ³)
V _{OC}	Açık Devre Gerilimi (Open – Circuit Voltage)
W/m ²	Metre Kare Başına Watt
YERT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
σ	Standart Sapma
η	Verim (%)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ρ_h	Havanın 15°C sıcaklık ve 1 atm basınçtaki yoğunluğu ($\rho_h=1,225$ kg/m ³)
%	Yüzde
°C	Santigrad Derece

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Türkiye’de aylık toplam güneş enerjisi potansiyeli dağılım	12
Tablo 2	Türkiye’nin bölgelerine göre aylık toplam güneş enerjisi potansiyeli dağılımı	13
Tablo 3	Türkiye’de 50 m yükseklikte toplam kara (Onshore) rüzgar enerjisi Potansiyeli	18
Tablo 4	Türkiye’de 50 m yükseklikte toplam deniz (Offshore) rüzgar enerjisi potansiyeli	19
Tablo 5	Türkiye’de bölgelerin rüzgar enerji potansiyel	19
Tablo 6	Türkiye’de devreye alınan rüzgar enerji santrallerin kurulu güçlerinin bölgelere göre dağılımı	21
Tablo 7	Çanakkale’de ilçelerin yıllık ortalama global radyasyon değerleri ve yıllık ortalama güneşlenme süreleri	24
Tablo 8	Çanakkale’de 50 m yükseklikte rüzgar enerjisi potansiyeli	26
Tablo 9	Çanakkale’nin bazı bölgelerinin rüzgar enerjisi potansiyeli	27
Tablo 10	Çanakkale’nin iki bölgesinin aylara göre günlük rüzgar hızı	27
Tablo 11	Çanakkale ilçeleri yıllık ortalama güneşlenme süreleri ve yıllık ortalama global ışıınım değerleri	66
Tablo 12	Güneş enerji tesisin yatırım amortisman tablosu	69
Tablo 13	Rüzgar türbininin yatırım amortisman tablosu	74
Tablo 14	ÇOMÜ Dardanos yerleşkesi güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi birleşik yatırım amortisman tablosu	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Dünyada fotovoltaik güneş enerjisinin toplam kurulu kapasitesi ve yıllık artış kurulu kapasites	6
Şekil 2	Dünyada fotovoltaik güneş enerji kurulu kapasite konusunda 2017 yılında kadar ön plana olan ülkeler	7
Şekil 3	Dünya güneş Enerjisi Haritası	7
Şekil 4	Dünyanın yıllara göre kümülatif kurulan rüzgar enerjisi kapasite artışı	8
Şekil 5	Dünyada yıllar göre rüzgar enerjisinden kurulan kapasite	9
Şekil 6	Dünya üzerinde rüzgar enerjisi üretim bakımında 10 lider ülkeler	9
Şekil 7	Rüzgar enerjisi üretim açısından 10 lider ülkelerin yüzdesi	10
Şekil 8	Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli haritası	10
Şekil 9	Türkiye'nin 2014-2018 yıllar arasında artış güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi	14
Şekil 10	Türkiye'de 2018-2023 arasında en düşük ve en yüksek kurulacak güneş enerjisi kapasitesi	14
Şekil 11	Türkiye’de aylara göre günların sahip olduğu ortalama saatlik güneşlenme süresi	13
Şekil 12	Türkiye’de aylara göre günlük bir metre karenin sahip olduğu ortalama global radyasyon değeri	15
Şekil 13	Türkiye güneş enerjisi haritası	16
Şekil 14	Türkiye'de işletmedeki rüzgar enerji santrallerin bölgelere göre dağılımı	21
Şekil 15	Türkiye’de 2008 – 2018 arasında yıllık rüzgar enerjisi santrallerin toplam kurulum kapasitesi	21
Şekil 16	Türkiye’de 2008 – 2018 arasında rüzgar enerjisi santrallerin toplam kümülatif kurulum kapasite artışı	22
Şekil 17	Türkiye’nin genelinde 50 m yükseklikte ortalama rüzgar hızı bölgeler göre dağılımı	22

Şekil 18	Türkiye genelinde 50 m yükseklikte ortalama rüzgar enerjisi kapasite faktörü dağılımı seviyesi	22
Şekil 19	Çanakkale ilinde ayların günlük ortalama global radyasyon değerleri	24
Şekil 20	Çanakkale ilinde ayların günlük ortalama güneşlenme süreleri	24
Şekil 21	Gökçeada'da ayların günlük ortalama güneşlenme süresi	25
Şekil 22	Gökçeada'da ayların günlük ortalama hızı	27
Şekil 23	Güneşin ve yeryüzünün arasındaki uzaklı	28
Şekil 24	Bulutluk durumuna göre yeryüzüne bir kareye düşen güneş ışığı	29
Şekil 25	Güneş hücrelerin birleşimi	31
Şekil 26	Güneşten gelen fotonların enerjiye dönüşümü	31
Şekil 27	Monokristal güneş panelleri	32
Şekil 28	Poli kristal güneş panelleri	33
Şekil 29	İnce film güneş panelleri	34
Şekil 30	Esnek güneş panelleri	34
Şekil 31	Organik güneş hücresinin malzeme yapısı	36
Şekil 32	Organik güneş hücresi	36
Şekil 33	Perovskit güneş hücresinin malzeme yapısı	37
Şekil 34	Perovskit güneş hücresi	37
Şekil 35	Şebeke bağlantılı güneş panellerinin temsili	38
Şekil 36	Şebekeden bağımsız güneş paneller	39
Şekil 37	CPV sistemleri	39
Şekil 38	Düşük sıcaklık sistemlerin örneği	40
Şekil 39	Yüksek sıcaklık sistemlerin örneği	41
Şekil 40	Parabolik oluk kollektör sistemleri	42
Şekil 41	Fresnal oluk kollektör sistemleri	42
Şekil 42	Merkezi alıcı kollektör sistemleri	43
Şekil 43	Parabolik çanak kollektör sistemleri	44
Şekil 44	Fotovoltaik aktif ısıtma güneş sistemi	45
Şekil 45	Fotovoltaik pasif ısıtma güneş sistemi	45
Şekil 46	Düzlemsel güneş kollektörleri sistemi	46

Şekil 47	Vakumlu güneş kollektörleri sistemi	47
Şekil 48	Direkt ışıınım ve diffüz ışıınım	48
Şekil 49	Hava durumuna göre yeryüzüne ulaşan güneş ışıınımı değerleri	49
Şekil 50	Rüzgar oluşumu	52
Şekil 51	Gece meltemi	52
Şekil 52	Gündüz meltemi	52
Şekil 53	Gündüz vadideki rüzgar akımı	53
Şekil 54	Gece dağdaki rüzgar akımı	53
Şekil 55	Soğuk hava ve sıcak hava yer değişim hareketi	54
Şekil 56	Türbinin çevresindeki hareket eden hava akımı	55
Şekil 57	Türbini için kapasite kaybı yaşanan hareket bileşenler ve olası verimleri	56
Şekil 58	Yatay eksenli rüzgar türbinleri	58
Şekil 59	Dikey eksenli rüzgar türbinleri	59
Şekil 60	Eğik eksenli rüzgar türbini	60
Şekil 61	Weibull dağılımının değişik ortalama rüzgar şiddetlerindeki grafiğı	62
Şekil 62	Rayleigh dağılımının değişik ortalama rüzgar şiddetlerindeki grafiğı	63
Şekil 63	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos yerleşkesi	66
Şekil 64	Dardanos yerleşkesi'in yıllık elektrik tüketimi	67
Şekil 65	Bazı Avrupa ülkeleri ve Türkiye ile Çanakkale ilinin güneşlenme sürelerinin karşılaştırılması	67
Şekil 66	ÇOMÜ Dardanos yarıolimpik yüzme havuzu tesisi	68
Şekil 67	ÇOMÜ Dardanos yerleşkesi rüzgar türbini olası konumu	70
Şekil 68	Dardanos yerleşkesinde seçilen sahanın 70 m yükseklik için yıllık rüzgar hızının aylara göre değişimi	71
Şekil 69	ÇOMÜ Dardanos yerleşkesi'nin yıllık ortalama rüzgar hızının yükseklikle değişimi	71
Şekil 70	Dardanos yerleşkesi örnek rüzgar türbini sahasının rüzgar esme frekansı ve Weibull olasılık dağılımı	72

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşantısının her döneminde etkin rol oynayan enerjinin farklı tanımları olmakla birlikte; en yalın haliyle, maddelerin ya da sistemlerin iş yapabilme özelliği olarak ifade edilmektedir. Günümüzde evlerin ısıtılmasından araçların hareket etmesine ve hatta fabrikaların üretim yapmasına kadar hayatımıza giren herşey için enerji etkin rol oynamaktadır. Enerji; nükleer enerji, mekanik enerji, kimyasal enerji, ısı enerjisi, manyetik enerji, ses enerjisi, ışık enerjisi ve elektrik enerjisi gibi farklı enerji formlarında kendini göstermektedir. Günümüzde, enerji neredeyse yaşamımızın en önemli parçası haline gelmiştir. Bütün aletlerin, cihazların ve donanımların çalışması için öncelikle enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Kullandığımız bilgisayarlar, telefonlar, televizyonlar, fırınlar, arabalar gibi yaşantımızı kolaylaştıran ve konfor sağlayan birçok cihazları çalıştırabilmek için enerjiye ve enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle günlük hayatlarımızı elektrik enerjisi ciddi bir şekilde kolaylaştırmaktadır (Anonim, 2017a). Öte yandan enerji kaynakları ve bu kaynakların etkin bir şekilde kullanımı ekonomik ve sosyal kalkınma bakımından da oldukça önemlidir. Dünyada insanların enerji kaynaklarına endüstri devriminden sonra talebi daha fazla artmış ve bu artış talebi günümüzde de devam etmektedir. Özellikle endüstri devrimi ile birlikte kömür kullanılmaya başlanmıştır. Sonraki yıllarda petrol ve doğal gaz gibi geleneksel enerji kaynaklarının da kullanım yaygınlaşmıştır. Dünyada insanların ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmı günümüzde petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır (Yılmaz, 2012). Fosil enerji kaynakların teminin kolay ve ucuz olması yanında bu kaynakların üretim teknolojisindeki gelişmeleri nedeniyle yüzyıllardan biri yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bütün sektörlerde 1970’li yıllardan günümüze enerji tedariki kullanımı ve güvenliği üzerinde en çok durulan konuların başında yer almıştır. Ancak, yapılan çeşitli çalışmalarda (Yılmaz, 2012; Güler ve Ülger, 2014) vurgulandığı üzere, 1973 ve 1979 yıllarındaki petrol krizleri sonrasında bu fosil kaynaklarına karşı bir güven sorunu meydana gelmiş ve dünya ülkeleri doğa dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yönelmiş ve çalışmalarını çeşitlendirerek hızlandırmışlardır. Öteyandan fosil kaynaklarının kullanımı çok yoğun bir şekilde çevre kirliliğini artırdığından yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasına yol açmıştır (Yılmaz, 2012). Genel olarak enerji

kaynakları yenilenemeyen (sürdürilemeyen) ve yenilenebilir (sürdürülebilir) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları kullanıldıktan sonra yeniden oluşmayan ve kullanıldıkça azalan kömür, petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar sera gazlarına sebep olup çevreyi kirletmektedir. Diğer taraftan, yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldıkça tekrar kendisini hızlı bir şekilde yenileyebilen enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, gel-git enerjisi, rüzgar enerjisi, biyokütle, jeotermal enerji, okyanus enerjisi, hidro enerji ve hidrojen enerjisi gibi enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynakları çevreyi kirletmeyen, doğaya ve doğadaki canlılara zararı olmayan doğa dostu kaynaklardır (Erdoğan ve Seçgin, 2008). Bu tezin konusu; çeşitli kaynaklarda da (GMKA, 2017). vurgulandığı üzere, güneş enerjisi, dalga ve akıntı enerjisi, rüzgar enerjisi, biyogaz ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları bakımından oldukça önemli potansiyellere sahip olan TR 22 Güney Marmara Bölgesi'nde Balıkesir ili ile birlikte yer alan Çanakkale ilinin bilhassa rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahip olmasından dolayı, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesi'nin rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi potansiyellerinin araştırılması olarak özetlenebilir.

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş; günümüzden yaklaşık 14,5 milyar yıl önce ortaya çıkan ve big-bang olarak bilinen büyük patlama'dan yaklaşık 10 milyar sonra oluşmuş bir yıldız olup, dünyadan 149,6 milyon km (1 AB) uzakta ve 696.000 km yarıçapa sahip enerji kaynağıdır (Kıncay, 2013). Güneş'ten yayılan ışınlar yaklaşık 8 dakika sonra yeryüzüne ulaşmaktadır (Cezim, 2013). Diğer bir anlatımla, gezegenimizin yegane hayat ve enerji kaynağı, büyük çoğunluğu yüksek sıcaklıkta hidrojen gazından ibaret bir gök cismi olan güneş yaklaşık 2.10^{30} kg kütleyle sahip ve 696.000 km yarıçaplı dev hidrojen küresidir (Alkan, 2016; Kıncay, 2013). Samanyolu gökadasındaki yüz milyarlarca yıldızdan biri olan güneşin iç kısmında hidrojen gibi çok yoğun gazlar bulunmaktadır (Kıncay, 2013). İnsanoğlu güneş enerjisinden yararlanabilmek amacıyla çok eski dönemlerden buyana çeşitli çalışmalar ve uygulamalar yapmıştır. İlk kez Sokrates (M.Ö. 400) konutların güney tarafında daha fazla pencere kullanılması tavsiye etmiştir (Alkan, 2016). Bilinen ilk uygulama ise Arşimet (M.Ö. 250) güneş ışınlarını içbükey aynalarla yoğunlaştırarak Sirakuza'da düşman gemilerini yakmıştır (Alkan, 2016). Ancak

1725 yılında Belidor tarafından ilk olarak çalışan bir su pompası güneş enerjisi ile geliştirilmiştir (Alkan, 2016). Yine bu kaynaklarda belirtildiği üzere, 1860 yılında Fransız bilim adamı Mohuchok, güneş ışınlamını parabolik ayanlar kullanıp odaklayarak küçük bir buhar makinesini çalıştırılmış ve akabinde güneş ocakları ve güneş pompaları üzerinde deneyler yapmış (Alkan, 2016). Ancak, güneş enerjisinden modern uygulamalar anlamında çalışmalar bilhassa 1970’den sonra önem kazanmıştır (Baş, 2016). Bu çalışmalarla güneş enerji teknolojileri ilerleme kaydetmiş ve maliyet açısından ucuzlamaya başlamıştır (Baş, 2016). Güneş hem bol, hem serbest, hem sürekli ve hem de bedava olan en önemli enerji kaynaklarından biridir. Bu kaynak sera gazlarına neden olmayan, temiz ve çevre dostu olarak kendini öne çıkarmaktadır. Yerli ve yeterli olarak bulunmakta ve her hangi bir dış bağımlılığı yoktur. Bu kaynaktan enerji elde etmek için çok karmaşık teknolojilere gerek olmayıp, basit sistemler kullanarak enerji elde edilebilmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Diğer taraftan güneş enerjisinin bazı dezavantajları vardır. Bu kaynaktan elde edilen enerji sürekli olarak depolanamamaktadır. Yaz aylarına göre kış aylarında daha az enerji üretilmektedir. Ayrıca, geceleri güneş ışınlamı olmadığından dolayı enerji üretilmemektedir (Aksungur, vd., 2013). Günümüzde, güneş enerjisi konutlar ve iş yerlerinin ısıtılması-soğutulması, yemek pişirmek, sıcak su elde etmek, yüzme havuzlarının ısıtılması, seraların iklimlendirilmesi ve ürünlerin kurutulması için güneş enerjisi etkin şekilde kullanılmaktadır. Bunlardan başka, sanayi alanında güneş ocakları, güneş fırınları, pişiriciler, deniz suyundan tatlı su ve tuz üretmek için güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu tür uygulamalara ek olarak; güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu gibi uygulamalarla güneş enerjisinden yararlanmaktadır. Ayrıca, iletişim ve ulaşım alanında araçların otomasyon ve sinyalizasyonunda, elektrik üretiminin kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin çok küçük bir kısmı, yaklaşık %2 kadarı rüzgar enerjisine dönüşmektedir (Kelsoy ve Soysal, 2015). Güneş’ten gelen ışınlar yeryüzünü (atmosferi, karaları ve denizleri) eşit ısıtmadığından meydana gelen basınç ve sıcaklık farklılığından dolayı hava kütlesi hareketi oluşmaktadır. Bu hava kütlesi hareketi “rüzgar” olarak adlandırılır. Yani hava kütlesi mevcut halinden fazla ısındığında atmosferin

yukarısına yükselmeye başlar ve yükselen hava kütlelerinden boşalan yeri aynı hacime sahip olan soğuk hava kütlesi yerleşmektedir ve böylece bu iki bölgenin hava kütlelerinin yer değişimi ile rüzgar meydana gelir (Kelsoy ve Soysal, 2015). Diğer bir ifadeyle; rüzgar yeryüzünde iki bölgenin farklı ısınması ve soğuması nedeniyle meydana gelen gradyan kuvveti, koriolis (Coriolis), merkezkaç ve sürtünme gibi kuvvetlerin etkisi ile oluşan hava hareketleridir. Rüzgar enerjisi; rüzgarın oluşmasına sebep olan hava akışının hareket (kinetik) enerjisidir (Elibüyük, vd., 2016). Antik çağlardan beri insanlar rüzgar enerjisinden yararlanmaktadır, örneğin Babil Kralı Hammurabi'de M.Ö.1700'lü yıllarda Mezopotamya'yı sulamak amacıyla rüzgar enerjisinden faydalanması yanında yel değirmenlerinde güç kaynağı olarak yüzyıllar boyunca kullanılmıştır (Kelsoy ve Soysal, 2015). Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan türbinler, teknolojinin gelişmesi ile birlikte çeşitlenmiştir. Almanya'da 1960 yılında Profesör Ulrich Huger iki kanatlı rüzgar türbinleri dizayn etmiş ve bu kanatlar fiberglas ve plastik gibi maddelerden yapılmıştı (Kelsoy ve Soysal, 2015). 1980'li yıllarda; dönme eksenine göre, yatay eksenli - düşey eksenli olarak adlandırılan rüzgar türbinlerin farklı modelleri üretilmiştir ve daha sonraları rüzgar türbin kanatlarının sayısı bu dönemle üç kanata yükselmiştir (Kelsoy ve Soysal, 2015). Rüzgar enerjisi temiz ve emisyonuz enerji kaynaklarından birisidir. Bu yüzden CO, CO₂, NO ve NO₂ gibi sera gazları oluşturmaz ve küresel ısınmaya sebep olmaz. Bu enerji kaynağı atmosferde serbest ve bol olarak bulunduğundan zamanla tükenme fiyat artma riskleri bulunmamaktadır. Ayrıca; rüzgar enerjisi dışa bağımlı olmayıp, tamamen yerli kaynaktır. Rüzgar türbinlerinin kurulması ve işletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir. Bu kaynaktan enerji üretmek için her hangi bir yakıt maliyeti olmayıp, işletme ve bakım maliyetleri nispeten düşüktür (Kelsoy ve Soysal, 2015; Baş, 2016; Kıncay, vd., 2015). Rüzgar türbinlerinden orta çıkan ses, çevresindeki yaşıyan insanlara gürültü olarak yansıyabilmekte, ancak yeni teknolojiler sayesinde gürültü minimize edilmektedir. Bu nedenle; rüzgar enerji türbinlerinin, yerleşim yerlerinden en az 1 km uzakta kurulması tavsiye edilmektedir, çünkü radyo ve TV gibi alıcılarda parazitlenmeye neden olduğu belirtilmekte ve enerji üretimi rüzgarın esmesine bağılı olduğundan dolayı rüzgar hızında meydana gelecek azalmalarda enerji kaybı yaşanmaktadır. (Kelsoy ve Soysal, 2015; Kıncay, vd., 2015). Günümüzde rüzgar enerjisinden konutlarda, aydınlatmada, sulamada, su depolamada, su pompalama sistemlerinde, soğutma ünitelerinde, şarj sistemlerinde, tahıl öğütme ve taşımacılık sektörlerinde enerji ihtiyacını karşılamak için faydalanmaktadır (Anonim, 2018a).

İKİNCİ BÖLÜM

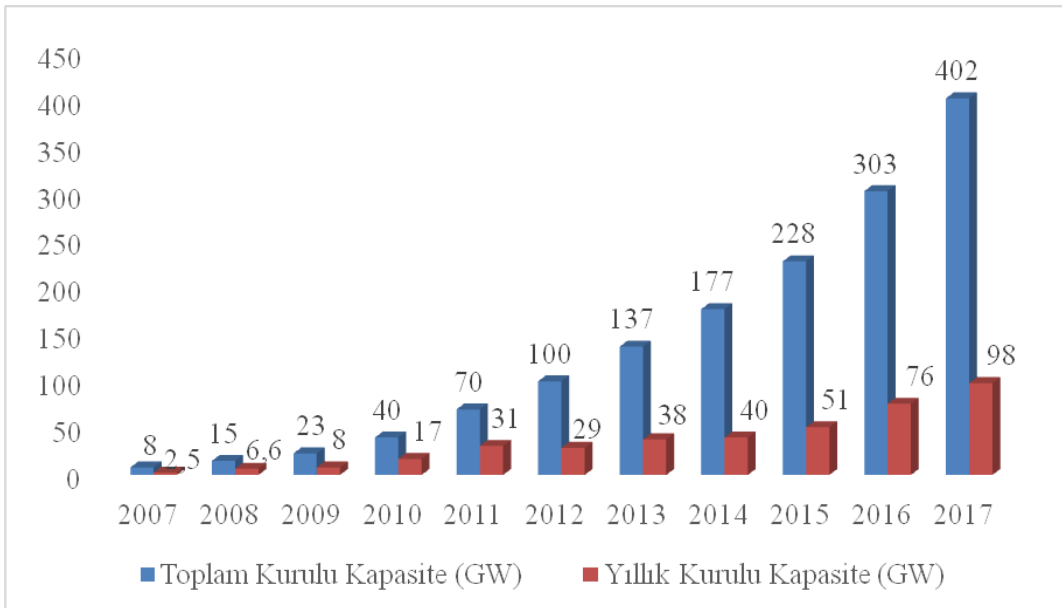
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı

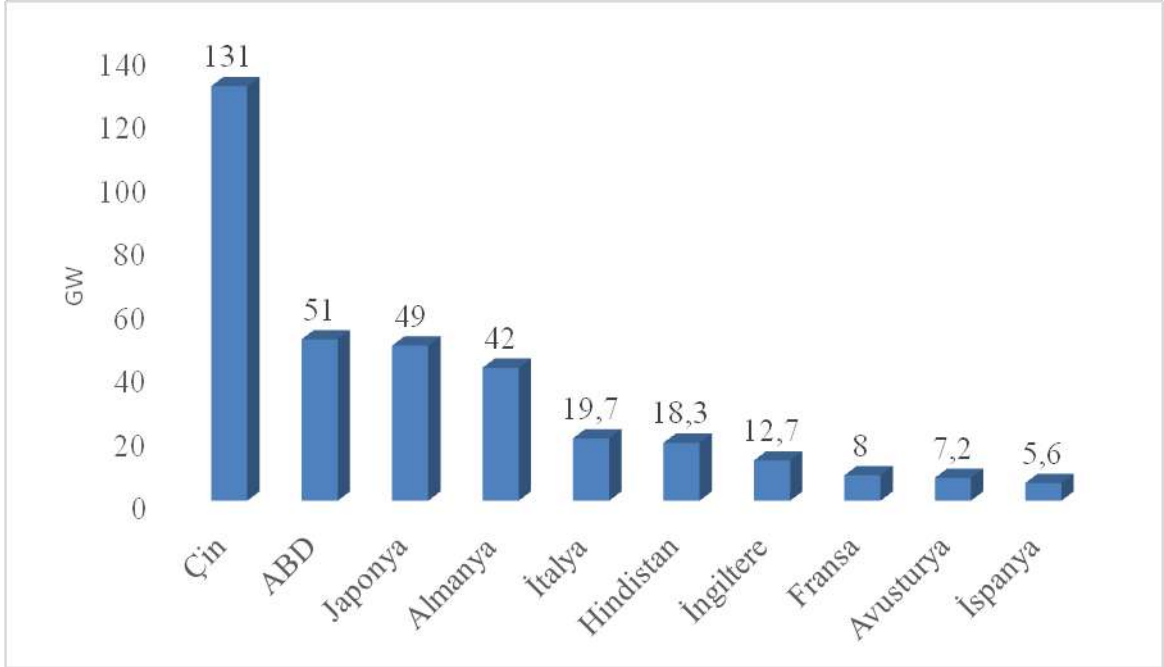
Yeryüzünde güneş enerjisi en yaygın ve en geniş şekilde bulunan enerji kaynaklarından olup, güneş enerjisinden elektrik ve ısı üretmek için yararlanılmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017). Bu amaçla; güneş enerjisi panel tasarımları, tasarımlarda optimizasyon ve çeşitli analizler üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Kılınç, 2019). Durmaz ve diğerleri (2017) tarafından tarımsal amaçlı çeşitli işletmelerde enerji gereksinimlerinin karşılanmasında fotovoltaik enerji kullanımı üzerine örnek bir çalışma yapmışlardır. Dünya’da; Afrika kıtasının büyük parçası olan ve tamamen çöllerden oluşan Sahra Afrikası, genelde yerleşim ve yatırım bölgelerinden oldukça uzak konumdadır. Bu nedenle enerji üretilse bile elde edilen enerjinin kullanım yerlerine ulaştırılmasında ek bir maliyet ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan Afrika kıtasının kuzey kıyılarının enerji yatırımı için daha verimli olduğu dikkat çekmektedir (Dağ, 2014; Anonim, 2018b). Avustralya ve Amerika kıtalarının orta kısım bölgeleri ise en çok güneş ışınların ulaştığı sahalar olup, dünyanın diğer yerlerine nazaran güneş enerjisi konusunda daha avantajlı konumundadır (Dağ, 2014; Anonim, 2018b). Türkiye’de neredeyse yıllık 1500 – 2000 kWh/m² civarında potansiyele sahip iken bu bölgeler 2.500 kWh/m² değerinin üzerindedir ve AB ülkeleri içerisinde İspanya başı çekmektedir (Dağ, 2014; Anonim, 2018b).

Dünyanın güneş enerjisi kullanımına bakıldığı zaman, bazı ülkeler sahip olduğu güneş enerji potansiyeliyle, teknoloji, girişim ve enerji ilişkileri ile ön plana çıkmaktadır. Başta ABD olmak üzere; Avrupa ülkelerinin çoğu ile Çin özellikle güneş enerjisi kullanımı konusunda ön sıralarda yer almaktadır (Dağ, 2014; Anonim, 2018b). Karagöl ve Kavaz (2017)’ye göre, 2015 yılı güneş enerji teknolojisinin artış kapasite sıralamasında dünya ülkelerinde güneş enerjisi fotovoltaik sistem yatırımı açısından Çin lider ülke konumunda olup, Japonya yatırım bakımından ikinci sırada iken Japonya’yı sırasıyla ABD, Birleşik Krallık ve Hindistan takip etme olup, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi yatırımı bakımından ise Fas ilk sırada gelmektedir. Bu ülkeyi Güney Afrika ve ABD takip etmekte iken güneş enerjisi kollektör yatırımı açısından aynı şekilde Çin başı çekmekte olup, Çin’nin ardından Türkiye, Brezilya, Hindistan ve ABD gelmektedir (Karagöl, vd., 2017). Güneş fotovolatik

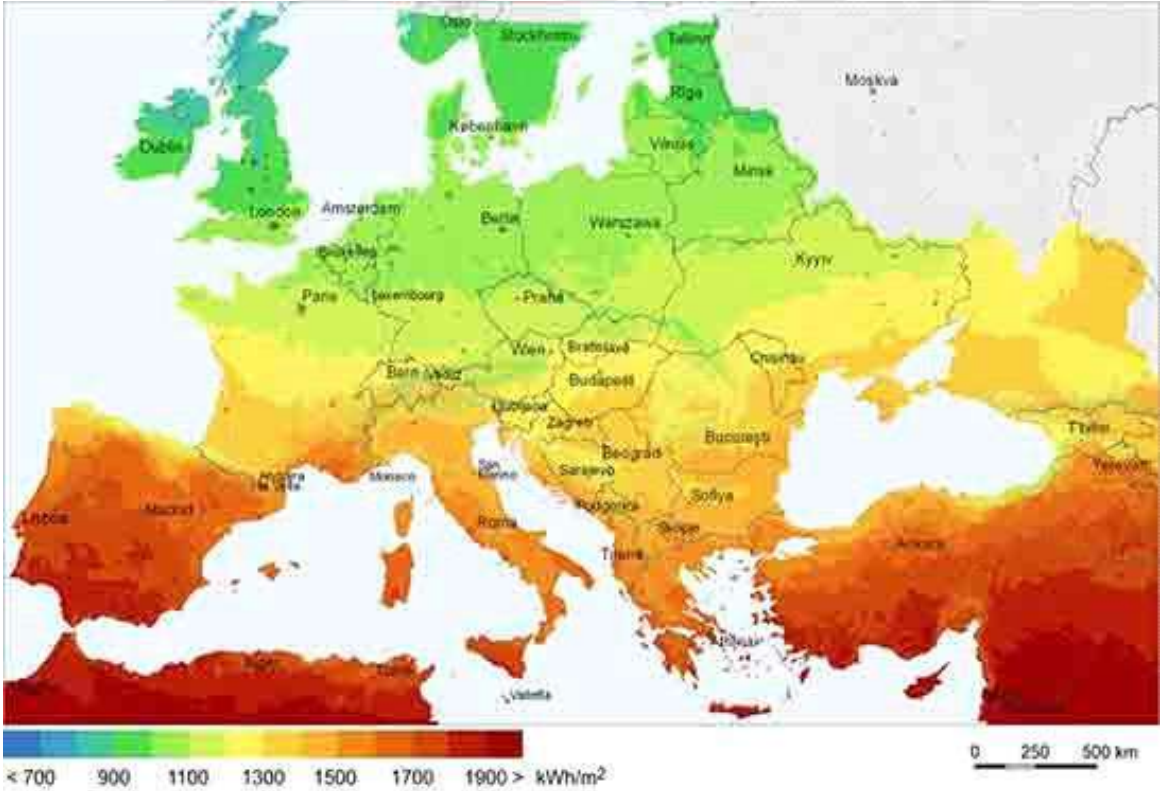
sistemini kullanarak güneşten elektrik üretim açısından Çin ilk sırada iken Almanya ikinci sırada, Japonya, ABD ve İtalya gibi ülkeler bu teknoloji kullanım alanında takip etmektedir (Karagöl, vd., 2017). Genel olarak bakıldığında dünyada güneş enerjisi konusunda ABD en önemli konumunda olan ülke olup, Amerika’da teknoloji gelişimi, sahip olduğu coğrafi büyük yanında sahip olduğu çeşitlik ile birlikte enerji konularındaki politika çalışmaları ve destekleriyle öne çıkmaktadır. Türkiye’de güneş enerjisinin, gerekse sahip olduğu coğrafi imkanların dağılımı, gerekse ekonomik yayılma etkileri, bu kaynaktan enerji üretim konusunda çok verimli bir şekilde çabalar sarf edilmekte olup, Türkiye’de çok eskiden beri güneş enrjisi özellikle termal olarak yararlanan ve mevcut teknolojileri ile bu kaynaktan çok iyi şekilde faydalanan ülkelerden birisidir (Dağ, 2014; Anonim, 2018b). Şekil 1’de 2007 yılından 2017 yılına kadar dünyada fotovoltaik güneş enerjisinin toplam kurulu güç kapasitesinin yıllara göre dağılımını göstermektedir (Anonim, 2018c). 2007 yılında toplam kurulu kapasite 8 GW iken bu değer 2017 yılında yaklaşık 50 kat artarak 402 GW’ta ulaştığı görülmektedir (Anonim, 2018c). Şekil 2’de 10 dünya ülkesinde 2017 yılına kadar toplam kurulan fotovoltaik güneş enerji güç kapasiteleri gösterilmektedir (Anonim, 2018c). Şekilden görüleceği üzere, Çin 131 GW ile başı çekmektedir (Anonim, 2018c). ABD 51 GW kapasite ile ikinci sırada, Japonya 49 GW kapasite ile üçüncü ve Almanya 42 GW ile dördüncü sırada gelmektedir (Anonim, 2018c). Şekil 3’te dünya güneş enerji haritasını gösterilmiştir (Anonim, 2018d).



Şekil 1. Dünyada fotovoltaik güneş enerjisinin toplam kurulu güç kapasitesi ve yıllık artış kurulu güç kapasitesi (Anonim, 2018c).



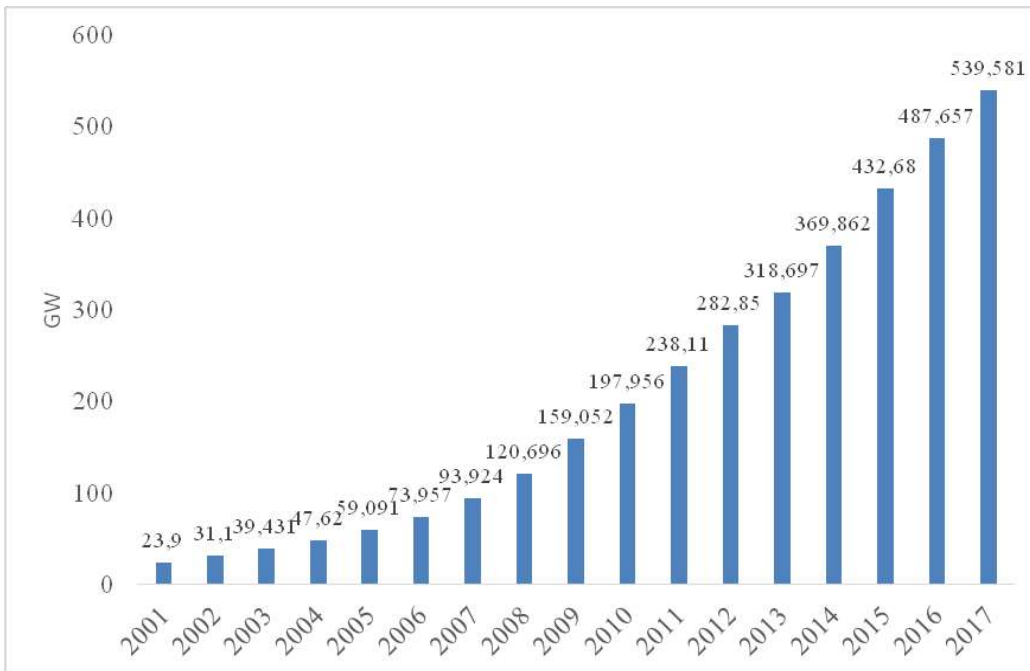
Şekil 2. 2017 yılına kadar Dünyada fotovoltaik güneş enerji kurulu kapasite konusunda ön planda olan ülkeler (Anonim, 2018c).



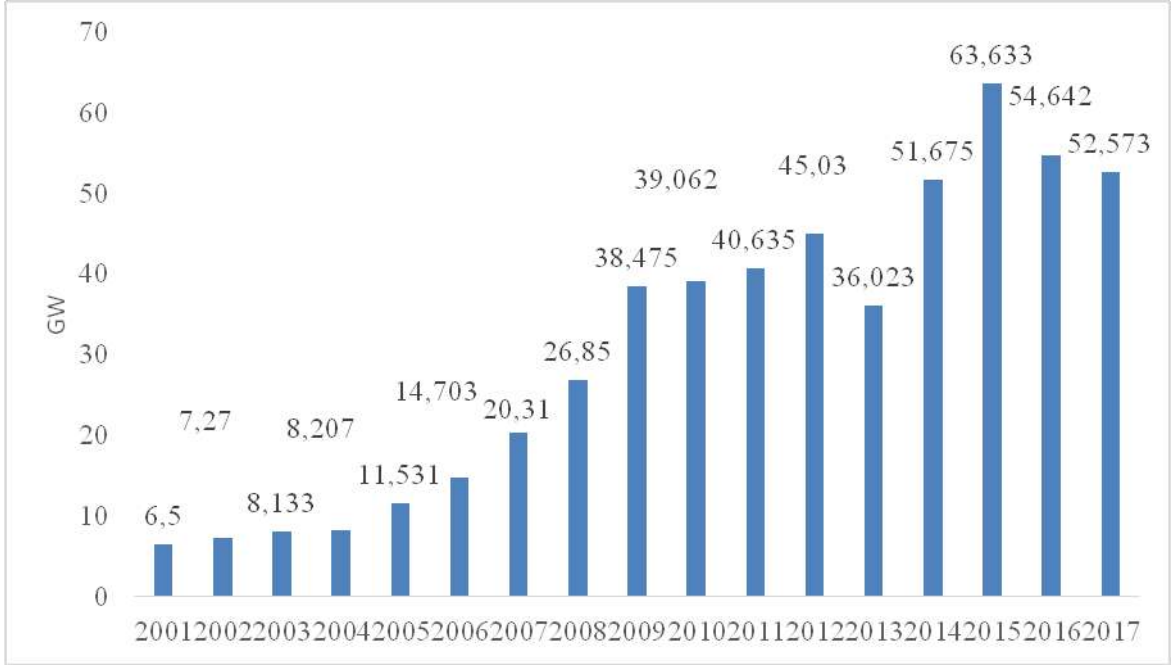
Şekil 3. Dünya güneş enerjisi haritasını göstermektedir (Anonim, 2018d).

2.2. Dünyada Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı

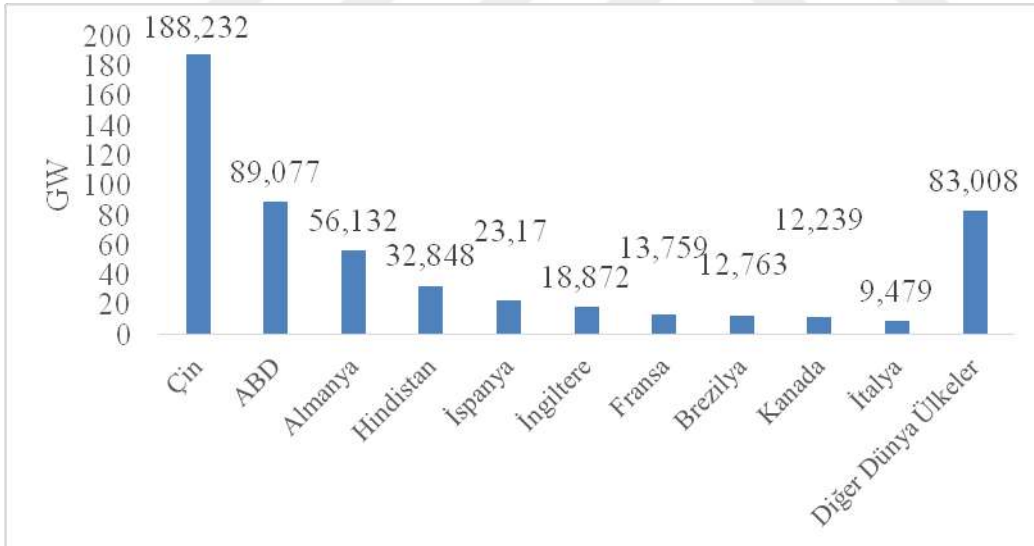
Alternatif enerji kaynağı olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kapasitesi bakımından rüzgar enerjisi en yaygın ve en geniş kullanılmakta olan enerji kaynaklarından birisi olup, bu kaynak elektrik üretiminde çok önemli bir unsurdur ve elektrik talebini karşılama bakımında önemli ve yüksek seviye potansiyele sahiptir (Karagöl ve Kavaz 2017; Bilirgen, 2018). 2000 yılı dünya genelinde rüzgar kurulu gücü toplam 17,4 GW iken 2015 yılında bu değer 432,9 GW’ta ulaşmış olup, 2030 yılında bu değer 1.749,8 GW’a ulaşması ön görülmektedir (Bilirgen, 2018). Dünyada rüzgar enerjisi kurulu güç artışı Şekil 4’ten görüleceği üzere, 2001 yılı 23,9 GW iken, 2017 yılında 539,581 GW’ta ve 2001 yılında Şekil 5’te görüldüğü üzere sadece 6,5 GW kapasite kurulmuş iken, 2017 yılı dünya genelinde 52,573 GW ilave güç kurulum gerçekleşmiştir (Fried, 2017; 2018; Dyrholm, vd., 2018). 2015 yılı 63,633 GW ile Şekil 5’te görüldüğü gibi en yüksek rüzgar enerjisi kurulu güç yıl olarak öne çıkmakta ve Şekil 6 ve Şekil 7’de dünyada rüzgardan enerji kurulu güç bakımından ön planda olan, 10 ülke arasında Çin 188.232 (%36) MW ile ilk sırada yer alırken, ABD 89,077 (%17) MW değeri ile takip etmektedir (Fried, 2017, 2018; Dyrholm, vd., 2018). Şekil 8’de Dünya Rüzgar Potansiyeli haritası ile Dünya rüzgar potansiyelinin global dağılımı verilmektedir (Kiviluoma, vd., 2009).



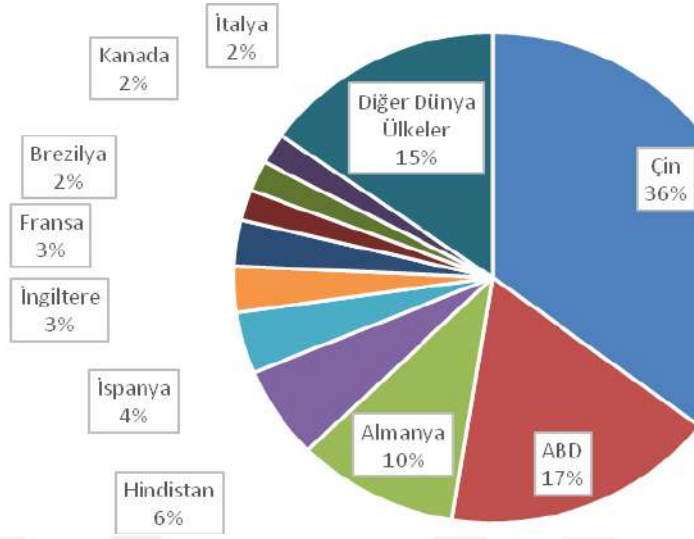
Şekil 4. Dünyadaki rüzgar enerji kapasitesinin yıllara göre kümülatif artışı (Fried, 2017, 2018; Dyrholm, vd., 2018).



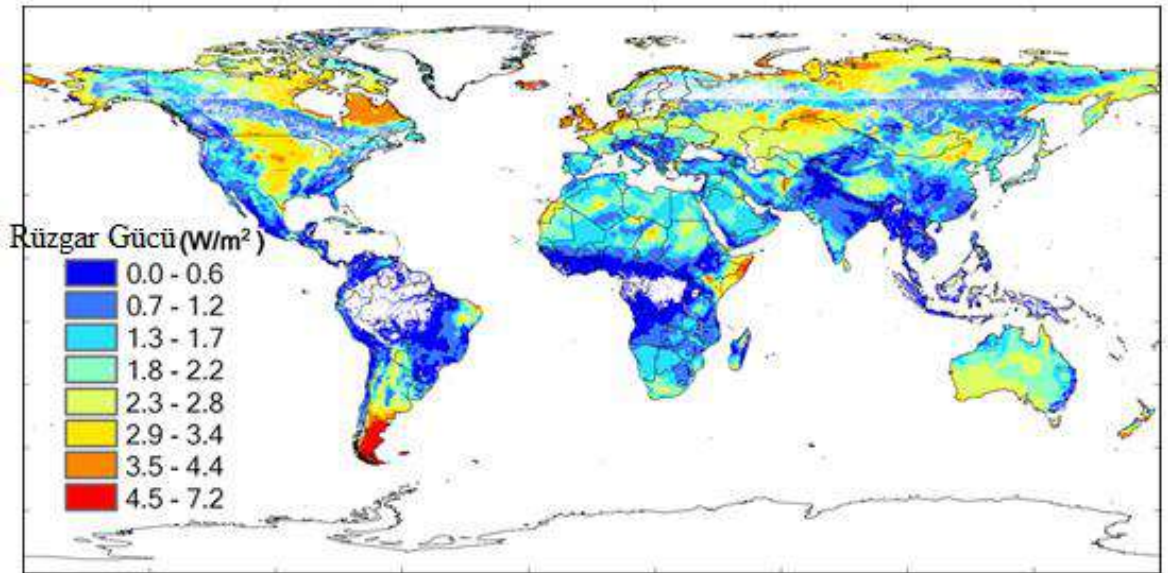
Şekil 5. Dünyada yıllara göre rüzgar enerjisinde kurulan kapasite dağılımı (Fried, 2017, 2018; Dyrholm, vd., 2018).



Şekil 6. Dünya üzerinde rüzgar enerjisi üretim bakımında lider ilk 10 ülke (Fried, 2017, 2018; Dyrholm, vd., 2018; Rave, vd., 2016).



Şekil 7. Rüzgar enerjisi üretim açısından lider ilk 10 ülke (Fried, 2017, 2018; Dyrholm, vd., 2018).



Şekil 8. Dünya rüzgar enerjisi potansiyeli haritası (Kiviluoma, vd., 2009).

2.3. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye dünya üzerinde $36^{\circ} - 42^{\circ}$ kuzey enlemleri ile $26^{\circ} - 45^{\circ}$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Anonim, 2014). Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneşlenme süresi ve güneş ışıınımı bakımından bir çok ülkeye göre çok daha avantajlı konumundadır (Varınca ve Gönüllü, 2006; Kılıç, 2015). Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerji potansiyeli 380 milyar kWh olduğu belirlenmiştir (Özgür, 2020). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966 – 1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süreleri ile ışıınım şiddeti verileri kullanılarak, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİEİGM) tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına (GEPA) göre; Türkiye'nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2691 ± 50 saat (günlük ortalama toplam $7,4 \pm 0,2$ saat) ve yıllık ortalama toplam ışıınım şiddeti 1.419 ± 108 kWh/m²yıl (ortalama günlük toplam $3,9 \pm 0,3$ kWh/m²) olduğu vurgulanmaktadır (Kıncay, 2013). Ancak bazı kaynaklara göre, Türkiye'nin yıllık toplam 2.737 saat güneşlenme süresine ve yıllık ortalama 1.527 kWh/m² güneş enerji potansiyeline sahip olduğu ifade edilmektedir (Bilirgen, 2018).

2017 yılı sonu itibari ile Türkiye'nin toplam kurulu güneş kolektör alanının yaklaşık olarak 20.000.000 m²'ye ulaştığı ve bu alan 823.000 TEP ısı enerjisi ve güneş enerjisinden 2,9 milyar kWh elektrik ürettiği belirtilmektedir (Koç, vd, 2018). Diğer taraftan 2018 Haziran ayı sonu itibariyle güneş enerji kurulu güç lisanssız 4.703 MW ve lisanslı 23 MW olmak üzere toplam 4.726 MW iken, günümüzde bu değer 8 GW'ın üzerine çıkmıştır (Yıldız, vd., 2020). Türkiye'nin ortalama toplam güneşlenme süreleri ve ortalama toplam güneş ışıınım değerleri aylara göre Tablo 1'de verilmekte (Varınca ve Gönüllü, 2006; Anonim, 2016c). Tablo 2.1'de belirtildiği gibi Temmuz, Ağustos ve Haziran ayları sırasıyla 365 saat, 343 saat ve 325 saat güneşlenme süreleri yanında 175,38 kWh/m²ay, 158,40 kWh/m²ay ve 168,75 kWh/m²ay ışıınım şiddet ile en yüksek güneş potansiyeline sahip iken; Aralık, Ocak ve Şubat ayları sırasıyla 103 saat, 103 saat ve 115 saat güneşlenme süreleri yanında 46,87 kWh/m²ay, 51,75 kWh/m²ay ve 63,27 kWh/m²ay en düşük potansiyeline sahiptir (Varınca ve Gönüllü, 2006; Anonim, 2016c). Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerji potansiyeline dağılımına bakıldığında (Tablo 2) Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık 1.460 kWh/m²yıl potansiyel ile en zengin bölge olup birinci sırada yer alırken, diğer yandan ülkemizin en az güneş enerji potansiyeline sahip olan bölgesi 1.120 kWh/m²yıl potansiyel değer ile Karadeniz Bölgesidir (Varınca ve Gönüllü, 2006; Yılmaz, 2012).

Tablo 1

Türkiye'de aylık toplam güneş enerjisi potansiyeli dağılımı (Varınca ve Gönüllü, 2006; Anonim, 2016c)

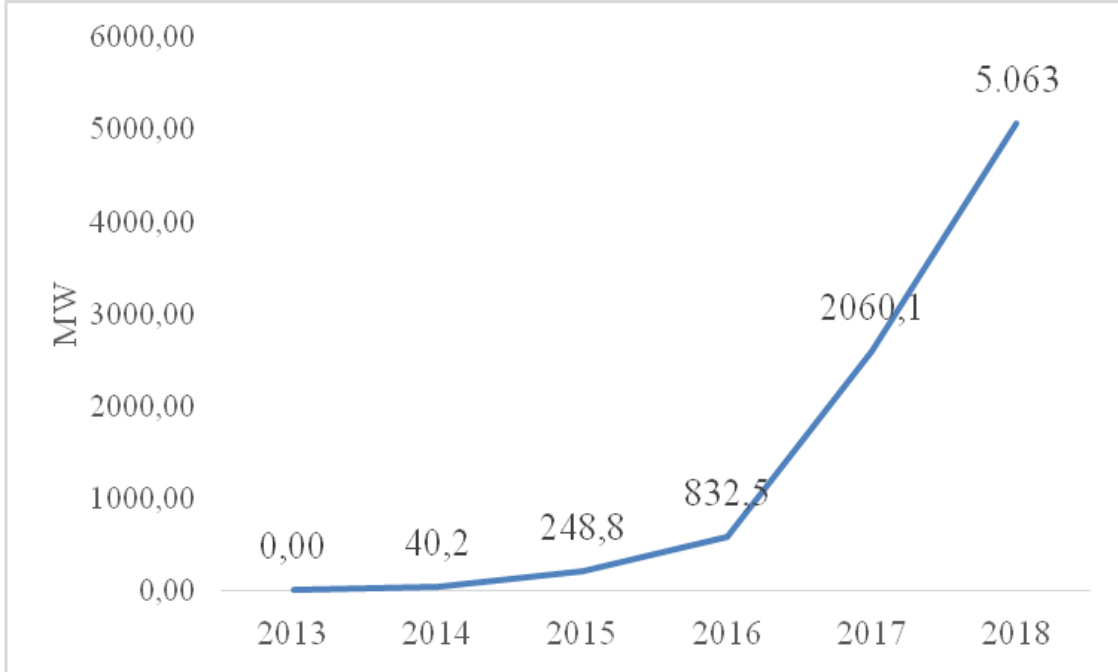
Aylar	Aylık Toplam Güneş Işınım (Radyasyon) Potansiyeli		Güneşlenme Süreleri
	Kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	Saat/ay
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	3,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1.311,16	2.640
Ortalama	308,00 cal/cm ² gün	3,6 kWh/m ² gün	7,2 saat/gün

Tablo 2

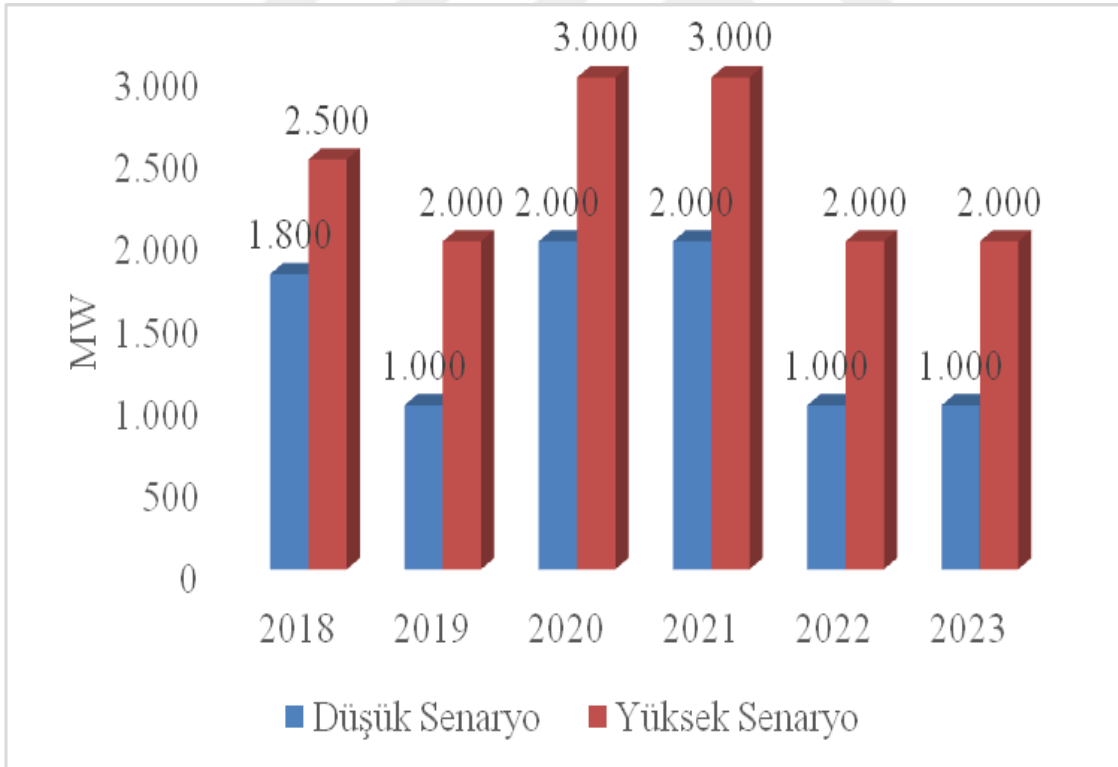
Türkiye'nin bölgelerine göre yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli dağılımı
(Varınca ve Gönüllü, 2006; Yılmaz, 2012)

Bölge	En Çok Güneş Enerjisi (Haziran)	En Az Güneş Enerjisi (Aralık)	Yıllık Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	En çok Güneşlenme Süresi (Haziran)	En Az Güneşlenme Süresi (Aralık)	Ortalama Güneşlenme Süresi
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	Saat	Saat	Saat/Yıl
Güneydoğu Anadolu	1.980	729	1.460	407	126	2.993
Akdeniz	1.869	476	1.390	360	101	2.956
Doğu Anadolu	1.863	431	1.365	371	96	2.664
İç Anadolu	1.855	412	1.314	381	98	2.628
Ege	1.723	420	1.304	373	165	2.738
Marmara	1.529	345	1.168	351	87	2.409
Karadeniz	1.315	409	1.120	273	82	1.971
Ortalama	1.733,43	460,29	1303	359,43	107,86	2.622,71

2018 yılı Türkiye'nin işletmedeki güneş enerjisi santrallerinin toplam kurul gücü 5.063 MW olup, bu santrallerin 4.981,2 MW'ı lisanssız ve 81,8 MW'ı lisanslıdır, yıllık toplam üretim ise yaklaşık 7.5 TWh olup ve bu değer ülkemizin elektrik tüketiminin % 2,5 kısmını karşılamaktadır ve Türkiye geneli güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi, 2014 yılında sadece 40,2 MW'lık iken bu değer 2018 yılı itibarıyla 5 GW'ta ulaşmış ve günümüzde 8 TW'ın üzerine çıkmıştır. (Anonim, 2018e; Özgür, 2020). Şekil 9'dan görüleceği üzere, 2016-2018 yılları arasında daha fazla kapasite artışı gerçekleşmiş olup, 2018-2023 yılları arasında güneş enerjisinde kurulacak gücün düşük ve yüksek ihtimal durumları irdelenmiş ve Şekil 10'da verilmiştir (Anonim, 2018e; Özgür, 2020). Benzer şekilde uzun yıllar yapılan ölçümlerden Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli Şekil 11'de göstermektedir (GEPA, 2020)

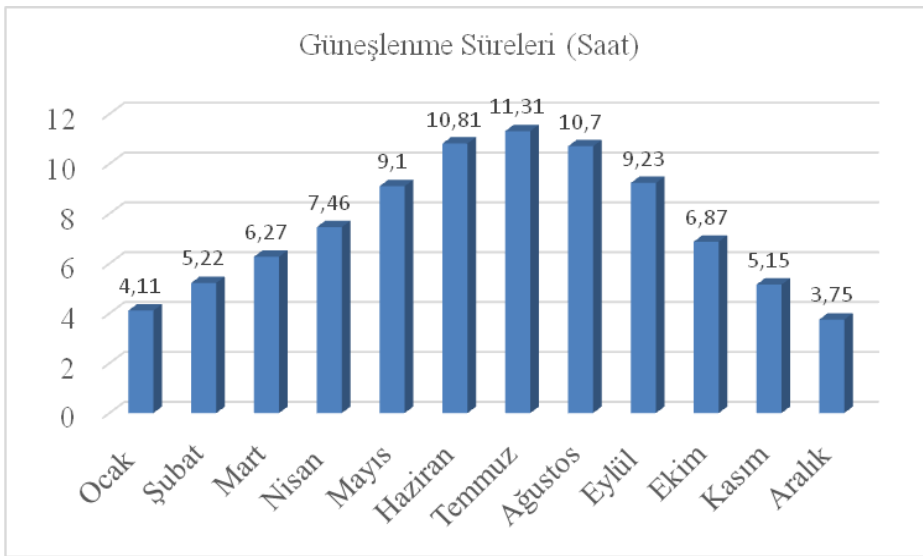


Şekil 9. Türkiye'nin 2013 – 2018 yılları arasında artış gösteren güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi (Anonim, 2017b; Anonim, 2018c; Anonim, 2018e).

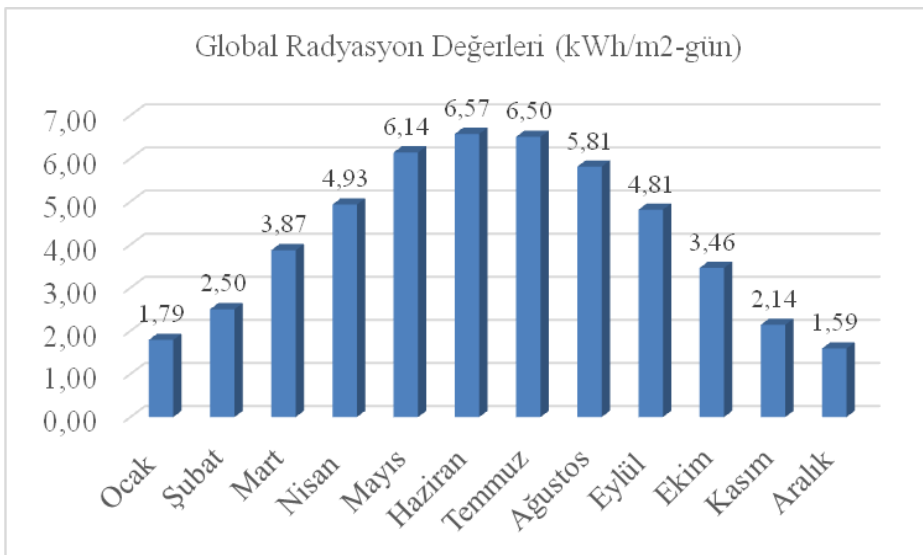


Şekil 10. Türkiye'de 2018 – 2023 arasında en düşük ve en yüksek kurulacak güneş enerjisi kapasitesi (Anonim, 2018c).

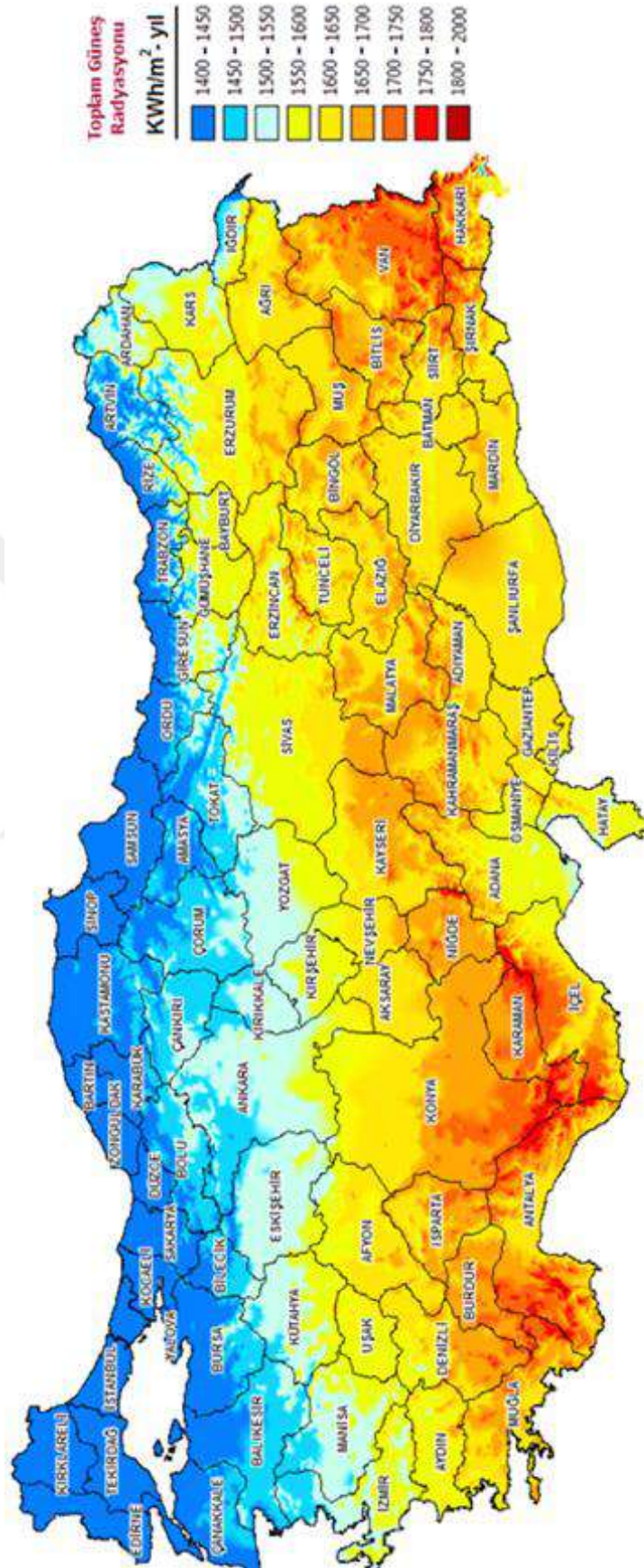
Türkiye Güneş enerjisi Potansiyel Atlasına (GEPA) göre, Şekil 11’de belirtildiği üzere, en yüksek günlük ortalama güneşlenme süresine sahip ay 11,31 saat ile Temmuz ayıdır ve bunu Haziran ve Ağustos ayları izlemekte olup, Aralık ve Ocak ayları en düşük günlük güneşlenme sürelerine sahiptir (GEPA). Ayrıca GEPA verilerine göre, Şekil 12 görüldüğü gibi, en yüksek günlük ortalama global güneş ışıınım potansiyeline sahip olan aylar Haziran, Temmuz, Mayıs ve Ağustos ayları iken, en düşük ışıınım değerine sahip olan aylar Aralık ve Ocak aylarıdır (GEPA). Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli atlası Şekil 13’te verilmiştir (GEPA, 2020).



Şekil 11. Türkiye’de aylara göre günlük ortalama güneşlenme süreleri (GEPA, 2020).



Şekil.12. Türkiye’de aylara göre günlük metre kare başına global radyasyon değeri (GEPA, 2020).



Şekil 13. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA, 2020).

2.4. Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Coğrafi olarak üç tarafı denizlerle çevrili olması sonucu rüzgar enerjisi potansiyeli açısından önemli bir ülke konumunda olan Türkiye'nin 36° - 42° derece kuzey enlemleri ile 26° - 45° doğu boylamları arasında coğrafi olarak yer alması ve kutuplara göre ekvatorlara daha yakın olmasından dolayı yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir (Karagöl ve Kavaz, 2017; Arıkan ve Çam, 2017; Durmaz ve diğerleri, 2017). Türkiye Rüzgar Enerjisi Atlası (REPA)'na göre; kıyı şeritleri, dağların tepeleri, yüksek alanlar ve açık alanlar Türkiye genelinde en iyi rüzgar enerji potansiyeline sahip bölgeler olması ile birlikte, Türkiye'nin yıllık ortalama en şiddetli ve verimli rüzgarları özellikle Marmara Denizi çevresinde, bilhassa batı kıyıları boyunca ve Antakya yakınlarında ortaya çıkmakta olup, Türkiye'nin orta kesim bölgeleri boyuncada orta şiddetli rüzgar hızları ve rüzgar gücü yoğunluğu gözlenmektedir (Elibüyük, vd., 2016; Arıkan ve Çam, 2017).

Rüzgar enerjisi; sera gazı emisyonu olmayan temiz ve doğa dostu enerji kaynaklarından biridir. Emisyonlu olmadığından dolayı sera gazlarının oluşmasına sebep olmaz ve küresel ısınmaya yol açmaz. Rüzgar türbinlerinin kurulması az zaman alır ve kısa zamanda üretime başlar. Rüzgar türbinleri otomatik sistemler olduğundan işletilmesi nispeten kolaydır ve diğer makineler gibi karmaşık değildir. Çevresel koşullar iyi olduğu sürece her yerde yeteri kadar bulunur ve ülkenin dış yakıt bağımlılığının azalmasına önemli katkılar sağlar. Ayrıca; bölgesel ekonomik kalkınmaya katkı sağlar ve bölgesel işsizliği azaltma konusunda yardımcı olur. Rüzgar çiftlikleri kurulduğu alanın çok az bir kısmını kaplar ve alanın diğer kısmı tarımsal ve hayvansal üretimler için kullanılabilir (Karaca, 2012; Kıncay, vd., 2015).

Çeşitli çalışmalarda da belirtildiği üzere; TÜREB (2019) raporuna göre, Türkiye'de teorik olarak rüzgar enerjisinin kullanılabilir potansiyel gücü 131.756,40 MW (%88,3) karada ve 17.393,20 MW (%11,7) denizde olmak üzere toplam 149.149,6 MW civarında olduğu belirtilmiştir (İlkılıç, 2016). 2019 yılı Ocak ayı itibarı ile Türkiye'de mevcut işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin toplam kurulum kapasitesi 7.369,35 MW olarak kaydedilmiştir. Bölgelere göre bakıldığında en yüksek rüzgar gücü ise 1.426,20 MW ile Ege bölgesinde kurulmuş olup, Türkiye'de mevcut inşa halindeki rüzgar enerji santrallerinin kurulu toplam güç kapasitesi 608,2 MW olarak belirtilmiştir (İlkılıç, 2016; Ataseven, 2019). Çanakkale ilinde ise, toplam 203,40 MW'lık rüzgar gücü inşası ile diğer illere göre en yüksek rüzgar gücü kurulmaktadır (Ataseven, 2019). Mevcut lisanslı rüzgar enerji

santrallerin kurulmakta olan kapasitesi 2.239,96 MW civarında ve ön lisanslı rüzgar enerjisi santrallerin kapasitesi 4.488,61 MW ile özellikle Marmara bölgesi ön plana çıkmaktadır (Ataseven, 2018). Türkiye’de 50 m yüksekliklerde ölçülen rüzgarlı sahaların rüzgar enerjisi potansiyeli açısından yüksek ve düşük olarak yedi farklı sınıflara toplanmıştır (Elibüyük, vd., 2016; İlkılıç, 2016). Rüzgarın hızı ve yoğunluğuna göre birinci ve ikinci sınıfları düşük rüzgar enerjisi potansiyeli olarak ve üçüncü sınıftan yediye kadar zengin sınıfları olarak kabul edilmiştir (Elibüyük, vd., 2016; ilkılıç, 2016). Bu sınıfların potansiyel değerleri Tablo 3’te ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3

Türkiye’de 50 m yükseklikte toplam karasal (onshore) rüzgar enerjisi potansiyeli (Elibüyük, vd., 2016; İlkılıç, 2016)

Rüzgar Kaynağı’nın Derecesi	Rüzgar Sınıf	Rüzgar Gücü (W/m ²)	Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (Km ²)	Rüzgarlı Arazi’nin Yüzdesi	Toplam Kara Potansiyeli (MW)
Zayıf	1	<200	<5.5			
Düşük	2	200 – 300	5.5 – 6.5			
Orta	3	300 – 400	6,50 – 7,00	1.6781,39	2,27	83.906,96
İyi	4	400 – 500	7,00 – 7,50	5.851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 – 600	7,50 – 8,00	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 – 800	8,00 – 9,00	1.079,98	0,15	5.399,92
Sıradışı	7	>800	> 9,00	39,17	0,01	195,84
Toplam potansiyeli				26.351,28	3,57	131.756,40

Tablo 3’ten görüleceği üzere, Türkiye’de 6,5 m/s rüzgar hızına sahip olan bölgeler orta düzey ve 7 m/s rüzgar hızını sahip bölgeler iyi düzey olarak kabul etmiştir. 8 m/s hız ve üzeri rüzgar hızı çok iyi, hatta mükemmel olarak sınıflandırmıştır (Ercoşkun ve Akünel, 2017). Ercoşkun ve Akünel (2017) tarafından ele alınan Avrupa Komisyonu’nun raporunda da vurgulandığı gibi, Türkiye İngiltere’den sonra Avrupa ülkelerinin arasında en yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye 50 m yükseklikte 7,5 m/s rüzgar hızı üzerine sahip olan bölgelerde her kilometrekarede 5 MW kapasiteli rüzgar enerji santrali kurulması kabul edilmiş ve Türkiye’de 48 TW kullanılabilir rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiş olup, alanın teorik olarak 88 TW civarında potansiyele ulaşabileceği ön görülmektedir (Ercoşkun ve Akünel, 2017). Türkiye’nin REPA’na göz atıldığında, yüksek rüzgar yoğunluğu

Çanakkale’de özellikle Bozcaada, Gökçeada olmak üzere; Bandırma, Amasra, Antakya, Kumköy, Mardin, Çorlu ve Sinop gibi bölgelerde görülmektedir (Ercoşkun ve Akunal, 2017).

Tablo 4

Türkiye’de 50 m yükseklikte toplam deniz (offshore) rüzgar enerjisi potansiyeli (Elibüyük, vd., 2016; Başkaya, 2017)

Rüzgar Kaynağı Derecesi	Rüzgar Sınıf	Rüzgar Gücü (W/m ²)	Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (Km ²)	Rüzgarlı Alan’ın Yüzdesi	Toplam Deniz (OffShore) Potansiyeli (MW)
Orta	3	300 – 400	6,50 – 7,00	1.385,98	9,26	6.929,92
İyi	4	400 – 500	7,00 – 7,50	1.026,64	6,86	5.133,20
Harika	5	500 – 600	7,50 – 8,00	688,96	4,60	3.444,80
Mükkemmel	6	600 – 800	8,00 – 9,00	380,51	2,33	1.742,72
Sıradışı	7	> 800	> 9,00	28,54	0,19	142,72
				3.510,63	23,25	17.393,20

Türkiye’de rüzgar hızı ve yoğunluğu bölgelere göre dikkate alındığında zaman Tablo 5’te görüldüğü gibi, en yüksek rüzgar hızı ve yoğunluğuna sahip olan bölgeler sırasıyla, Marmara bölgesi (3,29 m/s ve 51,91 W/m²), Güney Doğu Anadolu bölgesi (2,69 m/s ve 29,33 W/m²) ve Ege bölgesi (2,65 m/s ve 23,47 W/m²) gelmektedir (Elibüyük, vd., 2016; İlkılıç, 2016).

Tablo 5

Türkiye’de bölgelerin rüzgar enerji potansiyeli (Elibüyük, vd., 2016; İlkılıç, 2016)

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

2.4.1. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Kullanımı

Türkiye’de ilk defa 1986 yılında rüzgardan elektrik üretmek için 55 kW güç kapasitesine sahip olan rüzgar türbini İzmir’de Çeşme ilçesinde kurulmuş olup, daha sonra Şubat 1998’de Türkiye’nin İzmir – Çeşme Bölgesinde üç adet rüzgar enerjisi turbine ilave olarak kurulmuştur, bu türbinlerin her birisi 500 kW güce sahip olup, toplam 1,5 MW’lık bir rüzgar enerji santrali elektrik üretmek amacıyla faaliyete başlamış ve aynı yılın Ağustos ayı itibari ile İzmir – Çeşme’de her biri 600 kW 12 adet türbinden oluşan toplam 7,20 MW rüzgar enerji santrali elektrik üretmeye başlamıştır (İlkılıç, 2016). 2000 yılında Çanakkale ilinin Bozcaada ilçesinde her birisi 600 kW kapasite 17 adet rüzgar türbinlerinden oluşan 10,20 MW’lık rüzgar enerji santrali inşa edilmiştir (İlkılıç, 2016). Her biri 1,5 MW’lık toplam 20 adet rüzgar türbininden oluşan 30 MW kurulu güçteki RES, Bares A.Ş. tarafından 2006 yılında Balıkesir – Bandırma ilçesinde kurulmuş, İzmir- Çeşme bölgesinde 39,20 MW kurulu güce sahip ikinci rüzgar enerji santrali Demirer – Enercon ortaklığında 2006 yılında inşa edilmiş ve akabinde daha büyük kapasitede RES 2007 yılında Balıkesir – Şamlı bölgesinde Baki Ltd. tarafından kurularak üretime geçmiştir (Kıncay, vd, 2015; İlkılıç, 2016; Başkaya, 2017).

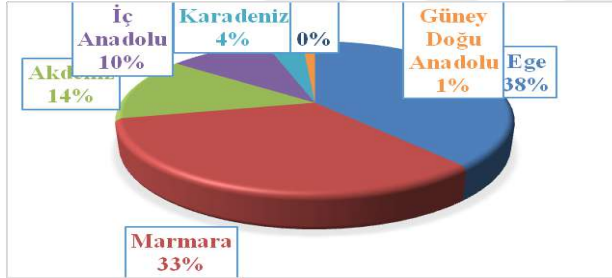
TÜREB (2019) raporuna göre; Türkiye’de 2008 yılında RES toplam kurulu gücü 363,7 MW iken 2019 yılı Ocak ayı itibarı ile 7.369,35 MW’a ulaşılmıştır ve Tablo 6 ve Şekil 14’te belirtildiği üzere, bu kurulu gücün 2.832,05 (%38) MW Ege bölgesinde, 2.449,95 (%33) MW Marmara bölgesinde, 996,10 (%14) MW Akdeniz bölgesinde, 726,70 (%10) MW İç Anadolu bölgesinde, 272,50 (%4) MW Karadeniz bölgesinde, 93,05 (%1) MW Güney Doğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır (Ataseven, 2018). Rüzgar enerji santralleri; rüzgar enerji potansiyeli açısından çok iyi olan bölgelere kurulmaktadır. Türkiye’de mevcut rüzgar santrallerin kurulum bakımından Ege Bölgesi, özellikle İzmir ön plana çıkmakta ve Marmara Bölgesi’nde özellikle Balıkesir ve hemen ardından Çanakkale gelmektedir (Ataseven, 2019). Türkiye’de 2008- 2018 yılların arasında yılda kurulan rüzgar enerjisi toplam kapasitesi Şekil 15’te gösterilmekte olup, 2016 yılı 1.387,75 MW kurulu kapasite ile grafikte en yüksek kurulumun gerçekleştiği yıl olarak belirtilmekte ve Türkiye’de rüzgar enerji santrallerinin yıllara göre kurulu gücünün artışı 2018 yılında yaklaşık 7,4 TW ile en yüksek degree ulaştığı görülmektedir. Şekil 16’dan 2008 yılı sadece toplam 363,7 MW’lık güce iken bu değer 2018 yılı Temmuz ayı itibarıyla 7.369,35 MW’lık kapasiteye ulaşmıştır (Ataseven, 2019). Türkiye’nin genelinde 50 metre yükseklikte ortalama rüzgar

hızı Şekil 17’de ve ortalama rüzgar enerjisi kapasitesi faktörünün bölgelere göre dağılımları Şekil 18’de verilmektedir.

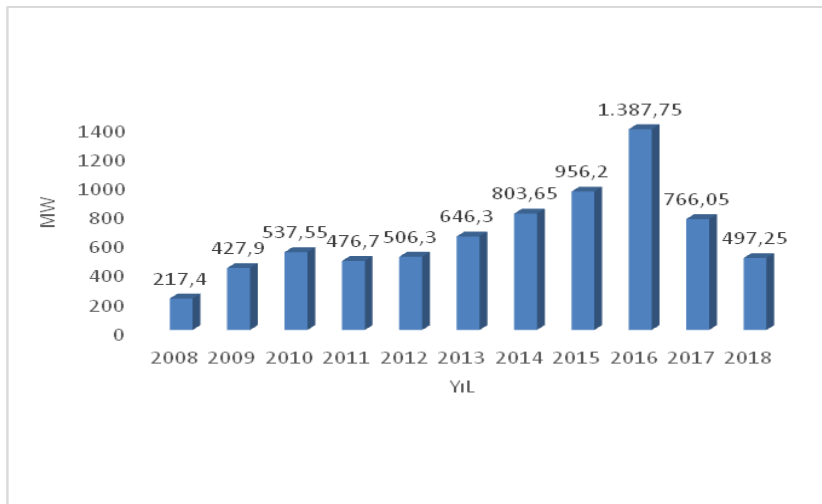
Tablo 6

Türkiye’de devreye alınan rüzgar enerji santrallerin kurulu güçlerinin bölgelere göre dağılımı (Ataseven, 2018).

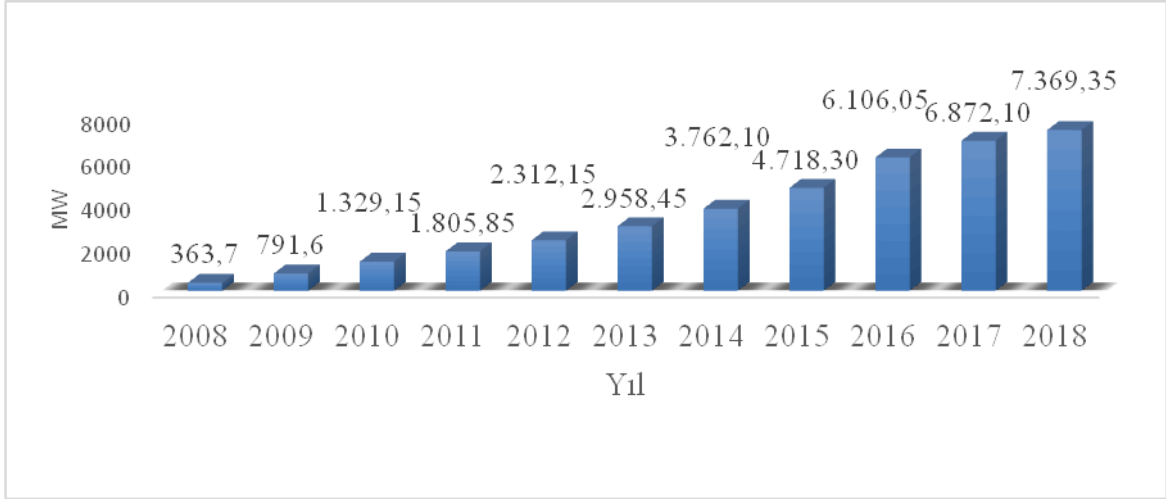
Bölge	Kurulu Güç (MW)
Ege	2832,05
Marmara	2448,95
Akdeniz	996,10
İç Anadolu	726,70
Karadeniz	272,50
Güney Doğu Anadolu	93,05
Toplam	7.369,35



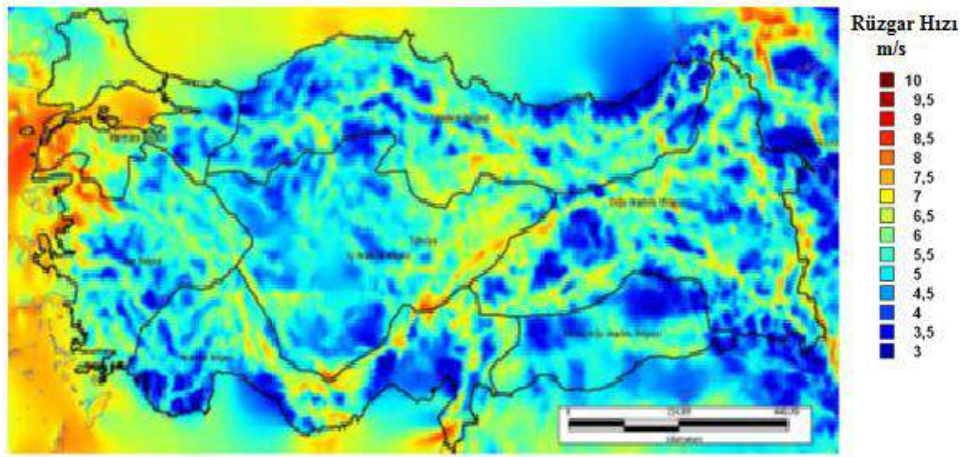
Şekil 14. Türkiye’de işletmedeki rüzgar enerji santrallerin bölgelere göre dağılım yüzdesi (Ataseven, 2019).



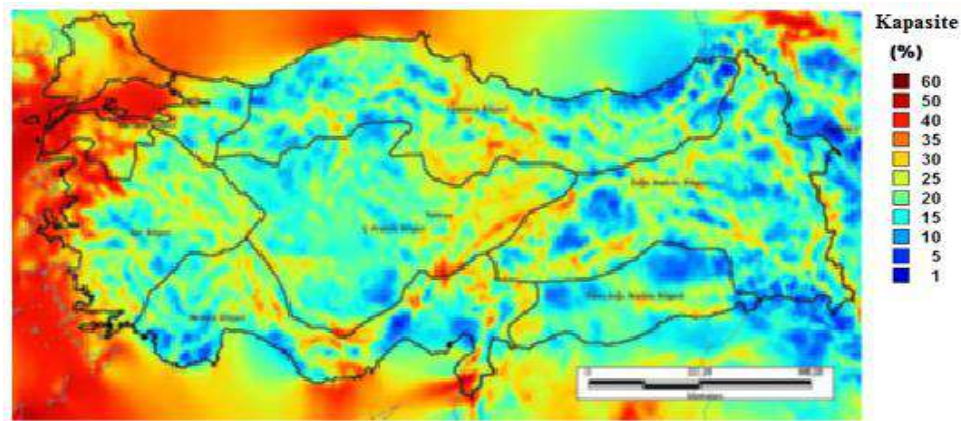
Şekil 15. Türkiye’de 2008- 2018 arasında yıllık rüzgar enerjisi santrallerin toplam kurulum kapasitesi (Ataseven, 2019).



Şekil 16. Türkiye’de 2008-2018 arasında rüzgar enerjisi santrallerin toplam kümülatif kurulum kapasite artışı (Ataseven, 219).



Şekil 17. Türkiye’nin genelinde 50 metre yükseklikte ortalama rüzgar hızı bölgelere göre dağılım (Çalışkan, 2011).



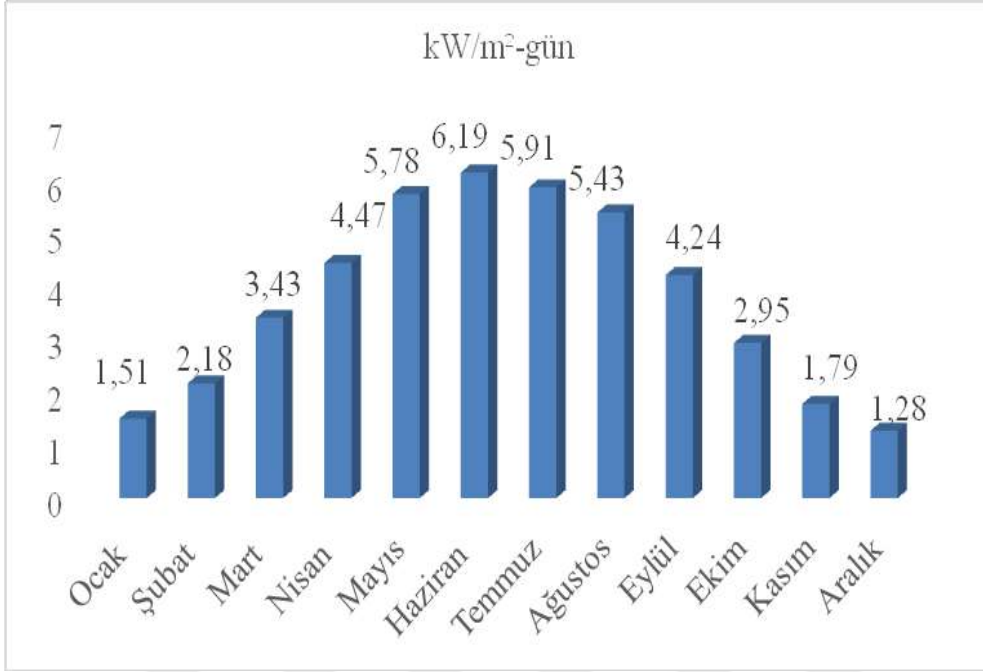
Şekil 18. Türkiye genelinde 50 m yükseklikte ortalama rüzgar enerjisi kapasite faktörü dağılım seviyesi (Çalışkan, 2011).

2.5. Çanakkale’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

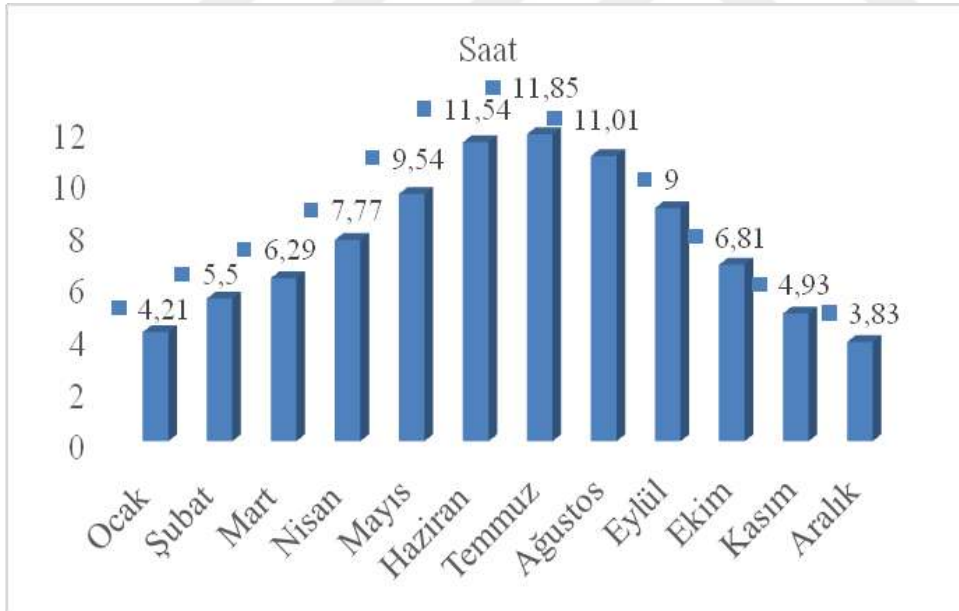
GEPA’na göre Çanakkale ili yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olup, Çanakkale’nin yaklaşık 220 günü (%55) güneşli geçiyor (Demircan, 2011). Tablo 7’de görüleceği üzere; Bayramiç ilçesi yıllık 1.410 kW/m² ortalama global radyasyon değeri ile ilk sırada yer alırken, Yenice ilçesi 1.408 kW/m² ortalama global radyasyon değeriyle ikinci sırada gelmektedir ve Eceabat ilçesi yıllık 1.279 kW/m² ile en düşük ortalama global radyasyon değerine sahiptir (Anonim, 2017c). Diğer taraftan, Ezine ilçesi 3.188 saat güneşlenme süresi ile ilk sırada yer alırken, Ayvacık ilçesi 3.165 saat güneşleme değeri ile ikinci sırada gelmekte olup, Yenice ilçesi 2.683 saat ve Biga 2.671 saat güneşlenme süresi değerleri ile takip etmektedir (Anonim, 2017c). Çanakkale’de ayların günlük ortalama global radyasyon değerleri ile ayların günlük ortalama güneşlenme süreleri sırasıyla Şekil 19 ve Şekil 20’de, Gökçeada ilçesinin aylara göre günlük ortalama güneşlenme süresi Şekil 21’de göstermektedir (Şengül, vd., 2014; Anonim, 2017c).

Tablo 7 Çanakkale’de ilçelerin yıllık ortalama global radyasyon değerleri ve yıllık ortalama güneşlenme süreleri (Anonim, 2017c)

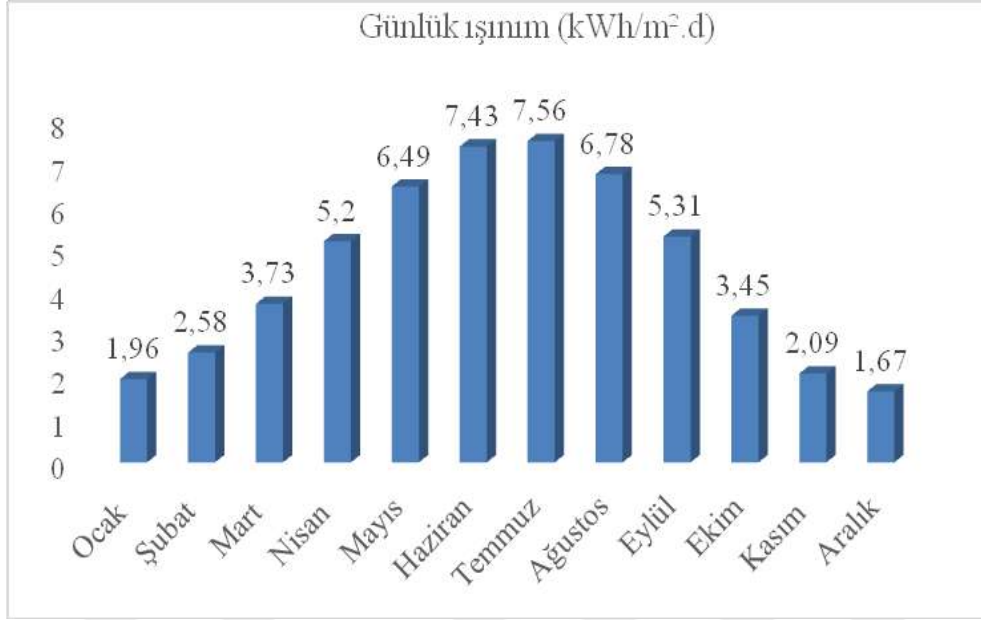
No	İlçeler	Yıllık ortalama global radyasyon değeri (kWh/m ² -yıl)	Yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat)
1	Bayramiç	1.410	2.810
2	Yenice	1.408	2.683
3	Çan	1.397	2.744
4	Lapseki	1.378	2.726
5	Biga	1.376	2.671
6	Merkez	1.375	2.838
7	Gelibolu	1.368	2.699
8	Ayvacık	1.356	3.165
9	Ezine	1.300	3.188
10	Eceabat	1.279	2.835
Toplam ortalama		1.365	2.836



Şekil 19. Çanakkale ilinde ayların günlük ortalama global radyasyon değerleri (Anonim, 2017c).



Şekil 20. Çanakkale ilinde ayların günlük ortalama güneşlenme süreleri (Anonim, 2017c).



şekil 21. Gökçeada'da ayların günlük ortalama güneşlenme süresi (şengül, vd., 2014).

 anakkale ilinde řu ana kadar mevcut güneş enerjisi santralleri (GES) 4 tanedir. Bu santrallerin iki adeti üretim yapmakta olup toplam 1.18 MW kapasiteye sahiptir ve diğer iki adeti inşa halinde olup ve toplam 3 MW kapasiteye sahiptir ( GEPH, 2019).

2.6.  anakkale'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

 anakkale'de rüzgar enerji santrali kurulabilecek potansiyel güç kapasitesi toplam 13.012,56 MW (toplam 2.602,51 km  alan) olarak tespit edilmiş olup, ekonomik rüzgar enerjisi santrallerin kurulması için en düşük değer (50 metrede 7 m/s rüzgar hızına ve yüzde 35 kapasite faktörüne sahip kritik değerlerin daha fazlasını karşılayacak bir coğrafyaya sahip olan Türkiye'nin illerinden biridir (Anonim, 2017c).  anakkale ili genelinde rüzgar hızları ve kapasite faktörü 7,0 m/s ve 35% değerlerinin üzerinde olup, Çanakkale ilinin batı kısmında yer alan Gelibolu, Gökçeada ve Bozcaada gibi ilçelerde rüzgar hızları 8,0-8,5 m/s arasında ve kapasite faktörleri ekonomik kapasite faktöründen daha yüksek değere sahiptir (Tarhan, vd., 2013; Gençel ve Tarhan, 2019). Türkiye'nin Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından hazırlanan bir araştırmaya göre Marmara bölgesi, özellikle Çanakkale illi rüzgar enerjisi potansiyeli açısından Türkiye genelinde ilk sırada gelmektedir (Anonim, 2006).  anakkale'de ilk olarak 2000 yılında Bozcaada ilçesinde Demiren-Enercan firması tarafından her biri 600 kW olan 17 adet türbin kurulmuştur (Dermanlı, 2016). şekil 22'de gösterildiği gibi, Gökçeada rüzgar enerjisi bakımından Türkiye'deki en yüksek rüzgar

enerjisi potansiyeline sahip sayılı ilçelerinden birisidir (Şengül, vd., 2014). Çanakkale’de ikinci rüzgar enerji santrali 2007 yılında Çaner - İntepe - Anemon’da Demirer - Adopen tarafından kurulmuş olup, bu tesis 38 türbinden oluşup her türbin 800 kW güce sahip ve santralin toplam kapasitesi 30,4 MW’tır (Kıncay, vd, 2015). Yine aynı yıl, Çanakkale'nin Gelibolu ilçesinde 15 MW ve 15.2 MW kapasiteli Demirer-Polat firması tarafından yapılmıştır (Kıncay, vd., 2015). Daha sonraları yapılan yeni yatırımlarla kurulu güçleri 50 MW’ın üzerini çıkarılmıştır. Yine aynı yıl, Çanakkale’nin Gelibolu ilçesinde 15 MW ve 15,2 MW kurulu güce sahip yeni RES’ler Demirer-Polat tarafından kurulmuştur (Kıncay, vd, 2015). Çanakkale ilinin 50 m yükseklik için rüzgar potansiyel değerleri Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10’da verilmiştir (Karaca, 2012; Şengül, vd, 2014; Anonim, 2016d).

Tablo 8 Çanakkale’de 50 metre yükseklikte rüzgar potansiyeli (Şengül, vd., 2014; Anonim, 2016d)

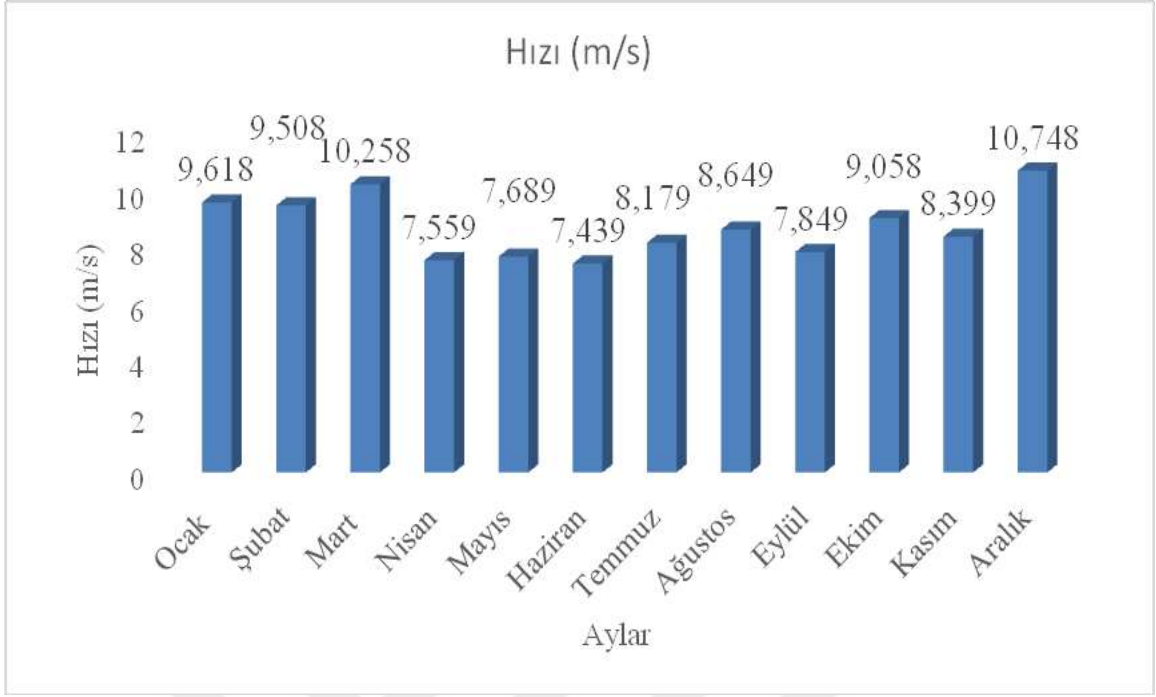
Rüzgar Kaynağı Derecesi	Rüzgar Sınıfı	Rüzgar Güç Yoğunluğu (W/m ²)	Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Rüzgar Alanı (km ²)	Rüzgar Alan Yüzdesi (%)	Toplam Rüzgar Kapasitesi (MW)
Orta	3	300-400	6,5-7,0	863,6	9,3	4.318,48
İyi	4	400-500	7,0-7,5	802,992	8,6	4.014,96
	5	500-600	7,5-8,0	761,088	8,2	3.805,44
Mükemmel	6	600-800	8,0-9,0	174,736	1,9	873,68
Sıradışı	7	>800	>9,0	0	0	0
Toplam				2.602,512	28	13.012,56

Tablo 9 Çanakkale’nin bazı bölgelerinin rüzgar enerjisi potansiyeli (Karaca, 2012)

Bölge	Yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s)	Yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu (W/m ²)
Gökçeada	4,14	112,88
Bozcaada	6,36	319,50
Ayvacık	3,29	59,40

Tablo 10 Çanakkale’nin iki bölgesinin aylara göre ortalama rüzgar hızı (İlkılıç, 2016)

Bölge / Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ortalama
Gelibolu	7,4	6,7	8,3	6,0	5,2	5,8	5,7	7,6	5,7	7,4	7,0	9,1	6,8
Gökçeada	7,7	6,9	8,1	6,7	5,3	5,9	6,2	7,8	5,7	7,5	7,6	10,8	7,2



Şekil 22. Gökçeada’da ayların günlük ortalama hızı (Şengül ve., 20, Refah,14)

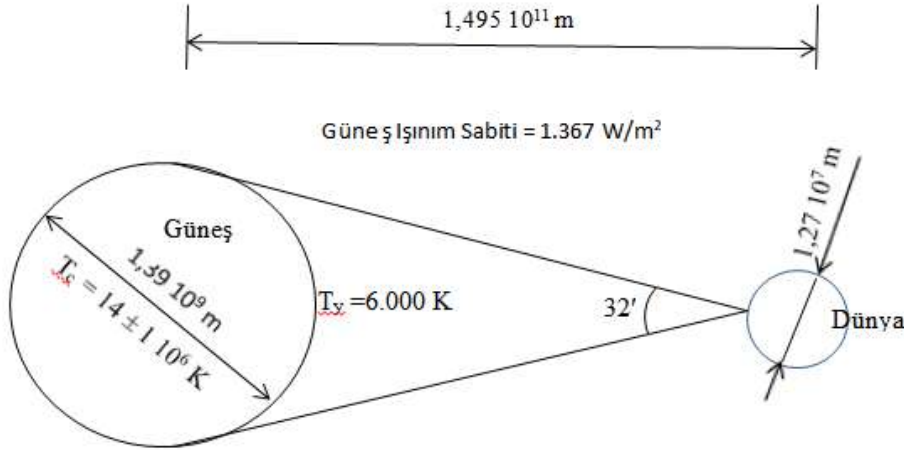
Çanakkale ilinde toplam 24 adet elektrik üretim santrali bulunmakta olup, bu santrallerin 19 adeti lisanslı ve 5 adeti lisanssızdır (Gençel ve Terhan, 2019). Toplam 3.630 MW kurulu güce sahip olan bu santrallerde, çeşitli kaynaklar kullanılarak, yıllık yaklaşık 20,187 TWh elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir ve 24 adet elektrik santrallerin 12 adeti rüzgar santrallerinden oluşmaktadır (Gençel ve Tarhan, 2019). Çanakkale’de devreye alınan rüzgar enerjisi santralleri toplam 365 MW kurulu güce sahip olup, yapım aşamasında olan rüzgar enerji santrallerinin toplamı yaklaşık 184 MW lisanslı olan rüzgar enerjisi santrallerinden toplam 278 MW ve ön lisanslı olan rüzgar santrallerinin ise 213 MW kapasiteye sahip olduğu belirtilmektedir (Ataseven, 2018; 2019).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneşin Yapısı ve Enerji Üretim Mekanizması

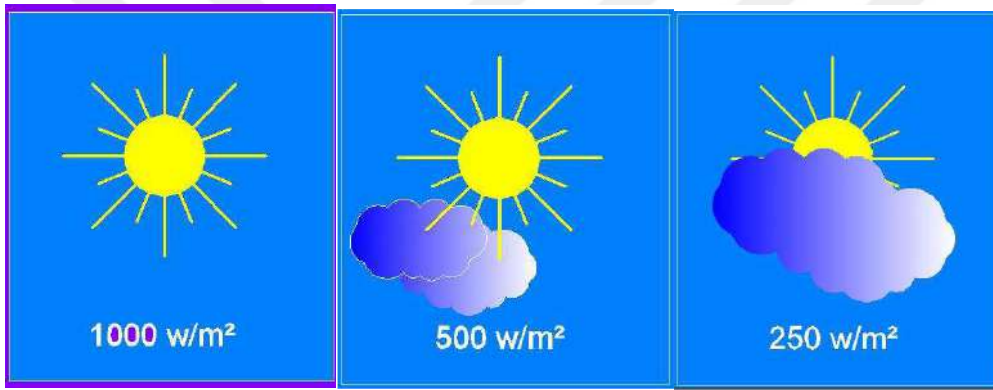
Gezeganimizin yegane hayat ve enerji kaynağı olan güneş (Şekil 23), en yalın ifadesiyle, büyük çoğunluğu yüksek plazma halinde hidrojen gazından ibaret gök cismi olan ve yaklaşık 2.10^{30} kg kütleyle sahip 696.000 km yarıçaplı dev hidrojen küresidir (Alkan, 2016; Kıncay, 2013). Samanyolu gökadasındaki yüz trilyon (10^{14}) yıldızdan biri olan güneşin iç kısmında çok yoğun ve aşırı sıcak hidrojen plazma halinde bulunmaktadır (Kıncay, 2013). Nükleer yakıtları dışında yeryüzündeki tüm kullanılan yakıtların temel kaynağı olan güneş, dünyadan yaklaşık $149,6.10^6$ km (147.10^6 - 152.10^6 km) uzaklıktadır (Kıncay, 2013; Güler ve Ülger, 2014). Güneşin merkezindeki sıcaklık 13 - 15 milyon K ve dış yüzey sıcaklığı ise yaklaşık 6.000 K olarak ifade edilmektedir (Kıncay, 2013; Güler ve Ülger, 2014). Çapı; dünya çapından (12.700 km) yaklaşık 110 kat daha büyük olan güneşin yaydığı ışın yaklaşık 8 dakika sonra yeryüzüne ulaşmaktadır (Cezim, 2013; Keser, 2017).



Şekil 23. Güneşin ve yeryüzünün arasındaki uzaklık (Kıncay, 2013; Güler ve Ülger, 2014).

Güneşin merkezinde çok yüksek sıcaklık (14 ± 1.10^6 K) olması nedeni ile her bir saniyede aşırı yüksek sıcaklıktaki 564.289.000 ton hidrojen plazması (proton), 560.000.000 ton helyuma (He) gazına dönüşmektedir ve bu dönüşümün esnasında saniyede yaklaşık 4.289.000 ton hidrojen gazının kütlesi $3,86.10^{26}$ J enerjiye dönüşmektedir (Cezim, 2013;

Uyar, 2018; EB, 2018). Atmosferin dış yüzeyinde gelen enerjinin güç değeri 1,73 GW iken, ancak yeryüzüne ulaşan değer ise $1.367 \pm 12,5$ olarak hesaplanmış olup, bu değer “güneş sabiti” olarak bilinir (Güler ve Ülger, 2014; Alkan, 2016). Bu enerji değeri, insanoğlunun yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 20.000 katıdır (Kıncay, 2013). Bu kadar düşük ışınlam değerinin yeryüzüne ulaşma nedeni ise; atmosferde var olan karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazlar tarafından ışınlamın absorbe edilmesidir (Güler ve Ülger, 2014; Alkan, 2016). Şekil 24’de gösterildiği gibi bulutluluk durumuna göre güneşten gelen ve yer yüzüne ulaşan ışınlamın oranı değişmekte olup, bulutsuz bir günde güneşin potansiyeli 1.000 W/m^2 iken, biraz bulutlu günde bu değer yarı yarıya azalarak 500 W/m^2 değerine, daha bulutlu durumda ise 250 W/m^2 ye düşmektedir (Kıncay, 2013).



Şekil 24. Bulutluluk durumuna göre yeryüzüne bir metre kareye düşen güneş ışığı miktarı (Kıncay, 2013).

3.2. Güneş Işığından Elektrik Enerjisi Üretimi

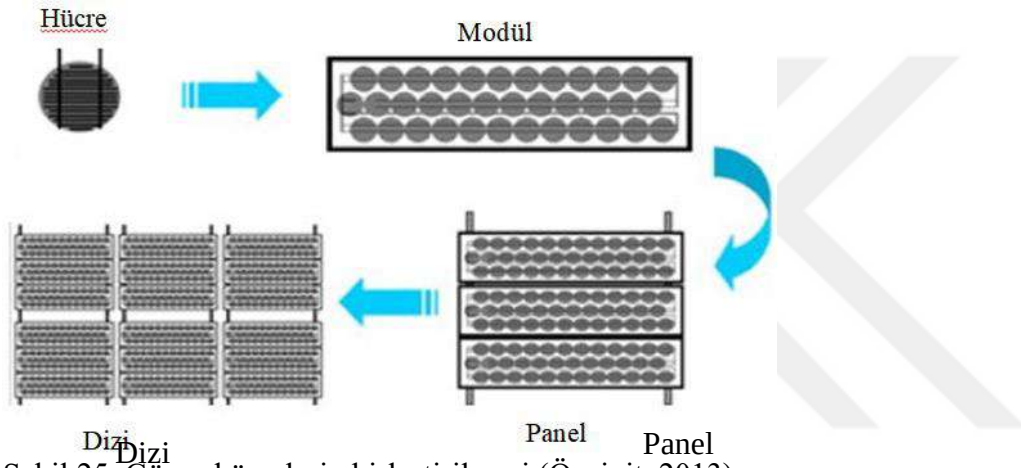
Güneş ışığından elektrik enerjisi üretimi için çeşitli teknolojiler kullanılmakta olup, bu teknolojiler, fotovoltaik (PV) güneş panelleri, yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemleri (CPV) ve yoğunlaştırılmış güneş termik santralleri (CSP) olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (Cezim, 2013).

3.2.1. Fotovoltaik (PV) Güneş Panelleri

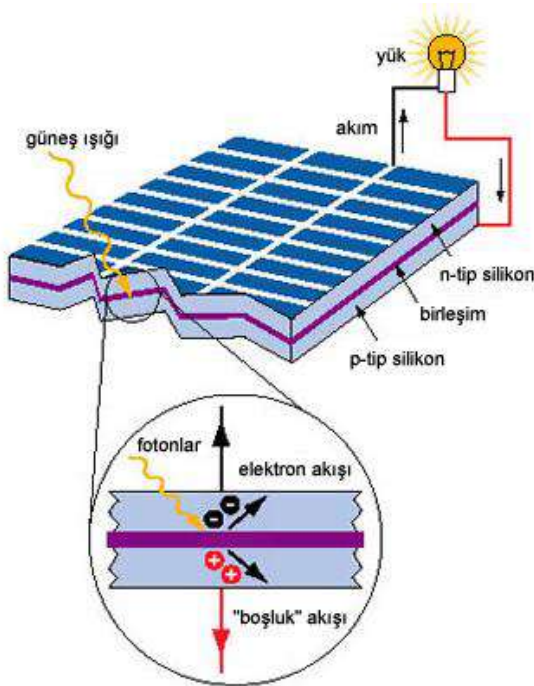
Fotovoltaik hücresi; yüzeyine gelen güneş ışınlamını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Fotovoltaik (Photovoltaic); Foto (Photo) ~ Işık (Light) ve Voltaik (Voltaic) ~ elektrik (electric) anlamını ifade etmektedir. Fotovoltaik; genel olarak güneş

enerjisi (solar energy) adlarla anılır ve kısca FV (PV) olarak gösterilir (Aktacir, 2009; Anonim, 2018j). Güneş enerji hücrelerinin yüzeyleri kare, dikdörtgen ya da daire şeklinde olup, bu hücrelerin alanları $60 - 160 \text{ mm}^2$ civarında ve kalınlıkları 0,2 veya 0,4 mm olacak şekilde üretilmektedir (Özçivit, 2013, Karamanav, 2007; Anonim, 2016a). Güneş panelleri; fotovoltaik paneller başta olmak üzere, birçok solar hücrelerin birleştirilmesinden oluşmaktadır ve güneş enerji hücreleri genel olarak silikon adı verilen ve dünyamızda çok miktarda bulunan elementlerden oluşturmaktadır (Özçivit, 2013). Elektrik akımı oluşması için her bir hücre pozitif ve negatif katmanlara sahip olup, daha yüksek güç üretmek amacıyla daha fazla sayıda güneş pilleri paralel veya seri olarak birbirine bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir ve bu tür yapılar güneş pili modülü veya fotovoltaik modülü olarak adlandırılmaktadır (Özçivit, 2013). Güç ihtiyacına bağlı olarak modüller Şekil 25'te gösterildiği gibi birbirleriyle seri yada paralel bağlanıp birkaç Watt'tan birkaç Megawatt'a kadar güç elde edilebilmesi amacıyla sistem oluşturulmaktadır (Karaca, 2012; Özçivit, 2013). Güneş pilini üretmek için yarı iletken özelliği gösteren silisyum (Si) başta olmak üzere galyum arsenit (**GaAs**), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) gibi maddeler kullanılmaktadır (Özçivit, 2013). Bu maddeler yarı iletken özelliğe sahip olup, elektrik akımını belirli bir yönde ve tek bir doğrultuda geçmesine izin veren bir güneş hücresi ve güneşten gelen fotonları iç fotoelektrik olaydan faydalanan fotonların taşıdığı enerjiyi ($E = h.f$) elektrik enerjisine doğrudan dönüştürmektedir (Özçivit, 2013; Keleş, 2015). Yarıiletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılması için elektron (n) ve boşluk (p) tipi katmanların oluşması gerekmektedir (Özçivit, 2013). Çünkü negatif (n) tip silikon'da fazladan elektronlar bulunur ve pozitif (p) tip silikon'da ise doldurulmayı bekleyen fazladan boşluklar bulunmaktadır olup ve her bir fotovoltaik hücrede Şekil 26'te gösterildiği gibi n tipi ince silikon tabaka ile kaplanmış geniş ve düz p tipi silikon tabaka kullanılmaktadır (Çolakoğlu, 2014). Her hücrenin alt tarafı tek fakat geniş bir metal iletken ile bağlantılı olup, üst tarafında yüzeyin büyük kısmının ışık almasına olanak sağlayan iletkenler bulunmaktadır (Çolakoğlu, 2014). Işık hücre yüzeyine geldiğinde fotonlar, üst tabakayı geçerek negatif ve pozitif yüzeyler arasındaki elektronları bulundukları yerden üst yüzeye doğru hareket ettirilirken boşluklar alt yüzeye doğru ittirilir (Çorakoğlu, 2014). Diğer bir ifadeyle; n ve p tipi katmanlar oluşturulduktan sonra, güneşten gelen fotonlar sayesinde n tipi katmandan koparılan elektronlar p tipi katmana doğru hareket etmeye başlar (Özçivit, 2013). Bu olay; elektron azlığı olarak ifade edilen “hol” veya “delik” ile yük fazlalığı, güneş hücresinin her iki tarafında n ve p tipi katmanlara, yani elektrik akımı oluşma alanına yol

açmaktadır (Özçivit, 2013). Böylece yarı iletken tarafından yutulan ışık akısının fotonları ve yarıiletkenin iki tarafında toplanan ayrı ayrı elektron-hol çiftleri oluşmakta ve p/n tipi maddelerin eklem bölgesinde yer alması ile p bölgesi tarafında negatif şarj ve n bölgesi tarafında pozitif şarj, yani yük birikimi oluşur (Özçivit, 2013). Bu iletkenlere bir devre bağlandığında elektronlar negatif yüklü yüzeyden ayrılarak, pozitif yüzeyin altında bulunan ve kullanıma hazır haldeki boşluklara doğru hareket eder ve bu süre boyunca daha fazla foton, elektronları boşluklardan dışarı hareket ettirir ve döngü bu şekilde devam eder (Özçivit, 2013; Çorakoğlu, 2014).



Şekil 25. Güneş hücrelerin birleştirilmesi (Özçivit, 2013).

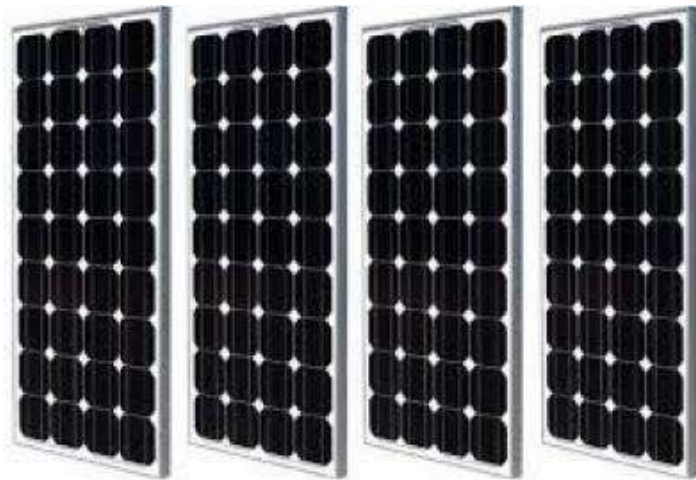


Şekil 26. Güneşten gelen fotonların enerjiye dönüşümü (Özçivit, 2013).

Çok kristal, tek kristal, ince film ve esnek güneş panelleri başta olmak üzere kullanılan hücrelerin tip yapısına göre farklı ve çeşitli güneş panellerinden ticari alanlarda yararlanılmaktadır. Bu paneller yarı iletken özelliğine sahip olan bir çok mazemeden yapılmaktadır. Bunların en yaygınları silisyum (Si), kadmiyum tellür (CdTe), galyum arsenit (GaAs) gibi malzemeler olup, günümüzde en çok kristal silisyum olarak kullanılan yarı iletken malzemenin hammaddesi silisyum (silikon) dur. Bu maddeden yapılan panellere genel olarak “kristal paneller” denir. Kristal güneş panelleri, endüstriyel alanında tek (mono kristal) ve çok (poli) kristal, ince film güneş panelleri ve esnek güneş panelleri olarak bilinmektedir (Karamanav, 2007; Anonim, 2016a).

Tek (Mono) Kristal Güneş Panelleri

Monokristal güneş panelleri; bütün hücreleri sadece homojen özelliğe sahip olan kristal malzemedan yapılmaktadır (Baş, 2016). Monokristal güneş hücrelerinin verimlik oranı yaklaşık %24 civarında olup, ticari alanlarda yüksek oranda kullanılmaktadır ve bu güneş panelleri uzun ömürlü olduğundan, özellikle uzun vadeli yatırımlarda kullanılması tercih edilmektedir (Anonim, 2018g). Ayrıca, bu panellerin birleştirilmesi Şekil 27’te gösterildiği gibi çok kristal panellerine göre daha küçük alanı kaplamasına rağmen aynı gücü poli kristaller kadar üretebilmektedir (Anonim, 2015b; Baş, 2016).



Şekil 27. Monokristal güneş panelleri göstermektedir (Anonim, 2015b; Baş, 2016).

Çok (Poli) kristal Güneş Panelleri

Çok (poli) kristal güneş panelleri; farklı özelliğe sahip olan doğadaki çeşitli kristallerden yapılmaktadır (Baş, 2016). Bu güneş hücrelerinin verimlilik oranı yaklaşık %15 civarında olup, çok kristal panellerin verimi tek kristal panellerine göre biraz düşük olmasına rağmen kullanım alanı çok yaygındır (Anonim, 2018h). Çünkü üretim maliyeti düşük olduğu için daha uygun fiyata sahip olup, piyasanın % 68'den fazlası polikristal güneş panellerini kullanmaktadır (Anonim, 2018h; Anonim, 2019a). Şekil 28'da gösterildiği gibi çok kristallerin yaygın olmasının ana nedenlerinin bir diğeri ise, kolayca üretelebilmesi ve ticari alanda daha uygun fiyatlarda sahip olmasıdır (Baş, 2016).



Şekil 28. Polikristal güneş panelleri (Anonim, 2018h).

İnce Film Güneş Panelleri

İnce film güneş hücreleri; amorf – silisyum (a-Si), bakır indiyum galyum deselenid (CIGS), kadmiyum tellürid (CdTe) gibi bir kaç çeşidi bulunmaktadır (Anonim, 2018i). Yaklaşık % 7 verime sahip ince film güneş panellerin meydana çıkmasının en büyük amacı, daha ekonomik olmasıdır (Anonim, 2018i). Dolayısıyla panellerin verimi, mono ve poli kristal panellerine göre daha düşük olması nedeniyle ticari alanda çok küçük bir pazar payını oluşturmaktadır (Baş, 2016). Şekil 29'de ince film hücrelerinden oluşan bir güneş panel dizisi gösterilmektedir.



Şekil 29. İnce film güneş panelleri göstermektedir (Anonim, 2018h).

Esnek Güneş Panelleri

Esnek güneş panelleri genel olarak çatı uygulamaları için geliştirilmiş bir sistem olup, bu güneş panellerin bir örneği Şekil 30’de gösterildiği gibi çok hafif ve kırılma tehlikesi yoktur ve bu yüzden kolayca taşınabilir özelliğe sahiptir (Baş, 2016). Ayrıca şarj edilebilir araçlarda, otobüs duraklarında, eğimli fabrika çatılarında ve eğimli otopark gölgeliklerinde kullanılmaktadır (Anonim, 2018i).



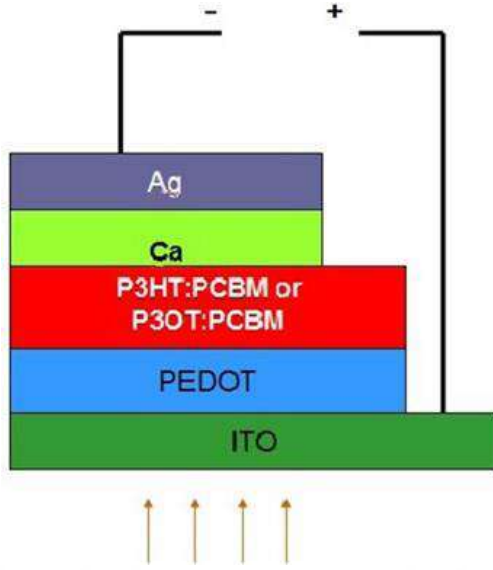
Şekil 30. Esnek güneş paneli (Anonim, 2018i).

3.2.2. Henüz Satış Pazarı Olmayan Güneş Panelleri

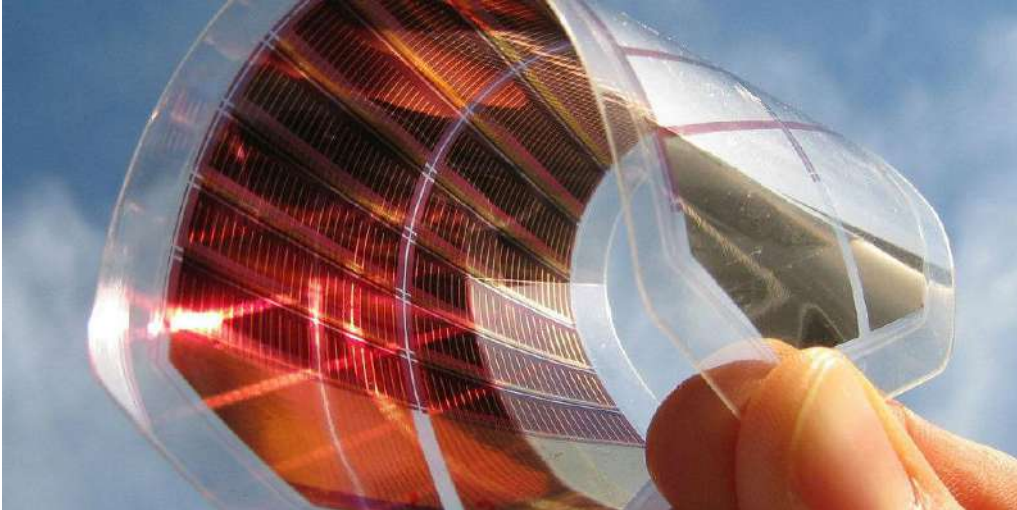
Organik Güneş Hücresi

Organik güneş hücreleri (pilleri) karbon bazlı polimerlerden ve çok daha küçük moleküllerden oluşmaktadır ve bu hücrelerin üzerine gelen güneş fotonları hücrelerin organik tabakası tarafından emilerek güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüşmektedir (Görkey, 2013). Şekil 31’da malzeme yapısı ve Şekil 32’da hücrenin hazırlanmış hali gösterilen organik güneş hücreleri hafif ve esnek olmasından dolayı büyük ve geniş alan uygulamalarında kullanılabilir, düşük maliyetli olup ve kolayca üretilmektedir (Bayrak, 2018). Güneşten gelen ışık; organik polimer tabakası tarafından absorbe edilip, elektron ve boşluk çiftleri oluşmaktadır ve yükler ayrıştıktan sonra elektronlar katoda ve holler ise anota olarak doğru yönelmektedir (Görkey, 2013).

Organik poli(3-hexylthiophene) (P3HT): phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM) güneş hücreleri diğer organik güneş hücrelerine göre daha yüksek verime sahip olmasının en büyük nedeni ise [P3HT] p-tipi polimerin içinde olması, böyle [PCBM] n-tipi karbon nano parçacıkların içinde homojen bir şekilde dağılmış olmaları ve p-n arayüz alanının artmış olması ve bu nedenle etkin yük ayrışım oranı arttığından, organik güneş hücrelerinin verimi yüksektir (Görkey, 2013). Michigan Üniversitesi araştırmacılarından Ann ve Arbor tarafından yapılan çalışmalara göre organik güneş hücreleri daha ucuz ve verimli elde edilebileceği ifade edilmekte olup, bu güneş pillerinin kolayca pencerelere ve arabaların tavanlarında yerleştirebilmesi yanında basit ve toksik olmayan malzemelerden üretilen bu güneş hücrelerinde verimin %15 ’lere çıkarılmasının sağlandığına dikkat çekilmekle birlikte şimdiye kadar organik güneş hücrelerinden % 10 civarında verim elde edilmiştir (Anonim, 2019c)



Şekil 31. Organik güneş hücresinin malzeme yapısı (Görkey, 2013).

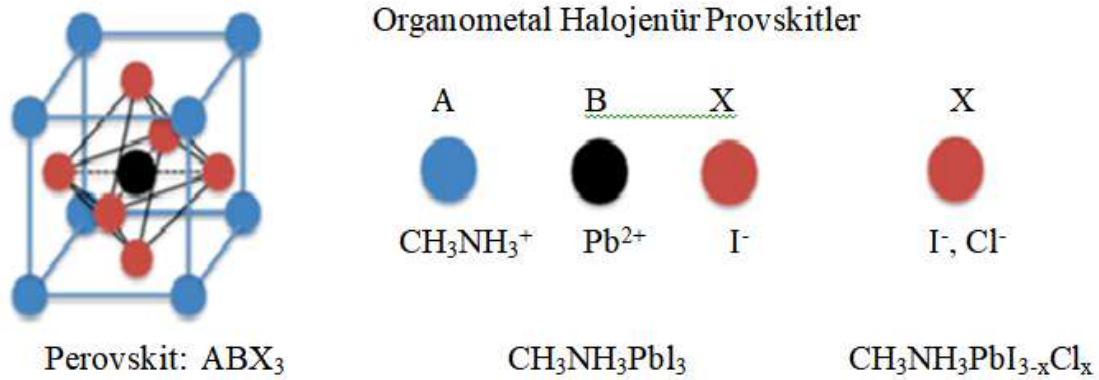


Şekil 32. Organik güneş hücresi (Bayrak, 2018).

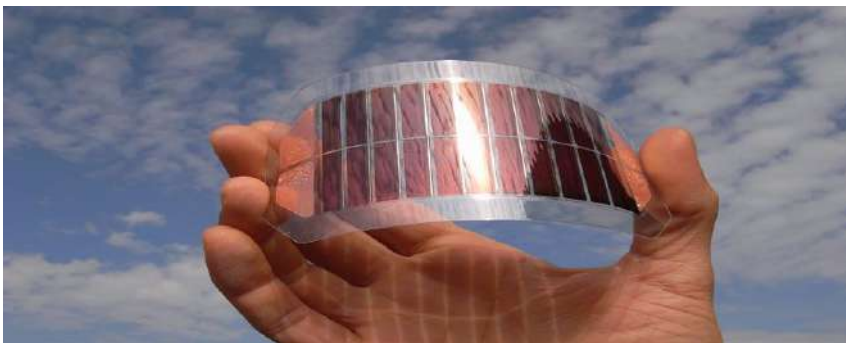
Perovskit Güneş Hücresi

Perovskit kristal'in temel yapısı ABX_3 şeklinde olup, aynı zamanda stoikiometriye (element ölçüsü) sahip olan bileşiklerin genel adıdır. Burada, Şekil 33'de gösterildiği gibi, A yerine Metil Amonyum (CH_3NH_3) B yerine kurşun (Pb) ve X yerine iyot (I), Brom (Br) ve klor (Cl) gibi unsurlar kullanılmaktadır (Yılmaz ve Özkök, 2018). En klasik örneklerden birisi Kalsiyum titanat ($CaTiO_3$) dır (Çoşkun, 2017). Perovskit güneş hücresi oluşumunda genel olarak güneş ışığını soğurabilir katman hibrit bir bileşik olan organik – inorganik, kurşun ve kalay (Sn) içeren malzemeler kullanılmakta olup, esnek basit ve üretim açısından

daha düşük maliyetli hücrelerdir, bu hücreler büyük ölçüde üretilebilir ve çevreye etkisinin daha az olduğu ifade edilmektedir (Okbay, 2017). Perovskit güneş hücresi hızlı yük ayırma, geniş soğurma spektrumu, boşlukların ve elektronların uzun nakil mesafesine ve uzun ömürlü taşıyıcı gibi özelliklere sahip olduğu için bu güneş pillerinin gelişeceğine dair umut verici bir teknoloji olarak öne çıkmakta olduğu vurgulanmaktadır (Çoşkun, 2017). Bu pillerin diğer bir avantajı ise güneşten gelen ışığa farklı dalga boylarında tepki gösterebilir olması ve diğer bir avantaj da güneşten gelen fotonları elektrığe dönüştürme sürecinde kayıpların nispeten daha az olmasıdır. Örneğin; organik güneş pillerin kaybı yüzde %50 civarında iken, perovskite güneş pillerin de bu oran % 20 civarında olup, Şekil 34'de gösterildiği gibi, perovskit güneş pillerin maliyeti daha düşük olup, bu piller esnek, yarı şeffaflık ve hafifliği sunmaktadır (Çoşkun, 2017). Böylece; perovskit güneş hücrelerin verimleri artmaya ve güneş enerjisi maliyeti düşmeye devam etmektedir (Çoşkun, 2017). Ancak perovskit güneş hücrelerin dezavantajı havadaki su buharı, nem, oksijen ve sıcaklık gibi unsurlardan fazlasıyla etkilenir ve hücrelerde kararsızlık problemi oluşturmaktadır, dolayısı ile, pillerin veriminin kısa sürede düşmesine yol açmaktadır (Yılmaz ve Özkök, 2018; Küçükkaya, 2019a).



Şekil 33. Perovskit güneş hücresinin malzeme yapısı (Yılmaz ve Özkök, 2018).



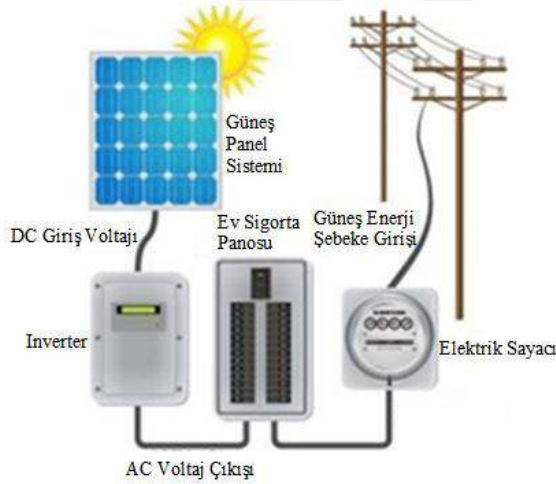
Şekil 34. Perovskit güneş hücresi (Küçükkaya, 2019a).

3.2.3. Fotovoltaik Güneş Panellerin Uygulama Alanları

Fotovoltaik güneş panelleri, uygulama alanlarına göre iki ana grupta ele alınmaktadır (Kıncay, 2013):

Şebeke Bağlantılı (On Grid) Güneş Panel Sistemleri

Şebekeye bağlantılı olan güneş panel sistemleri ile genel olarak küçük güç elektriğe ihtiyacı olan binalarda kullanılmaktadır. Örnek olarak bu sistemle bir binanın elektrik gereksinimi sağlanırken, ihtiyaç fazlası üretilen elektrik şebekeye aktarılmaktadır. Gece saatlerinde gerekli olan elektrik üretilmediği zamanlarda ise enerji şebekeden alınmaktadır. Şekil 35’de gösterildiği gibi, şebeke bağlantılı sistemlerde akü sistemine gerek duyulmamakta ve sadece şebeke ile uyumlu olunması yanında DC elektriğin AC elektriğine çevrilmesi yeterlidir (Cezim, 2013; Kıncay, 2013; Anonim, 2016a; Leblebicioğlu, 2017)

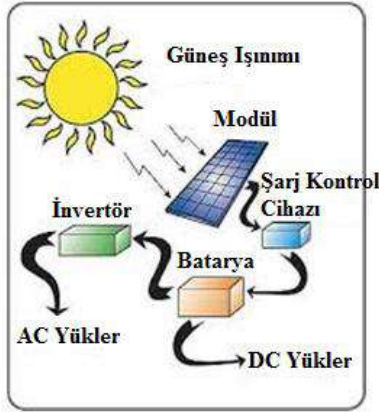


Şekil 35. Şebeke bağlantılı güneş panellerinin temsili gösterimi (Leblebicioğlu, 2017).

Şebeke Bağımsız (Off Grid) Güneş Panelleri Sistemi

Şebekeden bağımsız (off grid) olan güneş panelleri sisteminde genel olarak yeterli seviyede fotovoltaik güneş modülleri kullanılmaktadır. Güneş ışığının yeterli olmadığı zamanlarda, özellikle geceleri sistemdeki akü sisteminden yararlanılmaktadır. Burada akü sisteminin görevi gün boyunca fotovoltaik paneller ile üretilen enerjinin ihtiyaç fazlasını depolamaktır ve gerektiğinde depolanan elektrik enerjisi kullanılabilir. Şekil 36’da gösterildiği gibi, bu şebekede akülerin aşırı şarj olmasından korunmak için şarj regülatörü

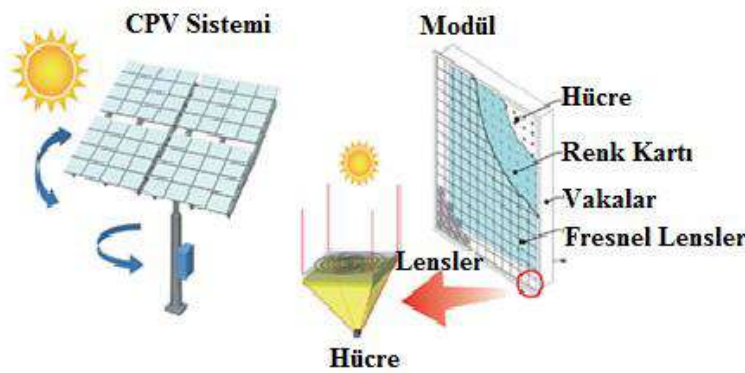
kullanılır ve böylece akülerin aşırı şarjını engeller (Cezim, 2013; Kıncay, 2013; Anonim, 2016a; Anonim, 2016b).



Şekil 36. Şebekeden bağımsız güneş panelleri göstermektedir (Anonim, 2016b).

3.2.4. Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik (CPV)

Yoğunlaştırılmış fotovoltaik olarak adlandırılan CPV sistemlerinde ayna benzeri cihazlar kullanılarak, güneş ışığını odaklayıp fotovoltaik hücrelerin üzerine çok yoğun olarak aktarılmaktadır ve Şekil 37’de örneği gösterildiği gibi, yaygın olarak bu sistemler ısıtma, pişirme, sıcak su elde etme, soğutma, aydınlatma ve su arıtma gibi uygulamalarla kullanılmaktadır (Baş, 2016; Iwasaki, 2016).



Şekil 37. CPV sistemleri gösterilmektedir (Iwasaki, 2016).

CPV sistemleri güneş yoğunlaşma miktarlarına göre; yüksek sıcaklık sistemleri ($> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$), orta sıcaklık sistemleri ($100 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve düşük sıcaklık sistemleri ($20 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) olarak üç grupta incelenmektedir (Karaca, 2012; Anonim, 2016a).

Düşük Sıcaklık Sistemleri (20 –100 °C)

Bir örneği Şekil 38’ de gösterilen ve genellikle 20 –100 °C aralığında düşük sıcaklık sistemler aşağıdaki uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Karaca, 2012):

- Evlerin ısıtılması ve soğutulması
- Evlerde sıcak su üretilmesi
- Yüzme havuzlarına sıcak su sağlanması
- Sanayi tesislerde sıcak su sağlanması
- Seraların ısıtılması
- Tarım ürünlerin kurutulması
- Güneş ocakları ve fırınları
- Deniz suyundan temiz suyu üretilmesi
- Deniz suyundan tuz elde edilmesi
- Kirli sulardan temiz suyu üretilmesi



Şekil 38 Düşük sıcaklık sistemlerin örneği (Anonim, 2011).

Orta Sıcaklık Sistemleri (100 - 300 °C)

100 - 300 °C aralığındaki orta sıcaklık sistemler aşağıdaki uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Karaca, 2012):

- Endüstriyel uygulamalarda buhar üretilmesi
- Büyük endüstriyelerde ısıtma ve soğutma için

Yüksek Sıcaklık Sistemleri (> 300 °C)

Bir örneği Şekil 39'da gösterilen ve 300 °C üzerindeki yüksek sıcaklık sistemleri aşağıdaki uygulama alanında kullanılmaktadır (Anonim, 2017d):

- Parabolik çanak ve merkezi alıcılarla elektrik üretimi



Şekil 39 yüksek sıcaklık sistemlerin örneği (Anonim, 2017d).

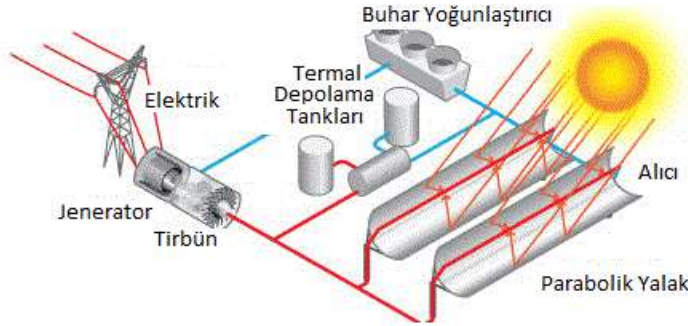
3.2.5. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjili Termik Sistemler (CSP)

Yoğunlaştırılmış güneş enerjili termik (Concentrating Solar Power, CSP) sistemlerinde aynalar ve aynalara bağlı olarak güneş izleyici sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerin birlikte çalışmasıyla aynaların üzerine düşen güneş ışınları tek bir noktada odaklamaktadır (Cezim, 2013; Yalçın, 2013; Anonim, 2016b). CSP sistemleri, doğrusal yoğunlaştırıcılar ve noktasal yoğunlaştırıcılar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Livatyalı, 2011).

Doğrusal yoğunlaştırıcılar; frensel aynaları ve parabolik oluklu kolektörler olarak, noktasal yoğunlaştırıcılar ise merkezi alıcı sistemler ve parabolik çanak kolektörler olarak kendi aralarında da iki grupta ayrılmaktadır (Kıncay, 2013).

Parabolik Oluklu Kolektörler

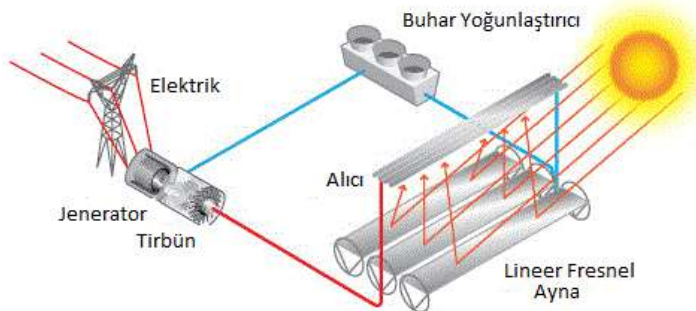
Parabolik oluklu kolektörler bir doğrusal yoğunlaştırıcı teknolojileri olup, bu sistemler, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerin arasında en yaygın ve en gelişmiş teknolojiler olup, bu teknolojilerle 350 - 400 °C civarında sıcak suyu elde etmek mümkündür ve Şekil 40'de gösterildiği gibi güneş hareketini doğudan batıya doğru izleyen tek eksenli sistemler gösterilmektedir (Anonim, 2016a).



Şekil 40. Parabolik oluk kolektör sistemleri (Baş, 2016; Avcıoğlu, 2017).

Fresnel Aynalı Yoğunlaştırıcılar

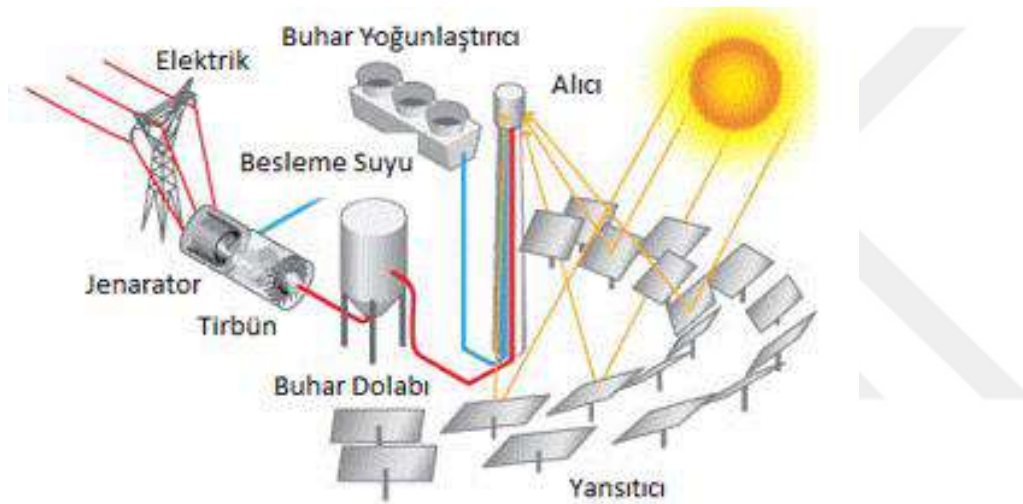
Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar; kolektörleri parabolik oluk kolektörler gibi bir doğrusal yoğunlaştırıcı teknolojilerdir ve Fresnel oluk sistemlerinden farkı, parabolik oluk sistemlerindeki gibi sabit bir seviyede güneş ışığını absorbe etmeleri olup, bu kolektörler Şekil 41'te gösterildiği gibi yaklaşık 390 °C sıcaklığa ulaşmaktadır (Anonim, 2016a).



Şekil 41. Fresnel oluk kolektör sistemler (Baş, 2016; Avcıoğlu, 2017).

Merkezi Alıcı Kollektörler

Merkezi alıcı sistemleri, bir noktasal yoğunlaştırıcı güneş kolektörler sistemidir. Bu sistemlere Heliostat adı verilmektedir ve yüzlerce yansıtıcı aynalardan oluşmaktadır. Şekil 42’de gösterildiği gibi bu aynalar güneşten gelen ışınları santralin merkezindeki kulenin tepesine odaklamakla görevlidir (Baş, 2016; Avcıoğlu, 2017). Bu kolektörler güneş ışınlarını tek eksenle takip etmekte ve merkezi alıcıda odaklanan ısı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir ve bu sistemlerde tuz veya hava ısı transfer sıvısı olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden sıvı 800°C sıcaklığına ulaşabilmektedir (Anonim, 2016a).



Şekil 42. Merkezi Alıcı kolektör sistemler (Baş, 2016; Avcıoğlu, 2017).

Parabolik Çanak Kollektörler

Parabolik çanak sistemleri, bir noktasal yoğunlaştırıcı güneş kolektörleridir. Bu kolektörler Şekil 43’de gösterildiği gibi, güneş ışınlarını iki eksenle takip edip devamlı şekilde güneş ışınlarını odak noktasında yoğunlaştırmaktadır (Baş, 2016). Yoğunlaştırılmış bölgede bu enerji doğrudan termal enerjisine dönüştürülüp ısı olarak kullanılmakta olup, bu ısı motorun içerisindeki sıvıya gönderilmekte ve motorun yardımıyla bu ısı, mekanik güce dönüştürülmektedir (Avcıoğlu, 2017). Bu kolektörlerle 550-750 °C civarında sıcak suyu elde edilebilmektedir (Anonim; 2016a).



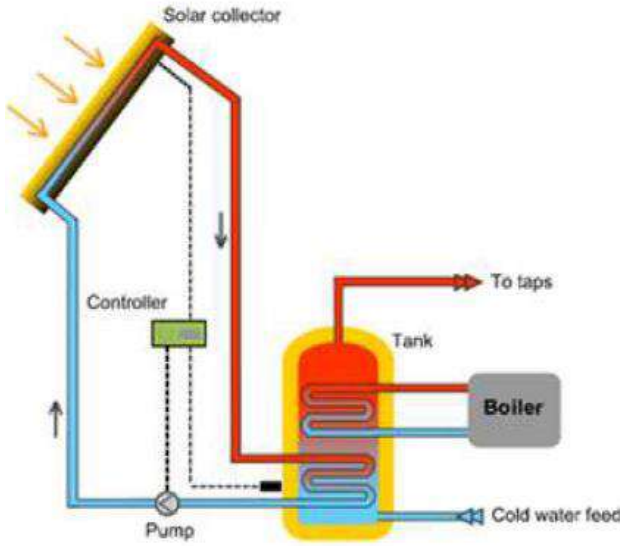
Şekil 43. Parabolik çanak kollektör sistemler (Baş, 2016; Avcıoğlu, 2017).

3.2.6. Güneş Isı Panelleri

Güneş enerjisinden ısı üretmek için termodinamik sistemler olarak adlandırılan termik güneş panelleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, ilk olarak güneş ışığını ısıya dönüştürmekle görevlidir. Sonradan bu ısıyı borular ve pompalar vasıtasıyla suyu taşıyan depolara aktarmaktadır (Kıncay, 2013; Demircan ve Gültekin; 2017). Güneş ısı panelleri aktif ısıtma ve pasif ısıtma olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Kıncay, 2013).

Aktif Isıtma Güneş Sistemleri

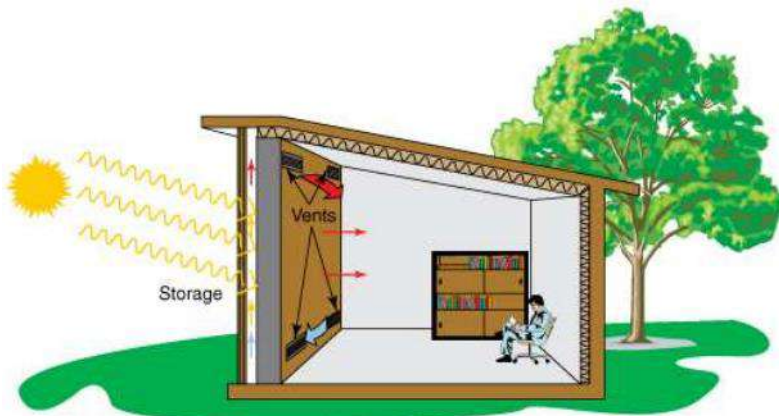
Aktif ısıtma güneş sistemlerinde, güneş ışığının ısıya dönüştürülmesi için düşük sıcaklık güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Şekil 44’de gösterildiği gibi bu kollektörlerden 90 – 100 °C civarında sıcak su elde edilmekte olup, aktif ısıtma güneş sistemleri genel olarak evlerin ve yüzme havuzlarının sıcak suyunu karşılamak için kullanılmaktadır (Kıncay, 2013; Anonim, 2016a; Demircan ve Gültekin, 2017).



Şekil 44. Fotovoltaik ısıtma aktif güneş sistemi (Kıncay, 2013).

Pasif Isıtma Güneş Sistemleri

Pasif ısıtma güneş sistemleri, güneş ışınlarının doğrudan enerji olarak kullanılan eski sistemlerdendir. Bu sistemde, güneş ışığından enerji toplanması için fan ve pompa gibi ekipmanlar kullanılmamaktadır. İşlemin hepsi Şekil 45’de gösterildiği gibi pasif olarak yapılmaktadır (Kıncay, 2013). Binalarda; ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçların gerçekleşmesi için pasif ısıtma panelleri temel olarak bina yapısı ve tasarımında kullanılmaktadır ve pasif ısıtma sistemlerinden çoğunlukla enerjinin depolaması, seraların ısıtılması ve tarım ürünlerinin kurutulmasında yararlanılmakta olup, enerji depolamada çok kullanılan alanlar su duvarları, kayaçlar, ve normal duvarlar gibi yapılardır (Kıncay, 2013; Demircan ve Gültekin, 2017).



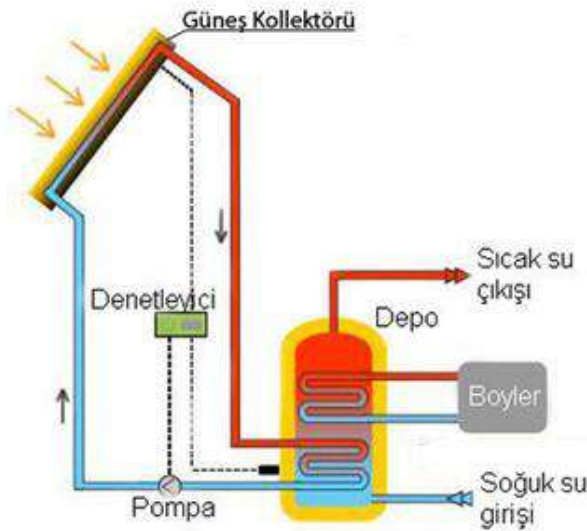
Şekil 45. Fotovoltaik ısıtma pasif güneş sistemi (Kıncay, 2013).

3.2.7. Güneş Enerjisi Kollektörleri

Günümüzde güneş enerjisinden evlerde hem ısıtma ve hem de sıcak su amacıyla güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Güneş enerjisi kollektörleri güneş ışığını ısıya çevirmektedir. Bu dönüştürülen ısı duvardan ısıtma, yerden ısıtma, radyatör ve fan coil gibi ısıtma cihazlar vasıtasıyla diğer cihazlara transfer edilmektedir (Kıncay, 2013).

Düzlemsel Güneş Enerjisi Kollektörleri

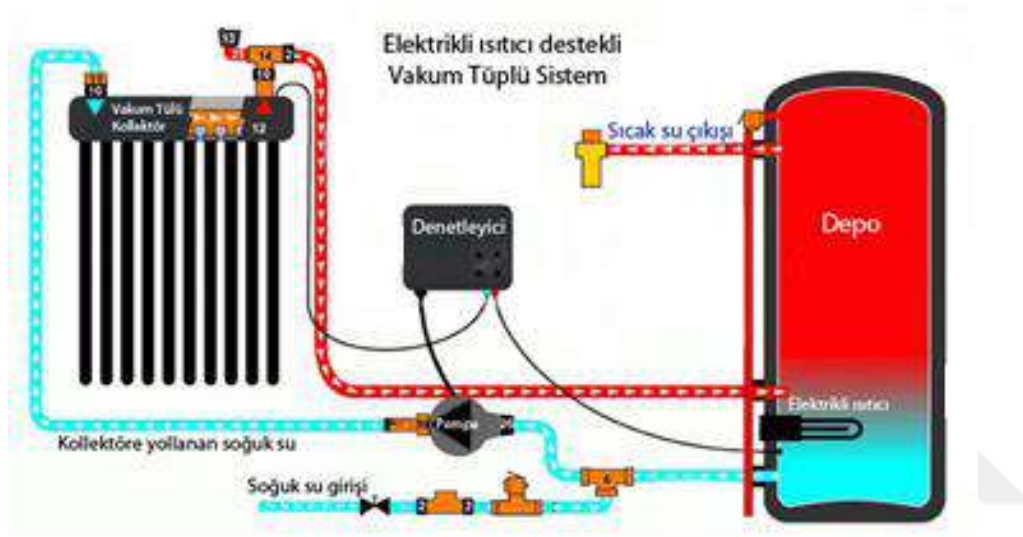
Düşük sıcaklık uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan kollektörler düzlemsel güneş kollektörleri olup, bu kollektörlerin görevi Şekil 46’de gösterdiği gibi güneş ışığından enerji toplayıp ısı olarak su deposuna transfer etmekte ve bu sistemlerde kollektör sisteminden depo sistemine ısı transfer edilmesi için boru, pompa ve kontrol edici gibi elemanlar kullanılmaktadır ve evlerde sıcak su elde etmek için en çok kullanılan sistemlerdir (Kıncay, 2013). Ayrıca; yüzme havuzlarının ve sanayi tesislerinin sıcak suyunu sağlamak için bu kollektörler kullanılabilmekte ve bu kollektörlerden 70 – 90 °C civarında sıcak suyu elde edilebilir (Kıncay, 2013; Anonim, 2016a). Bu sistemlerin üst örtüsü, üstten alta doğru camlardan yapılmaktadır. Düşük sıcaklık güneş kollektörleri, Çin, Türkiye, ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan gibi ülkelerde en yaygın kullanılmaktadır (Anonim, 2008a; Anonim, 2016a).



Şekil 46. Düzlemsel güneş kollektörleri sistemi (Anonim, 2008a).

Vakumlu Güneş Enerjisi Kollektörleri

Vakumlu güneş kollektörleri vakumlu cam boruları ve absorban yüzeye sahip olup, fazla enerjiye ihtiyaç duyuldu zaman absorban yüzeyine metal veya cam yansıtıcıları kullanılmaktadır (Kıncay, 2013). Şekil 47’de gösterildiği gibi bu sistemlerin çıkış suyu 100-120°C civarında sıcak suya sahiptir (Anonim, 2016a). Bu yüzden daha geniş alanlarda bu güneş kollektörleri tercih edilmektedir (Anonim, 2008b; Kıncay, 2013).



Şekil 47. Vakumlu güneş kollektörleri sistemi (Anonim, 2008b).

3.2.8. Güneş Işınım Ölçümü

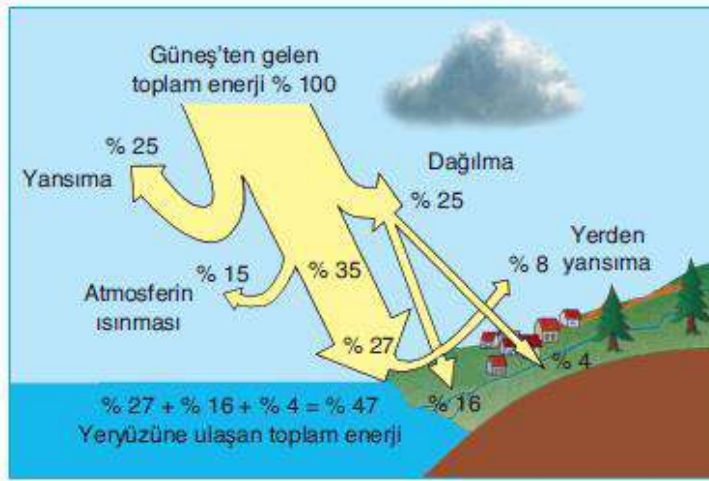
Küresel güneş ışınım radyasyonu ölçümü; güneşten yeryüzüne doğru yatay yüzeye gelen ışınım küresel radyasyon toplamını ifade etmekte olup, küresel radyasyon ise doğrudan ve yaygın radyasyonun toplamı olup, yeryüzüne ulaşan radyasyonun dalga boyu 300 – 700 nm arasındadır ve ölçümler aktinometre ve pyranometre gibi cihazlarla yapılmaktadır ve güneşten gelen ışınların yaklaşık %51 atmosferden geçerek yeryüzüne gelmektedir. Bu ışınlar doğrudan ve yaygın şekilde yeryüzüne ulaşmaktadır. Işınlar atmosferdeki yayma ve soğurma özelliklerine göre, iki gruba ayrılmaktadır (Abuşka, 2016; Şahin, 2016; Öztürk, 2008; MGM, 2020).

Doğrudan (Direct) Işınım

Güneşten dünyaya gelen ve atmosferden geçerken yön değiştirmeden yeryüzüne ulaşan ışınlım doğrudan ışınlımı olarak adlandırılmaktadır. Atmosfer tarafından saçılma ve soğurulma nedeniyle en az %25 oranında güneş sabitinde değer kaybı olmaktadır ve güneşli bir günde ışınlım değeri standart olarak 1.000 W/m^2 olarak ele alınmaktadır. Doğrudan ışınlım pyrliometre cihazıyla ölçünlmektedir (Abuşka, 2016.; Şahin, 2016.; Cezim, 2013; Öztürk, 2008; MGM, 2020).

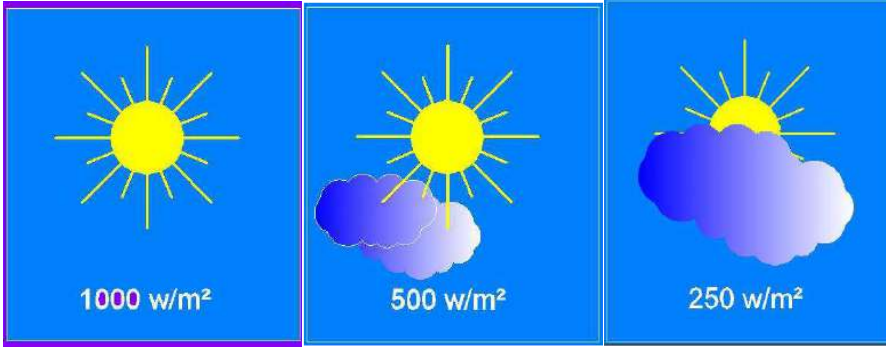
Yaygın (Diffuse) Işınım

Güneşten yeryüzüne doğru atmosferden geçerken bulutlar ve tozlardan dolayı yön değiştirip dağınık şekilde yeryüzüne ulaşan ışınlımlar yaygın ışınlımı olarak adlandırılmaktadır. (Öztürk, 2008; MGM, 2020). Şekil 48’da güneşten gönderilen ışınlımların yeryüzüne ulaşma durumlarını göstermektedir (Kahtalı, 2014).



Şekil 48. Direkt ışınlım ve diffüz ışınlım (Kahtalı, 2014).

Şekil 49’de gösterildiği gibi, güneşli bir günde, I_r güneş ışınlım yoğunluğu değeri 1.000 W/m^2 , az bulutlu bir günde bu değer 500 W/m^2 ve bulutlu bir günde güneş ışınlımın değeri 250 W/m^2 olarak ifade edilmektedir (Kıncay, 2013).



Şekil 49. Hava durumuna göre yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı değerleri (Kıncay, 2013)

Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne göre; güneş santralleri kurulacak bir bölgede, aşağıdaki parametrelerin en az 6 ay ölçülmesi gerekmesi ve kayda alınması gerekmektedir (MGM, 2020):

- Küresel Radyasyonu (W/m^2)
- Güneşlenme Süresi (saat)
- Hava Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- Hava Nemi (%)
- Rüzgar Hızı (m/s)
- Rüzgar Yönü (açı derecesi)

3.2.9. Güneş Panellerin Potansiyel Analizi

Fotovoltaik hücrelerinde akım ve gerilimler elektronların harekete geçmesi ile oluşmaktadır. Kurulan bir fotovoltaik sistemden üretililecek enerji; güneş radyasyonun miktarına, sistemin güneşlenme süresine panelin verimliliğine (hücre tipine) ve hava durumuna (sıcaklığına) bağlıdır (Cezim, 2013).

Hücreden geçen akımın sıfır olduğu durumda; hücre uçlarında gözlenen gerilim, açık devre gerilimi (V_{OC}) olarak adlandırılmaktadır ve sıfır yük (gerilim) ile aydınlatma altında hücrede gözlemlenen akımı (I_{SC}) ifade eder. Açık devre gerilimi, yani open-circuit voltage, (V_{OC}) ve kısa devre akımına, yani short circuit current (I_{SC}) bağlı olarak bir fotovoltaik güneş hücresinin maksimum çıkış gücünü tanımlamak için kullanılan dolum faktörü C_{FF} ile ifade edilir (Küçükaya, 2019a; Öztürk, 2017; Anonim, 2002).

Güneş ışığından üretilen akım (I_r), Güneş ışıyım yoğunluğu değeri Wh/m^2 biriminde olup,

$$I_r = I + I_L \quad (3.1)$$

denklemleri ile verilir ve göze satürasyon akımı I_0 , pil çıkış akımı I_L , elektrik yükü q^v , Boltzman sabiti k_B , mutlak sıcaklık T olmak üzere,

$$I = I_0 \left(e^{\frac{q^v}{k_B T}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

olarak yazılır ve (3.1) denklemi,

$$I_r = I_0 \left(e^{\frac{q^v}{k_B T}} - 1 \right) + I_L \quad (3.3)$$

haline gelir (Anonim, 2002). Güneş panelinden maksimum üretilen güç ise, elektriksel güç tanımından,

$$P_{maks} = I_{maks} * V_{maks} \quad (3.4)$$

ile hesaplanır (Anonim, 2002). Böylece; dolum faktörü C_{FF} ,

$$C_{FF} = \frac{P_{maks}}{V_{OC} I_{SC}} = \frac{I_{maks} V_{maks}}{V_{maks} I_{SC}} = \frac{\eta I_S A_C}{V_{OC} I_{SC}} \quad (3.5)$$

ve verim,

$$\eta = \frac{P_{çıkış} I_{mp}}{V_{giriş} I_{SC}} = \frac{V_{OC} I_{SC} C_{FF}}{I_S A_C} = C_{FF} V_{OC} I_{SC} \quad (3.6)$$

denklemleri ile hesaplanır (Anonim, 2002; Küçükkaya, 2019a; Öztürk, 2017). Kapalı geçen gün sayısı KGGS olmak üzere, gerekli panel sayısı (PS) ve akü kapasitesi (AK), sırasıyla,

$$PS = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Bir Güneş Panelinin Gücü} \cdot \text{Güneşlenme Süresi}} \quad (3.7)$$

ve

$$AK = KGGS \cdot \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Deşarj Olma Faktörü}} \quad s \quad (3.8)$$

bağıntıları ile belirlenir (Küçükkaya, 2019a; Öztürk, 2017; Anonim, 2002). Toplam panel alanı A (m^2), panel verimi η_{pv} (%), ortalama ışıyım yoğunluğu I_r (W/m^2) ve toz, kablo, invertör, sıcaklık, vs kayıplar PR (%) olmak üzere, T_p süresince elektrik enerji üretimi,

$$E_{PV}(Wh) = A \cdot \eta_{PV} \cdot \eta_B \cdot \eta_I \cdot \int_0^{T_p} I_r \cdot dt = A \cdot \eta_{PV} \cdot I_r \cdot PR \quad (3.9)$$

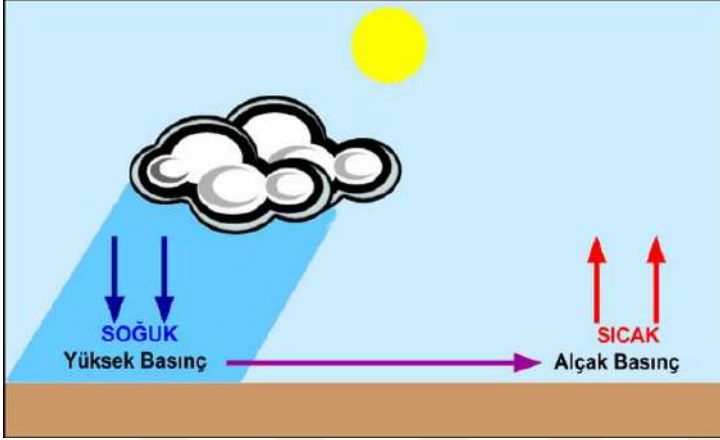
ile hesaplanır (Anonim, 2002; Dursun 2010., 2009; Öztürk, 2017; Küçükkaya, 2019a;).

3.3. Rüzgar Oluşumu

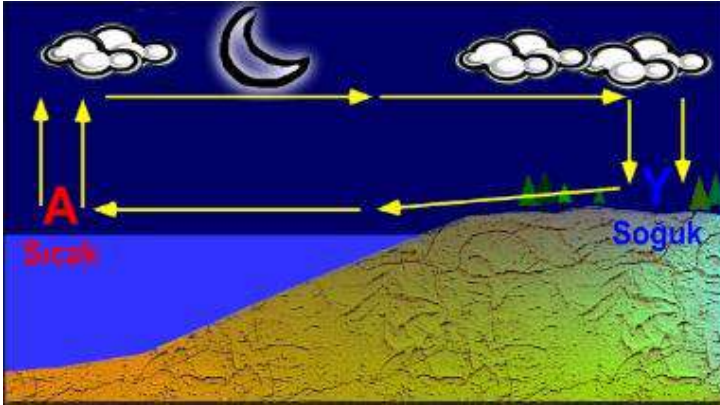
Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin yaklaşık % 1-2 kadarı rüzgar enerjisine dönüşür iken, % 1'den daha azıda fotosentez için bitkiler tarafından kullanılır (Alkan, 2016; Baş, 2016). Dünya'nın yüzeyi farklı oranlarda ısınıp soğuduğundan atmosferik basınç bölgeleri oluşur, dolayısı ile yer yüzeyinde yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru hava akışı oluşur ve hava kütlelerinin bu hareketi rüzgar olarak adlandırılır (Demirkol, 2013; Alkan, 2016; Baş, 2016). Şekil 50'de gösterildiği gibi, bir hava kütlesi normal durumundan daha fazla ısındığında, daha sıcak ve alçak basınç bölgesi olan bir noktadan daha soğuk ve yüksek basınç bölgelerine (atmosferin yukarısına) doğru hareket ederler (Fatma, 2016). Diğer taraftan aynı hacimde soğuk hava kütlesi daha soğuk ve yüksek basınç bölgesi olan bir bölgeden daha sıcak ve alçak basınç bölgesine (hava kütlesi boşalan yere) yerleşir ve bu hava kütlelerinin hareketi rüzgar olarak adlandırılır (Anonim, 2015a; Baş, 2016; Fatma, 2016). Hava akım hızı, iki bölgenin arasındaki basınç farklığına bağlıdır. Yani iki alanın arasındaki basınç farkı ne kadar büyükse, o kadar fazla hava akım hızı olur (Anonim, 2015a).

Karalar denizlerden ve dağlar vadilerden farklı ısınıp ve soğumasından dolayı hava kütleleri etkilenir ve meltem rüzgarlarının oluşmasına neden olur (Anonim, 2019b). Gündüzleri ise; karalar denizlere göre daha çabuk ısınır ve denizler daha yavaş ısındığı için deniz meltemleri daha çabuk ısınan karalara doğru eser (Anonim, 2019b). Şekil 51'da ve

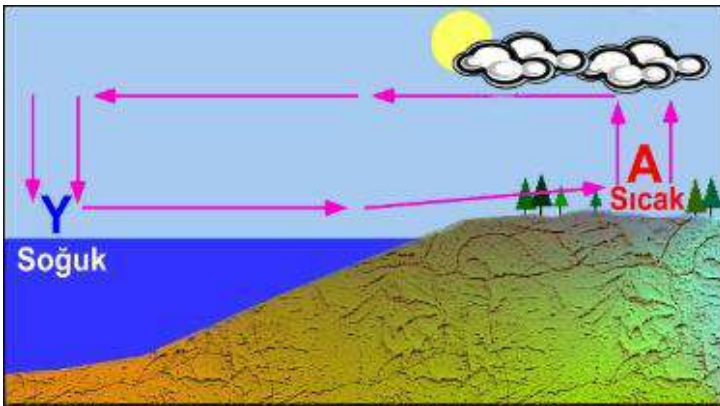
Şekil 52’da gösterildiği gibi, geceleri denizler karalara göre daha yavaş soğur ve karalar daha çabuk soğuduğu için kara meltemleri denizlere doğru eser. Benzer şekilde dağlar, yamaçlar ve vadiler, karalar ve denizlerde aynı özelliklere sahiptir.



Şekil 50. Rüzgar oluşum (Fatma, 2016).

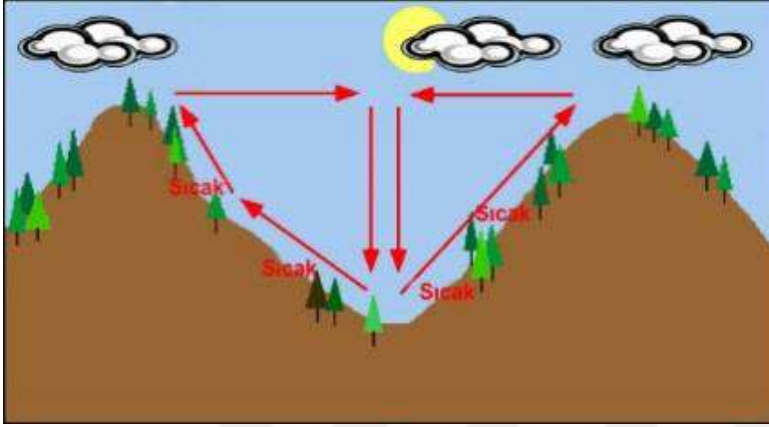


Şekil 51. Gece meltemi (Anonim, 2019b).

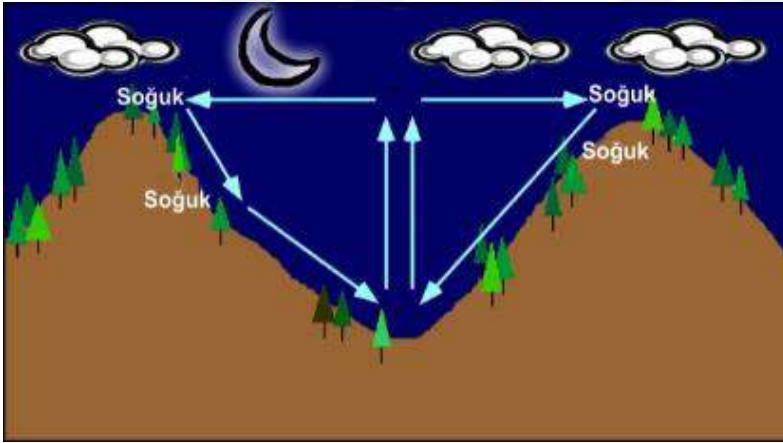


Şekil 52. Gündüz meltemi (Anonim, 2019b).

Gündüzleri; Şekil 53’de gösterdiği gibi vadiler dağlara göre daha çabuk ısınır, vadilerden çabuk ısınan hava dağlara doğru vadi meltemleri eser. Geceleride; Şekil 54’de gösterildiği gibi, dağlar vadilere göre daha çabuk soğur, dağlardan çabuk soğuyan hava vadilere doğru dağ meltemleri eser (Anonim, 2019b).



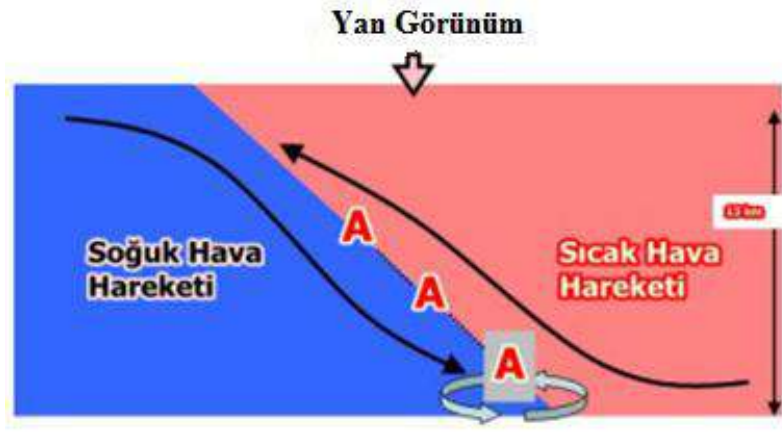
Şekil 53. Gündüz vadideki rüzgar akımı (Anonim, 2019b).



Şekil 54. Gece dağdaki rüzgar akımı (Anonim, 2019b).

Düyanın dönme hareketi nedeniyle, hareket halinde olan hava kütlesi kuzey yarıkürede saat yönünde, güney yarıkürede saat yönünün tersine doğru bir dönüş yapar ve bu dönmeye neden olan kuvvete koriolis (Coriolis) kuvveti denir (Alkan, 2016; Anonim, 2017e). Ekvatorda hava kütleleri ısınarak atmosfer üzerine yükselecek şekilde hareket eder ve belli bir yükselme seviyesinden sonra, kuzey ve güney kürelerin 30° enlemlerinde koriolis kuvveti hava kütlesinin daha fazla yükselmesine engel olarak, hava kütlesinin kuzey ve güneye doğru hareket etmesine yol açar (Anonim, 2017e; Anonim, 2017f). Bu şekilde meydana gelen rüzgara da “jeostrofik rüzgar” denir ve Şekil 55’de gösterildiği gibi yüksek

basınç bölgeleri nedeniyle hava kütleleri tekrar aşağı doğru inmeye başlarlar ve havanın daha soğuk olmasından dolayı kutuplarda yüksek basınç bölgeleri oluşur (Ayık, 2017; Anonim, 2017f).



Şekil 55. Soğuk hava ve sıcak hava yer değişim hareketi (Anonim, 2017f).

3.4. Rüzgar Güç Hesabı

Hareket halinde her cisim E_k kinetik enerjisine sahiptir. Dolayısı ile rüzgar da ρ yoğunluğunu sahip V hacimli ve m kütleli bir hava kütlesi akımı olduğundan

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.10)$$

ile verilen kinetik (hareket) enerjiye sahip olur (Ünsalver, 2008). Diğer taraftan, kütle ve hacim tanımlarından, sırasıyla,

$$m = \rho.V \quad (3.11)$$

ve

$$V = A.L = \pi r^2.L \quad (3.12)$$

olmak üzere, v hızıyla esen hava kütlesi, yani rüzgar, r yarıçapına sahip ve L kalınlığındaki rüzgar türbin kanatlarını t sürede geçiyorsa,

$$L = v.t \quad (3.13)$$

yazılır. Böylece; rüzgarın taşıdığı kinetik enerji,

$$E_k = \frac{1}{2} \rho_h \pi r^2 v^3 t \quad (3.14)$$

olarak yazılır (Ünsalver, 2008). Burada; ρ_h havanın yoğunluğu olup, deniz seviyesinde kuru havanın yoğunluğu, uluslararası standartlara göre, ortalama 15° C’de ve 1 atm (1.013,25 mb) basınçta 1,225 kg/m³ olarak alınır (Anonim, 2018j).

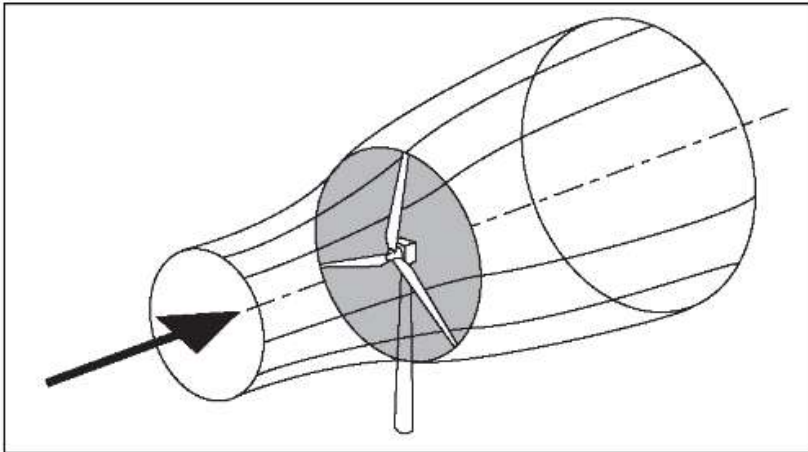
Bir rüzgar türbininden maksimum alınabilecek teorik güç ise, birim zamanda harcanan yada üretilen enerji olarakda tanımlanan güç ifadesinden,

$$P \approx \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \rho_h \pi r^2 v^3 \quad (3.15)$$

yazılır. Burada; mekanik bir system olan rüzgar türbinindeki olası mekanik kayıplar göz önüne alındığında, “denklem 3.15” ile verilen güç ifadesi,

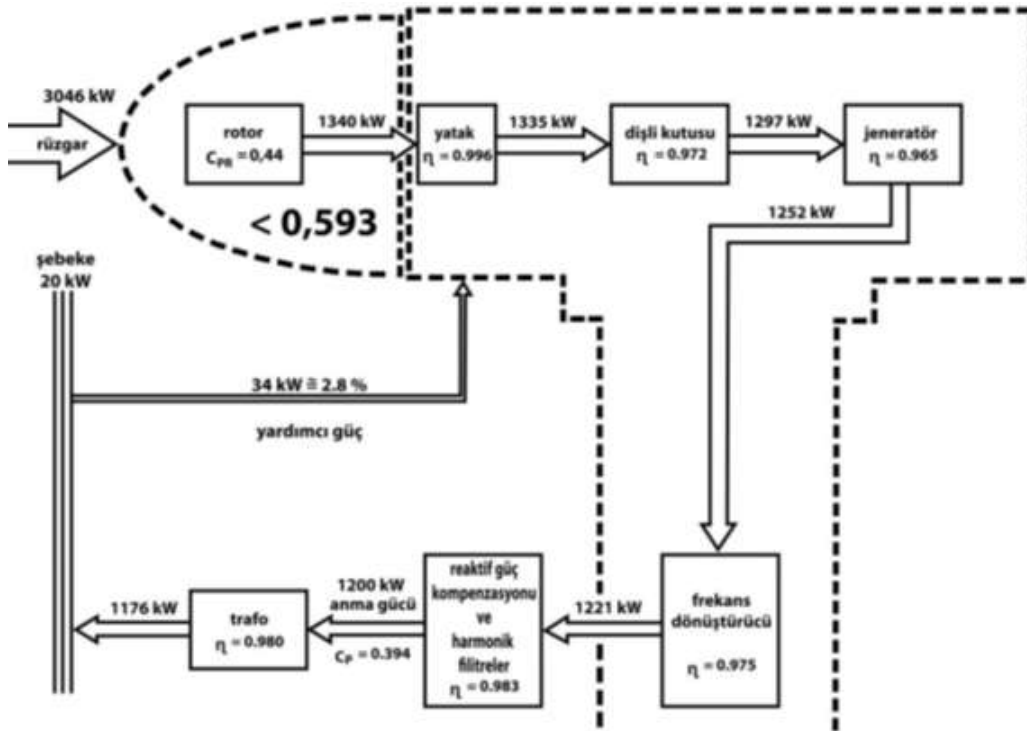
$$P = \frac{1}{2} C_P \rho_h \pi r^2 v^3 \quad (3.16)$$

olarak yazılır (Anonim, 2018j; Ünsalver, 2008). Burada; C_P , Betz limiti olarak bilinen güç aktarım çarpanı olup, maksimum değeri % 59,3 ($C_P \leq 0,5926$) dır (Betz, 1966; Ünsalver, 2008; Anonim, 2018j). Bir rüzgar türbini çevresinde hareket eden hava kütlesi temsili olarak, Şekil 56’de göstermektedir.



Şekil 56 Türbini çevresindeki hareket eden hava akımı (Ünsalver, 2008).

Teorik olarak; ideal bir rüzgar türbinin verimi maksimum %59.26 olarak verilmektedir ve bu sabit değer C_p ile gösterilip ve Betz limiti olarak adlandırılmaktadır (Anonim, 2018j). Ancak bu değer C_p günümüz modern rüzgar türbinlerinde yaklaşık %40 civarında gerçekleşmektedir (Ünsalver, 2008). Bu değer düşük olma sebebi rotorun oluşturduğu girdap, havanın oluşturduğu direnç ve aktarma organların kayıplar ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplar olup, örnek bir türbin için Şekil 57’de gösterilmiştir (Ünsalver, 2008; Gençel ve Tarhan, 2019).



Şekil 57. Türbin için kapasite kaybı yaşanan bileşenler ve olası verimleri (Gençel ve Tarhan, 2019).

3.5. Rüzgar Ölçüm Aletleri

Rüzgar yatay ve düşey olmak üzere iki yönde yer değiştiren hava kütlesi hareketi olup, yön ve hız nicelikleri ile ölçülür ve meteorolojik amaçlı rüzgar ölçümleri sabit anemometre, el anemometresi ve anemograf olmak üzere üç çeşit cihaz ile ölçülür (Sarıbuğa, 2012; Anonim, 2013a; Anonim, 2019b; Ataseven, 2018, 2019):

- Sabit anemometre cihazı; rüzgar hızını ve yönünü direkt olarak ölçümede kullanılmaktadır.

- b. El anemometresi cihazı; ölçülmesi istenen alanın rüzgar hızını ve rüzgar yönünü doğrudan ve seyyar olarak sabit anemometre gibi ölçümede kullanılmaktadır.
- c. Anemograf; rüzgar yönünü, rüzgarın saatlik ortalama hızını ve rüzgarın hızındaki dalgalanmaları ölçümünde kullanılmaktadır.

Ölçüm direğinin kurulacağı bölge; meteorolojik açıdan, en uygun sahalarda seçilmektedir. Ayrıca ölçüm direklerinin boyu, sayısı, ulaşım, kullanılacak ölçüm cihazları ve diğer gerekliliklerde belirlenmelidir (NT, 2016). Ölçüm direğinde, en az bir yıl (8760 saat) rüzgar ölçümü farklı mevsimlerde alınmalı ve bu ölçümler en az 30 m yükseklikte ve tercihen 60 m, 90 m, 120 m gibi yüksekliklerde; sıcaklık, basınç ve nem gibi parametreler en az 3 m yükseklikte yapılmaktadır (Sarıbuğa, 2012; Ataseven, 2018, 2019). Güvenilir bir ölçümün yapılması için bir rüzgar ölçüm istasyonunda, rüzgar yön sensörü, rüzgar hız sensörü, bağıl nem sensörü, hava sıcaklık sensörü, basınç sensörü ve kayıt cihazı (data logger) ile temel meteorolojik değişkenlerin ölçülmesi gerekmektedir (Sarıbuğa, 2012; NT, 2016).

3.6. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri, rüzgardaki hareket enerjisini öncelikle mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektromekanik sistemler olup, rüzgar türbinleri genel olarak kule, pervane kanatları, dişli kutusu, jeneratör, elektrik donanımı, frenler ve şaft gibi elemanlardan oluşmaktadır (Genç, 2009; Kelsoy ve Soysal, 2015). Son yıllarda dişli kutusu içermeyen (direct drive) rüzgar türbinleri geliştirilmiş olup, verimleri daha yüksek ve daha düşük gürültü özelliğine sahiptirler.

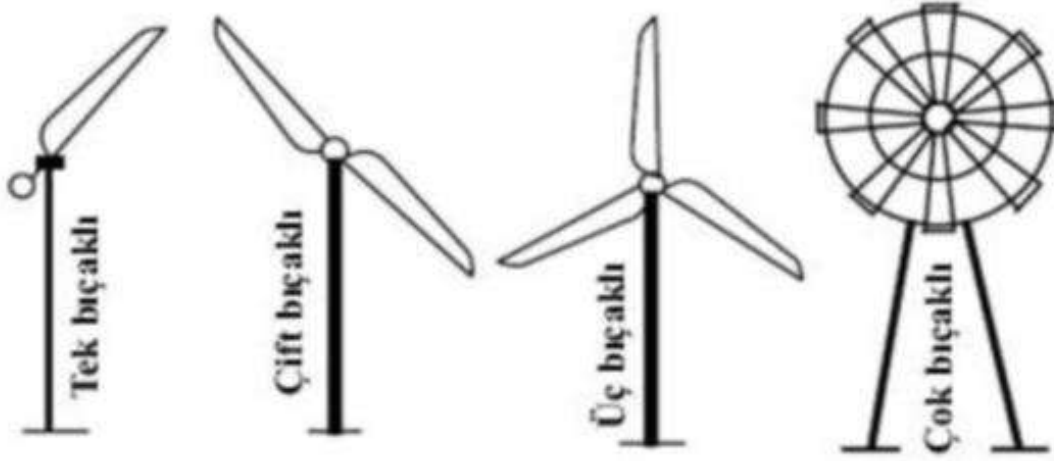
Rüzgar türbinleri dönme eksenine göre üç ana gruba ayrılmaktadır (Kelsoy ve Soysal, 2015; Elibüyük, vd., 2016; BD, 2019).

3.6.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT) ve Özellikleri

Yatay eksenli rüzgar türbinleri (Şekil 58) kanatlara göre dört çeşite ayrılmaktadır (Demirkol, 2013; Elibüyük, vd., 2016).

- Tek kanatlı rüzgar türbinleri
- İki kanatlı rüzgar türbinleri

- Üç kanatlı rüzgar türbinleri
- Çok kanatlı rüzgar türbinleri



Şekil 58. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin göstermektedir (Elibüyük, vd., 2016).

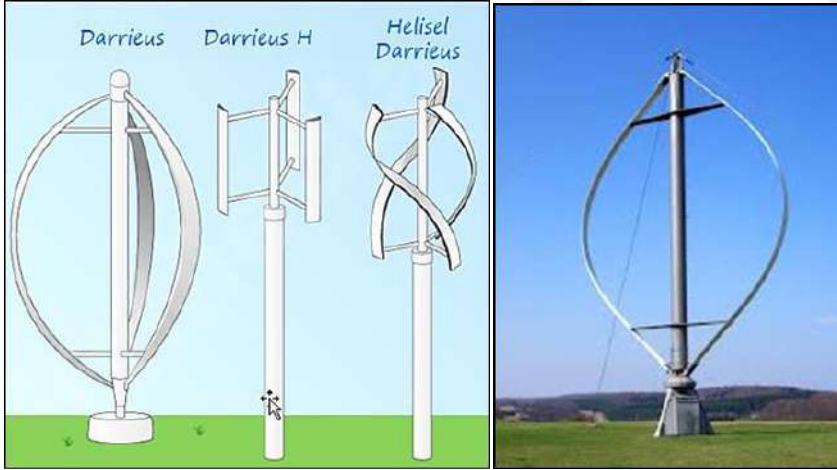
Yatay eksenli olarak adlandırılan rüzgar türbinlerinin kanatları; rüzgar yönüne dik olup, dönme eksenini rüzgar yönüne paraleldir (Durak ve Özer, 2008). Bu türbinlerin verimleri yaklaşık %45 civarında olduğu belirtilmektedir (Elibüyük, vd., 2016). Yatay eksenli rüzgar türbinleri genel olarak yerden en az 50 m yükseklikte olacak şekilde yerleştirilmektedir ve bu yüzden kuleye ihtiyaç duyulmaktadır (Elibüyük, vd., 2016). Yatay eksenli rüzgar türbinleri çoğunlukla 3 kanatlıdır. Türbinlere doğru hareket eden hava kütlesi kanatlara çarptığında, belli bir eğime sahip türbin kanatları dönmeye başlar, göbek kısmında kanatlara bağlı olan şaftta döner ve dönme hızı dişli kutular vasıtasıyla artırılarak, kinetik enerji jeneratöre aktarılır, böylece kinetik enerji jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik şebekesine iletilir (Kesayak, 2015). Günümüzde; ticari türbinler çoğunlukla yatay eksenli rüzgar türbinler olup, bu türbinler önden rüzgarı en iyi alacak şekilde tasarlanmış olup, yüksek performansları nedeniyle, özellikle büyük ölçekli rüzgar santrallerin kurulmasında tercih edilmektedir (Küçükkaya, 2019b).

3.6.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT) ve Özellikleri

Şekil 59’de verilen dikey eksenli rüzgar türbinleri;

- Savonious rüzgar türbinleri
- Darrieus rüzgar türbinleri
- H-Darrieus rüzgar türbinleri

olmak üzere 3 tipe ayrılmaktadır (Durak ve Özer, 2008; Küçükkaya, 2016). Dikey eksenli rüzgar türbinlerinde, jeneratör hareketini sağlayan dikey yapıya sahiptir ve yatay eksenli rüzgar türbinlerinde olduğu gibi her hangi bir pervane görünümüne sahip değildir. Şekil 59’dan da görüleneceği üzere, DERT’leri her yönden rüzgar alma yeteneğine sahip olup, jeneratör ve dişli kutusu gibi cihazlar yer seviyesinde yer aldığından kuleye ihtiyaç duymaz ve kule maliyeti ortadan kalkar (Küçükkaya, 2019b). DERT’leri, rüzgar yönünden etkilenmediği için yönlendirici gibi parçalara da gereksinim olmaz (Uyar, 2016). Dikey eksenli rüzgar türbinlerin ticarı alanda az kullanılmasının nedeni, alt noktaları yere yakın olduğu için rüzgar hızının düşük olmasıdır (Kelsoy ve Soysal, 2015; Kesayak, 2015).

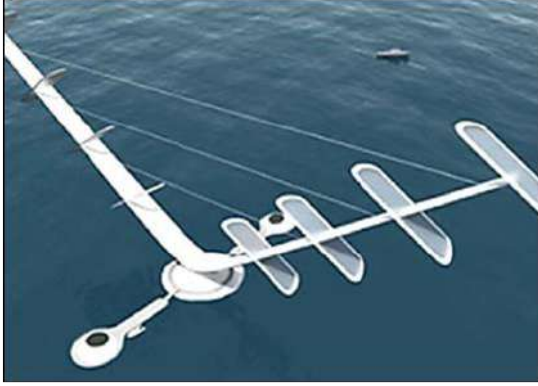


Şekil 59. Dikey eksenli rüzgar türbinleri (Elibüyük, vd., 2016).

3.6.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (EERT)

Eğik eksenli rüzgar türbinlerinde (Şekil 60) eksenlerin dönmesiyle düşeyle rüzgar yönünde bir açı oluşturan rüzgar türbinleri olup, bu çeşit türbinlerin kullanım alanları çok azdır (Durak ve Özer, 2008; Uyar, 2016). Şekil 60’dan da görüleceği üzere, bu türbinlerde

dönme eksenleri ile kanatlar arasında bir açı oluşmaktadır (Elibüyük, vd., 2016).



Şekil 60. Eğik eksenli rüzgar türbini (Elibüyük, vd., 2016).

3.7. Rüzgar Potansiyel Analizi

Bir bölgede rüzgar türbinlerin kurulması için o bölgede bir yıl süreyle ($365 \times 24 = 8760$ saat) yapılan rüzgar hız ve yön ölçümleri gerekmektedir. Daha güvenilir bir hesaplama için rüzgar türbinleri kurulacak bölgenin on yıllık rüzgar verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süre çok uzun bir süre olduğundan; bir yıllık rüzgar verileri Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımı başta olmak üzere, çeşitli istatistiksel metotlar, yatırımcılar tarafından kullanılarak bölgenin rüzgar potansiyeli analiz edilmektedir (Durak ve Özer, 2008,; Arıkan ve Çam, 2017).

3.7.1. Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu; ilk olarak Waloddi Weibull tarafından 1951 yılında, makinelerin yaşam sürelerini tahmin etmek maksatıyla soyadını vererek meydana çıkarmış olduğu bir dağılım formülü olup, günümüzde bu dağılım daha esnek ve sade yapısı nedeniyle, veri analizlerinde ve mühendislik alanlarında yer alan çeşitli istatistiksel modellerde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Zeytinoğlu, 2009). Bu nedenle; iki parametreden (c ve k) oluşan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu $f_w(v)$, esneklik ve sadeliğinden dolayı ekseriyetle rüzgar enerji potansiyelinin hesaplamalarında en çok kullanılan matematiksel bir yöntemdir ve

$$f_W(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, \quad v > 0, \quad k > 0, \quad c > 0 \quad (3.17)$$

olarak verilmektedir (Durak ve Özer, 2008; Arıkan ve Çam, 2017). Burada, v rüzgar hızı (m/s), k şekil parametresini, c ölçek parametresini ve $f_W(v)$ ise, rüzgar hızı Weibull olasılık yoğunluğu fonksiyonunu ifade etmektedir (Durak ve Özer, 2008; Köse, vd., 2015). Weibull kümülatif olasılık dağılım fonksiyonunu $F_R(v)$ ise aşağıdaki şekilde verilmektedir (Durak ve Özer, 2008; Arıkan ve Çam, 2017):

$$F_W(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (3.18)$$

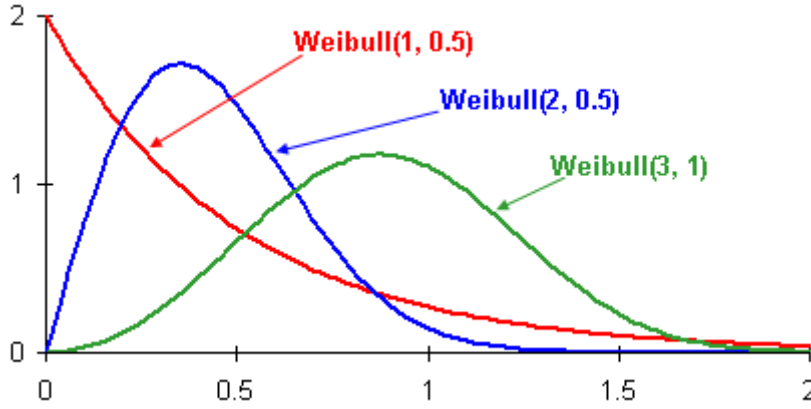
Şekil parametresi k ; rüzgâr hızı dağılım şeklini, yani rüzgar esme sıklığını gösteren bir parametredir (Durak ve Özer, 2008). Bir arazide rüzgar hızı hemen hemen sabit bir hızla esiyorsa, yani çok fazla değişim göstermiyorsa, rüzgar hızı düşük veya hızlı olabilir ve bu durumda k değeri büyük olur; öte yandan bağıl kümülatif rüzgar hızı frekansını gösteren bir parametre olan ölçek parametresi c ise, ortalama rüzgar hızına bağlı olarak değişmektedir, yani ortalama hız yüksek değer aldığı anda, c parametreside yüksek değer almaktadır (Şekerci, vd., 2016). $k = 1$ olduğunda Weibull dağılımı, üstel dağılım verir. k ve c değerlerini bulmak için arazinin rüzgar verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. σ_v , N veri sayısı, i . rüzgar hızı v_i ve ortalama rüzgar hızı v_{ort} olmak üzere, ölçülen rüzgar hızlarına ait standart sapma, şekil ve ölçek parametreleri aşağıdaki bağıntılar ile verilir (Şekerci, vd., 2016):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (v_i - v_{ort})^2}{N-1}} \quad (3.19)$$

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{v_{ort}}\right)^{-1,086} \quad (3.20a)$$

$$c = v_{ort} \left(0,568 + \frac{0,433}{k}\right)^{-\frac{1}{k}} \quad (3.20b)$$

Değişik rüzgar hız değerleri için Weibull dağılımı grafikleri Şekil 61’de verilmiştir (Anonim, 2017g).



Şekil 61. Weibull dağılımının değişik ortalama rüzgar hız değerlerindeki grafiği (Anonim, 2017g).

3.7.2. Rayleigh Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak ifade edilen Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu; Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ifadesinde, şekil parametresinin 2 ($k = 2$) olarak alınması durumuna karşılık gelmektedir (Zeytinoğlu, 2009; Şekerci, vd., 2016). Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu; sadece c ölçü parametresi ile rüzgar hızının karakteristiğinin belirlenmesi için hassas ve yeterli görüldüğünden, rüzgar verilerin analizinde Rayleigh istatistiksel yöntemide kullanılmaktadır (Durak ve Özer, 2008; Arıkan ve Çam, 2017). Rayleigh dağılımında bilinmeyen parametre sadece ortalama hız değeridir ve Rayleigh dağılımı fonksiyonu $f_R(v)$ aşağıdaki bağıntı ile verilir (Zeytinoğlu, 2009; Şekerci, vd., 2016; Arıkan ve Çam, 2017):

$$f_R(v) = \frac{2v}{c^2} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^2} \quad (3.21)$$

Rayleigh dağılım fonksiyonunda c ölçek parametresi ve ortalama rüzgar hızının arasındaki bağıntı,

$$v_{ort} \cong 0,886 \cdot c \quad \text{veya} \quad c \cong \frac{2v_{ort}}{\sqrt{\pi}} = 1,128 \cdot v_{ort} \quad (3.22)$$

“Denklem 3.21”de c yerine $\frac{2v}{\sqrt{\pi}}$ değeri konulursa, aşağıdaki Rayleigh dağılım fonksiyonu elde edilir (Arıkan ve Çam, 2017):

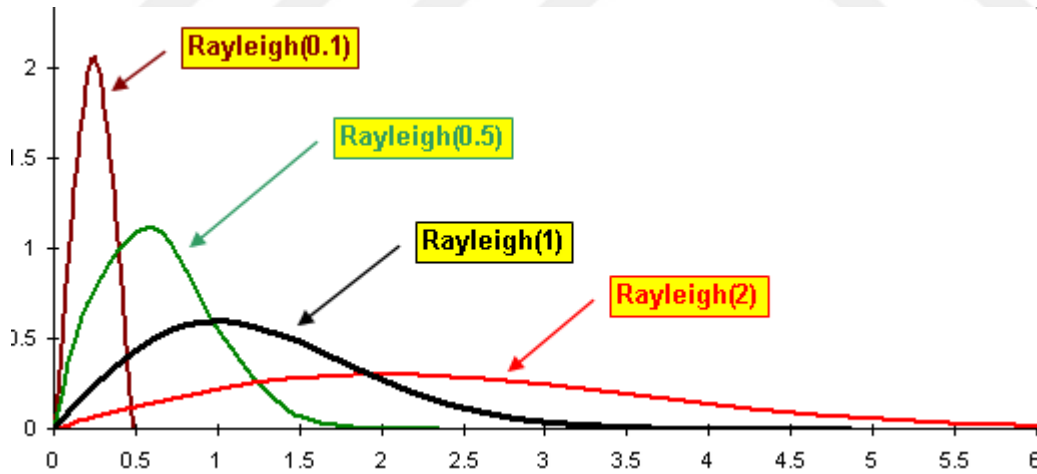
$$f_R(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{v_{ort}^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_{ort}} \right)^2} \quad (3.23)$$

Bu denklemde, v rüzgar hızını, v_{ort} ortalama hızı ve $f_R(v)$ rüzgar hızı Rayleigh olasılık yoğunluğu fonksiyonu ifade etmektedir (Köse, vd., 2015; Arıkan ve Çam, 2017). Rayleigh olasılık yoğunluğu fonksiyonu kullanılarak, ölçüm yapılan bölgede en sık esen rüzgar hızı ve maksimum enerji katkısı sağlayan rüzgar hızı değerleri, sırası ile, aşağıdaki bağıntılar ile belirlenir (Arıkan ve Çam, 2017):

$$v_{f maks} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} v_{ort} \quad (3.24)$$

$$v_{Emaks} = \sqrt{\frac{\kappa}{2}} = 2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} v_{ort} = 2 v_{f maks} \quad (3.25)$$

Değişik rüzgar hız değerleri için Rayleigh dağılım fonksiyonu grafiği Şekil 62’da verilmiştir (Anonim, 2017h).



Şekil 62. Rayleigh dağılımının değişik ortalama rüzgar şiddetlerindeki grafiği (Anonim, 2017h).

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu $f_W(v)$ ya da Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu $f_R(v)$ ile rüzgar türbininin enerji üretim fonksiyonu $f_T(v)$ kullanılarak T_p periyodu süresince (yıllık üretim için $T_p = 24 \times 365 = 8.760$ saat) üretilecek rüzgar enerjisi;

$$E_{Toplam} = T_p \int_{v_{min}}^{v_{mak}} f_{W,R}(v) \cdot f_T(v) \cdot dv \quad (3.26)$$

denklemleri ile hesaplanır (Şekerci, vd., 2009).

Rüzgar türbinlerinin uzun ömürlü olması kriterlerinden biride türbülans olup, bu amaçla rüzgar türbinlerinin kurulacağı yerin türbülans yoğunluğunun hesaplanmasına önem verilir. Şekil parametresi k ile ilişkili olan türbülans yoğunluğu,

$$I = \frac{\sigma_v}{v_{ort}} = k^{-\frac{1}{1,086}} \quad (3.27)$$

ile hesaplanır ve türbülans yoğunluğunun 0,25 değerinden çok büyük ($I \leq 0,25$) olmamalıdır (Köse, vd., 2014). Türbülans yoğunluğunun 0,25 değerinden daha büyük sahalar yüksek türbülans yoğunluklu bölgeler olarak adlandırılır. Türbülans yoğunluğunun yüksek olması, özellikle rüzgar türbinine etki eden kuvvetlerin etkisinin daha da artarak malzeme yorulmasına ve ekonomik ömrünün azalmasına yol açar (Köse, vd., 2014). Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile yeni nesil rüzgar türbinleri yüksek türbülans yoğunluğunda da çalışabilen türbinler geliştirilmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Dardanos Yerleşkesinin Konumu ve Elektrik Tüketimi

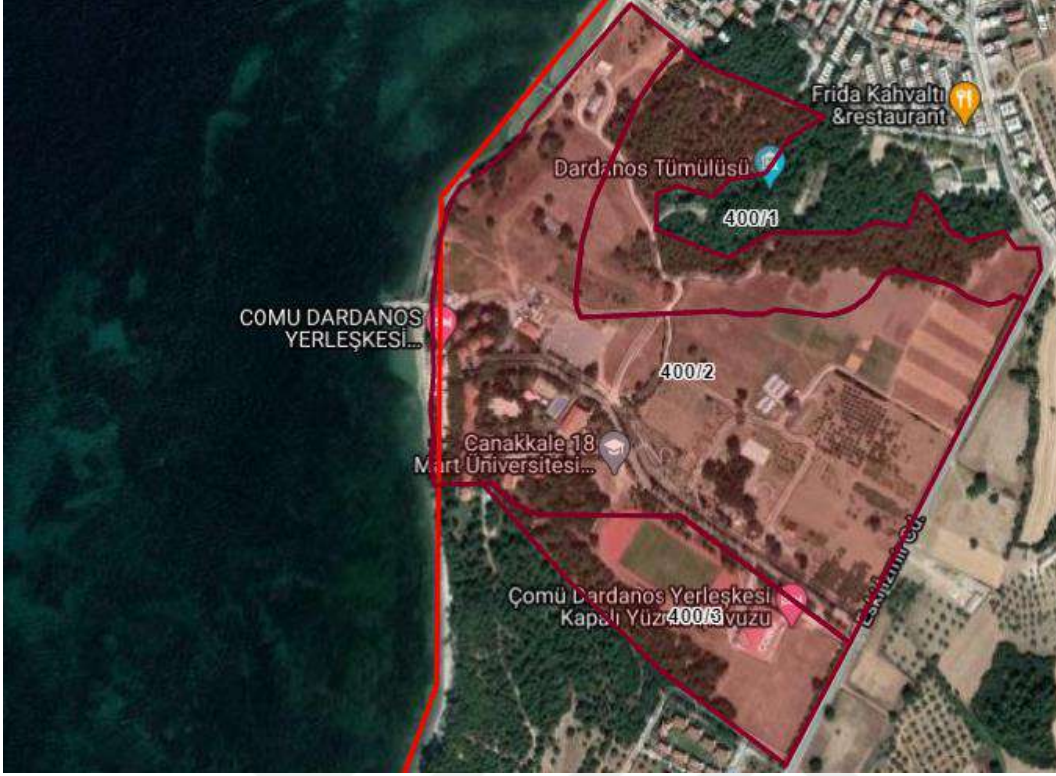
Rüzgar enerji yatırımlarında ön fizibilite çalışmaları için ön görülen 50 m hub yüksekliği için gerekli olan minimum 7 m/s rüzgar hızı, enerji yoğunluğu ve % 35 kapasite faktörü gibi kritik değerleri ziyadesiyle karşılayan Çanakkale il merkezi ve ilçeleri, aynı zamanda güneş enerji yatırımlarında önemli yer tutan güneş ışınım değeri ve güneşlenme süresi açısından son yıllarda öne çıkan iller arasında yer almaktadır (Durak ve Özer, 2008; GMKA, 2017). Yıllık ortalama güneşlenme süresi bakımından 3. sırada ve yıllık ortalama global ışınım değeri açısından 6. Sırada olan il merkezi ve ilçelerine ait veriler Tablo 11’de verilmiştir (GMKA, 2017).

Tablo 11

Çanakkale ilçeleri yıllık ortalama güneşlenme süreleri ve yıllık ortalama global ışınım değerleri (GMKA, 2017)

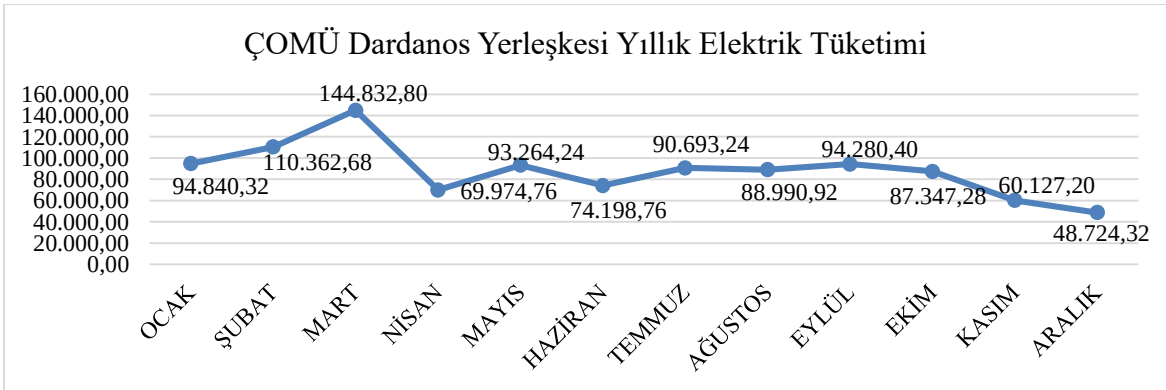
SN	İlçeler	Yıllık Ortalam Güneşlenme Süresi Saat	Yıllık Ortalam Global Işınım Değeri kWh/m ² .yıl
1	Ezine	3.188	1.300
2	Ayvacık	3.165	1.356
3	Merkez	2.838	1.375
4	Eceabat	2.835	1.279
5	Bayramiç	2.810	1.410
6	Çan	2.744	1.397
7	Lapseki	2.726	1.378
8	Gelibolu	2.699	1.368
9	Yenice	2.683	1.408
10	Biga	2.671	1.376

Jeotermal enerji ve biyogaz potansiyeli yanında özellikle rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi potansiyelleri açısından oldukça iyi bir coğrafi konuma sahip olan Çanakkale il merkezine yaklaşık 13 km uzaklıkta olan ve Güzelyalı ile Dardanos yerleşimleri arasındaki koyun kıyısında yer alan ve 371,2 dönüm alana sahip Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesi’inde yarı olimpik yüzme havuzu, turizm amaçlı konaklama tesisi, lojmanlar, araştırma ve eğitim amaçlı tesisler ile uygulamaya yönelik tarım arazisinden oluşmaktadır (Şekil 63).



Şekil 63. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesi

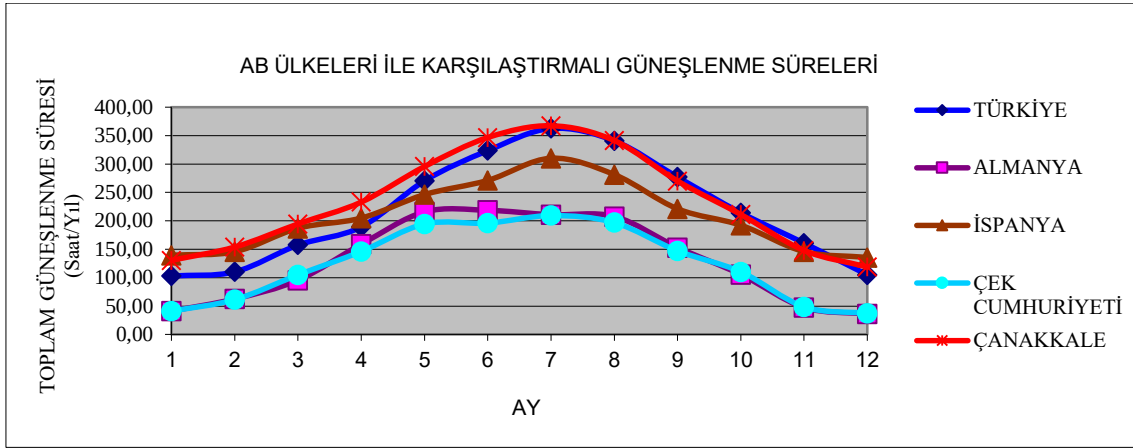
Dardanos Yerleşkesi'nde yıllık elektrik tüketimi yaklaşık 1 GWh civarında olup, ortalama aylık tüketim 90 MWh olarak gerçekleşmektedir (Şekil 64). Bu tüketimin mali boyutu yaklaşık olarak 900.000 TL civarındadır. Bu nedenle; Yeşil Kampüs proje çalışmaları bağlamında, Dardanos Yerleşkesi'nde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi çevre ve doğa dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması önem kazanmaktadır. Ayrıca; Üniversitemiz Dardanos Yerleşkesinin elektrik harcamalarında önemli oranda tasarruf yapılması yanında çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlanması bakımından da dikkate değer avantajlar elde edilecektir.



Şekil 64. Dardanos Yerleşkesi'nin yıllık elektrik tüketimi.

4.2. Dardanos Yerleşkesinin Güneş Enerji Potansiyeli

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ana kampüsü Terzioğlu Yerleşkesine Batı yönünde yaklaşık 10 km uzaklıkta ve deniz kıyısında yer alan Dardanos Yerleşkesi için elde edilen güneş ışınımına ve güneşlenme sürelerine ait değerler irdelendiğinde, güneş enerji potansiyeli açısından oldukça iyi konumda olduğu görülmektedir (Şekil 65).



Şekil 65. Bazı Avrupa ülkeleri ve Türkiye ile Çanakkale ilinin güneşlenme sürelerinin karşılaştırılması (Soykan ve Güder, 2014; GEPA, 2021).

Dardanos yerleşkesinde yer alan ve 1.447 m² alan kaplayan ÇOMÜ Dardanos Yarıolimpik Yüzme hazuzu'nun çatısı gerek alan ve gerekse konum itibarıyla çatı tipi güneş paneli kurulumu açısından oldukça uygun olup, örnek tesis olarak ele alınmıştır (Şekil 66).



Şekil 66. ÇOMÜ Dardanos Yarıolimpik Yüzme Havuzu Tesis

Güneş ışıınım ölçümü ve güneş enerjisinden elektrik üretimine dair hesaplama sitelerinden temin edilen verileri kullanılarak yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda yüzme havuzunun çatısına $270 W_p$ güçte 722 panelden oluşan yaklaşık 195 kW güçte fotovoltaik sistem kurulabileceği görülmüş ve bu sistemden yılda tahminen 307.000 kWh elektrik üretilebileceği hesaplanmıştır. Enerji Piyasası Denetleme Kurumunun 2021 yılı 2. çeyrek tarife tablolarından (EPDK, 2021) elektrik alış fiyatı (55 krs/kWh), yıllık zam oranı (% 10), panellerin yıllık enerji düşüşü (% 0,7) ve tesisin yıllık işletme gideri yaklaşık 6.000 TL olduğu göz önüne alındığında yaklaşık 901.000 TL ye maal olacak söz konusu tesisin minimum 25 yıllık işletme süresi içerisinde kendini yaklaşık 5,5 yılda amorti edeceği ön görülmektedir (Tablo 12).

Tablo 12

Güneş Enerji tesisin yatırım amortisman tablosu

Yıl	Üretim Yılı	Elektrik Alış Fiyatı (TL)	Yıllık Üretim (kWh)	Yıllık Gelir (TL)	Yatırım Amortisman Durumu (TL)
1	2021	0,55	307.000,00	168.850,00	-901.000,00
2	2022	0,61	304.851,00	184.434,86	-733.150,00
3	2023	0,67	302.717,04	201.458,19	-549.715,15
4	2024	0,73	300.598,02	220.052,78	-349.256,95
5	2025	0,81	298.493,84	240.363,66	-130.204,17
6	2026	0,89	296.404,38	262.549,22	109.159,49
7	2027	0,97	294.329,55	286.782,51	370.708,71
8	2028	1,07	292.269,24	313.252,54	656.491,22
9	2029	1,18	290.223,36	342.165,75	968.743,76
10	2030	1,30	288.191,79	373.747,65	1.309.909,51
11	2031	1,43	286.174,45	408.244,56	1.682.657,16
12	2032	1,57	284.171,23	445.925,53	2.089.901,71
13	2033	1,73	282.182,03	487.084,45	2.534.827,24
14	2034	1,90	280.206,76	532.042,35	3.020.911,69
15	2035	2,09	278.245,31	581.149,86	3.551.954,04
16	2036	2,30	276.297,59	634.789,99	4.132.103,90
17	2037	2,53	274.363,51	693.381,11	4.765.893,89
18	2038	2,78	272.442,97	757.380,18	5.458.275,00
19	2039	3,06	270.535,87	827.286,37	6.214.655,18
20	2040	3,36	268.642,11	903.644,91	7.040.941,55
21	2041	3,70	266.761,62	987.051,33	7.943.586,46
22	2042	4,07	264.894,29	1.078.156,17	8.929.637,79
23	2043	4,48	263.040,03	1.177.669,98	10.006.793,96
24	2044	4,92	261.198,75	1.286.368,92	11.183.463,94
25	2045	5,42	259.370,36	1.405.100,77	12.468.832,86

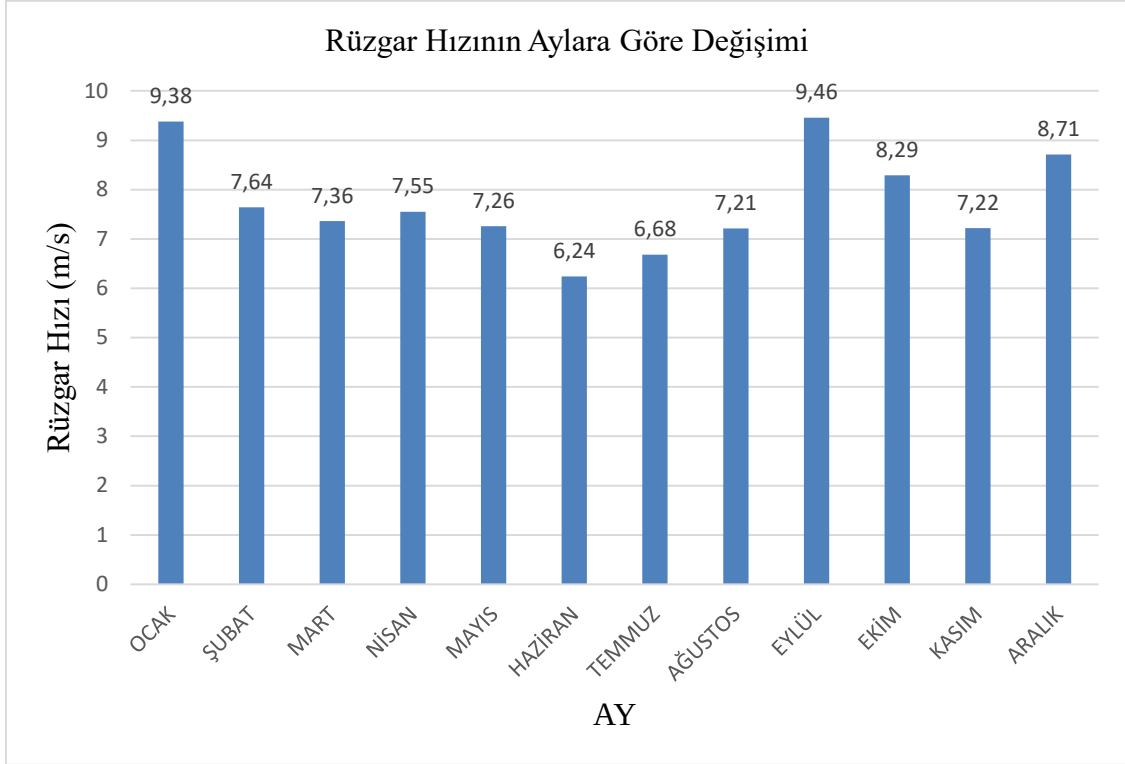
4.3. Dardanos Yerleşkesinin Rüzgar Enerji Potansiyeli

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi kampüslerinden Dardanos Yerleşkesi için rüzgar türbini için en uygun konumlardan biri Şekil 67’de gösterilmiştir.

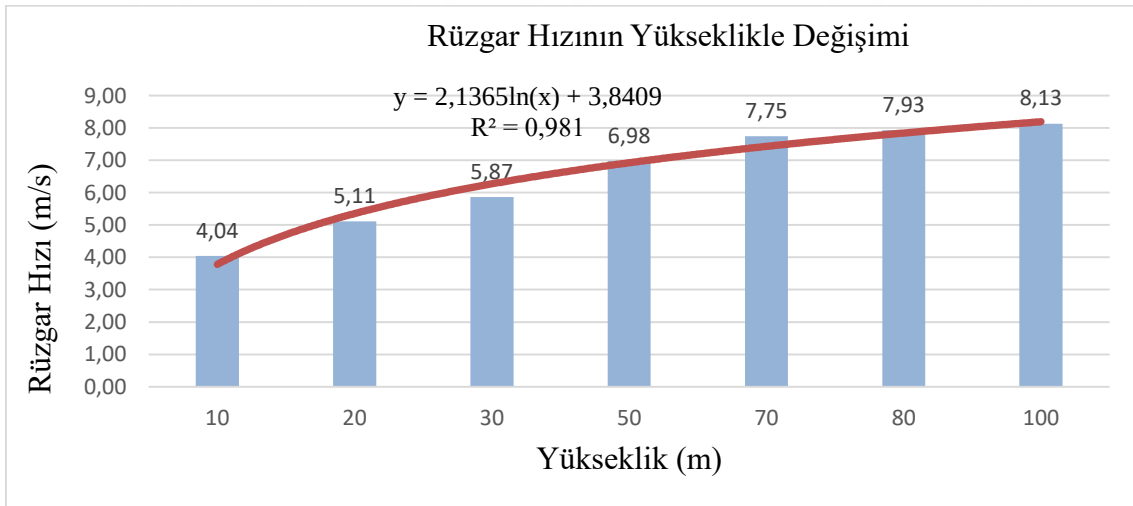


Şekil 67. ÇOMÜ Dardanos Yerleşkesi rüzgar türbini olası konumu.

Dardanos Yerleşkesinde rüzgar türbini kurulabilecek yerlerden biri olarak seçilen yerin 70 m yükseklik için bir yıllık rüzgar verilerinden elde edilen ortalama rüzgar hızlarının aylara göre değişimi Şekil 68’da ve bu konuma ait elde edilen yıllık rüzgar hız ortalamalarının yükseklikle değişimi Şekil 69’da verilmiştir. Örnek yer olarak seçilen sahanın 70 m yükseklik için ortalama rüzgar hızı 7,75 m/s ve standard sapma değeri ise 1,01067 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlerden sahanın türbülans yoğunluğu 0,13 olarak hesaplanmış olup, 0,25 değerinden oldukça küçük olması nedeniyle, seçilen yerin türbülans yoğunluğu açısından, rüzgar türbini kurulumu için uygun seçim olduğu görülmektedir.

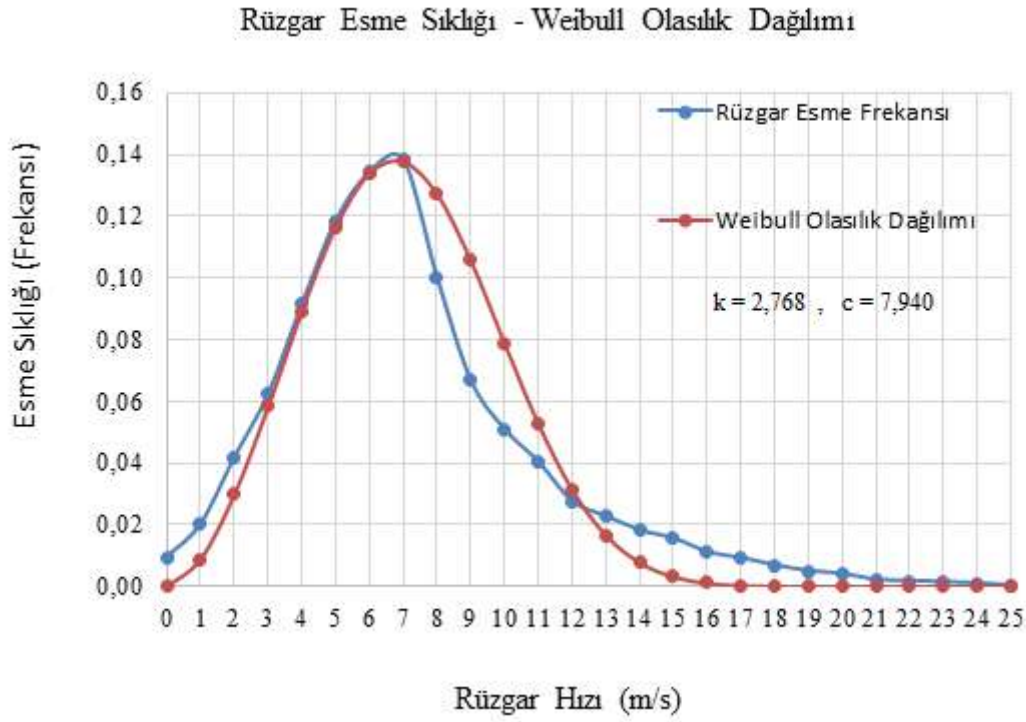


Şekil 68. Dardanos Yerleşkesinde seçilen sahanın 70 m yükseklik için yıllık rüzgar hızının aylara göre değişimi.



Şekil 69. ÇOMÜ Dardanos Yerleşkesi'nin yıllık ortalama rüzgar hızının yükseklikle değişimi.

Rüzgar türbini kurulumu için seçilen örnek yer için rüzgar esme frekansı ve Weibull analizi Şekil 70'de verilmiştir.



Şekil 70. Dardanos Yerleşkesi örnek rüzgar türbini sahasının rüzgar esme frekansı ve Weibull olasılık dağılımı.

Enerji Piyasası Denetleme Kurumunun 2021 yılı 2. çeyrek tarife tablolarından (EPDK, 2021) elektrik alış fiyatı (55 krş/kWh), yıllık zam oranı (% 10), ve rüzgar enerji türbininin yıllık işletme gideri kurulum maliyetinin % 1 – 2 civarı ve yıllık bakım masrafının da kurulum maliyetinin yaklaşık %20 olduğu göz önüne alındığında yaklaşık 10.150.000 TL ye maal olacak söz konusu rüzgar türbin tesisinin 30 yıllık işletme süresi içerisinde kendini yaklaşık 5 - 6 yılda amorti edeceği ön görülmektedir (Tablo 4.3).

Tablo 13

Rüzgar türbininin yatırım amortisman tablosu

Yıl	Üretim Yılı	Elektrik Alış Fiyatı (TL)	Yıllık Üretim Değeri (kWh/yıl)	Yıllık Elde Edilen Gelir (TL)	Yatırımın Amorti Tablosu (TL)
1	2021	0,55	3.578.000	1.967.900	-10.150.000
2	2022	0,61	3.578.000	2.182.580	-8.282.100
3	2023	0,67	3.578.000	2.397.260	-6.199.520
4	2024	0,73	3.578.000	2.611.940	-3.902.260
5	2025	0,81	3.578.000	2.898.180	-1.390.320
6	2026	0,89	3.578.000	3.184.420	1.407.860
7	2027	0,97	3.578.000	3.470.660	4.492.280
8	2028	1,07	3.578.000	3.828.460	7.862.940
9	2029	1,18	3.578.000	4.222.040	11.591.400
10	2030	1,30	3.578.000	4.651.400	15.713.440
11	2031	1,43	3.578.000	5.116.540	20.264.840
12	2032	1,57	3.578.000	5.617.460	25.281.380
13	2033	1,73	3.578.000	6.189.940	30.798.840
14	2034	1,90	3.578.000	6.798.200	36.888.780
15	2035	2,09	3.578.000	7.478.020	43.586.980
16	2036	2,30	3.578.000	8.229.400	50.965.000
17	2037	2,53	3.578.000	9.052.340	59.094.400
18	2038	2,78	3.578.000	9.946.840	68.046.740
19	2039	3,06	3.578.000	10.948.680	77.893.580
20	2040	3,36	3.578.000	12.022.080	88.742.260
21	2041	3,70	3.578.000	13.238.600	100.664.340
22	2042	4,07	3.578.000	14.562.460	113.802.940
23	2043	4,48	3.578.000	16.029.440	128.265.400
24	2044	4,92	3.578.000	17.603.760	144.194.840
25	2045	5,42	3.578.000	19.392.760	161.698.600
26	2046	5,96	3.578.000	21.324.880	180.991.360
27	2047	6,55	3.578.000	23.435.900	202.216.240
28	2048	7,21	3.578.000	25.797.380	225.552.140
29	2049	7,93	3.578.000	28.373.540	251.249.520
30	2050	8,72	3.578.000	31.200.160	279.523.060

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kurumların üstlendikleri görevler ve yapmaları gereken işler göz önüne alındığında çeşitli gereksinimlerinin başında enerji ihtiyacı önemli yer tutmaktadır. Kurumlar belirledikleri misyonları ve vizyonları doğrultusunda ortaya koydukları amaçları yerine getirmek ve hedeflerine ulaşabilmek için çeşitli araç, gereç, cihaz ve donanımları kullanma zorunlulukları nedeniyle enerjiye, özellikle elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Son yıllarda karşılaşılan çevre kirliliği ve sera gazı etkileri göz önüne alınarak bir çok kurum ve kuruluş enerji gereksinimlerini kömür, petrol ve doğal gaz gibi çevreye önemli miktarda CO₂, NO_x, SO_x salan fosil kaynaklardan daha çok çevre dostu güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaya önem vermekte ve özen göstermektedir. Çevre kirliliğini önlemeye yönelik getirilmekte olan ek vergilendirmelerin kurum ve kuruluşlara yükleyeceği ek mali yükümlülüklerde göz önüne alındığında, enerji gereksinimlerini karşılamak için çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar önem kazanmaktadır.

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinin tüm yerleşkeleri ve birimlerinde yıllık elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık 15 GWh değerine yaklaşması dikkate alındığında, yarıolimpik yüzme havuzunun, konaklama, araştırma, tarım alanları, seraların ve çeşitli işletme ve dinlenme tesislerinin yer aldığı yaklaşık 40 hektar alana kurulu olan Dardanos yerleşkesinin yıllık 1.000 MWh elektrik tüketimi göz önüne alındığında, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinin tüm yerleşkelerinde, bilhassa yüksek elektrik enerjisi tüketiminin olduğu kampüslerinde elektrik tüketimlerini çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasına yönelik çalışmaların yapılması yeşil kampüs anlayışı ile hem çevre duyarlılığı ve hem de ekolojik hassasiyetler gereğince ciddi önem taşımaktadır.

Son yıllarda Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi, Biga Prof. Dr. Ramazan Aydın Yerleşkesi gibi önemli ve büyük yerleşkelerde elektrik enerjisi tüketimlerinin güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyellerinden karşılanmalarına yönelik çeşitli projeler başlatılmış ve çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu bağlamda; bu çalışmanın başıca amacı, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesinin elektrik tüketimini güneş ve rüzgar enerji kaynaklarından karşılamaya yönelik olmak üzere yarıolimpik yüzme havuzunun çatısının çatı tipi fotovoltaik güneş panelleri ile kaplanması ve yine yerleşkedeki uygun yere rüzgar türbini kurulmasına yönelik ön fizibilite çalışması

yapılması olarak özetlenebilir.

Dardanos yerleşkesinde yer alan yariolimpik yüzme hazuzu çatısına kurulacak çatitipi fotovoltaik panellerden elde edilecek elektrik enerjisi ve yine yerleşkede seçilen örnek yere kurulacak rüzgar türbini elektrik enerji üretimlerine ve amarti sürelerine dair değerlendirme Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14

ÇOMÜ Dardanos Yerleşkesi güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi birleşik yatırım amortisman tablosu

Yıl	Üretim Yılı	Elektrik Alış Fiyatı (TL)	Yıllık Üretim Değeri (kWh/yıl)	Yıllık Elde Edilen Gelir (TL)	Yatırımın Amorti Tablosu (TL)
1	2021	0,55	3.885.000	2.136.750	-11.051.000,00
2	2022	0,61	3.882.851	2.367.015	-9.015.250,00
3	2023	0,67	3.880.717	2.598.718	-6.749.235,15
4	2024	0,73	3.878.598	2.831.993	-4.251.516,95
5	2025	0,81	3.876.494	3.138.544	-1.520.524,17
6	2026	0,89	3.874.404	3.446.969	1.517.019,49
7	2027	0,97	3.872.330	3.757.443	4.862.988,71
8	2028	1,07	3.870.269	4.141.713	8.519.431,22
9	2029	1,18	3.868.223	4.564.206	12.560.143,76
10	2030	1,30	3.866.192	5.025.148	17.023.349,51
11	2031	1,43	3.864.174	5.524.785	21.947.497,16
12	2032	1,57	3.862.171	6.063.386	27.371.281,71
13	2033	1,73	3.860.182	6.677.024	33.333.667,24
14	2034	1,90	3.858.207	7.330.242	39.909.691,69
15	2035	2,09	3.856.245	8.059.170	47.138.934,04
16	2036	2,30	3.854.298	8.864.190	55.097.103,90
17	2037	2,53	3.852.364	9.745.721	63.860.293,89
18	2038	2,78	3.850.443	10.704.220	73.505.015,00
19	2039	3,06	3.848.536	11.775.966	84.108.235,18
20	2040	3,36	3.846.642	12.925.725	95.783.201,55
21	2041	3,70	3.844.762	14.225.651	108.607.926,46
22	2042	4,07	3.842.894	15.640.616	122.732.577,79
23	2043	4,48	3.841.040	17.207.110	138.272.193,96
24	2044	4,92	3.839.199	18.890.129	155.378.303,94
25	2045	5,42	3.837.370	20.797.861	174.167.432,86

Tablo 14'den de görüleceği üzere Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesinde kurulacak ve tahminen 30 yıllık işletme ömrünün olacağı ön görülen çatı tipi fotovoltaik güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi sistemleri birlikte yaklaşık 5,5 yıl içerisinde kendini amorti edecek ve geri kalan işletme süresi boyunca CO₂ gazı salımı başta olmak üzere sağlayacağı emisyon azalımına katkıları yanında ciddi miktarlarda gelir sağlayacaktır.

Sonuç olarak; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinin yerleşkelerinin elektrik tüketimlerinin güneş ve rüzgar gibi doğa dostu yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması potansiyellerine dair çalışmaların yaygınlaştırılması ve hayata geçirilmesi çevre sağlığı, ekonomi ve ekolojik anlamda artan öneme sahiptir.



KAYNAKÇA

Abuşka, M. (2016). ‘‘Güneş Enerjisi ve Uygulamaları’’ Derse Notları.

http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf

Aksoy, R. (2009). Rüzgar Gücü

<http://www.cevreciyiz.com/makale-detay/705/ruzgarin-gucu>

RETKB (2018). Türkiye Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanl. Erişim: 21 Kasım

2018, [https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes'ten alındı](https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes'ten%20alindi).

Aksungur, K. M., Kurban, M. ve Filik, Ü. B. (2013). Türkiye'nin Farklı

Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi.

http://www.emo.org.tr/ekler/4e2e247969185c8_ek.pdf

Aktacir, M. A. (2009). Güneş Enerjisi İle Elektrik Enerjisi Üretimi.

http://eng.harran.edu.tr/~aktacir/MARDIN_PV.pdf

Akyol, T. (2011). Güneş Enerjisi.

http://w3.balikesir.edu.tr/~akyol/gunes_enerjisi_vize.pdf

<https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Yenilenebilir-Enerji-Arastirmasi.pdf>

Alkan, A. (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Beslenen Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Anonim, 2002. Rüzgar Enerjisi

<https://web.itu.edu.tr/~kaymak/windpower.html> (Erişim tarih: 31.10.2020)

<https://web.itu.edu.tr/~kaymak/windpower.html> (Erişim tarih: 31.10.2020)

Anonim, 2006. Çanakkale Rüzgar Enerjisi Merkezi Olacak:

<http://m.bianet.org/bianet/cevre/84437-canakkale-ruzgar-enerjisi-merkezi-olacak>
(Erişim tarih: 21.01.2019)

Anonim, 2008a. Zorlanmış Dolaşımli Sistemler.

<http://www.guinessistemleri.com/zorlanmis.php> (Erişim tarih: 09.04.2019)

Anonim, 2008b. Güneş Enerji Sistemleri

<http://www.guinessistemleri.com/vakum-tuplu.php> (Erişim tarih: 09.04.2019)

Anonim, 2008c. <http://www.guinessistemleri.com/potansiyel.php> (Erişim tarih:

09.04.2019).

Anonim, 2011. Solar Enerji (Güneş Enerjisi) ve Solar Paneller (Güneş

Panelleri). <https://forum.donanimhaber.com/solar-enerji-gunes-enerjisi-ve-solar-paneller-gunes-panelleri--48933383#48933383> (Erişim tarih: 02.06.2019)

Anonim, 2012. Güneş Pilleri Nasıl Çalışır?

<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-pilleri-nasil-calisir/10272>
(23.10.2019)

Anonim, 2013a. Rüzgar Ölçen Alet Nedir.

<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?s=4#:~:text=Meteorolojide%20Kullan%C4%B1lan%20Alet%20ve%20Cihazlar&text=Meteorolojik%20ama%C3%A7%C4%B1%20r%C3%BCzgar%20%C3%B6l%C3%A7%C3%BCmleri%20a%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1daki,direkt%20olarak%20%C3%96l%C3%A7me%20i%C5%9Finde%20kullan%C4%B1l%C4%B1r> (Erişim tarih: 17.04.2019)

Anonim, 2013b. Inverter Solar Energy.

<http://serkanyilmaz03.blogspot.com/2013/05/anemometre.html> (Erişim tarih: 21.04.2019)

Anonim, 2014. Coğrafya Dünyası. <http://www.cografya.gen.tr/egitim/matcog/turkiye-nin-konumu.htm> (Erişim tarih:24.04.2019)

Anonim, 2015a. Rüzgar Nasıl Oluşur? <https://www.sozcu.com.tr/2015/gunun-icinden/ruzgar-nasil-olusur-991560/>

(09.04.2019)

Anonim, 2015b. Sunlink 150 Watt Monokristal Güneş Paneli.

http://www.utkutech.com/index.php?route=product/product&product_id=118

(Erişim tarih: 02.06.2019)

Anonim, 2016a. Güneş Enerjisi Teknolojileri ve Isıl Uygulamalar.

<https://www.tesisat.org/gunes-enerjisi-teknolojileri-ve-isil-uygulamalar.html>

(08.02.2021)

Anonim, 2016b.

http://www.asu.com.tr/u.asp?s=205&d=120&Off_Grid_Sistem (Erişim tarih:

09.04.2019)

Anonim, 2016c. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Haritası Bölge İl Güneşlenme Süreleri.

<https://www.powerenerji.com/turkiye-gunes-enerjisi-potansiyel-haritasi-bolge-il-guneslenme-sureleri.html> (Erişim tarih: 08.12.2018)

Anonim, 2016d. Çanakkale İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli-Çanakkale İli Özel Tanıtım

Sitesi. <http://www.canakkaleili.com/canakkale-ili-ruzgar-enerjisi-potansiyeli.html>

(Erişim tarih: 18.01.2019)

Anonim, 2017a. Necron Energy. Enerji Nedir?

<http://www.necron.com.tr/blog/enerjinedir?fbclid=IwAR0h1mxILdsDTKwuruXnV>

hsdUz6Vh7qVyKW2SIDMW6J2Mpw5bgURoLQyTQ (Erişim tarih: 12.11.2020)

Anonim, 2017b. Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı ve Potansiyeli Değeri,

<http://ekolojist.net/turkiyede-gunes-enerjisi-kullanimi-potansiyel-degeri/>

(21.09.2019)

Anonim, 2017c. GMKA (Güney Marmara Kalkınma Ajansı), Çanakkale Enerji Sektörü Yatırım Rehberi.

<https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Canakkale-Enerji-Yatirim-Rehberi.pdf>

<http://www.investincanakkale.com/tr/26974/CANAKKALEDE->

YENILENEBİLİR-ENERJİ (Erişim tarih: 16.01.2019)

Anonim, 2017d. Yoğunlaştırılmış solar enerji sistemleri güneş Depoluyor.

<https://www.kilsanblog.com/yesil-cevre-ci-ekolojik/yogunlastirilmis-solar-enerji-sistemleri-gunes-depoluyor/> (Erişim tarih: 02.06.2019)

Anonim, 2017e. Coriolis Kuvveti Nedir? Nasıl Ortaya Çıkar?

<https://www.simsekblog.com/2017/12/coriolis-kuvveti-nedir-nasl-ortaya-ckar.html>
(Erişim tarih: 09.04.2019)

Anonim, 2017f. 9 Mayıs 2019, Snowserkan İle Havaya Dair Her şey.

<https://snowserkan.wordpress.com/2017/08/18/siklon-nedir/> (Erişim tarih: 09.04.2019)

Anonim, 2017g. 6 Kasım 2019. Weibull Distribution.

<https://www.vosesoftware.com/riskwiki/Weibulldistribution.php> (Erişim tarih: 06.11.2019)

Anonim, 2017h. Rayleigh Distribution.

<https://www.vosesoftware.com/riskwiki/Rayleighdistribution.php> (Erişim tarih: 06.11.2019)

Anonim, 2018a. Rüzgar Enerjisi Kullanım Alanları.

<http://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-kullanim-alanlari/> (Erişim tarih: 15.04.2019)

Anonim, 2018b. Dünyada Güneş Enerjisi, <https://www.enerji.gen.tr/dunyada-gunes-enerjisi.html> (Erişim tarih: 11.02.2019)

Anonim, 2018c. Güneş Sürdürülebilirliğini Sağlamak, Güneş Enerjisi Yol Haritası, GÜNDER.

<https://gunder.org.tr/wp-content/uploads/G%C3%BCne%C5%9Fin-Yol-Haritas%C4%B1-Rapor-KAPAK.pdf> (Erişim tarih: 12.02.2019)

Anonim, 2018d. Dünya Güneş Enerji Haritası.

<https://www.enerji.gen.tr/dunyada-gunes-enerjisi.html> (Erişim tarih: 20.04.2019)

Anonim, 2018e. Esnek Güneş Paneli Nedir?

<https://www.enerjimgunesten.com/esnek-gunes-paneli-nedir.html> (Erişim tarih: 08.04.2019)

Anonim,2018f. Go Enerji, Güneş Enerjisi Hakkında, Güneş Enerjisi, Güneş Işığında Elektrik Üretimi Teknolojisi.

<https://www.goenerji.com.tr/Gunes-Enerjisi-Hakkinda.aspx> (Erişim tarih: 17.04.2019)

Anonim, 2018g. Mono Kristal Güneş Paneli Nedir?

<https://www.enerjimgunesten.com/monokristal-gunes-paneli-nedir.html> (Erişim tarih: 02.04.2019)

Anonim, 2018h. Polikristal Güneş Paneli Nedir?

<https://www.enerjimgunesten.com/polikristal-gunes-paneli-nedir.html> (Erişim tarih: 08.04.2019)

Anonim, 2018i. 7 Mayıs 2019, İnce Film Güneş Paneli Nedir?

<https://www.enerjimgunesten.com/ince-film-gunes-paneli-nedir.html> (Erişim tarih: 07.04.2019)

Anonim, 2018j. Rüzgar enerjisi Güç Hesabı.

<http://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-guc-hesabi/> (Erişim tarih: 10.04.2019)

Anonim, 2019a. Monokristal Güneş Paneli Polikristal Farkı.

<https://www.powerenerji.com/monokristal-gunes-paneli-polikristal-farki.html> (Erişim tarih: 02.06.2019)

Anonim, 2019b. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM).

<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=10>

<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaetler.aspx?s=4> (Erişim tarih: 17.04.2019)

Anonim 2019c. Organik Güneş Hücreslerinde Verimlilik Artıyor.

https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_UNP3Z2FPyIJ:https://www.mmo.org.tr/istanbul/haber/organik-gunes-hucrelerinde-verimlilik-artiyor+%&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=tr (Erişim tarih: 15.10.2019)

Arıkan, Y. ve Çam, E. (2017). Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9 (1), 1-10.

https://www.researchgate.net/publication/320197667_Ruzgar_ve_Gunes_Enerjisi_Sistemlerinin_Fizibilite_Analizlerinin_Web_Tabaninda_Gercekleştirilmesi

Ataseven, M. S. (2018). Türkiye Rüzgar Enerji İstatistik Raporu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB).

<https://www.enerjiekonomisi.com/2018-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-yayinlandi-ayrintilar-icin-tiklayiniz/5547/>

Ataseven, M. S ve Ataseven, S. (2018, 2019). Rüzgar Ölçüm Sistemleri

https://www.emo.org.tr/ekler/457ed884716a0c9_ek.pdf

Avcioğlu, A. O. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Dersi 5,

<https://docplayer.biz.tr/60603607-Yenilenebilir-enerji-kaynaklari-ve-teknolojileri-dersi5.html>

Ayık, S. (2017). Bölüm 4. Rüzgar Enerjisi. <https://silo.tips/download/blm-4-rzgar-enerjs?cv=1>

Baş, H. C. (2016). Fotovoltaik Sistemlerin Performans Değerlendirmesi, Bitirme Tezi.

http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/MekatronikProjeUygulamasi/38Fotovoltaik_Sistemlerin_Performans_Degerlendirmesi-Huseyin_Can_BAS.pdf

- Başkaya, Z. (2017). Bilecik İlinin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Metristepe Rüzgar Enerjisi Santrali. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (57), s. 253 - 276.
http://www.asosjournal.com/Makaleler/1572639507_13020%20Zafer%20BA%C5%99EKYA.pdf
- Bayrak, L. (2018). Çinlilerin Geliştirdiği Organik Güneş Pilleri Enerji Rekoru Kırdı.
<https://www.webtekno.com/cinlilerin-gelistirdigi-organik-gunes-pilleri-enerji-rekoru-kirdi-h51325.html>
- Betz, A. (1966). “Introduction to the Theory of Flow Mechanics” Trans. Randal, D.G., Oxford Pergamon Press.
https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law
- Bilirgen, Ü. (2018). KPMG, Enerji Sektörel Bakış, Dünyada ve Türkiye’de Eğilimler, Enerji ve Doğal Kaynakları.
<https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2018/02/sektorel-bakis-2018-enerji.pdf>
- BD, 2019. Bilgi Damlası. Rüzgar Enerjisi Nedir? Bu Enerjiden Nasıl Faydalanılır?
<http://savasuyar.com/ruzgar-enerjisi-nedir-bu-enerjiden-nasil-faydalanilir/?cv=1>
- Cezim, C. (2013). Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları, TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, Eğitim ve Seminer Etkinlikleri.
https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/department/elektrikelektronikmuhendisligi/EditorDERS/YElkEnrUrt/Fotovoltaik_Sistemler_ve_Uygulamaları.pdf
- Cilli, K. (2018). Fotovoltaik Panel Seçimi (Datasheet Detaylarını Anlamak)
<https://www.enerjiportali.com/fotovoltaik-panel-secimi-datasheet-detaylarini-anlamak/>
- Çalışkan, M. (2011). Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Mevcut Yatırımlar, Rüzgar Enerjisi ve Santralleri Semineri, Rahmi Koç Müzesi Konferans Salonu – İstanbul.

<https://www.tucsa.org/images/yayinlar/sunumlar/MUSTAFA-CALISKAN.pdf>

ÇES-EA (2019). Çanakkale Elektrik Santralleri-Enerji Atlası. Erişim: 18 Ocak 2019,
<https://www.enerjiatlası.com/sehir/canakkale/>

ÇGEPH (2019). Çanakkale Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası. Erişim: 04 Şubat 2019,
<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/canakkale>

Çolakoğlu, H. (2014). Güneş Paneli Nasıl Çalışır? || ElektrikPort Laboratuvar Eğitimleri.
<https://www.youtube.com/watch?v=JcQyTqE5OJ0>

Çoşkun, Ş. (2017). Güneş Pili Teknolojisinde Yeni Bir Umut: Perovskit Güneş Pilleri
<https://www.tespam.org/gunes-pili-teknolojisinde-yeni-bir-umut-perovskit-gunes-pilleri/>

Dağ, H. (2014). Türkiye’de ve Dünyada Güneş Enerjisi.
<https://enerjigunlugu.net/icerik/7278/turkiyede-ve-dunyada-gunes-enerjisi.html>.

Demircan, O. (2011). Çanakkale Yenilenebilir Enerji Cenneti.
<https://www.haberler.com/canakkale-yenilenebilir-enerji-cenneti-2512978-haberi/>

Demircan, R. K. ve Gültekin, A. B. (2017). Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin
İncelenmesi. Türk Bilim Araştırma Vakfı, 10 (1), 36 – 51.
<https://dergipark.org.tr/download/article-file/281830>

Demirkol, Z. (2013). Afyon Karahisar İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli.
Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Dermanlı, M. (2016). Rüzgar Türbinleri ve Çanakkale.
<https://www.birgun.net/haber-detay/ruzgar-turbinleri-ve-canakkale-113621.html>

Durak, M. ve Özer, S. (2008). Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama.Print book., Yayl. y.,
Ankara.

Durmaz, F., Akdeniz, R. C. ve Kömekçi, F. (2017). Fotovoltaik Enerji ile Tarımsal İşletmelerin Enerji Gereksiniminin Karşılanabilirliği: Manisa-Turgutlu Örneği. Tarım Makinaları Bilmi Dergisi, 13 (3) 193-199.

Dursun, E., Yazıcı, S., Kepoğlu, G., Eroğlu, M., Sevcen, S. ve Song, J. (2009). Rüzgar Güneş ve Hidrojen Enerji Sistemlerinden oluşan Mobil Ev, IV. Ulusal Hidrojen Enerjisi Kongresi ve Sergisi (Uluslararası Katılımlı) Bildiriler Kitabı, s. 199-204. 15 – 16. Ekim 2009, Kocaeli.

Dyrholm, M., Sawyer, S. ve Rebollo, A. (2018). Global Wind Report, Annual Market Update 2017, GWE
https://www.researchgate.net/publication/324966225_GLOBAL_WIND_REPORT_-_Annual_Market_Update_2017

Elibüyük, U., Yakut, A. K ve Üçgül, İ. (2016). Süleyman Demirel Üniversitesi Rüzgar Enerjisi Santrali Projesi, Yakarum Dergi, 3 (2), s. 4-5.
<https://dergipark.org.tr/download/article-file/327653>

EPDK (2021). T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.
<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>

Ercoşkun, Ö. Y ve Akünal, E. Ö. (2017). Çeşme-Urla Yarımadasında Sürdürülebilir Bölge Planlaması için Rüzgar Enerjisi Yatırımları. Çağdaş Yerel Yönetimler, 26 (1), 79-102.
<https://silo.tips/download/eme-urla-yarmadasnda-srdrlbilir-blge-planlamas-iin-rzgar-enerjisi-yatırlar>

Erdoğan, D. C ve Seçgin, B. (2008). Yenilenebilir Enerjiler,
<http://www.yildiz.edu.tr/~oscg/AlanegitimindeBitirmeProjeleri/YenilenebilirEnerjiler.pdf>

- Fatma, (2016). Rüzgar Nedir ve Çeşitleri,
<https://www.odevbitti.com/ruzgar-nedir-ve-cesitleri-80450/> (Erişim tarih:
09.05.2019)
- Fried, L. (2017). Global Wind Statistics 2016. Global Wind Energy Council (GWEC).
https://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2016_EN_WEB.pdf
- Fried, L. (2018). Global Wind Statistics 2017. Global Wind Energy Council (GWEC)
https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/dunya_res_durumu/gwec_wind_statistics.pdf
- Genç, Y. A. (2009). En Ucuz Enerji Tasarruf Edilen Enerjidir.
<https://yasinalperengenc.wordpress.com/2009/12/13/?cv=1>
- Gençel, H ve Tarhan, İ. (2019). Rüzgar Enerjisinin Önemli Geçiş Yerlerinden Olan
Çanakkale Bölgesindeki Bazı Rüzgar Enerji Santralleri İçin Kapasite Faktörü
İncelenmesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Dergisi, 5 (1), s. 120-139.
- GEPA (2020). Erişim: 14 Kasım 2020, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> EA (2021). Enerji Atlası. Erişim: 15 Ocak 2021.
<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>.
- GMKA (2017). Çanakkale Enerji Sektörü Yatırım Rehberi. Erişim: 30 Nisan 2021,
<https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Canakkale-Enerji-Yatirim-Rehberi.pdf>
- Görkey, A. (2013). Organik Güneş Pilleri. <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/organik-gunes-pilleri/8810#ad-image-0>
- ÇREPH-EA (2019). Çanakkale Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Haritası- Atlası. Enerji. Erişim:
16 Ocak 2019, <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/canakkale>
<https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/canakkalen>

- Güler, S. ve Ülger, P. (2014). Orta Ölçekli Hayvancılık İşletmelerinde Yenilenebilir Enerji Kullanım Olanakları ve Örnek bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi
<http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.11776/594/0046214.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iwasaki, T. (2016). Concentrator Photovoltaic (CPV) System.
<https://global-sei.com/company/sei-world/2016/07/product.html>
- İlkılıç, Z. (2016). Türkiye’de Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Sistemlerinin Gelişimi. Yaşam Bilimler Dergisi, 6 (2/2), s. 1-13.
<https://dergipark.org.tr/buyasambid/issue/29826/320977>
- Kahtalı, H. (2014). Güneş’ten Gelen Enerji Nasıl Dağılır?
<https://www.turksevdasi.net/gunesten-gelen-enerji-nasil-dagilir/>
- Karaca, C. (2012). Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
<http://acikerisim.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/1261>
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ. (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji SETA, (197), 1-32. <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>
- Karamanav, M. (2007). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksel Lisans Tezi.
http://www.normenerji.com.tr/menus/gunes-enerjisi-ve-gunes-pilleri_03012012024506275156935.pdf
- Keleş, E. (2015). Diyot Nedir - 1. Bölüm , ElektrikPort Akademi
<https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/elektrik-devre-elemanlari-diyot-1-elektrikport-akademi/6825#ad-image-0>
- Kelsoy, M. E. ve Soysal, M. A. (2015). Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Türbinleri, Rüzgar Enerjisi Nedir?

<https://docplayer.biz.tr/13785157-Ruzgar-enerjisi-ve-ruzgarturbinleri-mustafa-ersin-kelsoy-melih-a5lla-soysal.html>

Kesayak, B. (2015). Rüzgar Türbini Nasıl Çalışır? KBT Bilim Sitesi.
<http://www.kuark.org/2015/09/ruzgar-turbini-nasil-calisir/>

Keser, E. (2017). Güneş Enerjisinin Oluşumu.
<https://docplayer.biz.tr/29437223-Gunes-enerjisinin-olusumu.html>.

Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina Dergisi, 56 (671), 28 - 40.
http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/09677e0899d72e8_ek.pdf.

Kılınç, P. E. (2019). 500 kW’lık Güneş Enerjisi Panel Tasarımında Optimizasyon ve Ekonomik Analiz. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.

Kıncay, O. (2013). Güneş Enerjisi,
<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/GunesEnerjisi.pdf>
<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gun-bir.pdf>

Kıncay, O., Yumurtacı, Z. ve Bekiroğlu, N. (2015). Rüzgar Enerjisi,
<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf>

Kiviluoma, J., Lu. X. ve McElroy, M. B. (2009). Global potential for wind generated electricity, <https://www.pnas.org/content/106/27/10933>.

Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirmesi. Mühendis ve Makina, Cilt 59 (692), 86-114.

Köse, B., Yazıcı, M., Recebli, Z. ve Özkaymak, M. (2014). Rüzgar Enerjisinin Potansiyelinin Belirlenmesi ve Türbin Seçimi. 20. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı. 20-26 Nisan 2014.

Köse, B., Güneşer, M. T., Yazıcı, M. ve Yılmaz, S. H. (2015). Eskipazar Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Rayleigh, Lognormal ve Weibull Dağılım Modeli Kullanarak Tahminlenmesi. <http://www.isites.info/PastConferences/ISITES2015/ISITES2015/papers/A14-ISITES2015ID368.pdf>

Küçükaya, E. (2019a). Perovskite Güneş Hücresi Teknolojisi Bir Adım Daha Geliştirildi! <https://www.enerjiportali.com/perovskite-gunes-hucresi-teknolojisi-bir-adim-daha-gelistirildi/>

Küçükaya, E. (2019b). Rüzgar Türbini Nedir? Rüzgar Türbini Çeşitleri Nelerdir? <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/>

Leblebicioğlu, E. (2017). Şebeke Bağlantılı (On Grid) Solar Sistem Tasarımı. <https://muhendistan.com/sebeke-baglantili-solar-sistem-tasarimi/>

Livatyalı, H. (2011). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojileri, Tübitak MAM. <https://docplayer.biz.tr/12018380-Yogunlastirilmis-gunes-enerjisi-teknolojileri.html>

Malkoç, Y. (2007). Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Enerji Profilimizdeki Yeri. MGM (2020). Güneşten Gelen Işınlara Atmosferin Etkisi. <https://mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7>

NT, 2016. Naturel Teknoloji. Rüzgar ve Güneş Ölçüm İstasyonları Montaj ve Devreye Alma. <http://www.naturelteknoloji.com.tr/TR/ruzgar-ve-gunes-olcum-istasyonlari-montaj-ve-devreye-alma/?cv=1>

Okbay, İ. (2017). Perovskit güneş pilleri ile en yüksek verimlilik derecesine ulaşıldı. <https://yesilgazete.org/blog/2017/04/13/perovskit-gunes-pilleri-ile-en-yuksek-verimlilik-derecesine-ulasildi/>

Özçivit, Ç. (2013). Güneş Pilleri Nasıl Çalışır? <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-pilleri-nasil-calisir/10272#ad-image-0>

Özdemir, R. Güneş Enerjisi Sektörü, T.C. Ahiler Kalkınma Ajansı Aksaray Yatırım Destek Ofisi. <https://www.investinaksaray.com/assets/upload/dosyalar/gunes-enerjisi-sektor-raporu.pdf>

Özgür, E. (2020). Türkiye'nin Enerji Görünümü.
https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020_12_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf

Öztürk, H. H. (2008). Güneş Enerjisi ve Özellikleri, Birsen Yayınevi, Adana. 9789755115023.

Öztürk, H. H. (2017). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 01330 Sarıçam/Adana.

Rave, K., Sawyer, S. ve Birol, F. (2016). Global Wind Report, Annual Market Update 2015, (GWEC). https://slidelegend.com/gwec-a-global-wind-report-annual-market-update-2015_5b226fd2097c4780408b456d.html

Şahin, A. D. (2016). Güneş Enerjisi Ölçümleri ve Fizibilite Süreci <http://www.bizimkasaba.com/FileUpload/ds127607/File/gunes-enerjisi-olcumleri-ve-fizibilite.pdf>

Sarıbuğa, Y. E. (2012). 10 Mayıs 2019, Rüzgar Ölçüm Sistemler <https://www.elektrikport.com/universite/ruzgar-olcum-sistemleri/8959#ad-image-0>

Şekerci, E., Elfarra, M. ve Albasan, C. (2016). Rüzgar Türbini Tahmini Yıllık Enerji Üretim Hesaplama Yöntemleri ve Araziye Uygun Rüzgar Türbini Seçimi. RUGES 2009, 2. Rüzgar Enerji Sempozyumu, 4-5 Haziran 2009. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun. http://www.emo.org.tr/ekler/1ae9a071e07049a_ek.pdf

Şengül, Ü., Tan, S., Atak, Ş. ve Şengül, A. B. (2014). Türkiye Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli. Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi, 6 (11). <https://dergipark.org.tr/download/article-file/180503>

Tarhan, İ., Yüksel, B., Demircan, O., Özmetin, C., Türkeş, M., Yiğit, M., Baysal, H., Karaca, Z., Sümer, S. K., Şahiner, N., İlten, N., Büyükatış, Y., Aslan, A. ve Akyo, T. (2013). R22 Güney Marmara Bölgesi, Yenilenebilir Enerji Araştırması, Sonuç Raporu.

TÜREB (2019). Türkiye Rüzgar Enerji İstatistik Raporu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB). <http://www.tureb.com.tr/turebsayfa/duyurular/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-ocak-2019>

TÜREB (2020). <https://www.tureb.com.tr/>

TÜREB, 2021. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu. Erişim: 12 Mayıs 2019, <https://www.tureb.com.tr/>

Uyar, F. (2016). Rüzgar Enerjisi Nedir? Rüzgar Türbini Çeşitleri Nelerdir? <https://www.enerjibes.com/ruzgar-enerjisi-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/>

Uyar, F. (2018). Enerji Beş Temiz Enerji Portalı, Güneş Enerjisi Nedir? <https://www.enerjibes.com/gunes-enerjisi/>

Ünsalver, C. (2008). Rüzgar Enerji Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. <https://docplayer.biz.tr/2052187-Projem-istanbul-yuksek-lisans-tezi-ruzgar-enerji-sistemlerinin-incelenmesi-ve-bir-uygulama-devresinin-gerceklestirilmesi.html>

Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir (Esoğu). <http://www.yildiz.edu.tr/~kvarınca/Dosyalar/Yayinlar/yayin008.pdf>

- Yalçın, Ö. (2013). Güneş Enerjisinin Öncü Teknolojileri: CSP ve CPV
<http://enerjienergy.blogspot.com/2013/01/gunes-enerjisinin-oncu-teknolojileri.html>
- Yıldız, A., Özgener, Ö. ve Özgener, L. (2020). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, Mevcut Durum ve Gelecek Öngörüler. EMO Bilimsel Dergi, 10 (1), s. 8 - 20.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. Çevre Bilimleri Dergisi 4(2), s. 33-54.
<https://dergipark.org.tr/download/article-file/564995>.
- Yılmaz, G. ve Özkök, Ç. (2018). Güneş Hücreleri ve Kararsızlık Problemleri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9(1), s. 297-304
- Zeytinoğlu, Ç. F. (2009). Weibull Dağılımının Ölçek ve Biçim Parametreleri İçin İstatistiksel Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 8 (15), s. 73-87.
<https://www.ticaret.edu.tr/uploads/kutuphane/dergi/s15/73-87.pdf>