



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ KAYNAKLARI VE YÖNETİMİ
ANABİLİM DALI**

**KAMU BİNALARINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI:
ÇANAKKALE 112 ACİL ÇAĞRI MERKEZİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN BAYDAR

**Tez Danışmanı
PROF. DR. İSMAİL TARHAN**

ÇANAKKALE – 2021

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; 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 çalışmasında 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.

(İmza)

Oğuzhan BAYDAR

../07/2021

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. İsmail TARHAN'a, çalıştığım kurumun öncü ve vizyoner adımlar atması amacıyla hazırladığım tez çalışmamda kullandığım verilerin erişimine izin veren kurumuma ve son olarak çalışma süresince tüm zorlukları benimle birlikte göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Oğuzhan BAYDAR
Çanakkale, Haziran 2021

ÖZET

KAMU BİNALARINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI: ÇANAKKALE 112 ACİL ÇAĞRI MERKEZİ ÖRNEĞİ

Oğuzhan BAYDAR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İsmail TARHAN

25/06/2021, 89

Bu tez çalışmasında; yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisiyle Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi'nin enerji tüketiminin karşılanması, enerji için ödenen fatura tutarının azaltılması ve yerli-yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak çevreci enerji üretilmesi hedeflenmektedir. Üretime yönelik hesaplamalar, Çanakkale iline ait meteorolojik veriler ile yapılarak projenin karlılığı ve uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çanakkale ili, Türkiye'nin en çok rüzgar alan illerinden biri olmakla birlikte, güneş ışınımı ve güneşlenme süresi açısından da kayda değer üretim potansiyeli sunmaktadır. 112 Çağrı Merkezi binasının boş olan çatısı, düz ve geniş olduğundan güneş paneli kurulmasına uygundur. Coğrafi konuma dayalı olarak kurulu güç kapasitesi veren çeşitli simülasyon yazılımları kullanılarak uygun alana kurulabilecek güneş enerji santraline ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, belirlenen güneş paneli kurulu gücü için beş farklı veri kaynağı üzerinden bina konumunda üretilmesi beklenen güneş enerjisine ilişkin hesaplamalar, tablo halinde hazırlanarak incelenmiştir. Çatı alanından teorik olarak üretilebilecek güneş enerjisinin tüm bina tüketimini karşılamada yetersiz kalması nedeniyle, kuruluma uygun olabilecek bina otopark alanı için de üretim hesaplamaları yapılmıştır. Çağrı merkezi binası; yerleşim alanı içinde olduğundan gerek rüzgar hızının azalmasına bağlı olarak rüzgar enerjisi üretiminin düşmesi, gerekse de türbinlerden kaynaklanan gürültünün insanları rahatsız etme ihtimali nedeniyle, uygun başka bir alana türbin kurulumu yapılmasına karar verilmiştir. Bu noktanın koordinatları için rüzgar hızına ve sıklığına ilişkin istatistikler ise, rüzgar türbininin uygun yüksekliğinin ve gücünün belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu aşamada, rüzgar üretim simülasyonu yapabilen yazılım verileri göz

önünde bulundurularak rüzgar enerjisi üretim tahmini belirlenmiştir. Güneş ve rüzgar enerji santralleri için maliyet, üretim ve riskler üzerinden inceleme yapılmış ve tez çalışmasının çıktısı olarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi, Sürdürülebilirlik, Alternatif Enerji Kaynakları.*



ABSTRACT

RENEWABLE ENERGY USAGE IN PUBLIC BUILDINGS: ÇANAKKALE 112 EMERGENCY CALL CENTER EXAMPLE

Oğuzhan BAYDAR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Energy Resources and Management

Co-supervisor: Prof. Dr. İsmail TARHAN

25/06/2021, 89

In this thesis; supplying Çanakkale 112 Emergency Call Center's energy consumption with electrical energy generated by renewable energy sources, decreasing account of the invoice for energy payment, and generating environmental-friendly energy by using local and renewable energy sources are expected. The calculations over generation were studied over the feasibility and possibility of the project by using meteorological data of Çanakkale province. Çanakkale province is not only one of the windiest cities in Turkey but also offering a respectable generation potential in terms of solar radiation and sunlight duration. 112 Emergency Call Center's unused roof is flat and large so that it is appropriate for installing solar panels. The information about solar power plant which is possible to be installed appropriate area was held by utilizing several simulation software, giving power capacity depending on geographical location. Besides, the calculations about expected solar energy generation at the building's location were studied for determined solar panel's power capacity on five different data sources. Theoretically possible generated solar energy from roof area was insufficient for the whole building, as a result of that generation calculations for installing possible area of building's car park were also made. Turbine installation on another suitable area was decided, as a result of call center building is in a residential area; which causes the decrease of wind energy generation based on wind speed deceleration and the possibility of turbine's noises disturbing people. Also, the statistics over wind speed and frequency for these coordinates were utilized on specifying the wind turbine's appropriate height and power. At this stage,

by considering wind generation simulation capable software's data, the wind energy generation expectation was determined. Solar and wind energy power plants were analyzed on the cost, generation, and risks, and the resulted conclusions were commented as a print-out of this thesis study.

Keywords: *Renewable Energy, Solar Energy, Wind Energy, Çanakkale 112 Emergency Call Center, Sustainability, Alternative 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.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Enerji	1
1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	2
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2
Hidroelektrik Enerjisi	5
Güneş Enerjisi	6
Rüzgâr Enerjisi	7
Jeotermal Enerji	8
Biyokütle Enerjisi	9
Dalga-Akıntı Enerjisi	10
1.2. Enerji İhtiyacı ve Enerji Üretim Kaynakları	11
1.3. Çanakkale İlindeki Enerji Kaynakları	13
1.3.1. Çanakkale İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	14
1.3.2. Çanakkale İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	20

İKİNCİ BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	26
2.1. Önceki Çalışmalar	26
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM	28
3.1. Çanakkale İçin Güneş Enerjisine İlişkin Verilerin Elde Edilmesi	28
3.2. Çanakkale İçin Rüzgar Enerjisine İlişkin Verilerin Elde Edilmesi	29
3.2.1. Weibull Dağılım Fonksiyonu	29
3.2.2. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu	30
3.3. Çanakkale İline İlişkin Üretim Hesaplamaları	31
3.3.1. Güneş Enerjisine İlişkin Hesaplamalar	32
Monokristal Güneş Paneli	33
Polikristal Güneş Paneli	34
Kadmiyum Tellür Güneş Panelleri	34
Esnek Güneş Paneli	34
İnce Film Güneş Paneli	34
3.3.2. Rüzgar Enerjisine İlişkin Hesaplamalar	35
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	36
ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi ve Bina Özellikleri	36
4.1.1. Binanın Elektrik Enerjisi Tüketimi	39
4.1.2. Binada Elektrik Enerjisi Üretimine Uygun Alanlar	42
4.2. Güneş Enerjisi ile Yapılacak Enerji Üretimi	43
4.2.1. PVWC Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini	45
4.2.2. PVGIS CMSAF Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini	50

4.2.3.	PVGIS COSMO Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini	53
4.2.4.	PVGIS ERA5 Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini	56
4.2.5.	PVGIS SARAH Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini	59
4.3.	Rüzgar Enerjisi ile Yapılacak Enerji Üretimi	62

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

75

5.1.	Güneş Enerjisi Üretim Tahmini ve Üretilen Enerjinin Tüketim Karşılığı	75
5.1.1.	Güneş Enerjisi Ek Kurulum Kapasitesi ve Ek Üretim Tahmini	76
5.1.2.	Güneş Enerjisi Santralinin Maliyeti ve Yatırım Geri Dönüş Süresi	78
5.2.	Rüzgar Enerjisi Üretim Tahmini ve Üretilen Enerjinin Tüketim Karşılığı	82
KAYNAKÇA		86
ÖZGEÇMİŞ		I

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Rüzgar Türbini Süpürme Alanı
AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
AÇM	Acil Çağrı Merkezi
AFAD	Afet ve Acil Durum Merkezi
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
c	Ölçek parametresi ($c = v_{ort} \left(0,568 + \frac{0,433}{k} \right)^{-\frac{1}{k}}$)
CdTe	Kadmiyum Tellür
CH ₄	Metan
CIS	Bakır-İndiyum-Selenyum (Copper-Indium-Selenium)
CMSAF	İklim İzleme Uydu Uygulaması Özelliği (Climate Monitoring Satellite Application Facility)
CO ₂	Karbondioksit
COSMO	Küçük Ölçekli Modelleme Konsorsiyumu (Consortium for Small-Scale Modelling)
C _p	Güç Katsayısı
D	Doğu
DC	Doğru Akım (Direct Current)
ERA5	ECMWF (Meteorolojik Model) Yeniden Analizi 5. Nesil (ECMWF Reanalysis 5th Generation)
ERS	Elseroof Simülatörü (Elseroof Simulator)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
GMKA	Güney Marmara Kalkınma Ajansı
GWA	Global Rüzgar Atlası (Global Wind Atlas)
I	Türbülans ($I = k^{-\frac{1}{1,086}}$)
k	Şekil parametresi ($k = \frac{\sigma}{v_{ort}} = I^{-1,086}$)
K	Kuzey
KF	Kapasite Faktörü
kg	Kilogram

KGK	Kesintisiz Güç Kaynağı
km	Kilometre
km/h	Kilometre/saat
kV	Kilo Volt
kVA	Kilo Volt Amper
kW	Kilo Watt
KWh	Kilo Waat Saat
m	Metre
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
m/s	Metre/saniye
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt Saat
NO	Azotoksit
NO ₂	Azotdioksit
NO _x	Azot Oksit gazları
NREL	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (National Renewable Energy Laboratory)
P	Güç
PVGIS	Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (Photovoltaic Geographical Information System)
PVWC	Fotovoltaik Hesaplama (PVWatts Calculator)
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgar Enerji Santrali
RSE	RetScreen Uzman (RetScreen Expert)
SARAH	Yüzey Güneş Işınımı Veri Seti – Heliosat (Surface Solar Radiation Data Set – Heliosat)
SO _x	Kükürt Oksit gazları
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TL	Türk Lirası
V	Rüzgar Hızı
V _{ort}	Ortalama Rüzgar Hızı
W	Watt
W/m ²	Watt/metrekaare

YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
\$	Amerikan Doları
°	Derece
α	Hellmann Katsayısı
°C	Santigrad Derece
σ	Standart Sapma Değeri
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
%	Yüzde



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Dünya geneli GES kurulu gücü en yüksek olan 20 ülke	16
Tablo 2	Çanakkale’de farklı ışıınım bölgeleri için ideal panel eğim açısı	20
Tablo 3	Dünya geneli RES kurulu gücü en yüksek olan 20 ülke	21
Tablo 4	Çanakkale 112 AÇM aylık elektrik tüketim verileri	40
Tablo 5	PVWC veri tabanı ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi	48
Tablo 6	PVGIS CMSAF ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi	52
Tablo 7	PVGIS COSMO ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi	55
Tablo 8	PVGIS ERA5 ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi	58
Tablo 9	PVGIS SARAİ ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi	61
Tablo 10	161 kW kurulu güç için farklı veri kaynaklarına göre üretim ve ideal panel açıları	75
Tablo 11	75 kW kurulu güç için farklı veri kaynaklarına göre üretim ve ideal panel açıları	78
Tablo 12	Çanakkale 112 AÇM GES yatırımı maliyeti ve yatırımın geri dönüş süresi	81
Tablo 13	Çanakkale 112 AÇM RES yatırımı maliyeti ve yatırımın geri dönüş süresi	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Enerji kaynaklarına göre CO ₂ eşdeğeri sera gazı salımı	4
Şekil 2	Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası	17
Şekil 3	Çanakkale iline ait ilçelerin yıllık güneş ışınlam değerleri	18
Şekil 4	Çanakkale iline ait ilçelerin yıllık güneşlenme süreleri	19
Şekil 5	Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası	22
Şekil 6	REPA verilerine göre Çanakkale ortalama rüzgar hızı atlası	23
Şekil 7	REPA verilerine göre Çanakkale rüzgar kapasite faktörü atlası	24
Şekil 8	Fotovoltaik tiplerine göre alan başına elektrik üretim örnekleri	33
Şekil 9	Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi binası genel görünümü	37
Şekil 10	2018, 2019 ve 2020 yıllarında 112 AÇM aylık elektrik tüketimi	41
Şekil 11	Çanakkale 112 AÇM binası uydu görüntüsü	42
Şekil 12	Çanakkale 112 AÇM çatısı için PVWC GES güç kapasitesi	44
Şekil 13	Çanakkale 112 AÇM çatısı için ERS GES güç kapasitesi	45
Şekil 14	PVWC sitesi arayüzü ve veri giriş ekranı	46
Şekil 15	PVWC sitesi arayüzünde sabit-hareketli sistem seçenekleri	47
Şekil 16	PVWC veri tabanı ile 0°, 20°, 31°, 40° farklı panel eğimleri için beklenen yıllık enerji üretimi	48
Şekil 17	PVWC veri tabanı ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği	49
Şekil 18	PVGIS sitesi arayüzü ve CMSAF veri giriş ekranı	50
Şekil 19	PVGIS CMSAF ile 0°, 20°, 33°, 40° farklı panel eğimleri için beklenen yıllık enerji üretimi	51
Şekil 20	PVGIS CMSAF ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği	52
Şekil 21	PVGIS sitesi arayüzü ve COSMO veri giriş ekranı	53

Şekil 22	PVGIS COSMO ile 0°, 20°, 32°, 40° farklı panel eğimleri için beklenen yıllık enerji üretimi	54
Şekil 23	PVGIS COSMO ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği	55
Şekil 24	PVGIS sitesi arayüzü ve ERA5 veri giriş ekranı	56
Şekil 25	PVGIS ERA5 ile 0°, 20°, 35°, 40° farklı panel eğimleri için beklenen yıllık enerji üretimi	57
Şekil 26	PVGIS ERA5 ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği	59
Şekil 27	PVGIS sitesi arayüzü ve SARAİ veri giriş ekranı	60
Şekil 28	PVGIS SARAİ ile 0°, 20°, 33°, 40° farklı panel eğimleri için beklenen yıllık enerji üretimi	61
Şekil 29	PVGIS SARAİ ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği	62
Şekil 30	Merkez ilçede rüzgar güç yoğunluğu ve hızı açısından uygun noktanın tespiti	63
Şekil 31	40,104° K ve 26,474° D koordinatları için rüzgar yönü ve hızı bilgileri	64
Şekil 32	40,104° K ve 26,474° D koordinatları için aylık rüzgar hızı bilgileri	65
Şekil 33	40,104° K ve 26,474° D koordinatları için 10 m yükseklikteki rüzgar verileri	66
Şekil 34	40,104° K ve 26,474° D koordinatları için 50 m yükseklikteki rüzgar verileri	67
Şekil 35	40,104° K ve 26,474° D koordinatları için 100 m yükseklikteki rüzgar verileri	68
Şekil 36	Belirlenen konumda farklı yükseklikteki ortalama rüzgar hızları	68
Şekil 37	Belirlenen konumda yüksekliğe göre Hellmann katsayısı değişimi	69
Şekil 38	Belirlenen konum için rüzgar hızına göre esme sıklığı	70

Şekil 39	Belirlenen konumda yükseklik için rüzgar güç yoğunluğu değişimi	70
Şekil 40	Belirlenen konumda 1 MW gücündeki türbinin rüzgar hızına göre enerji üretimi değişimi	71
Şekil 41	Belirlenen konumda ölçek parametresinin yükseklik ile değişimi	73
Şekil 42	112 AÇM otoparkı için PVWC veri tabanı GES güç kapasitesi	76
Şekil 43	Çanakkale 112 AÇM otoparkı için ERS veri arşivi GES güç kapasitesi	77
Şekil 44	GES yatırım maliyeti ve yatırımın geri dönüş süresi	79
Şekil 45	GES'in sağladığı tasarruf ve karbon emisyon karşılığı	80

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Enerji

Enerji, farklı formlarda bulunabilen ve herhangi bir sistemin veya varlığın iş yapabilmesi için gerekli olan gücün toplamı olarak tanımlanabilmektedir (Eraslan, 2010). Dolayısıyla, enerji kazanımı, canlı varlıklar için hayatta kalmak ve gündelik işleri yapmak için bir gerekliliktir. Doğada; sıcaklık, basınç, ışık, akıntı vb. değişimlerin bir sonucu olarak enerji kazanımı veya kaybı ortaya çıkmaktadır. Günümüzde, insanlar tarafından ihtiyaç duyulan enerji, teknolojik gelişmelere paralel olarak sadece bedenen kullanılan enerji ile sınırlı olmayıp aynı zamanda gündelik yaşamda; seyahat etme, ısıtma, pişirme, haberleşme, hayat standardını arttıran donanım çalıştırma, vakit geçirme vb. çeşitli amaçlarla kullanıma da dönüşmüştür. Bu nedenle, insanlar tarafından bedensel kullanım için gıda yoluyla elde edilen enerjinin yanında; çağımızın getirdiği ve günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen cihazların ve sistemlerin kullanımı için radyoaktivite, ısı, su veya hava hareketi gibi enerji kaynaklarına dayalı uygun enerji elde etme yöntemleri geliştirilmiştir. Enerji; elektrik, ısı, ışık, potansiyel, mekanik, kimyasal, nükleer gibi pek çok farklı forma sahiptir ve bu formlar arası dönüşüm yapılırken az ya da çok enerji kaybı meydana gelmektedir. Bu nedenle; nihai kullanım amacına göre, enerji üretimine uygun kaynağın en verimli yöntem ile istenen enerji formuna çevrilmesi, verimlilik için önemli bir noktadır. Örnek olarak eğer ısı enerjisi elde edilmek isteniyorsa; doğalgazın doğrudan yakılması işlemi ile ısı elde edilmesi, santrallerde doğalgaz yakılarak üretilen elektrik enerjisinin kullanımı yoluyla klimadan tekrar ısı üretilmesine göre çok daha verimlidir. Doğrudan enerji elde etme, fazladan enerji dönüşümü yapılarak elde edilen dolaylı enerji elde etmeye göre verimlilik açısından oldukça üstündür. Bu tez çalışmasında, bir kamu binasının enerji ihtiyacının yerinde üretim yapılarak bu değişim aşamalarının ve değişim sürecinde ortaya çıkan enerji kayıplarının olabildiğince azaltılması hedeflenmektedir.

Enerji kaynakları; tüketim hızına göre daha kısa bir zaman dilimi içerisinde, kendini yenileyebilme özelliğine sahip olma-olmama durumuna göre, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki ana sınıfa ayrılabilir (Eraslan, 2010). Bu

sınıfların birbirlerine göre olumlu ve olumsuz yanları bulunmaktadır. Bir sonraki aşamada, bu kaynaklara dair genel bilgiler verilecektir.

1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları; petrol, doğalgaz, kömür ve türevleri ile nükleer olarak adlandırılan uranyum gibi radyoaktif maddelerden oluşmaktadır. Bu maddeler, günümüzdeki formuna gelene kadar çok uzun yıllar boyunca devam eden başkalaşım süreçlerinin sonucu olarak ortaya çıkmış ve tüketim hızlarının, oluşma sürelerine göre karşılaştırılamayacak kadar hızlı olması nedeniyle yenilenemeyen olarak tanımlanmıştır (Eraslan, 2010). 1700'li yılların sonlarında endüstriyel devrimin başlamasından ve yaygınlaşmasından sonra, bu kaynakların kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır. Bu kaynaklar; çoğunlukla yüksek yanma verimine, bir yerden başka bir yere taşıma imkanına ve çok fazla alan kaplamadığı için araçlarda yakıt olarak kullanılabilme vb. özelliklere sahiptir. Ancak yeni üretim sahalarının ve daha verimli yöntemlerin keşfine rağmen, yenilenemeyen enerji kaynaklarının gezegenimizde sınırlı miktarda olduğu ve çok hızlı artan tüketim nedeniyle sürdürülebilir olmadığı, her geçen gün daha fazla kişi tarafından kabul görmektedir. Zaman içerisinde, bu kaynakların üretiminin ve kullanımının çevreye, doğaya ve canlılara verdiği zararlar; gözle görülür bir şekilde ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yenilenemeyen enerji kaynakları dünyanın her bölgesinde dengeli bir şekilde bulunmadığından; siyasi ve nakdi olarak ciddi karşılığı olan bu kaynaklar, bulunduğu bölgelerdeki siyasi istikrarı, barış ortamını ve yaşam kalitesini genellikle olumsuz yönde etkilemektedir (Eraslan, 2010). Bir sonraki bölümde incelenecek olan yenilenebilir enerji kaynakları, insanlığın elde ettiği konfor ile teknolojik kazanımların korunmasının yanı sıra, çevreyle uyumlu ve sürdürülebilir bir yaşam tarzının inşa edilmesi için çok büyük önem arz etmektedir.

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

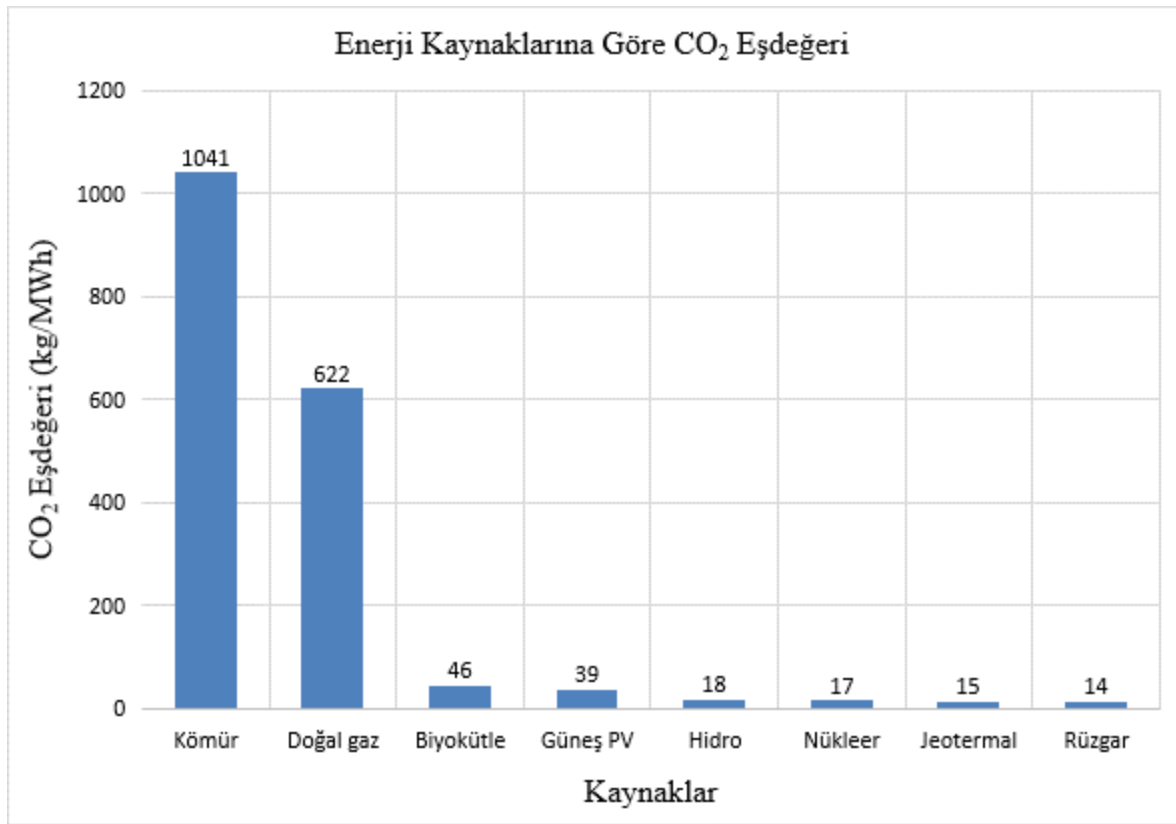
Fosil kaynakların azalması ve çevreye verilen zararın geri dönülemez boyutlara yaklaşması nedeniyle, hükümetler ve şirketler tarafından alternatif kaynaklar araştırılmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu aşamada, tarih boyunca insanlık tarafından ısınma, seyahat etme, tahıl öğütme, kurutma, şifa bulma vb. farklı amaçlarla kullanılan yeşil ve

yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi, elektrikli araç, tarımsal sulama vb. alanlarda kullanımına ilişkin yatırım ve buna bağlı ilgi artışı ortaya çıkmıştır. Biyoçeşitliliğin azalması ve iklim değişikliğinin her geçen gün daha fazla dünya gündemini meşgul etmesi de, çevreyle uyumlu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi konusunda katalizör görevi görmüştür. Olumlu örneklerin sayılarının artması ve pek çok kişi ya da kuruluş için gözle görülür hale gelmesi sonucu, yeşil enerji kaynaklarının dünya genelinde popülaritesi artmaya devam etmektedir. Bu kaynaklara yönelik yatırımların ve Ar-Ge faaliyetlerinin artmasının bir sonucu olarak hem yeni üretim yöntemleri geliştirilmiş, hem de var olan üretim yöntemlerinin verimliliklerinde ve teknolojilerinde ilerlemeler sağlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları; hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, dalga-akıntı vb. çeşitleri olan ve kendi döngüsünü kısa sürede tamamlayabilen kaynaklar şeklinde tanımlanabilmektedir (Eraslan, 2010). Biyokütle harici yenilenebilir kaynaklarda; bu döngü günlük, aylık ve yıllık gibi kısa sürelerde tamamlanabilirken biyokütle enerji kaynağının döngüsünü tamamlama süreci, biyokütle kaynağı olarak ağaç yetiştirme gibi bazı durumlarda 100 yıla kadar ulaşabilmektedir. Ancak bu kaynakların hepsi, doğanın döngüsü içerisinde kendini tüketim hızından daha çabuk yenileyebilme ve tekrar kullanılabilme özelliğine sahiptir. Yine de, bu özelliklere sahip olmaları, bu kaynakların sınırsız şekilde enerji üretimi için kullanılabileceği anlamına gelmemektedir. Sürdürülebilir üretim için belirli bir planlama ve işletme koşulları gerekmektedir.

Enerji üretimi ve diğer insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ısı enerjisi, atmosferin ısınmasına ve küresel sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, endüstriyel faaliyetler ve taşıt kullanımı sonucu; CO₂, SO_x, NO_x gibi çeşitli zararlı gazlar atmosfere karışmaktadır (Eraslan, 2010). Atmosferde biriken gazlar, sera etkisi oluşturarak güneşten dünyaya gelen güneş ışınlarının dünya yüzeyine çarptıktan sonra tekrar uzaya dönmesine engel olmakta ve dünyanın normalinden daha fazla ısınmasına yol açmaktadır. Şekil 1’de enerji kaynaklarına göre, 1 MWh elektrik enerjisi üretimi sırasında ortaya çıkan CO₂ eşdeğeri sera gazları miktarını kg olarak gösterilmektedir (Özcan ve Öztürk, 2015). Şekilden de görüleceği gibi, fosil kaynaklar olan kömür (1.041 kg) ve doğalgaz (622 kg) için verilen değerler, diğer kaynaklara göre çok daha fazladır. Yenilenebilir olmayan nükleer enerji kaynakları için bu değer 17 kg gibi nispeten düşük bir değer olmasına

karşın; nükleer enerjinin üretimi sırasında ve kullanımı sonrasında uzun süre depolanması nedeniyle radyoaktif maddelerin ortaya çıkardığı riskler, pek çok ülkede bu kaynaktan vazgeçilmesine ya da bu yönde planlama yapılmasına yol açmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını birbirleriyle karşılaştırmak için kullanılacak olan maddelerin üretim süreçleri de dahil edilerek yapılan Şekil 1'deki grafikte, en düşük 14 kg değeriyle rüzgara ait olduğu ve bu kaynağı 15 kg değeriyle jeotermal kaynakların izlediği görülmektedir. Su kaynaklarından enerji üretimi yapıldığında, beklenen sera gazı salımı 18 kg düzeyinde olmaktadır.



Şekil 1. Enerji kaynaklarına göre CO₂ eşdeğeri sera gazı salımı (Özcan ve Öztürk, 2015).

Fotovoltaik (PV) güneş panellerinin üretimi sırasında yüksek ısı gerektiği için PV güneş panelleri ile yapılacak elektrik üretiminde, sera gazı salımı artarak 39 kg değerine ulaşmaktadır. Çoğunlukla, organik maddelerin yakılması sonucu elde edilen biyokütle enerjisinin emisyonunun 46 kg değerine çıkması, nispeten normal olarak kabul edilebilir. Ancak biyokütle enerjisi kullanımında ortaya çıkan sera gazı miktarı bile, fosil kaynakların neden olduğu sera gazı emisyonu yanında oldukça düşük bir değer olarak kalmaktadır.

Hidroelektrik Enerjisi

Su; hem doğrudan insan vücudunun fiziksel bir gereksinimi olması, hem de tarım devriminin ardından iklimsel koşullara bağlı kalmadan tarımsal üretim yapmanın bir anahtarı olması nedeniyle insanlık için vazgeçilmez bir kaynaktır. Tarih boyunca insanlık ve medeniyet, su kaynaklarının kıyısında şekillenmiş ve bu yaşam kaynağının gölgesinde ilerleme kaydetmiştir. Zaman içerisinde, nehirlerde akan suyun akış gücü kullanılarak tarımsal ürünlerin değirmenlerde öğütülmesi gibi insan yaşamını kolaylaştıran amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise, barajlar ya da su tünelleri inşa edilerek bu kaynaktan elektrik enerjisi üretimi mümkün hale gelmiştir. Ayrıca, son yıllarda ortaya çıkan yenilikçi fikirlerle ve sistemlerle, tarımsal sulama kanalları ya da şehirlere ait su veya atık su şebekelerinden küçük çaplı da olsa elektrik enerjisi üretimi mümkün hale gelmiştir.

Hidroelektrik enerjisi, su döngüsünün bir sonucu olarak kar yağışları ve yağmur ile deniz seviyesinden yükseklerle (genellikle dağlara) düşen su kaynaklarının, yer çekiminin ve kot farkının bir sonucu olarak suyun sahip olduğu potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Hidroelektrik enerjisi üretiminin ilk yöntemi, suyun barajlarda biriktirilmesi ve enerji ihtiyacı olduğunda kontrollü akış sağlanarak elektrik üretimi yapılmasıdır. Bu santraller, barajlı tip olarak bilinmektedir. Ülkemizde, özellikle Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında kurulan büyük çaplı barajlar sayesinde, en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. İkinci yöntem ise, herhangi bir depolama yapılmadan deniz seviyesine doğru akışı gerçekleşen suyun mekanik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi şeklindedir. Bu santraller ise, akarsu tipi olarak isimlendirilmektedir (Eraslan, 2010). Karadeniz Bölgesi'ndeki gibi, yıl içinde dengeli ve bol yağış alan iklimin bir sonucu olarak bu tip enerji üretim yöntemine sahip pek çok hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Ülkemizde 2021 yılının Nisan ayı itibarıyla, TEİAŞ raporuna göre kurulu güç olarak 23.244 MW barajlı ve 8.101,3 MW akarsu tipi hidroelektrik enerji santralleri bulunmaktadır (TEİAŞ, 2021). Bu rapora göre; ülkemizin toplam kurulu gücü (97.376,5 MW) içinde barajlı tip santraller %23,9, akarsu tipi santraller %8,3 oranında kurulu güç yüzdesine denk gelmektedir.

Güneş Enerjisi

Güneş, dünyamızın da içinde bulunduğu güneş sisteminin varoluşu açısından olmazsa olmaz bir anlam ifade etmektedir. Güneşin yapısındaki plazma formundaki Hidrojen (yani protonların) reaksiyonu sonucu, uzaya enerji yayılmaktadır (Eraslan, 2010). Dünyamızda yaşamın devamlılığı ve hassas dengesi, uzaya yayılan bu ısının dünyamızı belli ve hassas bir oranda ısıtması ve güneşten gelen ışınların fotosentez yoluyla besin zincirinin en alt basamaklarından başlayarak ekosistemin devamlılığı için güneş enerjisine doğrudan bağımlıdır. Güneş, yalnızca besin zinciri açısından değil; ayrıca dünyadaki radyoaktif maddeler haricindeki enerji kaynakları için doğrudan ya da dolaylı olarak bir etkidir. Yeraltındaki fosil kaynaklar; dünyanın günümüze kadar ev sahipliği yaptığı güneş enerjisi kaynaklı olarak gelişen bitkisel ya da hayvansal organizmaların, toprak altında geçirdikleri süre içerisinde değişim geçirmesi ve günümüzdeki hallerine gelmesi sonucu oluşmuştur. Ekosistemdeki su döngüsünün gerçekleşmesi için okyanus, deniz ya da göllerdeki suyun buharlaşarak havaya karışması ve yağış olarak yeryüzüne düşmesi gerekmektedir. Bu buharlaşma olayı, büyük oranda güneşin yaydığı enerji sonucu gerçekleşmektedir. Güneşin; yeryüzünün şekli, dünyanın elips şeklindeki yörüngesi vb. nedenlerden dolayı, dünyanın farklı noktalarını, farklı oranda ısıtması sonucu; bölgeler arası sıcaklık ve basınç dengesini sağlamak için rüzgarlar ortaya çıkmaktadır. Biyokütle enerji kaynakları, fotosentez işleminin ve doğadaki besin zincirinin bir sonucu olarak güneşle ilişkilidir. Dalga ve akıntı enerjisinin, denizlerin bulunduğu konuma göre farklı oranda ısınmasının ve rüzgarların bir sonucu olarak ortaya çıktığı düşünülürse; dolaylı bir şekilde bu enerji kaynağının da güneşle ilişkisi bulunmaktadır. Kısaca, güneşin dünyamızdaki nükleer kaynaklar dışında çoğu enerji kaynağı ile, yakından ya da uzaktan bir ilişkisi bulunmaktadır (Eraslan, 2010).

Tarih boyunca insanlar, hayatlarının sürmesi için güneşin önemini fark etmişler ve güneşi, kimi zaman inançlarının bir parçası haline dahi getirmişlerdir. Yerleşik hayata geçildikten ve tarımsal faaliyetler yaygınlaştıktan sonra; güneş enerjisinden fotosentez, kurutma vb. alanlarda yararlanılmaya başlanmıştır. Zaman içerisinde, insanlar tarafından güneş saati, yön tayin etme vb. kullanım alanları eklenerek güneşten daha fazla faydalanılmaya devam edilmiştir. Özellikle sıcak iklimlere sahip bölgelerde güneşin ısıtma özelliği, sıvıların ısıtılması için kullanılmıştır. 20. yüzyıl başlarında yapılan yatırımlar

sonucu, güneş teknolojisinin gelişmesi ile güneşten elektrik enerjisi üretimi de mümkün hale gelmiştir.

Güneş enerjisi, dünyamıza ulaşan güneş ışınlarının, bu ışınlara maruz kalan maddeye ya da cisme enerji yüklemesi ya da ışınların uygun yarıiletken maddelerin yapısında elektron dolaşımı sağlaması sonucu ortaya çıkan enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Günümüzde bu kaynaktan; doğrudan sıvı maddelerin ısıtılması, mercek aynalar kullanılarak ışınların yoğunlaştırılmasıyla uygun özellikteki sıvının ısıtılarak elektrik üretilmesi, fotovoltaik panelleri güneş ışınlarına maruz bırakınca elektron akışı sonucu elektrik enerjisi üretilmesi ve tarımsal sulamada pompaların enerjisinin doğrudan güneşten sağlanması gibi çeşitli yöntemlerle yararlanılmaktadır. Ülkemizde, özellikle yılın büyük kısmında güneşin etkili olduğu Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerimizde güneş kolektörleri ile binalardaki kullanma suyu ısıtılarak sıcak su elde edilmektedir. Ülkemizde, güneşi odaklayarak elektrik üretimi yapan güneş enerjisi santrali olmamakla birlikte; son yıllarda yapılan yatırımlar sonucu, 2021 yılının Nisan ayı itibarıyla çoğunluğu lisanssız santraller olmak üzere 7.065 MW kurulu güçteki fotovoltaik özellikte güneş enerji santralleri bulunmaktadır (TEİAŞ, 2021). Ancak enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için ülkemizde potansiyeli çok yüksek olan güneş enerjisinden daha fazla yararlanılması gerekmektedir. Bu nedenle, güneş enerji santrali sayısının artırılması ve çoğunlukla fosil kaynaklarla çalışan sulama motorlarının güneş enerjisi kullanılarak sulama işlemlerini gerçekleştirmesi, en önemli başlıkları oluşturmaktadır.

Rüzgar Enerjisi

Rüzgarlar; dünyamıza ulaşan güneş ışınlarının gezegenin yörüngesi, şekli, bölgelerarası farklılıklar vb. nedenlerden kaynaklanan sıcaklık farklılıklarının sonucu olarak oluşmaktadır. Bu sıcaklık farklılıkları, bulundukları konumlarda basınç değişimine yol açmaktadır (Eraslan, 2010). Alçak basınç, havanın yükselmesine izin verirken; yüksek basınç, havayı yeryüzüne doğru baskılamaktadır. Bunun sonucu olarak yeryüzüne doğru itilen hava, komşu bölgelerde daha düşük basınca sahip alanlara doğru hareket ederek rüzgarları oluşturmaktadır. Alize rüzgarları vb. sürekli esen rüzgarlar olduğu gibi, yerel ve mevsimsel olarak etkili olan rüzgarlar da vardır.

Rüzgar, insanların tarih boyunca etkileşim içerisinde oldukları olgulardan biridir. İnsanların, mağaraları ve evleri konaklamak için kullanmalarının gerekçelerinden bazıları, rüzgarlara doğrudan maruz kalmamak ve korunmaktır. Rüzgardan yararlanmaya ilişkin yapılan girişimler için yelkenli gemilerle seyahat etme, rüzgar değirmenleri ile tahılların öğütülmesi, yapay kanatlar kullanılarak uçuş denemeleri yapılması vb. örnekler verilebilmektedir (Eraslan, 2010). İlerleyen zaman dilimlerinde; hava olayları ve hava hareketleri irdelenerek uçaklar ve diğer hava taşıtları üretilmiştir. Bunun yanında, geçmişte tahıl öğütmek amacıyla kullanılan rüzgar değirmenleri, çağın koşullarına göre evrim geçirerek günümüzdeki rüzgar türbinlerine dönüşmüştür (Eraslan, 2010).

Rüzgar enerjisi, bölgelerarası sıcaklık ve basınç farklılıklarının oluşturduğu hava hareketlerinin, uygun sistemler yoluyla süpürülerek mekanik enerji elde edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Elde edilen mekanik enerji, ihtiyaca göre belirlenen büyüklükteki jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve şebekeye bağlanarak kullanıma hazır duruma getirilmektedir. Rüzgarlar, olabildiğince alçak irtifaya sahip noktalardan hava hareketini gerçekleştirme çabası içerisinde ve bu yönüyle, sıvıların akışkanlık davranışına benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle; boğazlar, vadi tabanları gibi hava koridorlarında, rüzgar gücü ve hızı diğer noktalara göre çok daha fazla olmaktadır. Ülkemizde de, Çanakkale ve İstanbul Boğazlarının bulunduğu Marmara Bölgesi ile denize dik olarak uzanan pek çok vadiye sahip olan Ege Bölgesi, rüzgar potansiyeli açısından en avantajlı bölgeleri oluşturmaktadır (REPA, 2021). TEİAŞ tarafından yayınlanan Nisan 2021 tarihli raporda, rüzgar enerjisi kurulu gücü 9.484,9 MW olarak verilmiştir (TEİAŞ, 2021). Böylece, ülkemizin elektrik enerjisi kurulu gücünün yaklaşık %9,7'lik kısmı, rüzgar enerjisi santrallerine aittir.

Jeotermal Enerji

Jeotermal, yer anlamına gelen 'jeo' ile ısı anlamına gelen 'termal' kelimelerinin bir araya getirilerek yer altındaki ve üstündeki sıcak su kaynaklarını ifade etmekte kullanılan bir terimdir (Eraslan, 2010). Jeotermal kaynakların oluşabilmesi için dünya çekirdeğinin sahip olduğu ısı, faylar ve kırıklar sonucu yeryüzüne yaklaşılarak yer altında veya yer üstünde biriken su kaynaklarını ısıtması gerekmektedir. Bu durum, jeolojik aktiviteleri bol

olan ve su kaynaklarının birikmesine uygun iklim ve toprak yapısına sahip olan bölgelerde gerçekleştirilmektedir (Eraslan, 2010).

İnsanlık, sıcak su elde etmenin günümüze göre daha zor olduğu geçmiş yıllarda, jeotermal kaynakları kullanmaya başlamıştır. Bu kaynaklardan temizlenme, ısınma, şifa bulma vb. amaçlarla yararlanılmıştır. Anadolu’da Roma döneminden itibaren keşfedilen kaynaklar, uygun yapılar inşa edilerek insanların kullanımına sunulmuştur (Ertuğrul, 2009). Daha sonrasında, Anadolu’ya ev sahipliği yapan diğer medeniyetler de bu kültürü devam ettirmişler ve hatta Osmanlı İmparatorluğu döneminde bu anlayış geliştirilerek hamam kültürü meydana getirilmiştir (Ertuğrul, 2009).

Jeotermal enerji, arama faaliyetleri sonucu bulunan sıcak su kaynağının sıcaklık değerine göre farklı amaçlarla kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Eraslan, 2010). 100 °C ve üzeri sıcaklıklara sahip jeotermal kaynaklar, elektrik enerjisi üretimi için kullanılırken 50-80 °C arası sıcaklığa sahip kaynaklar, binaların ve seraların ısıtılması için kullanılabilir. 20-40 °C arası sıcaklığa sahip jeotermal kaynaklar ise, belli sıcaklıklarda yaşayan balıkları yetiştirmek için balık çiftliklerinde kullanılabilir. Elektrik enerjisi açısından bakılırsa, ülkemizde başta Ege Bölgesi olmak üzere; özellikle son yıllarda artan yatırımlar sonucu, jeotermal enerjisi santrallerinin kurulu gücü artmıştır. TEİAŞ tarafından Nisan 2021’de yayınlanan raporda, jeotermal enerji santralleri kurulu gücünün 1.647 MW seviyesine ulaştığı belirtilmiştir (TEİAŞ, 2021).

Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, gezegenimizde bitkisel ve hayvansal organizmalar tarafından ortaya çıkarılan organik maddeleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Biyokütle enerji kaynağı olarak organik madde atıkları kullanılabilir gibi, buna ek olarak enerji tarımı diye adlandırılan ve kalori değeri yüksek bitkilerin enerji elde etme amaçlı yetiştirilmesini ifade eden yöntemler de kullanılabilir (Eraslan, 2010).

Tarih boyunca insanlar, biyokütle enerji kaynaklarını başta ısınma olmak üzere çeşitli amaçlarla kullanmışlardır. Odun, tezek ya da bitkisel artıklar yakılarak yaşam alanları ısıtılmış ve yine bu kaynaklarla elde edilen ateş kullanılarak yemek pişirme işlemi

gerçekleştirilmiştir. Dünyanın farklı bölgelerinde, etrafta bulunan biyokütle kaynağın çeşidine ve bolluğuna göre; insanlar tarafından farklı bitkiler ekilmiş ve farklı ağaç türlerinin yayılması sağlanmıştır. Ayrıca, hayvanların evcilleştirilmesi ve insanlarla daha bütünleşik yaşam tarzının sonucu olarak yün, tüy, tezek vb. hayvansal ürünler de kullanılmıştır (Eraslan, 2010).

Biyokütle enerjisi, belli bir kalori karşılığı bulunan organik maddelerin barındırdığı enerji anlamında kullanılmaktadır (Eraslan, 2010). Bu maddelerden doğrudan yakma işlemi sonucu yararlanılabileceği gibi; yakma sonucu üretilen ısı, belli koşullarda kazanlardaki suyun ısıtılmasına bağlı olarak elektrik enerjisi elde edilmesi yoluyla da faydalanılmaktadır. Ayrıca, yakma işlemi sonucunda ortaya çıkan atık ısıdan da seracılık, alan ısıtma vb. konularında yararlanan işletmeler bulunmaktadır. 2015 yılında, İstanbul'da bulunan biyokütle enerji santralinin atık ısısı kullanılarak peyzaj çalışmalarında dikilecek çiçeklerin yetiştirileceği sera kurulumu, bu konuda örnek olarak verilebilmektedir (İSTAÇ, 2021). Evsel ve endüstriyel atıkların fazla olduğu büyükşehirlerde, doğal olarak daha fazla çöp ve dolayısıyla enerji anlamına gelen daha fazla atık organik madde bulunmaktadır. Yine büyükşehirlerde, arıtması yapılan kanalizasyon ve atık su hatlarından da; temiz suyun yanı sıra, enerji değeri olan kurutulmuş atık çamur elde edilmektedir. Bu kurutulmuş çamur, genellikle çimento fabrikaları tarafından ısı elde edilmekte kullanılmaktadır. Son yıllarda artan yatırımlarla birlikte, ülkemizin Nisan 2021 itibarıyla biyokütle enerjisinin elektrik üretim amaçlı kurulu gücü, 1.163,7 MW değerine yükselmiştir (TEİAŞ, 2021).

Dalga-Akıntı Enerjisi

Dalgalar; akıntıların, rüzgarların ve su kütlelerini hareket ettirebilecek büyüklükteki gök cisimlerine ait çekim kuvvetlerinin sonucunda oluşmaktadır. Akıntılar ise; dünyanın dönmelerinden kaynaklanan Coriolis kuvveti, denizler arasında tuzluluk oranı, deniz seviyesi, sıcaklık farkı vb. nedenlerle gerçekleşen su hareketlerine verilen isimdir (Eraslan, 2010). Çeşitli nedenlerle oluşan dalga ve akıntılar, ortaya mekanik enerjiye dönüştürmeye uygun bir güç çıkarmaktadır.

İnsanlar, bilinmeyen kıtaları veya karaları keşfetmek için okyanuslarda ve denizlerdeki akıntılardan faydalanmışlardır. Dalgaların sahip olduğu gücü, özellikle

denizcilik yapan kişiler deneyimlemiş ve bu doğal enerji kaynağından yararlanmayı ve gerektiğinde korunmayı öğrenmişlerdir. Bunun dışında, okyanus kıyılarında gerçekleşebilen gel-git olaylarını gözlemlemiş ve kısa zamanda meydana gelen su çekilmesi-yükselmesi olayından zarar görmemek ya da bu durumdan kendileri için yarar sağlamak amacıyla, dalga ve akıntıların takibini yapmışlardır.

Dalga-akıntı enerjisi, ülkemizin farklı özellikteki denizlere kıyısı olması nedeniyle, ülkemiz için potansiyeli olan bir enerji kaynağıdır. Büyük kara parçaları arasında bulunan ve bu nedenle açık denizde daha fazla rüzgara maruz kalan Karadeniz’de, dalga enerjisi diğer denizlerimize göre daha fazla ölçülmüştür (Eraslan, 2010). İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı’nda ise, Ege Denizi ile Karadeniz arasındaki su seviyesi, tuzluluk oranı vb. farklılıklar sonucu ortaya çıkan güçlü akıntılar bulunmaktadır. Yağışlarla ve nehirlerden gelen tatlı su nedeniyle; yükselen Karadeniz’in düşük tuzluluğa sahip deniz suyu, deniz seviyesine yakın bölgelerden Ege Denizi’ne doğru akmaktadır. Aksi yönde; Ege Denizi’nde daha fazla gerçekleşen buharlaşma ve az yağış nedeniyle artan tuzluluk oranı, derin seviyelerden Karadeniz’e doğru akmakta ve doğal denge sağlanmaktadır. Maalesef, ülkemizde potansiyeli bulunan dalga-akıntı enerjisi; geçmişte yapılan Ar-Ge ve test çalışmalarında incelenmesi haricinde, aktif olarak herhangi bir tesiste elektrik enerjisi üretimi için kullanılmamaktadır. Çanakkale Boğazı’nda, 2014 yılında dalga enerjisinden elektrik üretimi için test çalışması gerçekleştirilmiş; ancak daha sonrasında yatırımı yapan firma tarafından dalga enerjisi üretimi devam ettirilmemiştir (Anonim, 2014).

1.2. Enerji İhtiyacı ve Enerji Üretim Kaynakları

Dünyada nüfus artışına, teknolojik gelişmelere ve gelişmekte olan ülkelerde artan refah seviyesine paralel olarak enerji tüketimi düzenli bir şekilde artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak ve yerel üretimi teşvik etmek amacıyla, dünya genelinde geleneksel üretim yöntemlerine ek olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, her geçen gün yükselmektedir (Eraslan, 2010). Bu ilgi artışının ana sebepleri; Japonya, Almanya vb. ülkelerde nükleer enerjiye yönelik kaygılar; Çin, Hindistan vb. ülkelerde çevre ve hava kirliliğine bağlı sağlık sorunları ve ülkemizin de içinde bulunduğu bazı ülkelere ise, enerjide dışa bağımlılığı ortadan kaldırma çabası olarak sınıflandırılabilir. Enerjide dışa bağımlı olmanın olumsuz yanları, 1970’li yıllarda ve Körfez Savaşı sırasında ortaya çıkan

petrol krizleri ya da 2009 yılı gibi petrol varil fiyatının 150 \$ gibi seviyelere çıktığı durumlarda, ekonomiye ve günlük yaşama olan etkileriyle net olarak görülmektedir (Eraslan, 2010). Ayrıca, enerji tedarik edilen ülkelerle ikili ilişkilerde ortaya çıkabilecek anlaşmazlıklarda; enerji ithalatı, tedarikçi ülkeler için bir politik koz haline dönüşebilmektedir. Bu nedenle, enerji üretim kaynaklarının çeşitliliğinin artması, bu kaynaklardan herhangi birinde ortaya çıkabilecek sorunların üstesinden gelme hususunda, o ülke için önemli rol oynamakta ve enerji piyasasına esneklik kazandırmaktadır (Eraslan, 2010). Ülkelerin geneli için geçerli olan bu durum; aynı zamanda işletmeler, fabrikalar, kamu kurumları ve hatta konutlar için de geçerlidir. Kendi enerji ihtiyacını temin etme, doğadaki yaşayan her canlının temel amacı olduğu gibi ülkelerin, şirketlerin ve kamu kurumlarının da bütçeleri doğrultusunda temel amacı olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada bir kamu kurumunun bulunduğu konumdaki üretime elverişli doğal kaynaklara dayanarak kendi ihtiyacını karşılayabilme ihtimali ele alınmaktadır. Kamu kurumları, belirlenen stratejiler doğrultusunda merkezden alınan kararların uygulamaya geçmesi hususunda öncü rol oynayabilmektedir. Örneğin; aynı işi daha az enerji tüketerek yapmayı sağlayan enerji tasarrufu, yapılacak işe göre en iyi kaynaklarla veya yöntemlerle üretim sağlayan enerji verimliliği ve enerji tüketimini düşürmek amacıyla yapılan bina yalıtımı vb. alanlarda çıkarılan mevzuatlarla; merkezi yönetim tarafından talep edilen uygulamaların gerçekleştirilmesi, ülke genelinde daha kolay sağlanabilmektedir. Aynı şekilde; dünya genelinde fosil kaynaklardan uzaklaşıp yeşil enerjiye geçilmesine paralel olarak çoğunlukla dışa bağımlı olduğumuz enerji alanında, kamu binaları için örnek uygulamaların gerçekleştirilmesi ile ülke genelinde yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımı arttırılabilir.

Türkiye, tükettiği enerjinin kaynağı konusunda büyük oranda dışa bağımlı durumdadır. Petrolde yaklaşık %93, doğalgazda %99 ve elektrik üretiminde ise yıllara göre değişmekle birlikte %50 civarında ithal kaynaklarla enerji ihtiyacı karşılanmaktadır (IEA, 2021). Bu ithalat karşılığında döviz cinsinden ciddi miktarda dış ödeme yapılmaktadır. Ülkemiz, fosil kaynaklara dayalı yeraltı zenginlik açısından tüketimine göre yetersiz kaynağa sahip olsa da; son yıllarda artan yatırımlarla hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi kaynaklara dayalı enerji üretimini arttırarak elektrik enerjisi kaynaklı ithalatını azaltmıştır (IEA, 2021). Ayrıca, çevre açısından olumsuzluklar (hava kirliliği, atık kül, asit yağmuru vb.) barındırmasına rağmen, yerli kömürden elektrik

retiminde de artış görülmüştür. Enerjideki dışa bağımlılığı azaltmak için öncelikle illerin en çok sahip olduğu “yerli” ve çevreyi-sürdürülebilirliği korumak amacıyla “yenilenebilir” enerji kaynaklarından elektrik üretiminin arttırılması çok önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha da yaygınlaşabilmesi için çok fazla enerji tüketen kamu kurumu, fabrika, alışveriş merkezi vb. binalarda ve çevresinde yapılacak projeler; hem enerji maliyetini düşüren işletmeler, hem de çevreci olumlu uygulamalar açısından önem arz etmektedir. Bunlara ek olarak enerjinin tüketildiği yerde üretilmesi, enerji iletim kayıplarını düşürecek ve ulusal şebekede bölgelerarası dengesiz şekilde artan enerji tüketimi sonucu, yeni iletim hatları için harcama yapılması gerekliliğini azaltacaktır (IEA, 2021). Bu nedenle, bir sonraki bölümde bu çalışmada incelenecek olan Çanakkale ilinde, üretime elverişli kaynakların araştırılması ve seçenekler arasından bu çalışmaya uygun olan kaynakların seçilmesi gerçekleştirilecektir.

1.3. anakkale İlindeki Enerji Kaynakları

anakkale; coğrafı, jeolojik ve iklimsel olarak geçiş bölgesinde yer aldığından pek çok farklı enerji üretim kaynağına sahiptir. Bu kaynaklar, en çok bulunandan en az bulunana doğru sıralandığında; kömür, rüzgar, güneş, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle ve dalga-akıntı sıralaması ortaya çıkmaktadır (Anonim, 2021a). Bu kaynaklardan kömürle yapılan elektrik enerjisi üretiminin büyük bölümü, ithal kömür ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, an ilçesinde iki adet yerli kömür (linyit) ile üretim yapan termik santral de bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi kapasitesinde ise, 2021 yılı itibariyle 778 MW kurulu gle Çanakkale ili, ülke genelinde İzmir ve Balıkesir illerinin ardından üçüncü sırada yer almaktadır (Anonim, 2021d). Devrede olan rüzgar santralleri dışında da, rüzgarlı olan boğaz hattı (61 km) ve uzun sahil şeridi (710 km) sayesinde; Çanakkale’nin farklı bölümlerinde ciddi rüzgar potansiyeli bulunmaktadır. Devrede olan sadece birkaç adet lisanssız güneş enerjisi santrali bulunmasına rağmen; ilin güneş potansiyeli, özellikle güneydeki Ayvacık ve Ezine ilçelerinde kayda değer yatırım olanağı sunmaktadır. Jeolojik araştırma çalışmaları sonucunda; pek çok aktif faya sahip olduğu belirlenen ilimizde, özellikle Ayvacık ilçesinde termal sıcak su kaynaklarından elektrik enerjisi üreten jeotermal santralleri bulunmaktadır. anakkale’de akarsular ve barajlar bulunmakla birlikte, yağış rejiminin düzensiz olmasına ve yükseltinin çok fazla olmamasına bağlı olarak elektrik enerjisi üreten sadece 1 adet hidroelektrik santral bulunmaktadır. İl

genelindeki tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile konutlar ve fabrikalarda ortaya çıkan katı atıklar, biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilmeye uygundur. Ancak ilimizde, biyokütle enerjisine ilişkin herhangi bir yatırım henüz yapılmamıştır. Uzun kıyı şeridi ve yüksek akıntı hızına sahip olan Çanakkale deniz sahaları, dalga ve akıntı enerjisi için de önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ancak geçmiş yıllarda boğazda yapılan ölçüm, test ve lisansüstü tez çalışmaları dışında, dalağa-akıntı enerjisine yönelik aktif bir yatırım ya da araştırma bulunmamaktadır (Anonim, 2014).

Yukarıda belirtilen potansiyel enerji kaynakları ve dünya genelindeki yeşil enerjiye yönelim birlikte değerlendirildiğinde, kömürden elektrik enerjisi üretimi yerli kaynaklardan üretildiğinde ucuz olmakla birlikte; hava kirliliği, asit yağmuru, atık kül vb. çevreye zararları nedeniyle üretim kaynağı olarak çağımızın koşullarına tam olarak uymamaktadır. Rüzgar enerjisi; ilimiz için oldukça verimli bir kaynak olması, yatırım ve işletme masraflarının diğer kaynaklara göre düşük olması ve düşük karbon salımı yapması etkenleri ile araştırılmaya değer bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda bir diğer gözde yatırım alanı olan güneş enerjisi de, Çanakkale’de ülkemizin güney illeri kadar fazla üretim öngörülmemesine rağmen; artan panel verimleri ve düşen yatırım maliyetleriyle, incelenmeye değer olan bir diğer enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Jeotermal enerji; Ayvacık ilçesinde elektrik enerjisi üretimi, seracılık faaliyetleri, termal turizm gibi farklı amaçlarla kullanılmak için uygun bir kaynak olsa da bu çalışmada incelenecek olan Merkez ilçede, jeotermal kaynak eksikliği nedeniyle yatırım olanağı sunmamaktadır (Tarhan vd., 2013). Hidroelektrik enerjiden yararlanabilmek için gerekli olan su kaynağı, suyun depolanması ve potansiyel enerji ihtiyacı; Çanakkale ilinin Merkez ilçesi için yatırımı pek fazla mümkün kılmamaktadır. Elde etmek için çok fazla miktarda atığın toplanması ve depolanması gereken biyokütle enerjisi de, bu olanaklara sahip olmayan bir kamu kurumu için değerlendirilebilir bir enerji kaynağı olarak gözükmemektedir. Çanakkale boğazında ve Çanakkale’nin diğer kıyılarında belli bir üretim potansiyeli olan dalga-akıntı enerjisi için gerekli olan Ar-Ge çalışmaları ile stratejik ve askeri önemi bulunan Çanakkale Boğazı ve ilimizdeki diğer deniz kıyılarının kullanım kısıtlamaları, bu çalışmada dalga-akıntı enerjisinin incelenmesi için gerekli koşulları tam olarak sunmamaktadır. Sonuç olarak Çanakkale ili Merkez ilçesinde bulunan Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi binasının enerji ihtiyacının karşılanması için ilimizdeki mevcut enerji kaynakları incelendiğinde ve yapılacak çalışmanın yeşil-yenilenebilir enerji

kapsamında olması tercihi düşünöldüğünde; bu tez çalışmasında, ilimiz için verimliliğı en yüksek olması beklenen yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgardan enerji üretilme potansiyelleri öne çıkmıştır. Bir sonraki bölümde, Çanakkale ilimizin güneş enerjisi anlamında sahip olduğı potansiyel incelenmektedir.

1.3.1. Çanakkale İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, Kuzey Yarıml Küre’de 36° ile 42° enlemleri arasında, orta kuşak denilen bölgede yer almaktadır. Ülkemiz; daha düşük enlemlerde ya da ekvator çevresinde bulunan ölkelere göre güneş enerjisi açısından dezavantajlı olmakla birlikte, daha yüksek enlemlerde veya kutup bölgelerinde olan ölkelere göre ise daha avantajlı konumdadır. 7.065 MW kurulu güçteki güneş enerji santrali (GES) kapasitesi ile ölkemiz, Tablo 1’de göröleceğı gibi bu alanda dünya genelinde 15. sırada yer almaktadır (Anonim, 2021b). Bu listede, ölkemizin önünde yer alan ve bulundukları enlemler nedeniyle Türkiye’ye göre daha az güneş ışınlmı ve güneşlenme sürelerine sahip olan Almanya, İngiltere, Fransa, Hollanda vb. ölkelerin kurulu güçleri göz önüne alındığında; ölkemizin güneş enerjisi konusunda, daha çok yol kat etmesi gerektiğı görölmektedir. Güneş enerjisi kurulu güç sıralamasında önümüzde yer alan ölkeleri yakalayıp geçebilmek için en verimli bölgeler ön planda tutularak ölkemizin farklı illerinde, GES yatırımlarının arttırılması gerekmektedir.

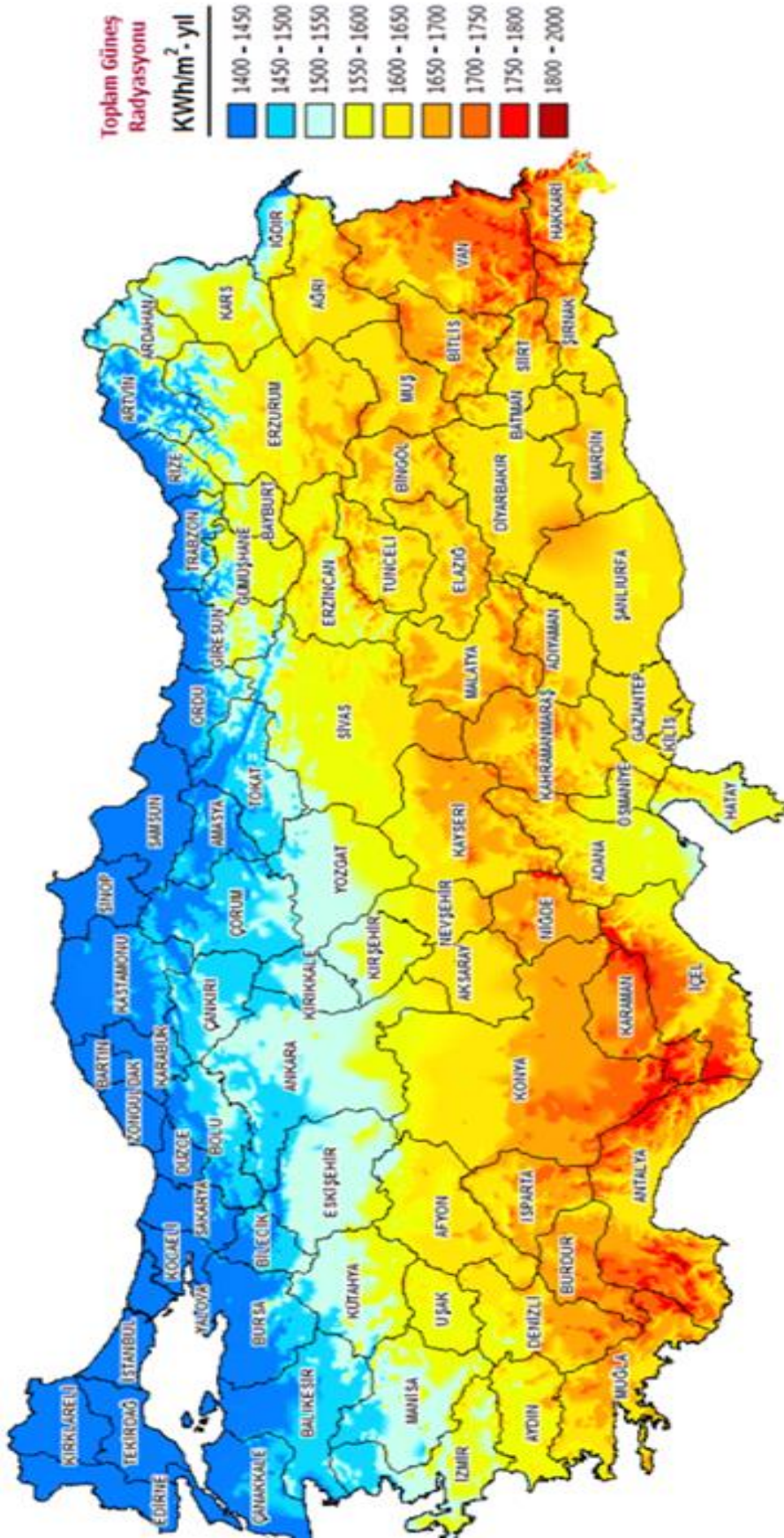
Son yıllarda, özel sektör yatırımlarının yanı sıra, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ihalesi yapılarak ölkemizde güneş paneli üretim tesislerinin yapılması ve ihale kapsamında Konya’da 1.000 MW kurulu güce sahip GES kurulması çalışmaları başlamıştır (EG, 2021). Büyük çaplı olarak yürütölen bu tarz girişimlerin yanında, illerin kendi imkanları doğrultusunda yatırım örnekleri oluşturması; güneş enerjisi kullanımını yaygınlaştıracak ve ölkemizin bu alanda üst sıralara tırmanması sürecini hızlandıracaktır.

Tablo 1

Dünya geneli GES kurulu gücü en yüksek olan 20 ülke (Anonim, 2021b)

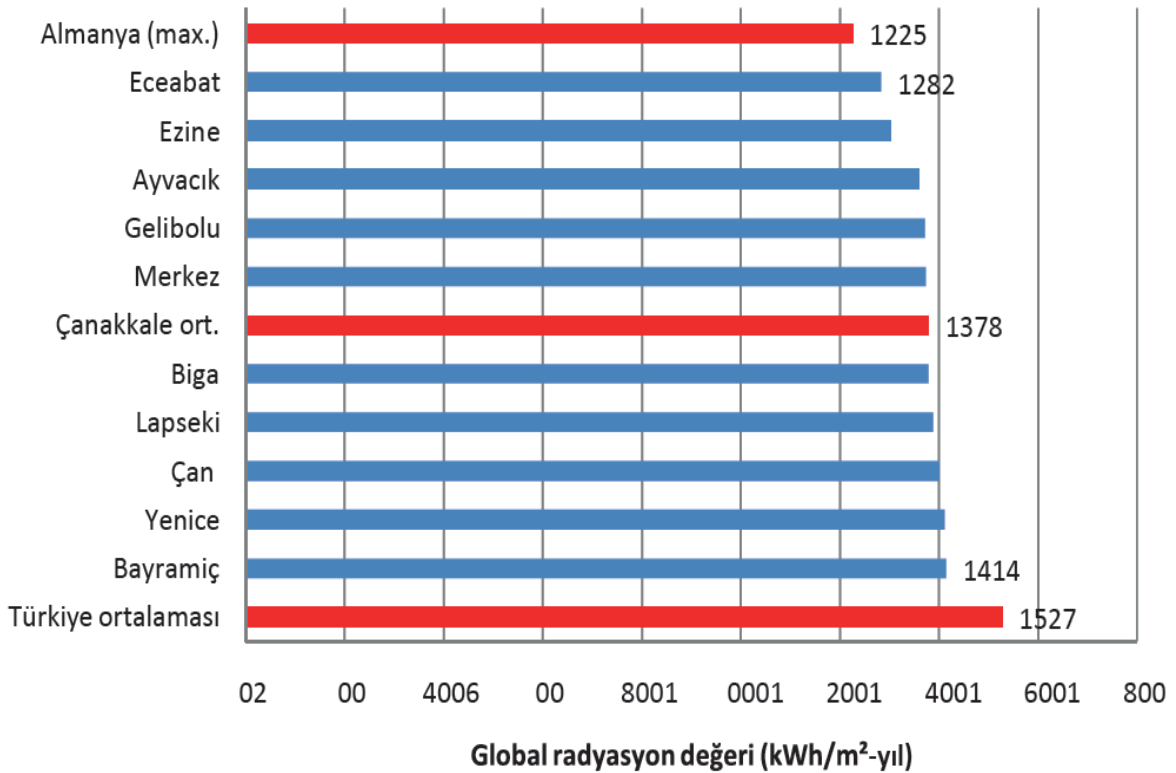
Sıra No	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık 2020	254.355
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2020	75.572
3	Japonya	Aralık 2020	67.000
4	Almanya	Aralık 2020	53.783
5	Hindistan	Aralık 2020	39.211
6	İtalya	Aralık 2020	21.600
7	Avusturalya	Aralık 2020	17.627
8	Vietnam	Aralık 2020	16.504
9	Güney Kore	Aralık 2020	14.575
10	İspanya	Aralık 2020	14.089
11	Birleşik Krallık	Aralık 2020	13.563
12	Fransa	Aralık 2020	11.733
13	Hollanda	Aralık 2020	10.213
14	Brezilya	Aralık 2020	7.881
15	Türkiye	Mayıs 2021	7.065
16	Güney Afrika	Aralık 2020	5.990
17	Tayvan	Aralık 2020	5.817
18	Belçika	Aralık 2020	5.646
19	Meksika	Aralık 2020	5.644
20	Ukrayna	Aralık 2020	5.360

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyelini tespit edebilmek amacıyla, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası oluşturulmuştur (GEPA, 2021). Şekil 2’de verilen ülke geneli GEPA ışıınım haritasında, ülkemizin güney kısmındaki illerin yıllık 1.500 kWh/m² üzerinde ışıınım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Antalya, Konya, Karaman ve Van gibi bazı illerimizde; bu değerin 1.700-1.800 kWh/m² gibi oldukça yüksek seviyelere ulaşabildiği, atlastaki verilerden okunabilmektedir. Işıınım haritasından Çanakkale ili için verilen değerler okunduğunda, ilimizin yıllık güneş ışıınım değerlerinin 1.400-1.500 kWh/m² arasında olduğu görülebilmektedir.



Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA, 2021).

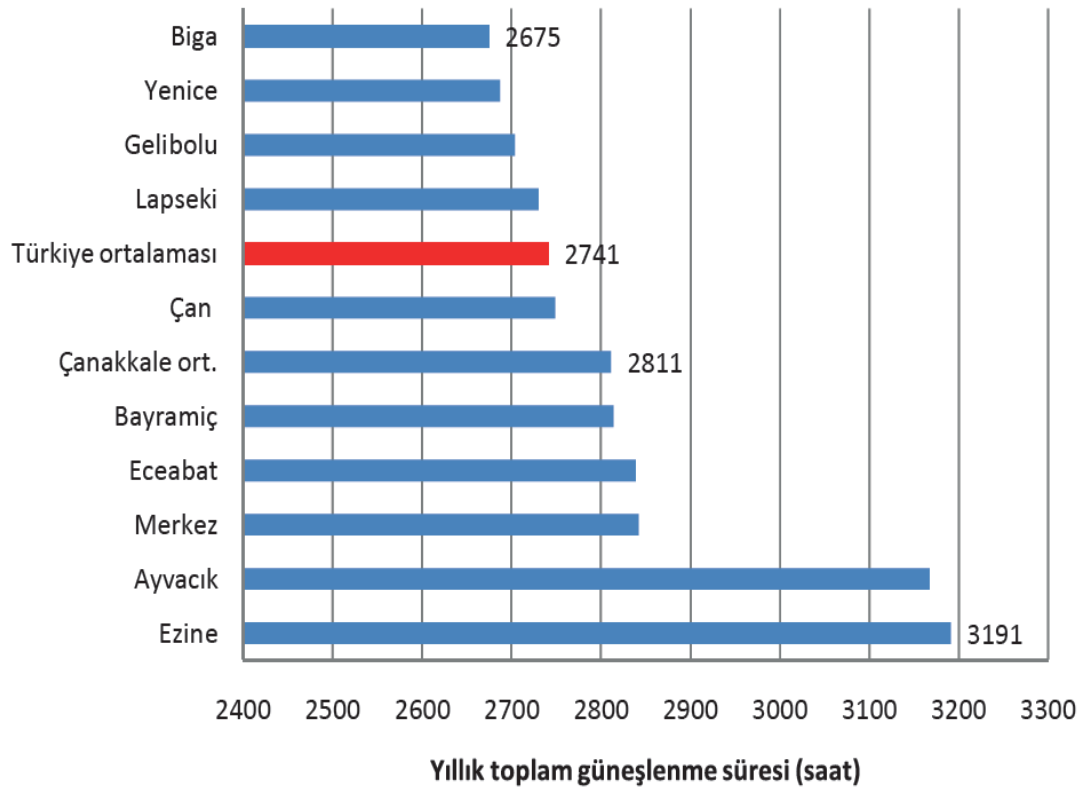
TR22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu'na (Tarhan vd., 2013) göre; Çanakkale ili, güneş radyasyonu açısından ülkemiz ortalaması olan 1.527 kWh/m² değerinin altında kalmasına rağmen; Çanakkale'nin tüm ilçeleri, Avrupa'nın en büyük GES kurulu gücüne sahip ülkesi olan Almanya'nın maksimum yıllık ışıınım değerinin üzerinde yer almaktadır. Şekil 3'te Çanakkale ilçelerinin, Türkiye ortalaması ve Almanya en yüksek değeri ile kıyaslandığı tabloda; bu durum net olarak görülebilmektedir.



Şekil 3. Çanakkale iline ait ilçelerin yıllık güneş ışıınım değerleri (Tarhan vd., 2013).

Çanakkale ilinin en az ışıınıma sahip ilçesi olan Eceabat, 1.282 kWh/m² ışıınım değeri ile Almanya'nın maksimum ışıınım değeri olan 1.225 kWh/m² seviyesinden yukarıdadır. Bu durumda Çanakkale ili, 53.783 MW GES kurulu gücüne (Tablo 1) sahip olan Almanya'da bulunan tüm santrallere göre; eşdeğer sistemler için birim alandan daha fazla güneş enerjisi üretim potansiyeline sahiptir. Böylesine büyük bir kurulu gücün, güneş enerjisi referans değeri olarak Çanakkale iline güneş enerjisi yatırımını desteklediği çıkarımı yapılabilir. Bu çalışmada incelenecek olan Merkez ilçe için ise, TR22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu'nda (Tarhan vd., 2013) yıllık güneş ışıınım değeri 1.375 kWh/m² olarak verilmiştir.

Çanakkale, güneş ışıınımlı açısından ülke ortalamasının altında kalmasına rağmen; güneş enerjisi yatırımı için bir diğer önemli parametre olan güneşlenme süresi açısından ülke ortalamasının üzerinde yer almaktadır. Özellikle, ilin güney bölümünde yer alan Ezine ve Ayvacık ilçeleri, bu alanda Türkiye ortalamasının oldukça üzerinde yer almaktadır. Şekil 4'te verildiğı gibi; Çanakkale Merkez ilçesi, 2.845 saatlik yıllık güneşlenme süresi ile hem 2.811 saatlik Çanakkale ortalamasının, hem de 2.741 saatlik Türkiye ortalamasının üzerinde yer alarak GES yatırımı için öne çıkmaktadır (Tarhan vd., 2013).



Şekil 4. Çanakkale iline ait ilçelerin yıllık güneşlenme süreleri (Tarhan vd., 2013).

Güneş paneli kurulumu öncesinde araştırılan parametrelerden bir diğeri, kurulacak sistemden optimum verim sağlanabilmesi için güneş panelinin zeminden kaç derece açıyla sabitlenmesi gerektiğidir. Bu aşamada, ilk bakışta Çanakkale'nin 40° Kuzey (K) enleminde olması nedeniyle bu açının 40° civarında olması gerektiğı düşünülse de; yaz aylarındaki uzun ve güneşli günlerden daha fazla yararlanabilmek amacıyla, bu değerin 31°-32° civarında olması gerektiğı çıkarımı, Tablo 2'de Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu (Tarhan vd., 2013) için yapılan araştırmalar sonucu gösterilmiştir.

Tablo 2

Çanakkale’de farklı ışıınım bölgeleri için ideal panel eğim açısı (Tarhan vd., 2013)

İşıınım Bölgesi	PV modülü optimum eğim açısı (°)
Çanakkale minimum	31
Çanakkale ortalama	31
Çanakkale maksimum	32

Sonuç olarak Çanakkale ili, Türkiye ortalamasının üzerinde olan güneşlenme süresi bağlamında güneş enerjisi yatırımına uygun ortam sağlamaktadır. Her ne kadar ilimizin güneş ışıınım değeri, Türkiye ortalamasının altında kalsa da; güneş panellerinin uygun açıyla yerleştirilmesi, uygun panel tiplerinin kullanılması vb. çözümler üretilerek bu çalışmada optimum üretim koşullarını elde edilmesi için gerekli hesaplamalar yapılacaktır.

1.3.2. Çanakkale İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, 36° ve 42° Kuzey (K) enlemleri ile 26° ve 45° Doğu (D) boylamları arasında yer almaktadır. Ülkemizin üç tarafı denizlerle çevrili olduğu için karalar ve denizlerin ısınma süresi farklılığının bir sonucu olarak özellikle kıyı kesimlerde daha fazla rüzgarlar oluşmaktadır. Ayrıca; dünyada çok az yerde bulunan doğal su kanallarından ikisi (Çanakkale Boğazı ve İstanbul Boğazı), ülkemizde bulunmaktadır. Boğazlar, genellikle hava akımlarının önünde fazla bir engel olmadan deniz seviyesine yakın yükseklikte gerçekleşmesine olanak sağladığı için normal alanlara göre daha fazla rüzgar almaktadır. Bu durum, daha fazla rüzgar enerjisi üretim fırsatı anlamına gelmektedir. Tablo 3’te görülebileceği gibi, ülkemiz rüzgar enerjisi santrali (RES) kurulu gücü anlamında, 9.253 MW kapasite ile dünya genelinde 13. sırada bulunmaktadır (Anonim, 2021b). Söz konusu listede, ülkemiz ile benzer enlemlerde bulunan ve benzer iklim koşullarına sahip olan İspanya, Fransa, İtalya gibi ülkelerin; RES kurulu gücü açısından ülkemizin önünde yer aldığı görülmektedir (Tablo 3). Ülkemize göre, İspanya’nın yaklaşık üç kat ve Fransa’nın yaklaşık iki kat kurulu gücü olduğu düşünülürse; rüzgar enerjisi konusunda yatırımların ve kurulu gücün artırılması gerektiği çıkarımı yapılabilmektedir. Son dönemlerde, özel sektör yatırımlarına ek olarak Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından YEKA ihalesi yapılmıştır (EG, 2021). Böylece, ülkemizde rüzgar türbini üretim tesislerinin yapılması ve ihale kapsamında 1.000 MW güce sahip RES kurulması için çalışmalar başlamıştır. Bu

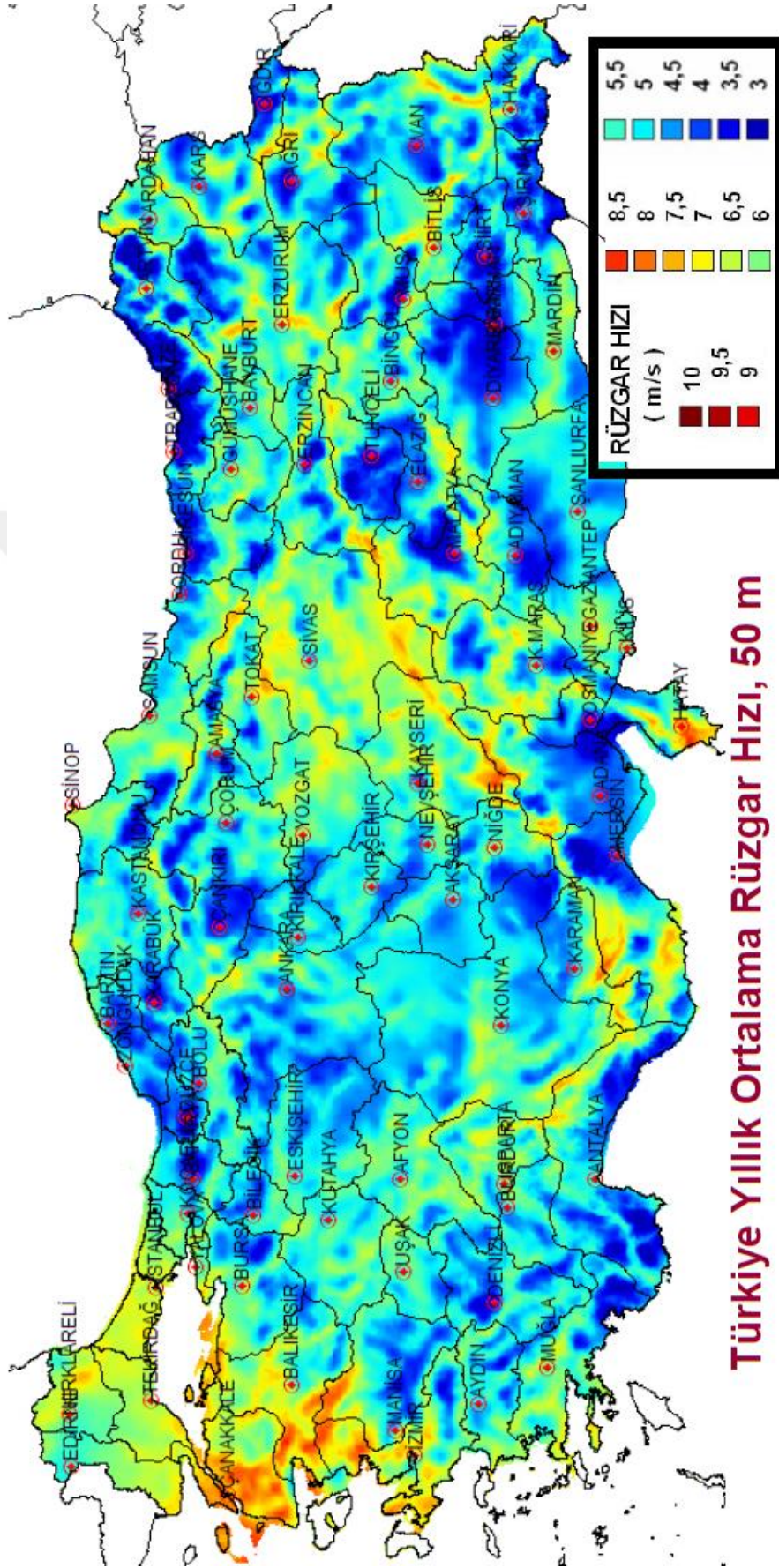
olumlu adımların yanında; yerel kaynaklarla yapılacak projeler yoluyla, RES kapasitesinin artırılması ve ülkemizde rüzgar enerjisinin hak ettiği noktaya gelme süreci öne çekilebilir.

Tablo 3

Dünya geneli RES kurulu gücü en yüksek olan 20 ülke (Anonim, 2021b)

Sıra No	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)	%
1	Çin	Aralık 2020	281.993	41,51
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2020	117.744	17,33
3	Almanya	Aralık 2020	62.184	9,15
4	Hindistan	Aralık 2020	38.559	5,68
5	İspanya	Aralık 2020	27.089	3,99
6	Birleşik Krallık	Aralık 2020	24.665	3,63
7	Fransa	Aralık 2020	17.382	2,56
8	Brezilya	Aralık 2020	17.198	2,53
9	Kanada	Aralık 2020	13.577	2,00
10	İtalya	Aralık 2020	10.839	1,60
11	İsveç	Aralık 2020	9.688	1,43
12	Avusturalya	Aralık 2020	9.457	1,39
13	Türkiye	Mayıs 2021	9.253	1,36
14	Meksika	Aralık 2020	8.128	1,20
15	Hollanda	Aralık 2020	6.600	0,97
16	Polonya	Aralık 2020	6.267	0,92
17	Danimarka	Aralık 2020	6.235	0,92
18	Portekiz	Aralık 2020	5.239	0,77
19	Japonya	Aralık 2020	4.206	0,62
20	Romanya	Aralık 2020	3.029	0,45
Toplam			679.332	100,00

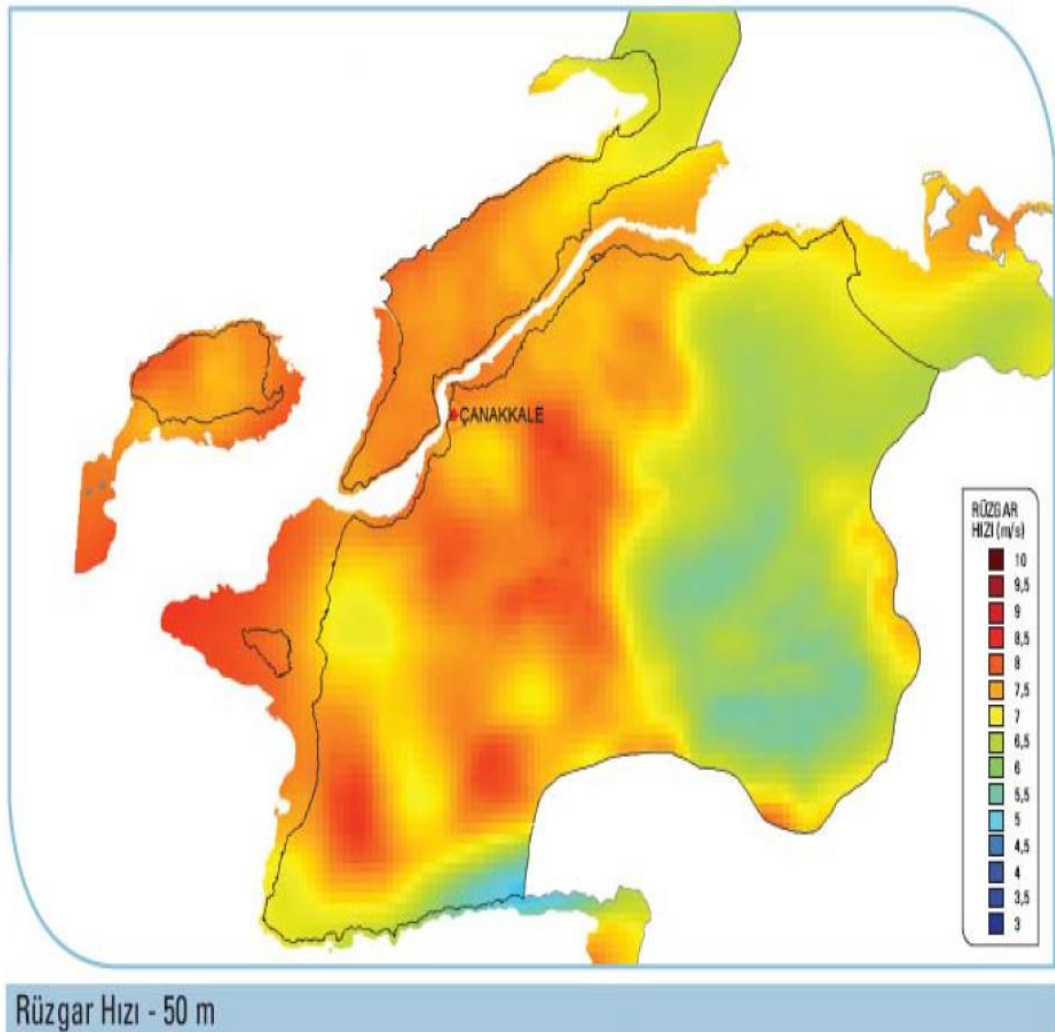
Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından ülke geneli için oluşturulan Şekil 5'teki Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA, 2021) verileri incelenirse, atlas üzerinde Çanakkale ilinin büyük bölümünün yüksek ortalama rüzgar hızı anlamına gelen, kırmızı ve turuncu bölgede yer aldığı görülebilmektedir. Bu durumun oluşmasında, Marmara Denizi ve Ege Denizi arasında gerçekleşen güçlü hava hareketlerinin etkili olduğu, atlas üzerindeki renklere ve bu renklerin anlamlarına bakılarak söylenebilmektedir.



Şekil 5. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli atlası (REPA, 2021).

REPA kapsamında her il için hazırlanan ve daha ayrıntılı olan Çanakkale ili geneli rüzgar atlası incelendiğinde ise; Şekil 6'daki Çanakkale Ortalama Rüzgar Hızı Atlası verilerine göre, Çanakkale Merkez ilçesinin 7,5-8 m/s ortalama rüzgar hızı ile ülkemiz genelinde rüzgar türbini kurulumu açısından en avantajlı konumlardan biri olduğu görülebilmektedir (REPA, 2021). Söz konusu atlastan çıkarım yapıldığında; Çanakkale Boğazı hattının, Çanakkale iline bağlı adaların (Gökçeada ve Bozcaada) ve boğaz hattına fazla uzak olmayan karasal bölgenin, ilin diğer kısımlarına göre daha fazla ortalama rüzgar hızı değerlerine sahip olduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla, Çanakkale Boğazı'nın kıyısında bulunan Çanakkale Merkez ilçesinin sahip olduğu yüksek rüzgar hızının, konumunun sahip olduğu kendine has özelliklerinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı yorumu yapılabilir.

RÜZGAR HIZ DAĞILIMI – 50 metre

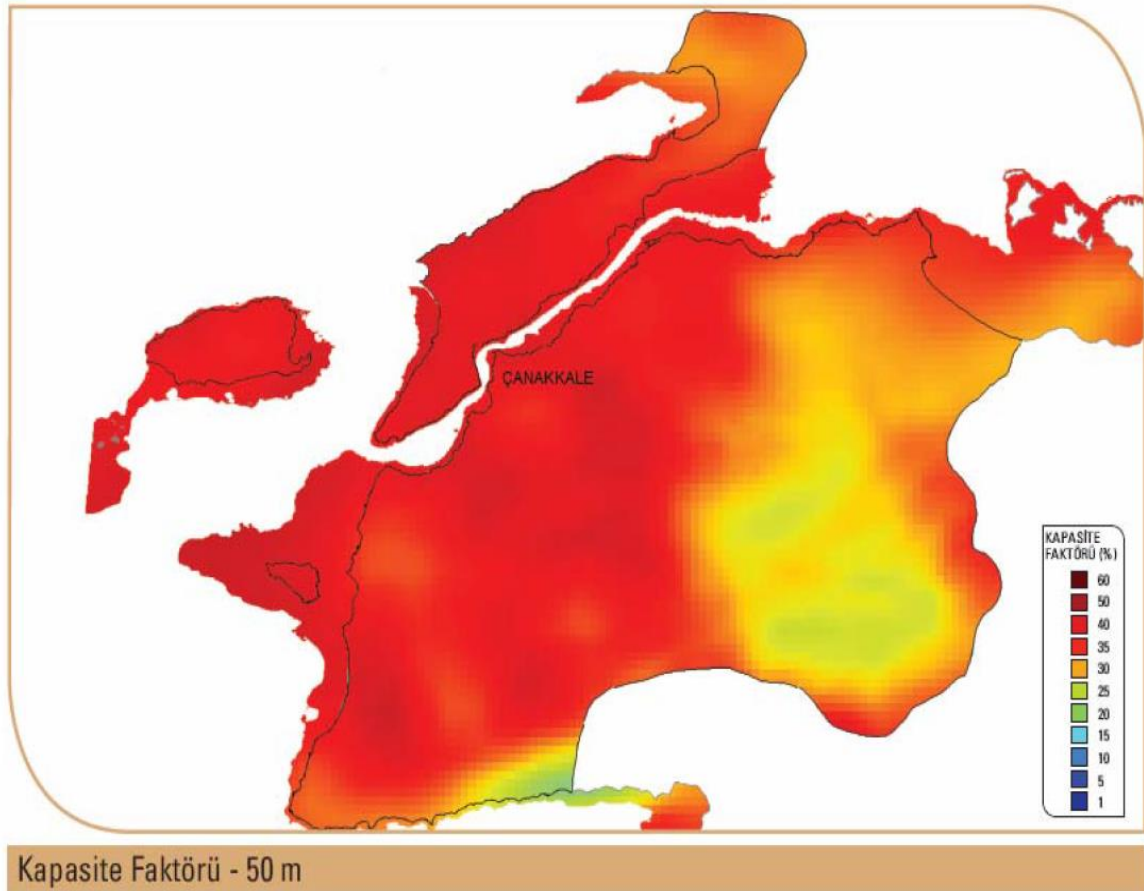


Şekil 6. REPA verilerine göre Çanakkale ortalama rüzgar hızı atlası (REPA, 2021).

Rüzgar enerjisi yatırımı yapılırken yalnızca ortalama rüzgar hızına değil, aynı zamanda rüzgar kapasite faktörüne de bakılmaktadır. Bu nedenle, RES kurulumu için bir diğer önemli parametre olan kapasite faktörü, Şekil 7'deki Çanakkale Rüzgar Kapasite Faktörü Atlası üzerinde incelendiğinde; kırmızı renkle gösterilen Çanakkale Merkez ilçesinin yaklaşık %35-40 kapasite faktörü ile rüzgar türbini kurmak için oldukça uygun koşullar sunduğu görülebilmektedir (REPA, 2021). Kapasite faktörü, kurulumu yapılan santralin yıl genelinde yaptığı gerçek üretimin; aynı santralin yıl boyunca (365 gün ve 24 saat) çalışması durumunda elde edilebilecek olan nominal güçteki enerji üretimine oranı olarak tanımlanabilmektedir. Kapasite faktörüne (KF) ait olan formül, Denklem 1.1'de aşağıdaki gibi verilmiştir (Gençel ve Tarhan, 2019).

$$KF = \frac{\text{Yılda Üretilen Toplam Enerji Miktarı}}{\text{Türbinin Nominal Güçte Üretmesi Gereken Enerji Miktarı}} \quad (1.1)$$

KAPASİTE FAKTÖRÜ DAĞILIMI – 50 metre



Şekil 7. REPA verilerine göre Çanakkale rüzgar kapasite faktörü atlası (REPA, 2021).

Yukarıda belirtilen ve Çanakkale’de rüzgar enerjisi üretimi için var olan avantajlı durumun, optimum şekilde enerji üretim değerlerine yansıtılabilmesi için türbin büyüklüğü ve türbinin koyulacağı yer vb. parametrelerin seçimi, sistem hesaplamaları ve simülasyonlar sonucu özenle yapılacaktır. REPA verileri dışında, hesaplama ve analiz yapabilmek amacıyla yürütülen araştırmalar sonucunda, Global Rüzgar Atlası (GWA) sitesinin seçilen konuma göre farklı yükseklikler için ortalama rüzgar hızı, rüzgar güç yoğunluğu, rüzgar esme yönü vb. istatistiki veriler açısından iyi bir kaynak olabileceği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak rüzgar enerjisi üretimine ilişkin enerji üretim tahmini yapılması planlanmıştır.

Sonuç olarak; Çanakkale ili, ortalama rüzgar hızı ve kapasite faktörü etmenleri açısından ülkemizde RES yatırımı yapmak için en uygun konumlardan birine sahiptir. Bu avantajlı durumun üretim değerlerine yansıtılabilmesi için kurulum öncesi üretim hesaplamalarının ve türbin konum seçiminin titizlikle yapılması oldukça önemlidir.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gelişen teknolojiler sayesinde, insanlığın daha konforlu ve müreffeh yaşaması için kullanılan cihazlar, aletler ve donanımların çoğalması sonucunda; enerji tüketimi artmakta olup daha fazla enerji üretimi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Artan enerji ihtiyacının büyük bir kısmı; hala kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu fosil kaynakların kullanımı sonucunda ortaya çıkan CO₂, CH₄, NO_x, SO_x vb. gazların oluşturduğu sera etkisinin, çevreye olumsuz yanları olması nedeniyle; son yıllarda güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle gibi doğa dostu ve çevreye zararı olmayan ya da minimum düzeyde etkisi olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilgi artmıştır. Dolayısıyla, bu yönde çeşitli çalışmalar, araştırmalar ve projeler hız kazanmıştır. Çanakkale ilindeki güneş ve rüzgar potansiyelinin inceleneceği bu tez çalışmasına aydınlatıcı olması için ülkemizde bu konuda yapılan araştırmalara ilişkin literatür taraması yapılmış ve çeşitli çalışmalara ilişkin sonuçlar elde edilmiştir.

2.1. Önceki Çalışmalar

Güney Marmara Kalkınma Ajansı (GMKA), Çanakkale ve Balıkesir illeri için oldukça kapsamlı olan TR22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Raporu'nu hazırlayarak Çanakkale ili için yenilenebilir enerji kaynakları ve potansiyelleri ile yatırımlarına dair yol gösterici bir çalışma ortaya koymuşlardır (Tarhan vd., 2013). Bu raporda, Çanakkale ilinde kurulan küçük çaplı bir güneş enerji santraline ilişkin incelemeler de yer almaktadır. GMKA tarafından Çanakkale ilinin enerji potansiyelinin araştırılması ve yatırımcılara yol gösterilmesi amacıyla, Çanakkale Enerji Sektörü Yatırım Rehberi hazırlanmıştır (GMKA, 2018). Bu rehberde, ilimizde öncelikle rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi olmak üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak için şartların uygun olduğu ve yatırıma elverişli bir ortam sunduğu belirtilmiştir. Gençel ve Tarhan (2019) tarafından Çanakkale ili ve civarındaki rüzgar enerji santrallerinin bulunduğu sahalara için rüzgar enerjisinin kapasite faktörü incelenmiştir. Yıldız ve diğerleri (2020), yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ülkemizde gerçekleşen kurulumlar, genel durum değerlendirmesi ve bu alanda gelecek için tahminler üzerine çalışmışlardır. Bilecik ili için rüzgar enerjisine dair potansiyel belirleme çalışmaları, Başkaya (2017) tarafından

araştırılmıştır. Malatya iline dair rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin kullanılabilirliği üzerine araştırma, Behçet ve diğerleri (2014) tarafından yapılmıştır. Elibüyük ve diğerleri (2016), Isparta’da üniversite kampüsüne rüzgar türbini kurulumu için ön çalışmada bulunmuşlardır. Muratdağı (2015), rüzgar santrallerinin yapımı ve işletilmesi sürecinde ortaya çıkabilecek olumsuzluklar üzerine araştırma yapmıştır. Boztepe ve Çolak (2002) tarafından şebekeye entegre fotovoltaik sistemin İzmir koşulları için dizaynı ve denemesi gerçekleştirilmiştir. Rüzgar enerji sistemleri ve uygulamaları üzerine kapsamlı bir çalışma Yücel (2009) tarafından yapılmıştır. Başaran ve diğerleri (2011), konuya farklı bir bakış açısı ile yaklaşarak sürekli ve tutarlı üretim yapması mümkün olmayan güneş ve rüzgar santrallerinin birlikte kullanımı üzerine çalışma yapmıştır. Aynı şekilde, Efe ve Behçet (2017) tarafından da Bitlis ilinde rüzgar ve güneş enerjilerinin birlikte kurulumu gerçekleştirilmiş olan küçük çaplı hibrit sistem için elde edilen ölçümler ve sonuçlar üzerine çıkarımlar yapılmıştır. Yılandıcı ve diğerleri (2008) tarafından güneş ve hidrojenin birlikte kullanımı üzerine bir tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Hangi konularda yapıldığı belirtilen yukarıdaki çalışmalar incelendikten sonra, ülkemizde rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi sektörlerinin yıllar içerisinde daha fazla araştırmaya konu olduğu ve bu alanlardaki yatırımların zamanla arttığı tespit edilmiştir. Pek çok farklı kullanım gerekçesine ve yöntemine dayanan bu çalışmaların ortak yönü, ülkemizin enerji alanındaki dışa bağımlılığın yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak azaltılmasıdır. Bu hususta, yenilenebilir enerji kaynaklarına öncü olarak rüzgar ve güneş enerji kaynakları bir adım öne çıkmaktadır. Bir sonraki bölümde, bu kaynaklara ilişkin gerekli materyalin nasıl elde edileceği ve eldeki veriler kullanılarak kaynaklara göre hesaplama yöntemlerinin nasıl yapılacağı açıklanmıştır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

Çanakkale 112 AÇM'nin elektrik enerjisi tüketiminin karşılanması için önceki bölümlerde belirlenen güneş ve rüzgar kaynaklarına dair veriler, çoğunlukla sanal ortamdan elde edilmeye çalışılacaktır. Verilerin, sanal ortam dışındaki diğer kaynaklardan da araştırması yapılarak sanal ortamdaki verilerin kontrolü gerçekleştirilecek ve böylece yapılan hesaplamaların gerçekçi sonuçlardan uzaklaşmasının önüne geçilecektir. İlk olarak Çanakkale için güneş enerjisi verilerinin nasıl elde edileceği açıklanacaktır.

3.1. Çanakkale İçin Güneş Enerjisine İlişkin Verilerin Elde Edilmesi

Çanakkale iline ait güneş enerjisi verilerini elde etmek amacıyla internet ortamında yapılan araştırmalar sonucunda, çeşitli veri kaynakları ile karşılaşılmış ve bu veri bankalarına ait sitelerin bağlı olduğu ülkeler ve veri kaynakları, çeşitliliğin sağlanması için bilinçli bir şekilde farklı olarak seçilmiştir. Bu durum, yapılacak olan analizin kalitesi ve doğruluğu açısından olumlu bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'na (National Renewable Energy Laboratory, NREL) bağlı olarak veri elde eden PVWatts Calculator (PVWC) sitesi, Avrupa Birliği'ne bağlı Avrupa Komisyonu Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (Photovoltaic Geographical Information System) (PVGIS) sitesi ve yerel veri kaynağı olarak Türkiye'de hizmet veren Elseroof Simulator (ERS) veri kaynaklarından güneş enerjisini incelemek için çok yönlü bilgi elde edebilmek amacıyla yararlanılmıştır. Bu kaynaklardan PVGIS sitesi içerisinde; İklim İzleme Uydu Uygulaması Özelliği (Climate Monitoring Satellite Application Facility, CMSAF), Küçük Ölçekli Modelleme Konsorsiyumu (Consortium for Small-Scale Modelling, COSMO), ECMWF (Meteorolojik Model) Yeniden Analizi 5. Nesil (ECMWF Reanalysis 5th Generation, ERA5) ve Yüzey Güneş Işınımı Veri Seti – Heliosat (Surface Solar Radiation Data Set – Heliosat, SARAH) veri bankaları yer almaktadır (PVGIS, 2021). Genel olarak bakıldığında; PVWC sitesinde 1 adet, PVGIS sitesinde 4 adet ve ERS sitesinde 1 adet olmak üzere güneş enerjisine ilişkin toplam 6 veri setinden faydalanılmaktadır. Bu veri setlerinin yanı sıra, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA, 2021) ve Tarım ve Orman

Bakanlığı'na bağlı olan Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerinden de belli noktalarda yararlanılarak veri kaynaklarının çeşitlendirilmesi sağlanmıştır.

3.2. Rüzgar Enerjisine İlişkin Verilerin Elde Edilmesi

Olasılık ve sıklık dağılımı matematiksel hesaplamalarında kullanılan en yaygın fonksiyonlar; Gauss, Beta, Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarıdır. Gauss dağılımı, incelenecek olan duruma ait olan ortalama değerin her iki tarafının da simetrik olduğu fonksiyon çeşididir ve normal dağılım fonksiyonu (çan eğrisi) olarak da bilinmektedir. Beta dağılımı, Gauss dağılımında ortalama değer dışında bir adet olan değişken değerinin ikiye çıkarıldığı durumda; alfa ve beta değişkenlerinin değerlerine göre, iki değer birbirine eşit olması dışında simetrik olmayan olasılık dağılım fonksiyonudur. Weibull dağılımı ise, şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) değerleri üzerinden hesaplanan bir olasılık dağılım fonksiyonudur (Durak ve Özer, 2008). Rüzgar enerjisi incelemesi yapılacak bir noktada sabit bir k değeri olması ve rüzgar hızına göre değişken bir c değeri olması beklenmektedir. Son olarak Rayleigh dağılımı ise, Weibull dağılım üzerinde şekil parametresinin 2 değerini (k=2) aldığı hali betimlemektedir (Durak ve Özer, 2008).

3.2.1. Weibull Dağılım Fonksiyonu

Rüzgar enerjisi ile ilgili verileri elde edebilmek amacıyla, rüzgar hızına göre esme sıklığının belirlenebilmesi için Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Bu dağılımlar, belirli bir noktadaki rüzgarın esme hızının olasılık dağılımlarını belirlemek için en çok kullanılan yöntemlerdendir. Denklem 3.1'de verilen Weibull olasılık dağılım fonksiyonu, bir noktadaki rüzgar hızına ait sıklık dağılımını elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu denklemde; V rüzgar hızına, k şekil parametresine ve c de ölçek parametresine karşılık gelmektedir (Durak ve Özer, 2008). Denklem 3.2'de ise, Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu verilmektedir (Durak ve Özer, 2008).

$$F(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad c > 0, V > 0, k > 0 \quad (3.1)$$

$$F(V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (3.2)$$

Yukarıda verilen denklemler ve bir noktaya ait rüzgar verileri birlikte kullanıldığında, Weibull fonksiyonu yardımıyla rüzgar enerjisine ilişkin parametrelerin belirlenmesi ve hesaplamaların yapılması mümkün hale gelmektedir.

3.2.2. Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Denklem 3.3'teki Rayleigh dağılımı, Weibull dağılımında $k=2$ değeri kullanıldığında elde edilen bir fonksiyondur ve Weibull dağılımının özel bir hali olarak açıklanabilir (Durak ve Özer, 2008). Bu denklemde, V_{ort} ortalama rüzgar hızını ifade eder. Bir noktadaki V ve V_{ort} değerleri biliniyorsa, Denklem 3.3'te bu değerler kullanılarak rüzgar hızının o noktada ne sıklıkta (yüzdesel) estiği bilgisi elde edilebilmektedir. Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu da, Denklem 3.4'te verilmiştir (Durak ve Özer, 2008).

$$F(V) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{V_{ort}^2} \right) \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right)^2 \right] \quad (3.3)$$

$$F(V) = 1 - \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{V_{ort}} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

Günümüzde uydu teknolojisinin gelişmesi sonucunda, gelişmiş yazılımlar kullanılarak gerçekçi modellemelerin yapılması mümkün hale gelmiştir. Bu nedenle, incelenecek bir nokta için bu dağılım fonksiyonları kullanılmadan da mevcut yazılımlarla veya veri bankalarıyla araştırma yapabilme fırsatı doğmuştur. Yine de, elde edilen sonuçların bu fonksiyonlarla sağlamasının yapılması, elde edilen verilerin kalitesini ve doğruluğunu arttırmada yardımcı bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Çanakkale iline ait verilerin, rüzgar veri bankasına sahip olan rüzgar atlaslarından hazır olarak elde edilebilmesinin mümkün olup olmadığının araştırılmasına karar verilmiştir.

Çanakkale iline ait rüzgar enerjisi verilerini elde etmek amacıyla yapılan araştırmalar sonucunda, farklı veri kaynakları bulunmuştur. Bunlardan ilki olan Global Rüzgar Atlası (GWA) web sitesi, harita üzerinden koordinatları seçilen noktanın sahip olduğu ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü verilerini anlık olarak verebilmektedir. Bu kaynaktan elde edilecek olan veriler; REPA istatistikleri, MGM ölçümleri ve Çanakkale iline ait daha önce yapılan akademik çalışmalar ile karşılaştırılarak kullanılacak istatistiki

bilgilerin güvenilir ve doğru olması sağlanmıştır. Rüzgar enerjisine ilişkin verilerin başka bir kaynaktan daha alınması için yapılan araştırmada, Kanada merkezli bir yazılım olan RetScreen Uzman (RetScreen Expert, RSE) adında farklı bir veri kaynağı da elde edilmiştir. RSE yazılımında, harita üzerinden konum seçildiğinde; o konuma ait istatistikler yerine, en yakın meteoroloji istasyonu (Çanakkale MGM) üzerinden veri sağlandığı için bu yazılım, yalnızca GWA sitesinde hesaplanan üretim verilerinin kontrolü için kullanılmıştır. Ayrıca; Çanakkale ilinde üretim yapan bir firmanın, belli bir kapasitedeki rüzgar türbini için elde ettiği rüzgar enerjisi üretim verileri de değerlendirilmeye alınmıştır. Bu veriler kullanılarak bir sonraki bölümde güneş ve rüzgar enerjisi üretim hesaplamalarının nasıl gerçekleştirileceği açıklanmıştır.

Rüzgar enerjisi üretmek için kullanılan rüzgar türbinleri için pek çok farklı tasarım bulunmaktadır. Rüzgar türbinleri eksen durumlarına göre; dikey, yatay ve eğik eksenli olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Küçükkaya, 2019). Bu seçenekler arasından en yaygın olarak kullanılan eksen, yatay eksen olarak verilmektedir. Aynı şekilde, türbinler sahip oldukları kanat sayılarına göre; tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olmak üzere dört ana başlıkta sınıflandırılmaktadır (Küçükkaya, 2019). Rüzgar türbinlerinde en yaygın olarak kullanılan kanat sayısı, üç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tercihin ortaya çıkmasında, kurulum yapan firmaların yıllar içerisinde enerji üretim miktarları üzerinden yaptıkları analizlerin etkili olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, bu çalışmada rüzgar enerjisi elde etmek için kurulacak olan rüzgar türbininin yatay eksenli ve üç kanatlı özellikte olmasına karar verilmiştir. Böylelikle, aynı noktadan daha fazla enerji üretimi hedeflenmiştir. Rüzgar türbininin gücünün belirlenmesi için daha sonraki bölümlerde uygun noktalara ilişkin üretim hesaplamaları yapılacaktır.

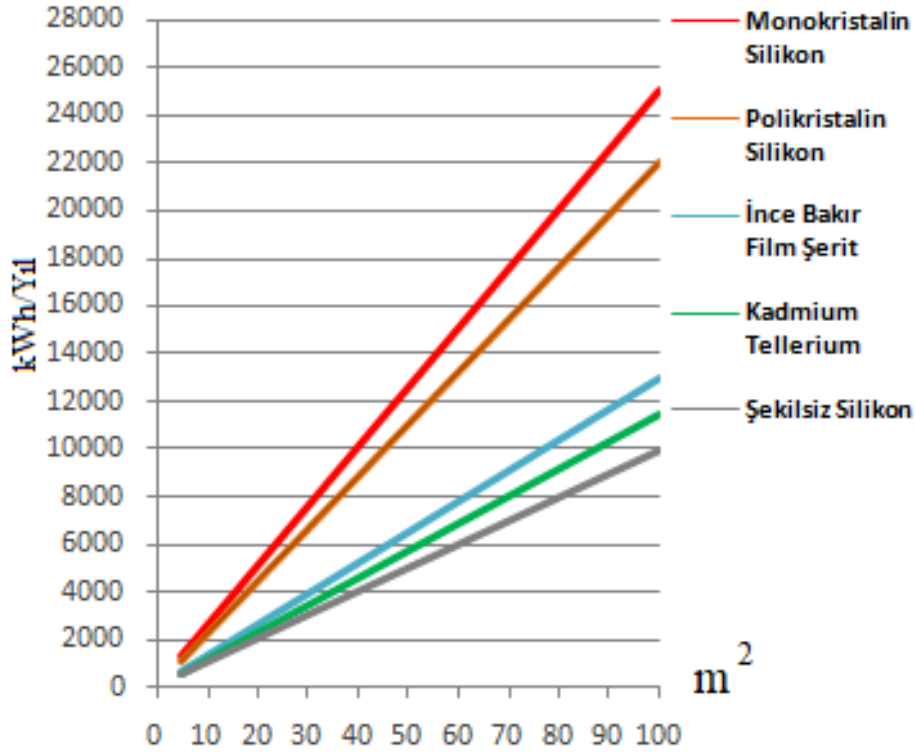
3.3. Çanakkale İline İlişkin Üretim Hesaplamaları

Coğrafi konum ve kuruluma ilişkin diğer gerekli bilgiler girilerek güneş ya da rüzgar üretim kaynaklarına bağlı olarak ayrı ayrı projeksiyonlar gerçekleştirilecektir. Mümkün olduğunca çeşitli veri kaynakları kullanılarak ve bu kaynaklara ait çıktıların genel incelemesi yapılarak tez sonuçlarının gelecekte kurulabilecek olan sistemlere ilişkin analizinin doğru ve güvenilebilir şekilde elde edilmesi hedeflenmektedir.

3.3.1. Güneş Enerjisine İlişkin Hesaplamalar

Veri kaynaklarından yararlanılacak olan PVWC, PVGIS ve ERS veri arşivlerinin her birinde farklı özellikler bulunmaktadır. Bu sitelerden PVWC ve ERS veri tabanları, uydu görüntüsü üzerinden kurulum yapılacak alanın ve diğer bilgilerin seçilmesi durumunda; bu alana kurulumu teorik olarak mümkün olan GES kurulu gücünü vermektedir. Bu durumda, her iki veri kaynağı üzerinde de; Çanakkale 112 AÇM bina çatısına kurulabilecek olan GES kurulu güç kapasitesi, bina çatısındaki uygun alan seçilerek belirlenecektir. Elde edilecek iki farklı kurulu güç karşılaştırılacak ve daha sonra yapılacak hesaplamalarda, en kötü ihtimal düşünülerek bu değerlerden düşük olan değer üzerinden incelemeler devam edecektir. Kurulu güç tespitinin tamamlanmasının ardından, kurulu güce göre yıllık değerler esas alınarak bina konumunda üretilmesi beklenen güneş enerjisinin analizi yapılacaktır. Bu özelliğe sahip olan PVWC ve PVGIS arşivlerindeki toplam 5 veri kaynağına dair, ayrı ayrı simülasyonlar ve hesaplamalar yapılacaktır. Her bir veri kaynağı için güneş paneli kurulum sürecinde, kurulu güç dışında önem arz eden panel tipi, panel eğim açısı, kuzey-güney doğrultusu, farklı nedenlerle beklenen enerji kayıpları gibi parametreler de incelenecek ve bina koşullarına göre gerekli ayarlamalar ve güncellemeler yapılacaktır. Elde edilecek sonuçlar, tablo ve grafikler haline dönüştürülerek sonuçların anlaşılması ve kıyaslanması, daha kolay bir hale getirilecektir. Hesaplamalardan ve simülasyonlardan çıkarılacak sonuca göre; çatı alanının güneş enerjisi kapasitesinin, bina enerji tüketiminin tamamını karşılamaması durumunda, alternatif kurulum alanları üzerine çalışma yapılması planlanmaktadır.

Günümüze kadar güneş panellerine ilişkin yürütülen araştırmalar sonucunda, pek çok farklı güneş enerjisi üretim yöntemi geliştirilmiştir. Bu malzemeler ve yöntemlerin, birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu çalışma için en uygun panel türünün belirlenebilmesi için panel tipleri genel olarak incelenip yorumlanacaktır. Bu çalışmada kullanılabilecek olan bazı fotovoltaik tiplerine göre, üretim-alan örnekleri Şekil 8’de verilmiştir (GEPA, 2021).



Şekil 8. Fotovoltaik tiplerine göre alan başına elektrik üretim örnekleri (GEPA, 2021).

Monokristal Güneş Paneli

Monokristal paneller, silikon bazlı ve tüm yüzeyleri benzer özellikte olan kristal yapıdaki panelleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Panel verimliliğini arttırmak için panel yapımında kullanılan silikonun yüksek oranda saflaştırılması, birim alanda panel yüzeyine vuran ışıklardan daha fazla güneş enerjisi üretilmesine olanak sağlamaktadır. Düzgün bir malzeme yapısı elde edebilmek amacıyla, silikon maddesinin çok yüksek sıcaklıklara çıkartılması gerekmektedir. Bu durum, monokristal panel üretim sürecinde çok fazla enerji tüketilmesine ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminin diğer yenilenebilir kaynakların çoğundan daha fazla sera gazı emisyonuna yol açmaktadır. Genel olarak bakıldığında; monokristal güneş panelleri, yaklaşık %21-22 verim oranı ile birim alandan daha fazla enerji üretimi yapan ve diğer panellere göre daha pahalı olan üretim yöntemidir (Anonim, 2021e). Ayrıca; kullanılan malzemeler, benzer özelliklere sahip olduğu için panellerin performansı, ciddi şekilde birbirlerine yakınsamaktadır. En büyük dezavantajı; panellerde gölgelenme olduğunda, üretimin gölgeden ciddi oranda olumsuz etkilenmesidir.

Polikristal Güneş Paneli

Polikristal paneller, silikon bazlı ve yüzeyleri birbirinden farklı özellikte olan kristal yapıdaki panelleri ifade etmek için kullanılmaktadır. Monokristal panellere göre üretim süreci, silikon saflaştırma işleminin görece düşük oranda yapılmasının sonucu olarak daha kolay ve daha ucuzdur. Maliyetin ve saflık oranının düşmesinin neticesinde, birim alanda polikristal panellerin verimi düşmektedir. Bunun yanında; kullanılan malzemelerin fiziksel yapısı, birebir benzer özelliklere sahip olmadığı için panellerin performansı, birbirlerinden belli ölçüde farklılıklar gösterebilmektedir. Bu panellerin verimliliği, yaklaşık olarak %17-18 mertebesinde bulunmaktadır (Anonim, 2021e). Kurulum alanının kısıtlı olduğu durumlarda pek mantıklı olmamakla birlikte, maliyetin ön planda tutulduğu ve uygun alanın fazla olduğu kurulumlarda iyi bir seçenek olarak öne çıkabilmektedir.

Kadmiyum Tellür Güneş Panelleri

Kadmiyum tellür (CdTe), ince film teknolojisinde kadmiyum ve tellerium elementlerinin kullanılması sonucu elde edilen güneş enerjisi üretim yöntemlerinden biridir. Bu tip panellerin verimi, yaklaşık olarak %9 olarak hesaplanmaktadır (Anonim, 2021e). Optik soğurma özelliği oldukça iyi düzeydedir. Yine de, silikon kristal tipteki güneş panellerine göre verim düzeyi yetersiz kalmaktadır.

Esnek Güneş Paneli

Esnek güneş paneli, esnek ve katlanabilir özellikte olan panel çeşididir. Esneme özelliği olduğu için darbelere karşı daha dayanıklıdır. Bu paneller, monokristal ya da polikristal özellikte olabilmektedir ve buna bağlı olarak verimlilik değerleri oldukça değişkendir (Anonim, 2021e). Eğimli yüzeylerde kullanıma uygundur. Bu panellerde, diğer paneller gibi çerçeve ve temperli cam bulunmamaktadır.

İnce Film Güneş Paneli

İnce film güneş paneli, oldukça ince tabaka halinde üretilen panel çeşididir. Bu panellerin verimi (%10), diğer panel türlerine göre daha düşüktür (Anonim, 2021e). Ancak

maliyeti diğer panellere göre daha ucuzdur. Bir diğer olumlu özelliği, aşırı sıcaklık değişimlerinden ve gölgelenmelerden fazla etkilenmemesidir. Genel olarak küçük çaplı enerji ihtiyacı (kol saati, hesap makinesi vb.) karşılamada, daha mantıklı gözükmektedir.

3.2.2. Rüzgar Enerjisine İlişkin Hesaplamalar

Rüzgar enerjisi üretim hesaplamaları için veri kaynaklarından yararlanılacak olan GWA sitesi ve RSE yazılımı farklı amaçlarla kullanılacaktır. GWA sitesi, harita üzerinden rüzgar hızı ve güç yoğunluğu verilerini görmeye olanak sağladığından; Çanakkale Merkez ilçesinde, rüzgar türbini için uygun konumu seçmek amacıyla kullanılacaktır. Konum seçildiğinde; bu yere ait veriler, farklı yükseklikler için anlık olarak elde edilebilmektedir. Bu verilerin kıyaslanması için RSE yazılımının, seçilen konuma en yakın meteoroloji istasyonundan elde ettiği veriler de, aynı konum için veri kontrolü maksadıyla kullanılacaktır. Yapılan karşılaştırmanın ardından Çanakkale 112 AÇM binasının enerji tüketiminin rüzgar gücü ile karşılanması için uygun rüzgar türbini seçimi yapılacaktır. Bu seçimden sonra, türbinin yüksekliğindeki rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğu verilerini elde etmek amacıyla; zeminden yüksekliğe göre rüzgar hızı verilerini sağlayan Hellmann katsayısından yararlanılacaktır. Türbin yüksekliği için rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğu verilerinin belirlenmesinden sonra, rüzgar enerjisi güç formülü (Denklem 3.5) kullanılarak üretim noktası için yıllık enerji üretiminin hesaplaması yapılacaktır.

$$P(W) = \frac{\rho \cdot v^3 \cdot C_p \cdot A}{2} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te rüzgar enerjisiyle elde edilecek güç değeri; hava yoğunluğu, rüzgar hızının küpü, güç katsayısı ve süpürme alanı değerlerinin çarpımının yarısı olarak verilmektedir (Gençel ve Tarhan, 2019). Bu parametrelerden rüzgar hızı ve süpürme alanı değerleri, uygun seçimler sonucunda artırılarak üretilmesi beklenen enerji miktarı artırılabilir. Rüzgar hızını arttırmak için daha çok rüzgar alan bir konum seçimi yapılabilecekken, süpürme alanını arttırmak için daha büyük bir alanı süpürebilen büyük kapasiteli rüzgar türbini kullanılabilir. Rüzgar enerjisi üretimini optimum düzeyde gerçekleştirebilmek amacıyla, bu değişkenlerin uygun koşullarda belirlenmesi için yapılan hesaplamalar ve sonuçlar sonraki bölümlerde açıklanmaktadır.

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi ve Bina Özellikleri

Ülkemizde 112 Acil Çağrı Merkezlerinin kuruluşu, 2008 yılında Antalya ve Isparta pilot illeriyle başlamış ve zaman içerisinde bu merkezlerin sayıları artmıştır. 112 Acil Çağrı Merkezleri Projesi kapsamında, 2021 yılının Mayıs ayı itibariyle 70 ilde çağrı merkezleri faal durumdadır ve geriye kalan 11 ilin de kısa sürede devreye alınması planlanmaktadır (AÇM, 2021). Sağlık, Emniyet, Jandarma, İtfaiye, Afet ve Acil Durum Merkezi (AFAD), Orman ve Sahil Güvenlik kurumları olarak acil çağrı hizmeti veren tüm kurumlar; 112 Acil Çağrı Merkezi çatısı altında toplanmıştır. Dolayısıyla; bu binalarda olağan dönemin yanı sıra, herhangi bir afet ya da olağanüstü durumda oldukça önemli bir kamu hizmeti verilmektedir. Nitekim ülkemizde 2020 yılının Mart ayından itibaren devam eden Covid-19 salgını süresince, ülke genelinde 112 Acil Çağrı Merkezleri vatandaşların temel ihtiyaçlarının karşılanması ve salgın kontrolünün sağlanması konusunda çok önemli hizmetlerde bulunmuştur.

Çanakkale 112 AÇM, 07 Kasım 2018 tarihinde İtfaiye acil çağrıları ile hizmet vermeye başlamıştır. 2021 yılı itibariyle Çanakkale 112 AÇM’de; Sağlık, Emniyet, Jandarma, Sahil Güvenlik, İtfaiye ve Orman çağrıları karşılanmaktadır ve AFAD çağrılarının da kısa zamanda devreye alınması planlanmaktadır. 2021 yılı Mayıs ayı itibariyle; çağrı salonunda 9 adet Sağlık, 5 adet Emniyet, 3 adet İtfaiye, 2 adet Jandarma, 2 adet Orman ve 1 adet Sahil Güvenlik konsollarıyla birlikte; vatandaşlar tarafından 112 arandığında, ortak havuz yöntemiyle ilk çağrı karşılamının gerçekleştiği 8 adet çağrı alıcı konsolu aktif durumda bulunmaktadır. Henüz çağrı sistemine entegre olmamış durumdaki AFAD kurumuna ait konsol sayısı, kuruma geçmiş yıllarda çok az çağrı gelmesi nedeniyle 1 adet olarak belirlenmiştir.

Tüm kurumların acil çağrılarını karşılamaya yönelik sistem altyapısının kurulması, tüm kurum personellerinin bir araya getirilmesi ve kurumların farklı hizmet birimlerinin 112 Acil Çağrı Merkezleri binalarında toplanması; bu çağrı merkezlerinin elektrik enerjisi ve bina ısıtma giderlerinin fazla olmasına neden olmaktadır. Elektrik kesintilerine ve/veya

planlı bakım-onarım çalışmalarında, çağrı sisteminin kapanmasına önlem olarak iki adet jeneratör ile yakıt ilavesi yapılmadan iki gün yetecek kadar enerji üretilebilmesine ve iki adet kesintisiz güç kaynağı (KGK) ile 20 saatlik çağrı sistemi enerji tüketiminin akülerde depolanabilmesine karşın, stratejik önemdeki 112 Acil Çağrı Merkezlerinin enerjisinin bir kısmını ya da tamamını üretebilmesi, uzun süreli afet durumlarında ve kriz yönetiminde yardımcı bir unsur olacaktır. Ayrıca, tüketimine göre belli bir kapasitede kurulabilecek olan rüzgar ve/veya güneş santralleriyle, zaman içerisinde elektrik harcamalarından tasarruf edilebilecek ve Çanakkale 112 AÇM kendi bağımsız enerji üretim tesisine sahip ilk tesis olacaktır. Bu aşamada, üretime ilişkin analiz yapılabilmesi için 2018-2020 yılları arasındaki binanın aylık elektrik tüketimi faturaları incelenmiştir. Elde edilen değerler ile zaman içerisinde enerji tüketimindeki artış eğilimi saptanmış ve çağrı merkezinin ortalama aylık enerji tüketim ihtiyacı belirlenmiştir. Şekil 9'daki Çanakkale 112 AÇM binası örneği üzerinden rüzgar ve güneş ile elektrik enerjisi üretimine ilişkin hesaplamalar yapılarak gelecekte yeterli bütçe sağlanması durumunda, proje haline dönüştürmeye hazır sonuçlar elde edilmesi ve diğer 80 ildeki 112 Acil Çağrı Merkezleri ile tüm kamu kurumlarına da, yeşil enerji kullanımı konusunda örnek oluşturulması hedeflenmektedir.



Şekil 9. Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi binası genel görünümü.

Çanakkale 112 AÇM’de farklı amaçlarla kullanılmak üzere 5 adet KGK bulunmaktadır. Ancak bu cihazların ikisi yedekli olarak çağrı sisteminin, biri 112 AÇM hizmet bürolarının ve diğer ikisi de bina içerisindeki farklı hizmet gruplarının enerji temini ve devamlılığı için bataryalarının sürekli olarak maksimum kapasitede dolu olması gerektiğinden; gündüz üretilen fazla enerjinin depolanması ve gece saatlerinde kullanılması, sistem güvenliği açısından bazı operasyonel riskler (akülerin yetersiz doluluk oranı, akülerin kullanım ömrünün kısalması vb.) içermektedir. Fazla üretilen enerjinin daha sonra kullanım amacıyla depolanması için sık sık doldur-boşalt yapmaya uygun akülerin maliyeti, akülerin kendini amorti etme süresi ve dayanıklılık süresi düşünülerek depolama yatırımı yapılmamasına karar verilmiştir. Bu noktada, 12/05/2019 tarihli “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği” ile, enerji şirketleriyle şirket abonesi arasında lisanssız üretilen enerji ve binada tüketilen enerjinin aylık olarak muhasebeleştirilmesine olanak getirilmesi, fizibilite ve hesaplama sürecini kolaylaştırmıştır (Resmi Gazete, 2019). Bu durumda, planlanan rüzgar ve/veya güneş enerji santralleri, ulusal elektrik şebekesi ile entegre olacağından gün içerisinde ya da mevsim farklılıklarında ortaya çıkan enerji üretim açığı veya fazlası, çift taraflı sayaç üzerinden üretim ve tüketim bilgileri ayrı ayrı ölçülerek ulusal şebeke ile dengelenecektir. Kısaca, ulusal şebeke, enerji abonelik anlaşması üst limitiyle sınırlı olmak üzere; çift yönlü sayacın ilk kurulum maliyeti dışında, masrafi olmayan büyük kapasiteli bir akü gibi kullanılacaktır.

Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik üretimine dair yapılacak incelemede, analiz edilen aylık enerji tüketim verileri ile çatıdaki panel kurulumuna uygun alanın büyüklüğüne göre elde edilebilecek enerji arasında, hesaplamalar üzerinden korelasyon sağlanacaktır. Alanın büyüklüğü, tüketilen enerji için yeterli olmazsa; daha yüksek verimli panel tipleri kullanılarak birim alandan maksimum verim alınması sağlanacaktır. Binanın güney cephesinde, Çanakkale Havaalanı mania planından dolayı yüksek bir bina bulunmadığından panellerin üzerinde başka bir bina kaynaklı yapay gölgelenme riski de bulunmamaktadır. Havaalanından kalkan ya da havaalanına inen uçakların, panellerden yansıyan güneş ışınları sonucu görüş kaybı yaşamaması için panel camlarının mat (antireflekte) özellikte olmasına dikkat edilecektir. Panellerin zemine göre eğim açısı, Çanakkale’nin koordinatları için yıl içerisinde maksimum verim alınacak şekilde belirlenecektir. Bu aşamada, girilen konum koordinatlarına ve diğer değişkenlere göre; aylık güneş enerjisi üretim tahminlerini veren PVWC, ERS ve PVGIS gibi yazılımlar

kullanılarak elde edilen verilerden yararlanılacaktır. Son olarak güneş panellerinin kurulacağı alanın büyüklüğüne göre üretilebilecek enerji miktarına ilişkin tablo ve grafikler hazırlanacaktır. Daha önce modellenen aylık enerji harcamasına göre, binanın elektrik tüketiminin tamamının güneş enerjisi ile karşılanmasının mümkün olup olmadığı araştırılacaktır. Çatı alanının güneş enerjisi üretiminin yetersiz kalması durumunda, güneş panelleri kurulumu yapılacak alanın artışı sağlanarak binanın enerjisinin tamamının yenilenebilir enerji ile elde edilmesine yönelik alternatif senaryo oluşturulacaktır.

İkinci aşamada, rüzgar türbini kurulumu ile enerji ihtiyacının karşılanması için yerleşim alanı içinde kalan Çanakkale 112 AÇM binasının konumunun, çevredeki binalar yüzünden azalan rüzgar hızı ve türbinin dönmesi sonucu oluşacak gürültünün çevreye vereceği rahatsızlık düşünülerek Çanakkale ilinin Merkez ilçesinde uygun bir yerde yapılmasına karar verilmiştir. Uygun noktanın tespiti için uydu üzerinden konum seçildiğinde, seçilen yere ait rüzgar verilerini anlık olarak elde etmeye olanak sağlayan GWA sitesi kullanılacaktır. Elde edilen verilere göre, üretime uygun olan rüzgar türbininin zeminden yüksekliği belirlenecektir. Rüzgar enerjisi yıllık enerji üretim değeri ve rüzgar enerjisi üretimi açısından önemli olan türbülans, şekil parametresi, ölçek parametresi vb. değişkenler belirlenecektir. Rüzgar türbini kurulumuna dayanarak projeksiyonu yapılan enerji üretim tahmini değerinden, sadece rüzgar enerjisi kullanılarak Çanakkale 112 AÇM binasının elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanma ihtimali değerlendirilecektir.

Çanakkale 112 AÇM binası özelinde, güneşten ve rüzgardan üretim için yapılan hesaplamalardan sadece güneş ya da sadece rüzgar kullanılarak yapılacak üretimin, binanın tüketimini karşılama konusunda yeterli olup olmadığı araştırılarak yetersiz olması durumunda, rüzgar-güneş entegre kullanımı için üretim hesaplamaları gerçekleştirilecektir. Uygulanabilir olan üretim kaynakları belirlenecek ve bu yöntemlerin yaklaşık maliyetleri, üretim beklentileri ve yatırım geri dönüş süreleri incelenecektir.

4.1.1. Binanın Elektrik Enerjisi Tüketimi

Çanakkale 112 AÇM binasının elektrik enerjisi, 34 kV gerilim değerindeki yüksek gerilim hattı ile bina bahçesinde bulunan 630 kVA gücündeki trafoya ulaşması ve bu trafonun gerekli gerilim dönüşümünü gerçekleştirmesiyle temin edilmektedir. Binada

enerji; genel olarak çağrı sistemi cihazlarını besleme, aydınlatma, iklimlendirme, havalandırma vb. amaçlar için tüketilmektedir. Elektrik enerjisi kullanımının dışında, kış aylarında doğalgaz kullanımıyla belli bir oda sıcaklığına (24 °C) göre ayarlanarak otomatik olarak çalışan kaskad kombi sistemiyle binanın ısıtması yapılmaktadır. Isıtma amaçlı olarak elektrik enerjisi tüketerek çalışan klimalar da, kombilere alternatif olarak kullanılabilir. Bu sayede, üretime ilişkin tahminlerin mevsimsel ya da iklimsel nedenlerle değişiklik göstermesi durumunda, farklı ısıtma seçenekleri kullanılarak elektrik tüketimi belli ölçüde ayarlanabilecektir. Çanakkale 112 AÇM binasının aylık elektrik tüketimi, 2018 yılının Ocak ayından itibaren kilowattsaat (kWh) cinsinden arşivlenerek 2018, 2019 ve 2020 yılları için aylık ortalama elektrik tüketim değerlerine ilişkin veriler Tablo 4’te verilmiştir.

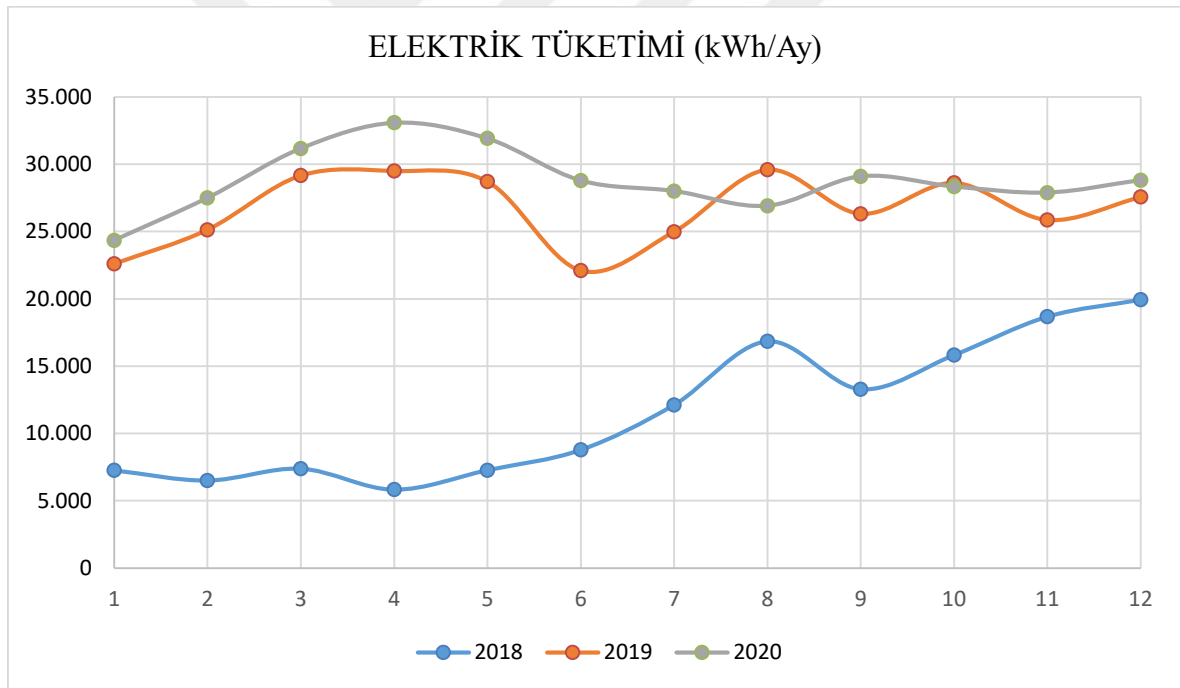
Tablo 4

Çanakkale 112 AÇM Aylık Elektrik Tüketim Verileri (kWh)

Ay/Yıl	2018	2019	2020
Ocak	7.265,16	22.598,28	24.343,20
Şubat	6.511,32	25.132,67	27.496,85
Mart	7.389,72	29.160,32	31.173,16
Nisan	5.833,20	29.501,64	33.084,81
Mayıs	7.276,92	28.718,61	31.921,47
Haziran	8.780,16	22.102,34	28.792,66
Temmuz	12.120,00	24.988,66	28.011,24
Ağustos	16.844,40	29.593,75	26.911,77
Eylül	13.290,84	26.324,19	29.106,27
Ekim	15.824,76	28.614,64	28.344,51
Kasım	18.672,72	25.865,69	27.895,32
Aralık	19.934,16	27.563,09	28.819,57
Toplam Tüketim	139.743,36	320.163,88	345.900,83
Ortalama Tüketim	11.645,28	26.680,32	28.825,00

Şekil 10’da görülebileceği gibi, İtfaiye acil çağrılarının karşılanmaya başlandığı Kasım 2018’den itibaren binadaki elektrik enerjisi tüketiminin hızlı bir şekilde arttığı ve 2018 yılı toplam elektrik tüketimi 139.743,36 kWh iken; 2019 yılında sırasıyla Jandarma,

Emniyet ve Sağlık çağrılarının da çağrı merkezine yönlendirilmesiyle birlikte, tüketicinin %129 (1,29 kat) artarak 320.163,88 kWh değerine ulaştığı görülmektedir. Ancak 2020 yılının başından itibaren yapılan tüketim, özellikle Mart ve Mayıs ayları arasında Covid-19 salgını nedeniyle farklı birimlerin devreye alınmasına istinaden aramaların ve vatandaşlara verilen diğer hizmetlerin artması sonucu; 2020 yılı elektrik tüketimi, 2018 yılına göre yaklaşık %148 ve bir önceki yıla göre ise yaklaşık %8 civarında artmıştır. Bu da, bize çağrı merkezlerinin elektrik tüketimlerinin karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasının gittikçe önem kazanacağını göstermektedir. 2021 yılı Mayıs ayı itibariyle, çağrı sistemine entegre olmamış durumdaki AFAD kurumuna ait konsol sayısının 1 adet olması ve bu kuruma gelen çağrılarının az olması nedeniyle; AFAD kurumunun sisteme entegre edildiğinde sistem üzerinde dikkate değer bir yük oluşturmayacağı öngörülmektedir.



Şekil 10. 2018, 2019 ve 2020 yıllarında 112 AÇM aylık elektrik tüketimi.

Çanakkale 112 AÇM binası, Şekil 11'deki uydu görüntüsünden görülebileceği gibi; kabaca dikdörtgen şeklindedir. Binanın boyunun 33 metre ve eninin 35 metre olduğu, hem uydu üzerinden, hem de fiziki olarak ölçümlerle belirlenmiştir. Ayrıca, binanın doğu ve batı yönünde, birer adet 28 m² büyüklükte çıkıntı olduğu da uydu görüntüsünde görülebilmektedir. Yapılan hesaplamalar ve kontrol amaçlı fiziki ölçümler sonucu, toplam

çatı alanının 1.211 m² olduğu tespit edilmiştir. Çatıdaki telsiz vericileri (75 m²), klima üniteleri (40 m²), havalandırma kanalları (18 m²), çatı merdiven boşluğu (5 m²) için kullanılan çatı alanlarının dışında kalan güneş paneli kurulumuna uygun alanın büyüklüğü; yaklaşık 1.073 m² olarak belirlenmiştir.



Şekil 11. Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi binası uydu görüntüsü.

Bina tam kuzey-güney doğrultusunda bulunmakta olup bu açıdan güneş paneli kurulumu için oldukça iyi bir konumlanma sağlamaktadır. Ayrıca, çatı alanına kurulacak panellerin bina enerji tüketiminin belli kısmını karşılamasına ek olarak Şekil 11’de sağ üst köşede bulunan ve yaklaşık 600 m² büyüklükte olan bina otopark alanının üzerinin de kapatılarak güneş paneli kurulumu için ilave kullanım alanı elde edilebilir.

4.1.2. Binada Elektrik Enerjisi Üretimine Uygun Alanlar

Çanakkale Havaalanı uçuş seyrüsefer güvenliği için hazırlanan mania planında, uydu görüntüsünde sol üst köşede bulunan telsiz direği bölümünün 28,5 metre ve bahçenin yeşil alanının sağ alt kısmındaki köşenin 12 metre yükseklik ile sınırlı olduğu Çanakkale

Havaalanı tarafından resmi olarak bildirilmiştir. Kurulacak olan güneş panellerinde, belirtilen yükseklik sınırlarına ve uçuş güvenliğine uygun olarak üretim tahmin hesaplamaları yapılacaktır. Güneş paneli kurulumları için Çanakkale 112 AÇM binası çatısı ve binanın bahçesindeki otopark alanı kullanılabilir. Diğer yandan gerek bina yakınında bulunan havaalanı nedeniyle maksimum 28,5 metre yükseklik sınırı olması, gerekse bina yakınına fazla sayıda konut yapılarak hava hareketinin kısıtlanması; Çanakkale 112 AÇM bina konumuna rüzgar türbini kurulumunu güçleştirmektedir. Ayrıca, türbinlerin dönerken çıkaracağı gürültünün etrafta yaşayanlar üzerinde ortaya çıkarabileceği olumsuz etkiler ve buna bağlı yapılabilecek şikayetler, rüzgar türbini kurulumu için başka bir alanın seçilmesinin daha uygun olacağı anlamına gelmektedir.

4.2. Güneş Enerjisi ile Yapılacak Enerji Üretimi

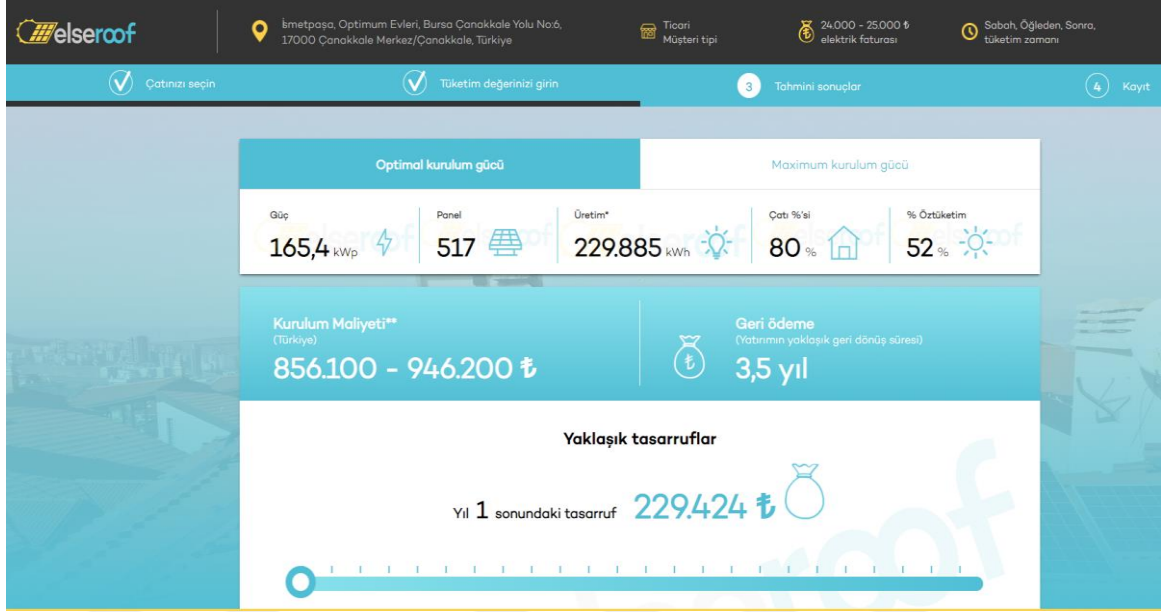
Çanakkale 112 AÇM binasının aylık olarak hedeflenen elektrik üretimini, güneş enerjisi ile elde edebilmek için binanın bulunduğu konum olan 40,148° K ve 26,434° D koordinatlarına ilişkin farklı kaynaklardan alınan güneş enerjisi verileri kullanılacaktır. Ayrıca, binanın çatısında kurulum yapmaya uygun olan alanın büyüklüğü tespit edilecek ve bu alana sığdırılabilir olan güneş panellerinin yıllık toplam üretim değeri belirlenecektir. Alanın büyüklüğü yetersiz bulunursa, birim alandan daha fazla enerji üretimi yapabilecek özellikteki panel türü seçilecek ya da açığın fazla olması durumunda binanın otoparkının üstünün güneş panelleri ile kaplanarak daha fazla üretim yoluyla, bina enerji tüketimi ile güneş enerjisi potansiyel üretimi arasındaki açık kapatılmaya çalışılacaktır.

PVWC veri tabanı üzerinde yapılan hesaplama göre; Şekil 12’de 1.073 m² büyüklükteki bina çatısında kurulabilecek olan güneş panellerinin kapasitesi, toplam (503 adet 320 Watt panel) 161 kiloWatt (kW) olarak hesaplanmıştır. Site üzerinde hesaplama yapılırken çatının girinti-çıkıntıları ile farklı amaçlarla kullanılan çatı alanı ihmal edilerek kabaca dikdörtgen şeklindeki 1.073 m² alan için kurulu güç hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalarda, binanın şeklen düzgünlüğünü bozan artık kısım alanının, çatının ortasında-kenarlarında bulunan ve farklı amaçlarla kullanılan alanın büyüklüğü ile yakın olması kullanılarak hesaplama işlemlerinin kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bundan sonraki hesaplamalarda da, benzer çatı alanı sadeleştirilmesi kullanılacaktır.



Şekil 12. Çanakkale 112 AÇM çatısı için PVWC GES güç kapasitesi (PVWC, 2021).

Bu büyüklükte bir alana, 161 kW güneş paneli kurulumunun tutarlı olup olmadığını tespit edebilmek amacıyla, başka bir kaynaktan da kurulu güç hesaplaması yapılmıştır. Bu amaçla, ERS veri tabanındaki verilerden binanın konumu için 1.073 m^2 büyüklükteki alanda bitişik nizam panellerle kurulabilecek maksimum güneş santrali kurulu gücü, 189 kW olarak belirlenmiştir (ERS, 2021). Ancak aynı veri tabanında, teras tipi yatay çatılar için bulunan detaylı hesaplamalarda; paneller arası boşluk, panel eğimleri vb. nedenlerle bırakılması gereken boşluklar da göz önüne alındığında, optimum güneş santrali kurulu gücü Şekil 13'teki gibi 165,44 kW olarak belirlenmiştir (ERS, 2021). Sonuç olarak iki farklı kaynaktan binanın konumu ve 1.073 m^2 çatı alanı için güneş enerjisi potansiyel kurulu güç kapasitesi araştırılmıştır. PVWC veri arşivinden yararlanılarak yapılan hesaplamada 161 kW, ERS sitesi hesaplamasında 165,44 kW olarak ilgili alana kurulabilecek tahmini GES gücü belirlenmiştir. Bundan sonraki hesaplamalarda, hata payı da düşünülerek iki seçenek arasından en az kurulu güç olan 161 kW değerinin baz alınmasına karar verilmiştir ve iyi bir yer planlaması yapılarak gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür.



Şekil 13. Çanakkale 112 AÇM çatısı için ERS GES güç kapasitesi (ERS, 2021).

161 kW gücünde kurulacak GES'in, bina konumunda üretmesi beklenen aylık ve yıllık güneş enerjisine ilişkin hesaplamalar için PVWC ve PVGIS sitelerindeki farklı veri kaynaklarından yararlanılmıştır. Bu yöntemle, 5 farklı veri seti kullanılarak üretilmesi beklenen güneş enerjisinin gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, güneş enerjisi açısından en kritik seçimlerden biri olan güneş paneli eğim açısı hususunda da, Çanakkale 112 AÇM konumu için bu beş farklı veri setinin ideal açı ortalaması alınarak kurulum yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Sonraki bölümlerde, sırasıyla veri setlerine ait güneş enerjisi üretim tahminleri ve eğim açıları belirlenmiştir.

4.2.1. PVWC Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini

Çanakkale 112 AÇM binası çatısında kurulacak olan 161 kW güçteki güneş santralinin yıllık toplam enerji üretim tahmini Şekil 14'teki PVWC veri tabanı üzerinde farklı panel türü ve açılar girilerek elde edilmiştir. Güneş panel türü olarak Şekil 14'teki "Standart, Premium ve İnce film" seçenekleri aynı güçte kurulum için karşılaştırılmış ve en yüksek yıllık üretimin ince film paneller ile elde edildiği görülmüştür. Ancak "İnce Film" panellerin ömrü ve dayanıklılığı, bu proje için hedeflenen kullanım şartları ve devamlılığını sağlamadığından diğer iki seçenek arasından üretim hedefine daha yakın üretime imkân veren "Premium" tipteki güneş panellerinin hesaplamalarda kullanımına karar verilmiştir.

PVWatts® Calculator **NREL** NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

My Location **Çanakkale** » Change Location **HELP** **FEEDBACK** ALL NREL SOLAR TOOLS

RESOURCE DATA **SYSTEM INFO** RESULTS

SYSTEM INFO

Modify the inputs below to run the simulation.

Go to resource data

RESTORE DEFAULTS

Go to PVWatts® results

DC System Size (kW): 161

Module Type: Standard

Array Type: Standard, Premium, Thin Film

System Losses (%): 14.08

Tilt (deg): 20

Azimuth (deg): 180

Advanced Parameters

RETAIL ELECTRICITY RATE

To automatically download an average annual retail electricity rate for your location, choose a rate type (residential or commercial). You can change the rate to use a different value by typing a different number.

Rate Type: Residential

Rate (\$/kWh): No Default - Enter Value

Draw Your System

Click below to customize your system on a map. (optional)

Map

Şekil 14. PVWC sitesi arayüzü ve veri giriş ekranı (PVWC, 2021).

Şekil 15’te güneş panellerinin konumlandırılmasına ilişkin sunulan seçenekler arasından Çanakkale 112 AÇM binasının düz olan çatısı için en uygun olan “Sabitlenmiş (açık raf)” anlamına gelen “Fixed (open rack)” seçeneği işaretlenmiştir. Ayrıca, güneş takip sistemlerinin geniş kurulum alanlarında faydalı olabileceği ancak kısıtlı alana kurulacak olan sistemimiz için maksimum kurulu güç konusunda, bu proje için en uygun seçenek olmadığı yapılan araştırmalar sonucu tespit edilmiştir.

Kurulacak olan güneş enerjisi sisteminin sıcaklık, kablolama, tozlanma vb. sebeplerle gerçekleşen kayıp oranı; PVWC tarafından Şekil 14’te görüleceği gibi standart olarak verilen %14,08 olarak sabitlenmiş ve PVWC veri tabanı üzerinden yapılan diğer hesaplamalarda da aynı şekilde kullanılmıştır.

PVWatts® Calculator **NREL**
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

My Location: **Çanakkale** » Change Location **HELP** **FEEDBACK** **ALL NREL SOLAR TOOLS**

SYSTEM INFO RESOURCE DATA **SYSTEM INFO** RESULTS

Modify the inputs below to run the simulation.

DC System Size (kW): 161 i

Module Type: Standard i

Array Type: Fixed (open rack) i

System Losses (%): 20 i

Tilt (deg): 30 i

Azimuth (deg): 180 i

Draw Your System
Click below to customize your system on a map. (optional)

Go to resource data **Go to PVWatts® results**

Şekil 15. PVWC sitesi arayüzünde sabit-hareketli sistem seçenekleri (PVWC, 2021).

Çanakkale'nin konumu (40° K) gereği, güneş panellerinin maksimum üretim yapabilmesi için 30° - 35° açıları arasındaki panel eğiminin ideal olduğu, yapılan literatür araştırmaları ile belirlenmiştir (Tarhan vd., 2013). Her mevsimde eşit ışınlım ve güneşlenme süresi olsaydı, bu açının Çanakkale'nin enlem değerine karşılık gelen 40° olması beklenirdi. Ancak özellikle bahar ve yaz aylarında güneşlenme ve ışınlımın fazla olması sebebiyle, bu zaman diliminde güneş ışınlarının panellere daha dik açılarla gelebilmesi ve dolayısıyla yıllık maksimum enerji üretiminin sağlanabilmesi için 30° - 35° arası panel açıları idealdir. Bu varsayımların doğrulanması amacıyla; Şekil 16'da gösterildiği gibi PVWC veri tabanı üzerinden 161 kW gücündeki güneş santralinde "Premium" özellikteki güneş panellerinin sırasıyla 0° , 10° , 20° , 30° , 31° , 32° , 33° , 34° , 35° ve 40° açılarla kurulması halinde beklenen üretime ilişkin çıktılar alınmış ve bu veriler kullanılarak Tablo 5 hazırlanmıştır.

RESULTS Print Results	213,182 kWh/Year*	RESULTS Print Results	237,257 kWh/Year*																																																																																																																
<table> <tr> <th>Month</th><th>Solar Radiation (kWh / m² / day)</th><th>AC Energy (kWh)</th><th>Value (\$)</th></tr> <tr><td>January</td><td>2.07</td><td>8,394</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>February</td><td>2.78</td><td>10,292</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>March</td><td>4.16</td><td>16,850</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>April</td><td>4.82</td><td>18,674</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>May</td><td>6.46</td><td>25,084</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>June</td><td>7.57</td><td>27,974</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>July</td><td>7.47</td><td>28,645</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>August</td><td>6.73</td><td>25,795</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>September</td><td>5.51</td><td>20,500</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>October</td><td>3.68</td><td>14,528</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>November</td><td>2.52</td><td>9,751</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>December</td><td>1.65</td><td>6,696</td><td>N/A</td></tr> <tr> <td>Annual</td> <td>4.62</td> <td>213,183</td> <td>0</td> </tr> </table>	Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)	January	2.07	8,394	N/A	February	2.78	10,292	N/A	March	4.16	16,850	N/A	April	4.82	18,674	N/A	May	6.46	25,084	N/A	June	7.57	27,974	N/A	July	7.47	28,645	N/A	August	6.73	25,795	N/A	September	5.51	20,500	N/A	October	3.68	14,528	N/A	November	2.52	9,751	N/A	December	1.65	6,696	N/A	Annual	4.62	213,183	0		<table> <tr> <th>Month</th><th>Solar Radiation (kWh / m² / day)</th><th>AC Energy (kWh)</th><th>Value (\$)</th></tr> <tr><td>January</td><td>2.74</td><td>11,308</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>February</td><td>3.46</td><td>12,911</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>March</td><td>4.81</td><td>19,505</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>April</td><td>5.15</td><td>19,879</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>May</td><td>6.59</td><td>25,516</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>June</td><td>7.57</td><td>27,827</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>July</td><td>7.58</td><td>28,946</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>August</td><td>7.22</td><td>27,531</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>September</td><td>6.41</td><td>23,777</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>October</td><td>4.52</td><td>17,946</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>November</td><td>3.37</td><td>13,261</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>December</td><td>2.14</td><td>8,850</td><td>N/A</td></tr> <tr> <td>Annual</td> <td>5.13</td> <td>237,257</td> <td>0</td> </tr> </table>	Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)	January	2.74	11,308	N/A	February	3.46	12,911	N/A	March	4.81	19,505	N/A	April	5.15	19,879	N/A	May	6.59	25,516	N/A	June	7.57	27,827	N/A	July	7.58	28,946	N/A	August	7.22	27,531	N/A	September	6.41	23,777	N/A	October	4.52	17,946	N/A	November	3.37	13,261	N/A	December	2.14	8,850	N/A	Annual	5.13	237,257	0	
Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)																																																																																																																
January	2.07	8,394	N/A																																																																																																																
February	2.78	10,292	N/A																																																																																																																
March	4.16	16,850	N/A																																																																																																																
April	4.82	18,674	N/A																																																																																																																
May	6.46	25,084	N/A																																																																																																																
June	7.57	27,974	N/A																																																																																																																
July	7.47	28,645	N/A																																																																																																																
August	6.73	25,795	N/A																																																																																																																
September	5.51	20,500	N/A																																																																																																																
October	3.68	14,528	N/A																																																																																																																
November	2.52	9,751	N/A																																																																																																																
December	1.65	6,696	N/A																																																																																																																
Annual	4.62	213,183	0																																																																																																																
Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)																																																																																																																
January	2.74	11,308	N/A																																																																																																																
February	3.46	12,911	N/A																																																																																																																
March	4.81	19,505	N/A																																																																																																																
April	5.15	19,879	N/A																																																																																																																
May	6.59	25,516	N/A																																																																																																																
June	7.57	27,827	N/A																																																																																																																
July	7.58	28,946	N/A																																																																																																																
August	7.22	27,531	N/A																																																																																																																
September	6.41	23,777	N/A																																																																																																																
October	4.52	17,946	N/A																																																																																																																
November	3.37	13,261	N/A																																																																																																																
December	2.14	8,850	N/A																																																																																																																
Annual	5.13	237,257	0																																																																																																																
RESULTS Print Results	240,613 kWh/Year*	RESULTS Print Results	238,150 kWh/Year*																																																																																																																
<table> <tr> <th>Month</th><th>Solar Radiation (kWh / m² / day)</th><th>AC Energy (kWh)</th><th>Value (\$)</th></tr> <tr><td>January</td><td>3.00</td><td>12,409</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>February</td><td>3.71</td><td>13,811</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>March</td><td>4.98</td><td>20,168</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>April</td><td>5.14</td><td>19,789</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>May</td><td>6.40</td><td>24,756</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>June</td><td>7.34</td><td>26,606</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>July</td><td>7.32</td><td>27,900</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>August</td><td>7.17</td><td>27,328</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>September</td><td>6.63</td><td>24,552</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>October</td><td>4.81</td><td>19,055</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>November</td><td>3.71</td><td>14,581</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>December</td><td>2.34</td><td>9,857</td><td>N/A</td></tr> <tr> <td>Annual</td> <td>5.20</td> <td>240,612</td> <td>0</td> </tr> </table>	Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)	January	3.00	12,409	N/A	February	3.71	13,811	N/A	March	4.98	20,168	N/A	April	5.14	19,789	N/A	May	6.40	24,756	N/A	June	7.34	26,606	N/A	July	7.32	27,900	N/A	August	7.17	27,328	N/A	September	6.63	24,552	N/A	October	4.81	19,055	N/A	November	3.71	14,581	N/A	December	2.34	9,857	N/A	Annual	5.20	240,612	0		<table> <tr> <th>Month</th><th>Solar Radiation (kWh / m² / day)</th><th>AC Energy (kWh)</th><th>Value (\$)</th></tr> <tr><td>January</td><td>3.16</td><td>13,032</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>February</td><td>3.83</td><td>14,250</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>March</td><td>5.02</td><td>20,280</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>April</td><td>5.02</td><td>19,324</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>May</td><td>6.11</td><td>23,624</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>June</td><td>6.82</td><td>25,038</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>July</td><td>6.94</td><td>26,439</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>August</td><td>6.97</td><td>26,566</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>September</td><td>6.66</td><td>24,635</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>October</td><td>4.94</td><td>19,541</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>November</td><td>3.91</td><td>15,323</td><td>N/A</td></tr> <tr><td>December</td><td>2.45</td><td>10,108</td><td>N/A</td></tr> <tr> <td>Annual</td> <td>5.15</td> <td>238,150</td> <td>0</td> </tr> </table>	Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)	January	3.16	13,032	N/A	February	3.83	14,250	N/A	March	5.02	20,280	N/A	April	5.02	19,324	N/A	May	6.11	23,624	N/A	June	6.82	25,038	N/A	July	6.94	26,439	N/A	August	6.97	26,566	N/A	September	6.66	24,635	N/A	October	4.94	19,541	N/A	November	3.91	15,323	N/A	December	2.45	10,108	N/A	Annual	5.15	238,150	0	
Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)																																																																																																																
January	3.00	12,409	N/A																																																																																																																
February	3.71	13,811	N/A																																																																																																																
March	4.98	20,168	N/A																																																																																																																
April	5.14	19,789	N/A																																																																																																																
May	6.40	24,756	N/A																																																																																																																
June	7.34	26,606	N/A																																																																																																																
July	7.32	27,900	N/A																																																																																																																
August	7.17	27,328	N/A																																																																																																																
September	6.63	24,552	N/A																																																																																																																
October	4.81	19,055	N/A																																																																																																																
November	3.71	14,581	N/A																																																																																																																
December	2.34	9,857	N/A																																																																																																																
Annual	5.20	240,612	0																																																																																																																
Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)																																																																																																																
January	3.16	13,032	N/A																																																																																																																
February	3.83	14,250	N/A																																																																																																																
March	5.02	20,280	N/A																																																																																																																
April	5.02	19,324	N/A																																																																																																																
May	6.11	23,624	N/A																																																																																																																
June	6.82	25,038	N/A																																																																																																																
July	6.94	26,439	N/A																																																																																																																
August	6.97	26,566	N/A																																																																																																																
September	6.66	24,635	N/A																																																																																																																
October	4.94	19,541	N/A																																																																																																																
November	3.91	15,323	N/A																																																																																																																
December	2.45	10,108	N/A																																																																																																																
Annual	5.15	238,150	0																																																																																																																

Şekil 16. PVWC veri tabanı ile 0°, 20°, 31°, 40° farklı panel eğimleri için beklenen yıllık enerji üretimi (PVWC, 2021).

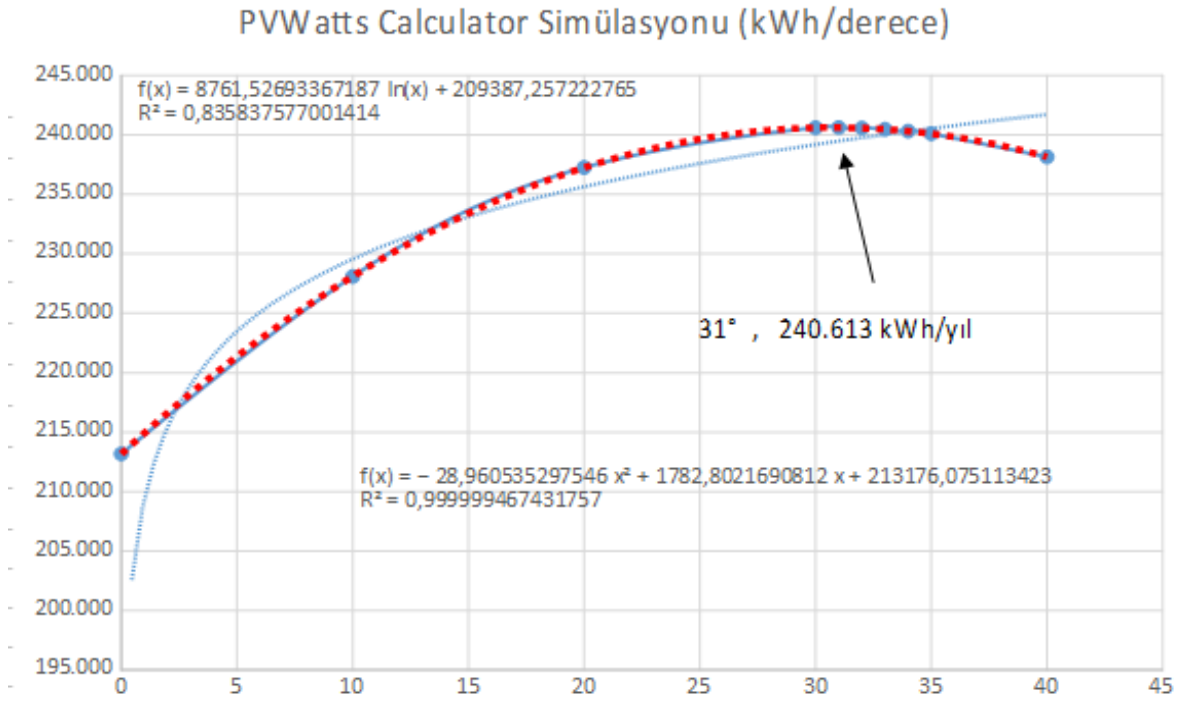
Tablo 5'teki beklenen enerji üretim değerleri karşılaştırılarak yıllık en fazla üretimin, güneş panellerinin 31° açıyla kurulduğu durumda geçerli olacağı görülmüştür.

Tablo 5

PVWC Veri Tabanı ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi

Güneş Santrali Gücü (kW)	Panel Eğim Açısı (°)	Yıllık Enerji Üretim Tahmini (kWh)
161	0	213.182
	10	228.093
	20	237.257
	30	240.600
	31	240.613
	32	240.571
	33	240.470
	34	240.311
	35	240.095
	40	238.150

Tablo 5’te elde edilen güneş enerjisi üretim verileri ve eğim açısı arasındaki ilişkinin daha net görülebilmesi için Şekil 17’deki gibi bir grafik oluşturulmuştur. Grafikten de görülebileceği gibi, panel eğim açısının 0°’den 40°’ye değişiminde 31° değerinde en yüksek üretim değerine ulaştığı ve sonra azalmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 17. PVWC veri tabanı ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği.

Bina, kuzey-güney doğrultusunda uzandığı ve binanın güney kısmında gölgelenme yapacak herhangi bir bina bulunmadığı için PVWC yazılımı üzerinde son veri giriş alanı olan kısım “Azimut”, tam güneyi ifade eden 180° olarak girilmiştir.

Sonuç olarak PVWC veri tabanı ile bina çatısına kurulabilecek olan 161 kW güçteki güneş santralinin bina konumu için üretim hesaplamaları yapılmıştır. Bu güçteki santralin yıllık maksimum üretim miktarının 240.613 kWh olarak öngörüldüğü ve bu değer 2020 yılında bina enerji tüketimi olan 345.900 kWh değerinin (Tablo 4) yaklaşık %70’ine karşılık geldiği görülmektedir.

4.2.2. PVGIS CMSAF Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini

Çanakkale 112 AÇM binası çatısında kurulacak olan 161 kW GES'in yıllık toplam enerji üretim tahmini, Şekil 18'deki PVGIS sitesi üzerindeki CMSAF veri seti ile farklı panel türü ve açılar girilerek elde edilmiştir.

The screenshot displays the PVGIS web application interface. The top navigation bar includes the European Commission logo and the title 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below this, a breadcrumb trail shows 'European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools'. The main interface is divided into a map area on the left and a settings panel on the right. The map shows a location in Çanakkale, Turkey, with a blue pin. The settings panel, titled 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV', contains various input fields and dropdown menus. The 'Solar radiation database' is set to 'PVGIS-CMSAF'. The 'PV technology' is 'Crystalline silicon'. The 'Installed peak PV power [kWp]' is 161. The 'System loss [%]' is 16. The 'Fixed mounting options' are set to 'Free-standing'. The 'Slope [°]' is 11. The 'Azimuth [°]' is 0. The 'PV electricity price' is set to 'No'. The 'PV system cost (your currency)' is 0. The 'Interest [%/year]' is 0. The 'Lifetime [years]' is 0. The 'Visualize results' button is visible at the bottom.

Şekil 18. PVGIS sitesi arayüzü ve CMSAF veri girişi ekranı (PVGIS, 2021).

Güneş panel türü olarak Şekil 18'deki "Silikon Kristal, CIS ve CdTe" seçenekleri aynı güçte kurulum için karşılaştırılmış ve en yüksek yıllık üretimin Kadmiyum Tellür (CdTe) paneller ile elde edildiği görülmüştür. Ancak CdTe panellerin ömrü ve dayanıklılığı, bu proje için hedeflenen kullanım şartları ve devamlılığını sağlamadığından diğer iki seçenek arasından üretim hedefine daha yakın üretime imkân veren "Silikon Kristal" tipteki güneş panellerinin kullanımının da uygun olacağı düşünülebilir.

Kurulacak olan güneş enerjisi sisteminin sıcaklık, kablolama, tozlanma vb. sebeplerle gerçekleşen kayıp oranı; PVGIS tarafından standart %14 olarak sabitlenmiş ve PVGIS veri tabanı üzerindeki 4 veri kaynağının hesaplamalarında da aynı şekilde kullanılmıştır.

Çanakkale'nin konumu için ideal panel açısını tespit edebilmek amacıyla, Şekil 19'da gösterildiği gibi, PVGIS web sitesi üzerindeki CMSAF verileri ile 161 kW gücündeki güneş santralinde "Silikon Kristal" özellikteki güneş panellerinin sırasıyla 0°, 10°, 20°, 30°, 31°, 32°, 33°, 34°, 35° ve 40° açılarla kurulması halinde beklenen üretime ilişkin değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Performance of grid-connected PV			Performance of grid-connected PV		
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:			PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:		
Provided inputs:	Simulation outputs		Provided inputs:	Simulation outputs	
Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle:	0 °	Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle:	20 °
Horizon: Calculated	Azimuth angle:	0 °	Horizon: Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used: PVGIS-CMSAF	Yearly PV energy production:	218497.14 kWh	Database used: PVGIS-CMSAF	Yearly PV energy production:	245514.61 kWh
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1746.04 kWh/m²	PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1947.18 kWh/m²
PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability:	5676.15 kWh	PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability:	7531.19 kWh
System loss: 14 %	Changes in output due to:		System loss: 14 %	Changes in output due to:	
	Angle of incidence:	-3.5 %		Angle of incidence:	-2.8 %
	Spectral effects:	0.52 %		Spectral effects:	0.63 %
	Temperature and low irradiance:	-6.83 %		Temperature and low irradiance:	-6.89 %
	Total loss:	-22.27 %		Total loss:	-21.68 %

Performance of grid-connected PV			Performance of grid-connected PV		
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:			PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:		
Provided inputs:	Simulation outputs		Provided inputs:	Simulation outputs	
Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle:	33 °	Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle:	40 °
Horizon: Calculated	Azimuth angle:	0 °	Horizon: Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used: PVGIS-CMSAF	Yearly PV energy production:	250664.76 kWh	Database used: PVGIS-CMSAF	Yearly PV energy production:	249146.26 kWh
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1984.32 kWh/m²	PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1970.86 kWh/m²
PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability:	8271.82 kWh	PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability:	8497.60 kWh
System loss: 14 %	Changes in output due to:		System loss: 14 %	Changes in output due to:	
	Angle of incidence:	-2.7 %		Angle of incidence:	-2.73 %
	Spectral effects:	0.68 %		Spectral effects:	0.71 %
	Temperature and low irradiance:	-6.87 %		Temperature and low irradiance:	-6.8 %
	Total loss:	-21.54 %		Total loss:	-21.48 %

Şekil 19. PVGIS CMSAF ile 0°, 20°, 33°, 40° farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi (PVGIS, 2021).

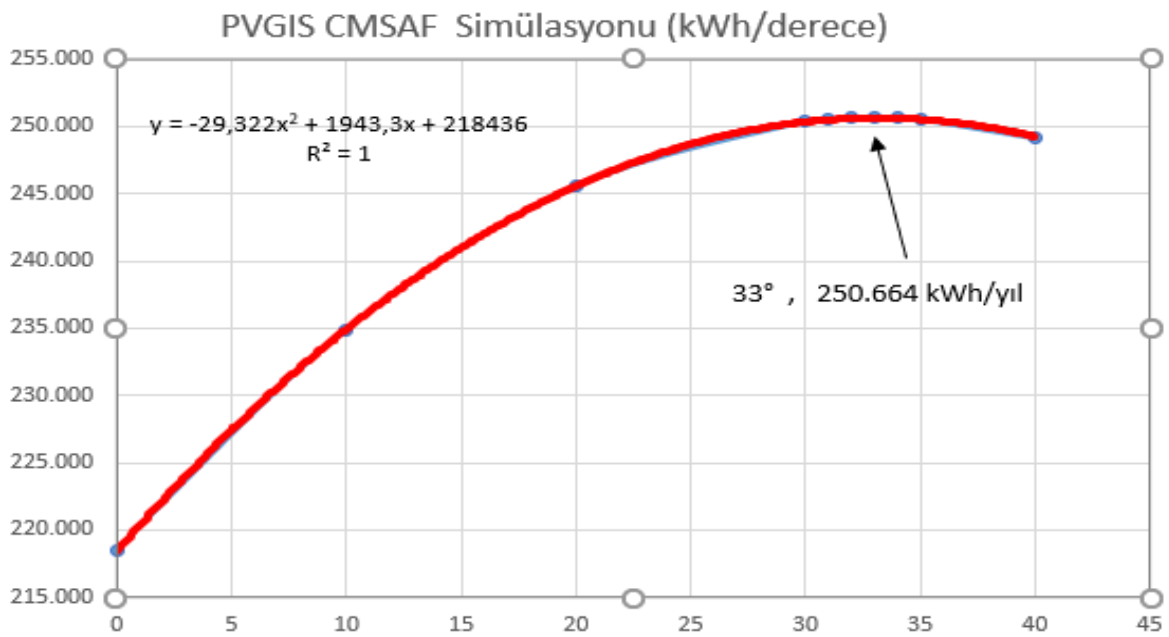
Tablo 6'daki beklenen enerji üretim değerleri karşılaştırılarak yıllık en fazla üretimin, güneş panellerinin 33° açıyla kurulduğu durumda geçerli olacağı görülmüştür.

Tablo 6

PVGIS CMSAF ile 161 kW farklı panel açılara göre yıllık güneş enerjisi üretimi

Güneş Santrali Gücü (kW)	Panel Eğim Açısı (°)	Yıllık Enerji Üretim Tahmini (kWh)
161	0	218.497
	10	234.837
	20	245.515
	30	250.398
	31	250.548
	32	250.637
	33	250.664
	34	250.631
	35	250.536
	40	249.146

Tablo 6’da elde edilen yıllık üretim verileri ile panel eğim açısı arasındaki ilişkinin daha açık bir şekilde ortaya konabilmesi için tablodaki veriler Şekil 20’de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi, panel eğim açısının 0’dan 40’a doğru değişiminde 33° noktasına gelindiğinde, en yüksek üretim değerine ulaştığı ve sonra azalmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 20. PVGIS CMSAF ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği.

Bina, kuzey-güney doğrultusunda uzandığı ve binanın güney kısmında gölgelenme yapacak herhangi bir bina bulunmadığı için PVGIS CMSAF yazılımı üzerinde son veri giriş alanı olan kısım “Azimut” tam güneyi ifade eden 180° olarak girilmiştir.

Sonuç olarak PVGIS veri tabanı üzerindeki CMSAF verileri ile bina çatısına kurulabilecek olan 161 kW güçteki güneş santralinin bina konumu için hesaplamaları yapılmıştır. Bu güçteki santralin yıllık maksimum üretim miktarının 250.664 kWh olarak öngörüldüğü ve bu değer 2020 yılında bina enerji tüketimi olan 345.900 kWh değerinin (Tablo 4) yaklaşık %72’sine karşılık geldiği görülmektedir.

4.2.3. PVGIS COSMO Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini

Çanakkale 112 AÇM binası çatısında kurulacak olan 161 kW güçteki GES’in yıllık toplam enerji üretim tahmini, Şekil 21’deki PVGIS arşivindeki COSMO verileri ile farklı panel türü ve açılar girilerek elde edilmiştir.

The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, there is a header with the European Commission logo and the text 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below this is a navigation bar with links: Home, Tools, Downloads, Documentation, and Contact us. The main area is divided into two sections. On the left is a map showing a location in Çanakkale, Turkey, with a blue pin at coordinates 40.148, 26.435. On the right is a form titled 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV'. This form contains several input fields and dropdown menus for configuring a PV system. The 'Solar radiation database' is set to 'PVGIS-COSMO'. The 'PV technology' is 'Crystalline silicon'. The 'Installed peak PV power [kWp]' is 161. The 'System loss [%]' is 14. Under 'Fixed mounting options', the 'Mounting position' is 'Free-standing'. There are checkboxes for 'Optimize slope' and 'Optimize slope and azimuth', both of which are currently unchecked. At the bottom of the form, there are input fields for 'PV electricity price', 'PV system cost (your currency)', 'Interest [%/year]', and 'Lifetime [years]'. The bottom of the interface shows the address field with 'Eg. Ispra, Italy' and the coordinates 'Lat/Lon: 40,148, 26,435'. The last update date is 15/10/2019.

Şekil 21. PVGIS sitesi arayüzü ve COSMO veri girişi ekranı (PVGIS, 2021).

Güneş panel türü olarak Şekil 21’deki “Silikon Kristal, CIS ve CdTe” seçenekleri aynı güçte kurulum için karşılaştırılmış ve en yüksek yıllık üretimin Kadmiyum Tellür (CdTe) paneller ile elde edildiği görülmüştür. Ancak CdTe panellerin ömrü ve dayanıklılığı, bu proje için hedeflenen kullanım şartları ve devamlılığını sağlamadığından diğer iki seçenek arasından üretim hedefine daha yakın üretime imkân veren “Silikon Kristal” tipteki güneş panellerinin kullanımının da uygun olacağı düşünülebilir.

Çanakkale’nin konumu için ideal panel açısını tespit edebilmek amacıyla, Şekil 22’de gösterildiği gibi PVGIS arşivi üzerindeki COSMO verileri ile 161 kW gücündeki güneş santralinde “Silikon Kristal” özellikteki güneş panellerinin sırasıyla 0°, 10°, 20°, 30°, 31°, 32°, 33°, 34°, 35° ve 40° açılarla kurulması halinde beklenen üretime ilişkin veriler Tablo 7’de verilmiştir.

Performance of grid-connected PV				Performance of grid-connected PV			
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:				PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:			
Provided inputs:		Simulation outputs		Provided inputs:		Simulation outputs	
Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	0 °	Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	20 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °	Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-COSMO	Yearly PV energy production:	187059.88 kWh	Database used:	PVGIS-COSMO	Yearly PV energy production:	207913.97 kWh
PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1489.02 kWh/m ²	PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1641.78 kWh/m ²
PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	4795.72 kWh	PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	5958.50 kWh
System loss:	14 %	Changes in output due to:		System loss:	14 %	Changes in output due to:	
		Angle of incidence:	-3.25 %			Angle of incidence:	-2.73 %
		Spectral effects:	0.53 %			Spectral effects:	0.61 %
		Temperature and low irradiance:	-6.71 %			Temperature and low irradiance:	-6.55 %
		Total loss:	-21.97 %			Total loss:	-21.34 %

Performance of grid-connected PV				Performance of grid-connected PV			
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:				PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:			
Provided inputs:		Simulation outputs		Provided inputs:		Simulation outputs	
Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	32 °	Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	40 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °	Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-COSMO	Yearly PV energy production:	211446.32 kWh	Database used:	PVGIS-COSMO	Yearly PV energy production:	209885.63 kWh
PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1665.87 kWh/m ²	PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1651.97 kWh/m ²
PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	6345.06 kWh	PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	6461.58 kWh
System loss:	14 %	Changes in output due to:		System loss:	14 %	Changes in output due to:	
		Angle of incidence:	-2.63 %			Angle of incidence:	-2.65 %
		Spectral effects:	0.66 %			Spectral effects:	0.68 %
		Temperature and low irradiance:	-6.47 %			Temperature and low irradiance:	-6.38 %
		Total loss:	-21.16 %			Total loss:	-21.09 %

Şekil 22. PVGIS COSMO ile 0°, 20°, 32°, 40° farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi (PVGIS, 2021).

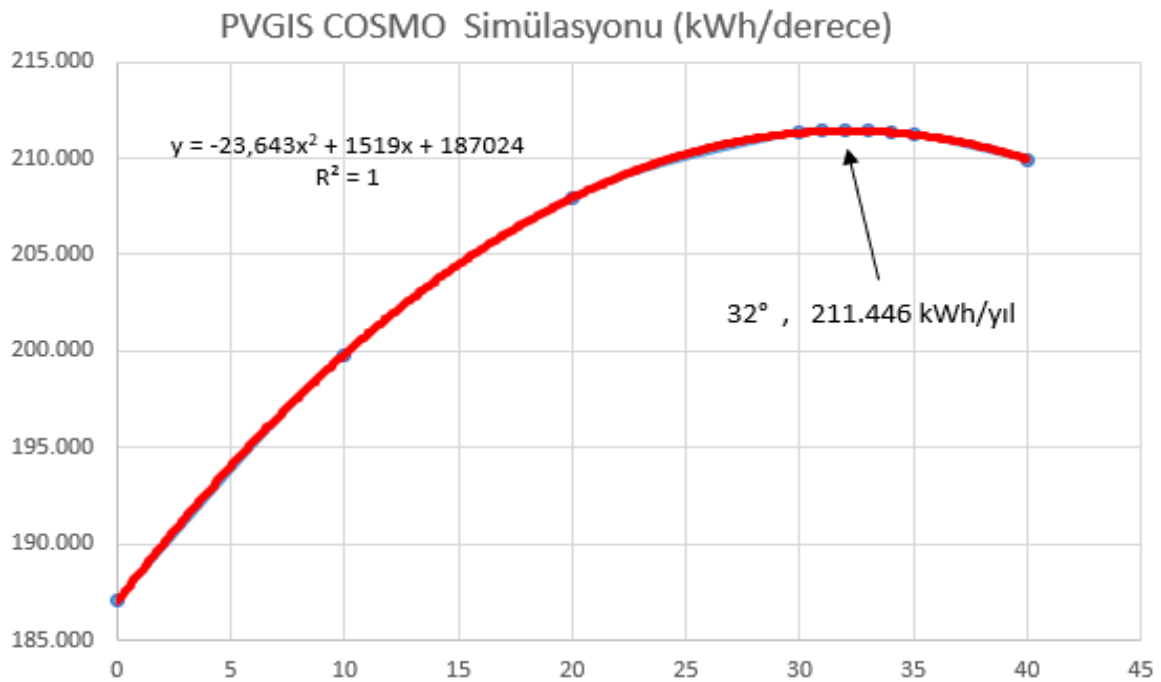
Tablo 7’deki beklenen üretim değerleri karşılaştırılarak yıllık en fazla üretimin, güneş panellerinin 32° açıyla kurulduğu durumda geçerli olacağı görülmüştür.

Tablo 7

PVGIS COSMO ile 161 kW farklı panel açılara göre yıllık güneş enerjisi üretimi

Güneş Santrali Gücü (kW)	Panel Eğim Açısı (°)	Yıllık Enerji Üretim Tahmini (kWh)
161	0	187.060
	10	199.792
	20	207.914
	30	211.335
	31	211.415
	32	211.446
	33	211.432
	34	211.360
	35	211.239
	40	209.886

Tablo 7’de elde edilen güneş enerjisi üretim verileri ve eğim açısı arasındaki ilişkinin daha net görülebilmesi için Şekil 23’teki grafik oluşturulmuştur. Grafikten de görülebileceği gibi, panel eğim açısının 0’dan 40’a doğru değişiminde 32° noktasına gelindiğinde, en yüksek üretim değerine ulaştığı ve sonra azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 23. PVGIS COSMO ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği.

Bina, kuzey-güney doğrultusunda uzandığı ve binanın güney kısmında gölgelenme yapacak herhangi bir bina bulunmadığı için PVGIS COSMO yazılımı üzerinde son veri giriş alanı olan kısım “Azimut”, tam güneyi ifade eden 180⁰ olarak girilmiştir.

Sonuç olarak PVGIS web sitesi üzerindeki COSMO verileri ile bina çatısına kurulabilecek olan 161 kW güçteki güneş santralinin bina konumu için hesaplamaları yapılmıştır. Bu güçteki santralin yıllık maksimum üretim miktarının 211.446 kWh olarak öngörüldüğü ve bu değerin 2020 yılında bina enerji tüketimi olan 345.900 kWh değerinin (Tablo 4) yaklaşık %61’ine karşılık geldiği görülmektedir.

4.2.4. PVGIS ERA5 Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini

Çanakkale 112 AÇM binası çatısında kurulacak olan 161 kW güçteki GES’in yıllık toplam enerji üretim tahmini Şekil 24’teki PVGIS web sitesi üzerindeki ERA5 verileri ile farklı panel türü ve açılar girilerek elde edilmiştir.

The screenshot displays the PVGIS web interface. At the top, there's a header with the European Commission logo and the text 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below this is a navigation bar with links like 'Home', 'Tools', 'Downloads', 'Documentation', and 'Contact us'. The main area is divided into a map on the left and a settings panel on the right. The map shows a location in Çanakkale, Turkey, with a blue pin. The settings panel on the right is titled 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV' and contains various input fields and checkboxes. The 'Cursor' is set to 40.150, 26.440, and 'Selected' is 40.148, 26.435. The 'Elevation (m)' is 11. There are checkboxes for 'Use terrain shadows' (checked), 'Calculated horizon' (checked), and 'Upload horizon file'. Below these are buttons for 'csv' and 'json'. The 'Solar radiation database' is set to 'PVGIS-ERA5', 'PV technology' is 'Crystalline silicon', 'Installed peak PV power [kWp]' is 16, and 'System loss [%]' is 1. Under 'Fixed mounting options', 'Mounting position' is 'Free-standing', 'Slope [°]' is 0, and 'Azimuth [°]' is 0. There are checkboxes for 'Optimize slope' and 'Optimize slope and azimuth'. The 'PV electricity price' section has fields for 'PV system cost (your currency)', 'Interest [%/year]', and 'Lifetime [years]'. At the bottom, there are buttons for 'Visualize results', 'csv', and 'json'. The address bar at the bottom shows 'Address: Eg Ispra, Italy' and 'Lat/Lon: 40,148 26,435'.

Şekil 24. PVGIS sitesi arayüzü ve ERA5 veri girişi ekranı (PVGIS, 2021).

Güneş panel türü olarak Şekil 24'teki "Silikon Kristal, CIS ve CdTe" seçenekleri aynı güçte kurulum için karşılaştırılmış ve en yüksek yıllık üretimin Kadmiyum Tellür (CdTe) paneller ile elde edildiği görülmüştür. Ancak CdTe panellerin ömrü ve dayanıklılığı, bu proje için hedeflenen kullanım şartları ve devamlılığını sağlamadığından diğer iki seçenek arasından üretim hedefine daha yakın üretime imkân veren "Silikon Kristal" tipteki güneş panellerinin kullanımının da uygun olacağı düşünülebilir.

Çanakkale'nin konumu için ideal panel açısını tespit edebilmek amacıyla, Şekil 25'te gösterildiği gibi PVGIS arşivi üzerindeki ERA5 verileri ile 161 kW gücündeki güneş santralinde "Silikon Kristal" özellikteki güneş panellerinin sırasıyla 0°, 10°, 20°, 30°, 31°, 32°, 33°, 34°, 35° ve 40° açılarla kurulması halinde beklenen üretime ilişkin veriler Tablo 8'de verilmiştir.

Performance of grid-connected PV				Performance of grid-connected PV			
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:				PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:			
Provided inputs:		Simulation outputs		Provided inputs:		Simulation outputs	
Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	0 °	Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	20 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °	Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-ERA5	Yearly PV energy production:	210785.7 kWh	Database used:	PVGIS-ERA5	Yearly PV energy production:	240291.5 kWh
PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1677.56 kWh/m ²	PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1891.02 kWh/m ²
PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	4174.90 kWh	PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	5579.23 kWh
System loss:	14 %	Changes in output due to:		System loss:	14 %	Changes in output due to:	
		Angle of incidence:	-3.54 %			Angle of incidence:	-2.76 %
		Spectral effects:	0.54 %			Spectral effects:	0.66 %
		Temperature and low irradiance:	-6.43 %			Temperature and low irradiance:	-6.24 %
		Total loss:	-21.96 %			Total loss:	-21.07 %
Performance of grid-connected PV				Performance of grid-connected PV			
PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:				PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:			
Provided inputs:		Simulation outputs		Provided inputs:		Simulation outputs	
Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	35 °	Latitude/Longitude:	40.148, 26.435	Slope angle:	40 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °	Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-ERA5	Yearly PV energy production:	247233.96 kWh	Database used:	PVGIS-ERA5	Yearly PV energy production:	246493.27 kWh
PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1938.04 kWh/m ²	PV technology:	Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation:	1930.52 kWh/m ²
PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	6214.53 kWh	PV installed:	161 kWp	Year-to-year variability:	6335.85 kWh
System loss:	14 %	Changes in output due to:		System loss:	14 %	Changes in output due to:	
		Angle of incidence:	-2.59 %			Angle of incidence:	-2.6 %
		Spectral effects:	0.73 %			Spectral effects:	0.75 %
		Temperature and low irradiance:	-6.1 %			Temperature and low irradiance:	-6.02 %
		Total loss:	-20.76 %			Total loss:	-20.69 %

Şekil 25. PVGIS ERA5 ile 0°, 20°, 35°, 40° farklı panel açılara göre yıllık güneş enerjisi üretimi (PVGIS, 2021).

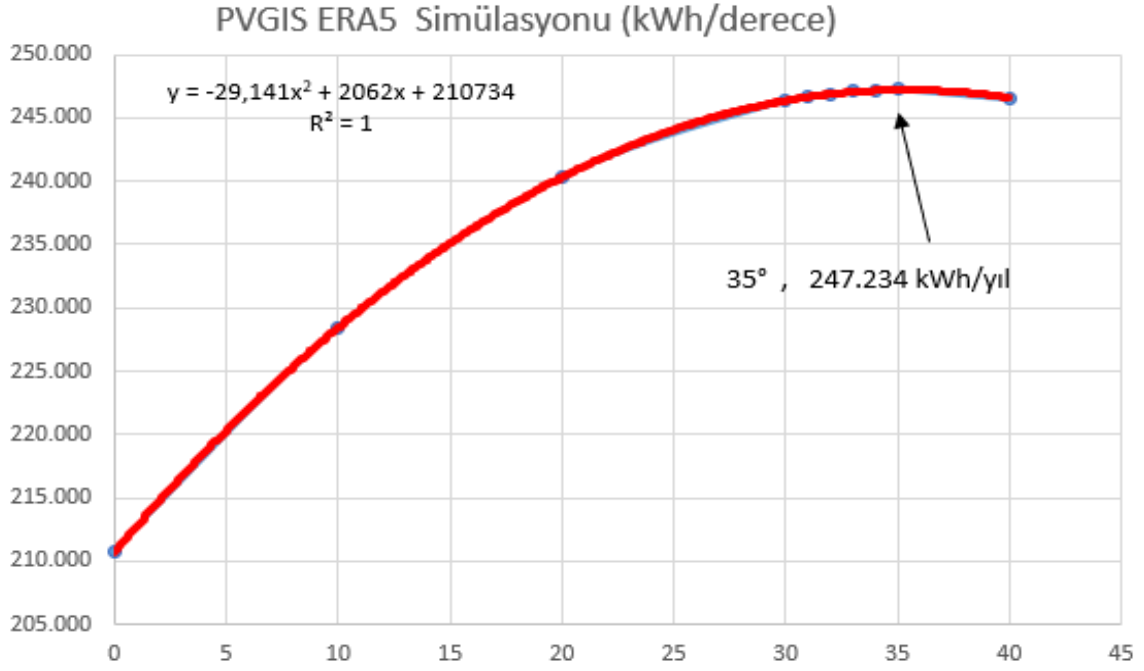
Tablo 8’deki beklenen üretim değerleri karşılaştırılarak yıllık en fazla üretimin, güneş panellerinin 35° açıyla kurulduğu durumda geçerli olacağı görülmüştür.

Tablo 8

PVGIS ERA5 ile 161 kW farklı panel açılara göre yıllık güneş enerjisi üretimi

Güneş Santrali Gücü (kW)	Panel Eğim Açısı (°)	Yıllık Enerji Üretim Tahmini (kWh)
161	0	210.786
	10	228.350
	20	240.292
	30	246.388
	31	246.674
	32	246.902
	33	247.073
	34	247.197
	35	247.234
	40	246.493

Tablo 8’de elde edilen güneş enerjisi üretim verileri ve eğim açısı arasındaki ilişkinin daha net görülebilmesi için Şekil 26’daki gibi bir grafik oluşturulmuştur. Grafikten de görülebileceği gibi, panel eğim açısının 0’dan 40’a doğru değişiminde 35° noktasına gelindiğinde, en yüksek üretim değerine ulaştığı ve sonra azalmaya başladığı gözlenmektedir.



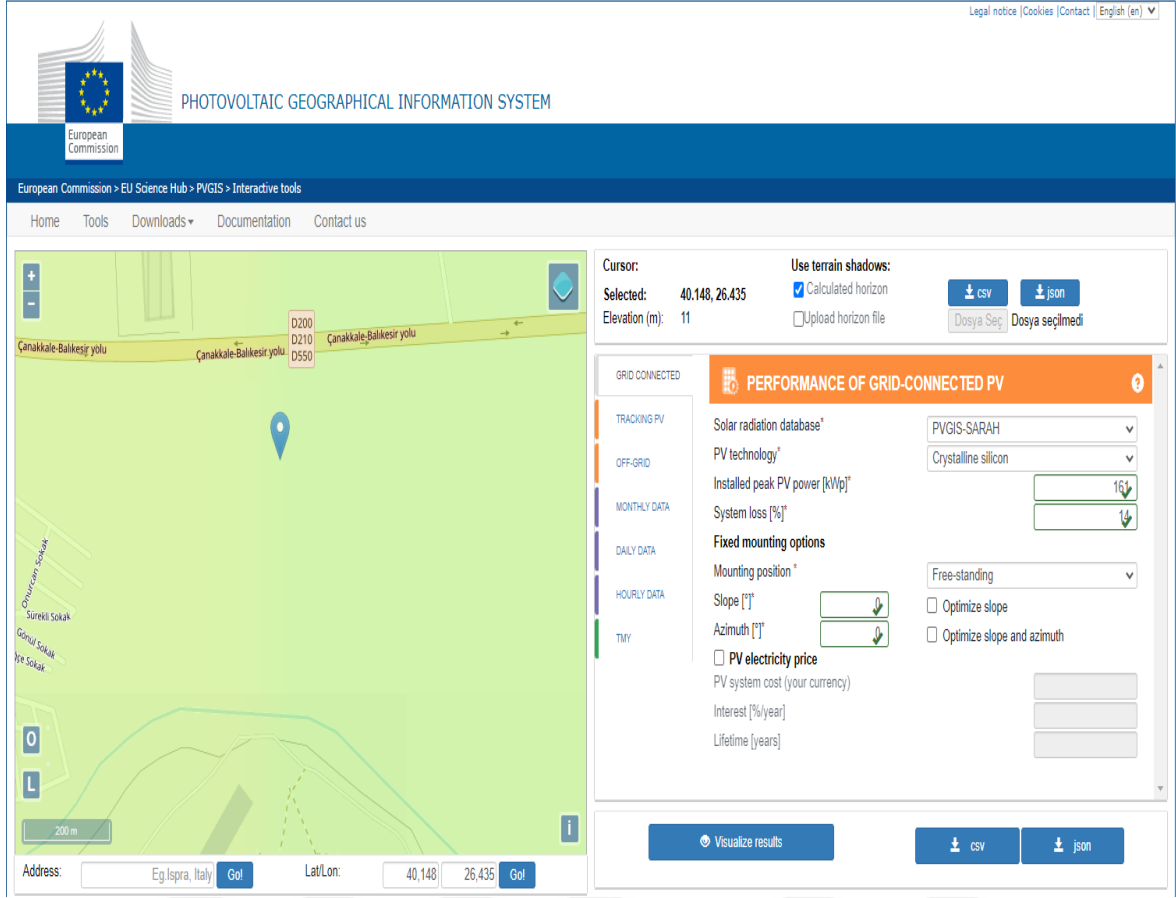
Şekil 26. PVGIS ERA5 ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği.

Bina, kuzey-güney doğrultusunda uzandığı ve binanın güney kısmında gölgelenme yapacak herhangi bir bina bulunmadığı için PVGIS ERA5 yazılımı üzerinde son veri giriş alanı olan kısım “Azimut”, tam güneyi ifade eden 180° olarak girilmiştir.

Sonuç olarak PVGIS web sitesi üzerindeki ERA5 verileri ile bina çatısına kurulabilecek olan 161 kW güçteki güneş santralinin bina konumu için hesaplamaları yapılmıştır. Bu güçteki santralin yıllık maksimum üretim miktarının 247.234 kWh olarak öngörüldüğü ve bu değer 2020 yılında bina enerji tüketimi olan 345.900 kWh değerinin (Tablo 4) yaklaşık %71’ine karşılık geldiği görülmektedir.

4.2.5. PVGIS SARA Verileri Kullanılarak Güneş Enerjisi Üretim Tahmini

Çanakkale 112 AÇM binası çatısında kurulacak olan 161 kW güçteki GES’in yıllık toplam enerji üretim tahmini Şekil 27’deki PVGIS web sitesi üzerindeki SARA verileri ile farklı panel türü ve açılar girilerek elde edilmiştir.



Şekil 27. PVGIS sitesi arayüzü ve SARAH veri giriş ekranı (PVGIS, 2021).

Güneş panel türü olarak Şekil 27’deki “Silikon Kristal, CIS ve CdTe” seçenekleri aynı güçte kurulum için karşılaştırılmış ve en yüksek yıllık üretimin Kadmiyum Tellür (CdTe) paneller ile elde edildiği görülmüştür. Ancak CdTe panellerin ömrü ve dayanıklılığı, bu proje için hedeflenen kullanım şartları ve devamlılığını sağlamadığından diğer iki seçenek arasından üretim hedefine daha yakın üretime imkân veren “Silikon Kristal” tipteki güneş panellerinin kullanımının da uygun olacağı düşünülebilir.

Çanakkale’nin konumu için ideal panel açısını tespit edebilmek amacıyla, Şekil 28’de gösterildiği gibi PVGIS arşivi üzerindeki SARAH verileri ile 161 kW gücündeki güneş santralinde “Silikon Kristal” özellikteki güneş panellerinin 0°, 10°, 20°, 30°, 31°, 32°, 33°, 34°, 35° ve 40° açılarla kurulması halinde beklenen üretime ilişkin veriler Tablo 9’da verilmiştir.

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

Provided inputs:	Simulation outputs
Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle: 0 °
Horizon: Calculated	Azimuth angle: 0 °
Database used: PVGIS-SARAH	Yearly PV energy production: 207576.59 kWh
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation: 1661.79 kWh/m ²
PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability: 7116.61 kWh
System loss: 14 %	Changes in output due to:
	Angle of incidence: -3.49 %
	Spectral effects: 0.52 %
	Temperature and low irradiance: -7.01 %
	Total loss: -22.42 %

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

Provided inputs:	Simulation outputs
Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle: 20 °
Horizon: Calculated	Azimuth angle: 0 °
Database used: PVGIS-SARAH	Yearly PV energy production: 232172.34 kWh
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation: 1845.39 kWh/m ²
PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability: 8558.66 kWh
System loss: 14 %	Changes in output due to:
	Angle of incidence: -2.85 %
	Spectral effects: 0.62 %
	Temperature and low irradiance: -7.04 %
	Total loss: -21.86 %

Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

Provided inputs:	Simulation outputs
Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle: 33 °
Horizon: Calculated	Azimuth angle: 0 °
Database used: PVGIS-SARAH	Yearly PV energy production: 236602.8 kWh
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation: 1876.28 kWh/m ²
PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability: 9016.44 kWh
System loss: 14 %	Changes in output due to:
	Angle of incidence: -2.71 %
	Spectral effects: 0.67 %
	Temperature and low irradiance: -7.02 %
	Total loss: -21.68 %

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

Provided inputs:	Simulation outputs
Latitude/Longitude: 40.148, 26.435	Slope angle: 40 °
Horizon: Calculated	Azimuth angle: 0 °
Database used: PVGIS-SARAH	Yearly PV energy production: 235199.82 kWh
PV technology: Crystalline silicon	Yearly in-plane irradiation: 1862.75 kWh/m ²
PV installed: 161 kWp	Year-to-year variability: 9106.35 kWh
System loss: 14 %	Changes in output due to:
	Angle of incidence: -2.67 %
	Spectral effects: 0.7 %
	Temperature and low irradiance: -6.95 %
	Total loss: -21.57 %

Şekil 28. PVGIS SARAH ile 0°, 20°, 33°, 40° farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi (PVGIS, 2021).

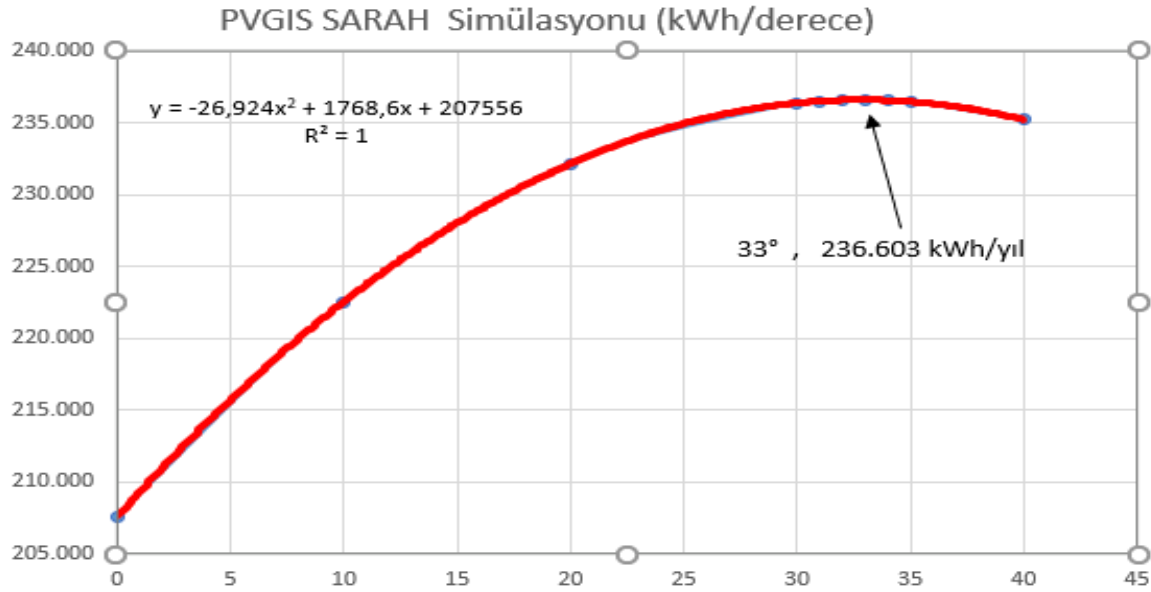
Tablo 9'daki beklenen üretim değerleri karşılaştırılarak yıllık en fazla üretimin güneş panellerinin 33° açıyla kurulduğu durumda geçerli olacağı görülmüştür.

Tablo 9

PVGIS SARAH ile 161 kW farklı panel açılarına göre yıllık güneş enerjisi üretimi

Güneş Santrali Gücü (kW)	Panel Eğim Açısı (°)	Yıllık Enerji Üretim Tahmini (kWh)
161	0	207.577
	10	222.504
	20	232.172
	30	236.392
	31	236.513
	32	236.584
	33	236.603
	34	236.567
	35	236.477
	40	235.200

Tablo 9’da elde edilen güneş enerjisi üretim verileri ve eğim açısı arasındaki ilişkinin daha net görülebilmesi için Şekil 29 oluşturulmuştur. Grafikten de görülebileceği gibi, panel eğim açısının 0’dan 40’a doğru değişiminde 33° noktasına gelindiğinde, en yüksek üretim değerine ulaştığı ve sonra azalmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 29. PVGIS SARAŞ ile enerji üretimi-panel eğim açısı grafiği.

Bina kuzey-güney doğrultusunda uzandığı ve güney kısmında gölgelenme yapacak herhangi bir bina bulunmadığı için PVGIS SARAŞ yazılımı üzerinde son veri giriş alanı olan kısım “Azimut”, tam güneyi ifade eden 180° olarak girilmiştir.

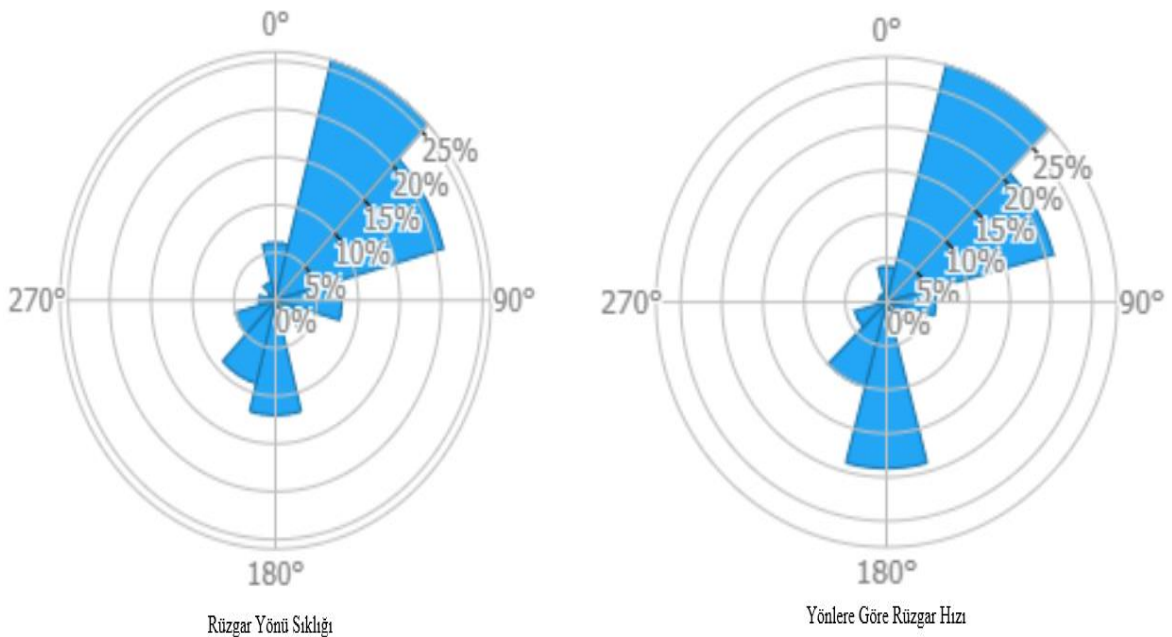
Sonuç olarak PVGIS web sitesi üzerindeki SARAŞ verileri ile bina çatısına kurulabilecek olan 161 kW güçteki güneş santralinin bina konumu için hesaplamaları yapılmıştır. Bu güçteki santralin yıllık maksimum üretim miktarının 236.603 kWh olarak öngörüldüğü ve bu değer 2020 yılında bina enerji tüketimi olan 345.900 kWh değerinin yaklaşık %67’sine karşılık geldiği görülmektedir.

4.3. Rüzgar Enerjisi ile Yapılacak Enerji Üretimi

Çanakkale 112 AÇM binasının yıllık olarak belirlenen elektrik enerjisi tüketiminin, rüzgar enerjisi kullanılarak karşılanabilmesi için binanın bulunduğu konuma rüzgar türbini kurulumu; binanın konut alanlarının içerisinde kalması nedeniyle azalan rüzgar gücü ve

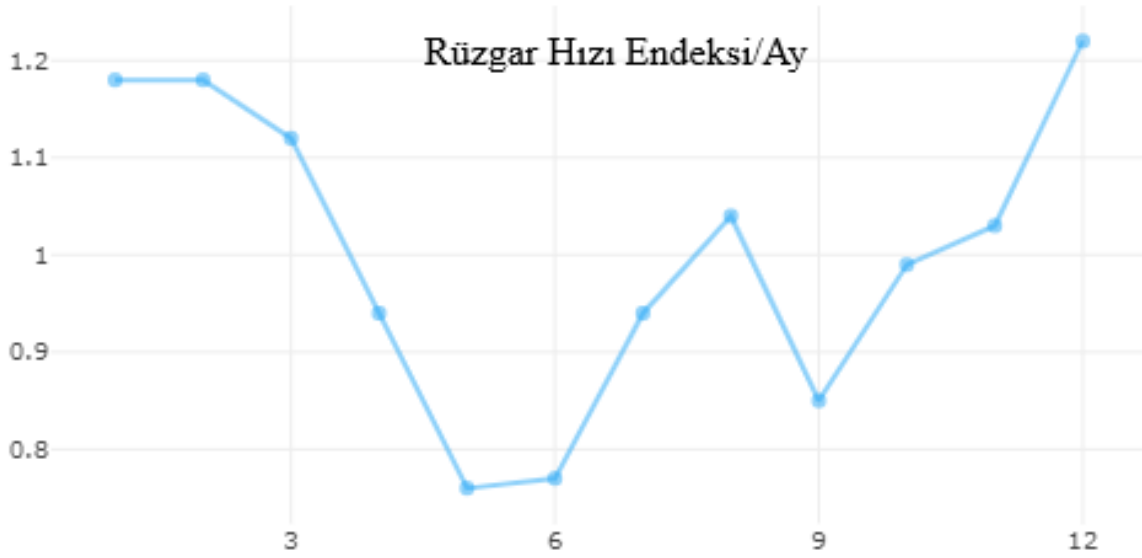
olan kuzeydoğu cephesinde herhangi bir engeli olmaması, deniz seviyesinden yüksekliğinin 326 metre olması ve yerleşim alanlarının dışında yer alması; çoğunlukla Marmara Denizi'nden Ege Denizi'ne doğru gerçekleşen ve Çanakkale Boğazı boyunca yüksek hızda seyreden hava akımlarına doğrudan maruz kalmasını sağlamaktadır. Böylece, aynı güçte RES kurulumu için Çanakkale 112 AÇM binasının bulunduğu konuma göre çok daha yüksek üretim potansiyeli elde edilmiştir. Bu noktanın seçimi sırasında, üretilecek enerjinin ulusal elektrik şebekesine verilebilmesi için kurulum alanının yakınlarında enerji iletim hattının bulunması hususuna da özellikle dikkat edilmiştir.

Seçilen noktanın koordinatları girilerek GWA sitesi üzerinden Şekil 31'deki rüzgar esme sıklığı ve yönleri göre rüzgar hızlarına ait veriler elde edilmiştir. Şekilde, bu nokta için hakim rüzgar yönünün kuzeydoğu olduğu ve yılın yaklaşık %70-80'lik zaman diliminde rüzgarın kuzeydoğu yönünden estiği görülmektedir. Yine aynı şekilde; bu nokta için rüzgar hızlarına dair verilen sıklık istatistiğinin, büyük ölçüde hakim rüzgar yönü ile benzer olduğu ve yalnızca güney yönden esen rüzgarların hızının da zaman zaman yükselebildiği gösterilmektedir. Bu verilerin ışığında; rüzgar türbini kurulumu için belirlenen noktanın, çoğunlukla kuzeydoğu yönünden gerçekleşecek rüzgar hareketinin sonucunda enerji üretimi yapacağı ve üretim tahmini hesaplaması yapılırken ana etken olarak kuzeydoğu yönüne yönelik ayarlamaların gerekeceği anlaşılmaktadır.



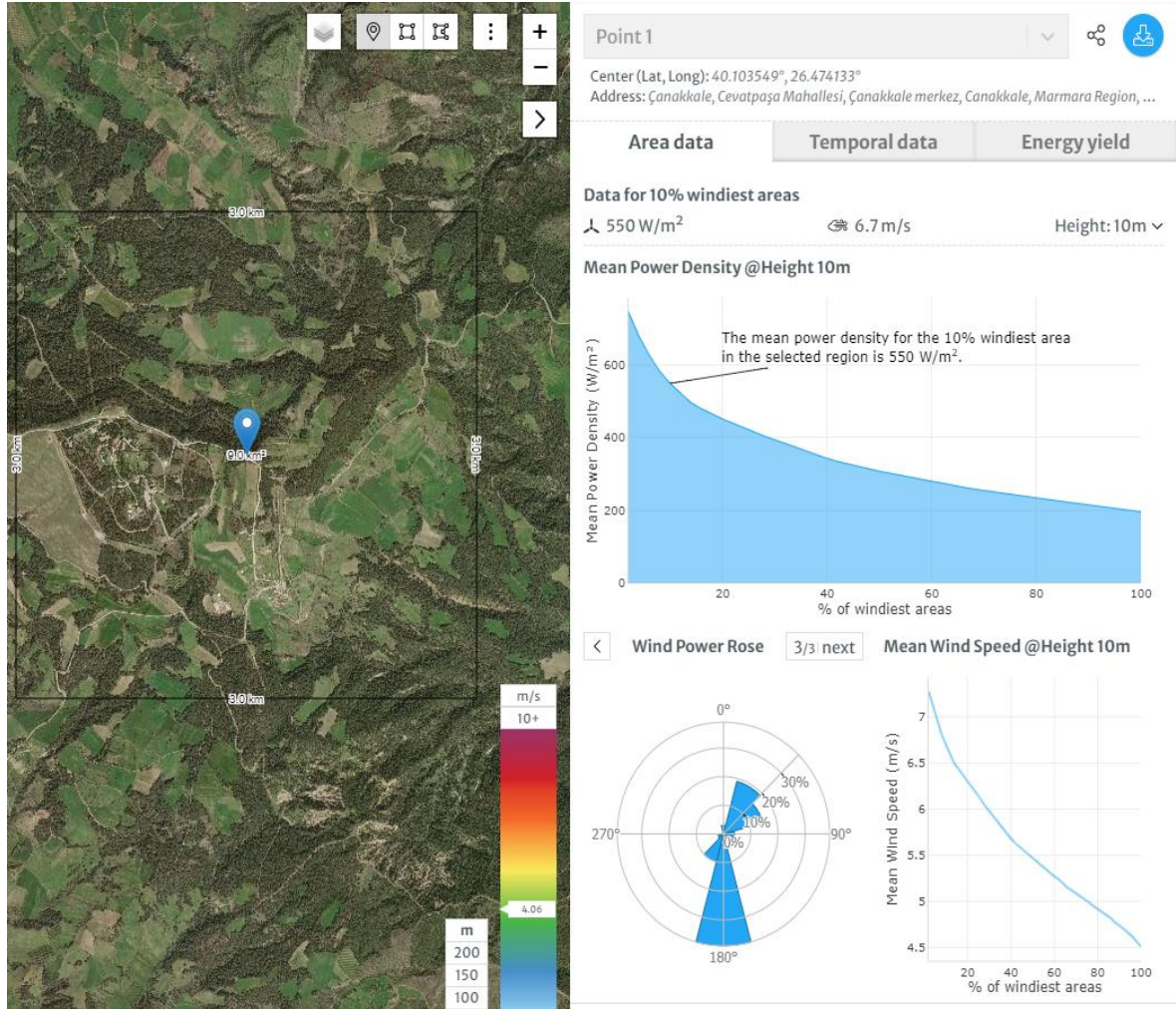
Şekil 31. 40,104° K ve 26,474° D koordinatları rüzgar yönü ve hızı bilgileri (GWA, 2021).

Rüzgar, mevsime ve hava durumuna bağlı olarak fazla değişken bir enerji üretim yöntemidir. Nitekim rüzgar enerjisi üretimi için belirlenen noktada, yıl içerisinde aylara göre rüzgar hızı endeksi verisi incelenerek dönemsel farklılıklar net olarak görülebilmektedir (Şekil 32). Şekilde 1 olarak verilen sayısal değer, bu nokta için aylık ortalama rüzgar hızına karşılık gelmektedir (GWA, 2021). Aralık ayı 1,22 değeri ile ortalamanın %22 üzerinde rüzgar hızına sahip olarak en rüzgarlı ay olarak öne çıkmaktadır. Tam tersi olarak Mayıs ayı 0,76 endeks değeri ile ortalama değerin %24 altında kalarak en az rüzgar hızına sahip ay olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre; kurulacak olan rüzgar türbininden yılın farklı dönemlerinde, farklı miktarda enerji üretileceği öngörülmektedir.



Şekil 32. 40,104° K ve 26,474° D koordinatları için aylık rüzgar hızı bilgileri (GWA, 2021).

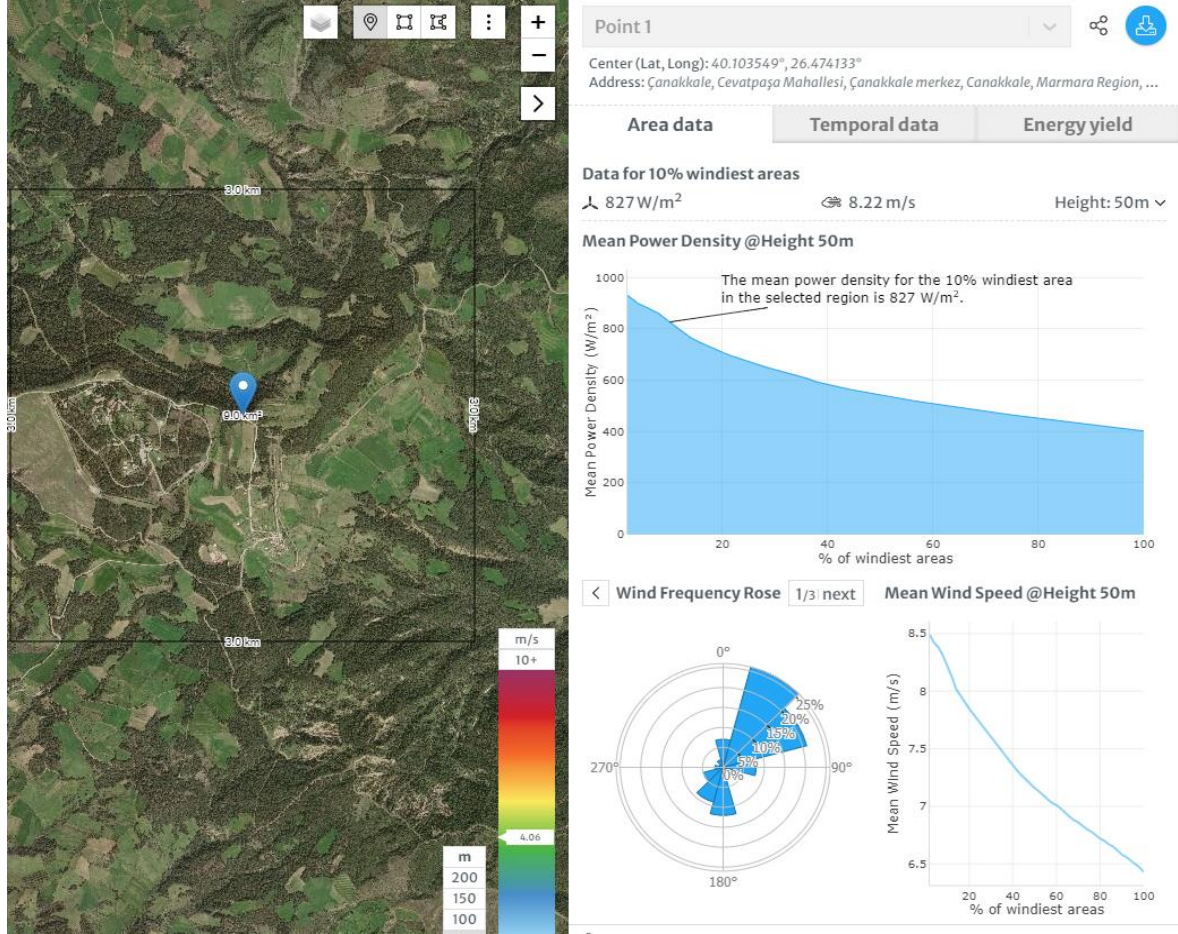
40,104° K ve 26,474° D koordinatlarındaki rüzgar verilerinin araştırılması amacıyla, GWA sitesi üzerinden bu noktadaki farklı yükseklikler için rüzgar güç yoğunluğu ve hızına ilişkin çalışma yapılmıştır. GWA sitesi; zeminden 10, 50, 100, 150 ve 200 m yüksekliklere ait verileri içermektedir. Bu çalışmada; Çanakkale 112 AÇM binasının tüketimini karşılamak için kurulacak rüzgar türbininin minimum olarak Tablo 4’te verilen bina yıllık enerji tüketimini (345.900 kWh), üretmesi beklendiğinden farklı yüksekliklere ait veriler karşılaştırılmıştır.



Şekil 33. 40,104° K ve 26,474° D koordinatları için 10 m yükseklikteki rüzgar verileri (GWA, 2021).

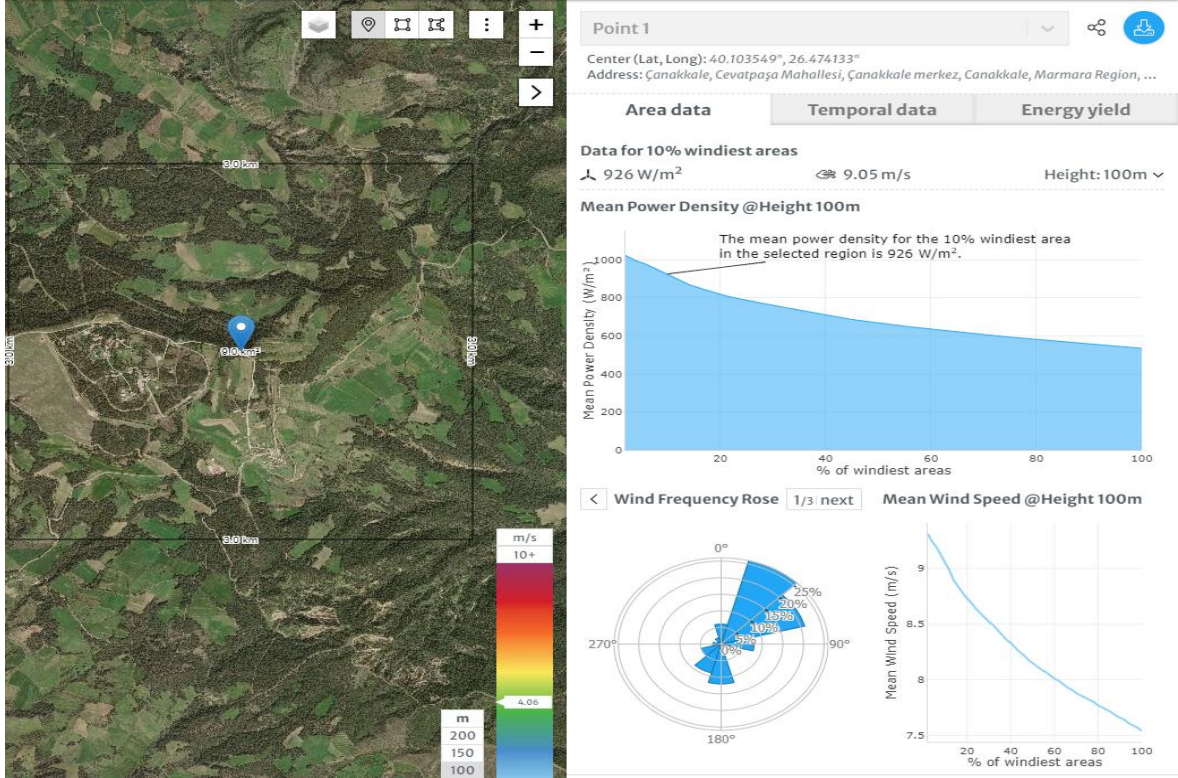
Şekil 33'te görülebileceği gibi, bu koordinatlar için yer seviyesinden 10 m yükseklikteki rüzgar hızı 6,7 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 550 W/m² olarak hesaplanmıştır. Çevredeki doğal ya da yapay engellerin belli oranda rüzgar hızını azalttığı düşünülerek aynı nokta için daha yüksek irtifalarda rüzgar gücünün artması beklenmektedir. Bu bilgi göz önüne alınarak aynı noktada, bu kez 50 m yükseklikteki rüzgar verileri araştırılmış ve Şekil 34'teki sonuçlar elde edilmiştir. Şekilde görülebileceği gibi, yüksekliğin 10 metreden 50 metreye yükselmesi sonucu; rüzgar güç yoğunluğu ve hızı, ciddi oranda artarak 827 W/m² ile 8,22 m/s değerlerine yükselmiştir. Bu çalışmada, lisanssız santraller üzerinden araştırma yapılacağı için yapılacak rüzgar enerjisi kurulum kapasitesi, 1 Megawatt (MW) değerini geçmemelidir (Resmi Gazete, 2019). Bu nedenle, bu çalışmada kullanılmak üzere 1 MW gücündeki rüzgar türbininin kullanılmasına karar

verilmiştir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, bu güçteki rüzgar türbinlerinin yüksekliğinin 75 metre olduğu belirlenmiştir (Durak ve Özer, 2008).



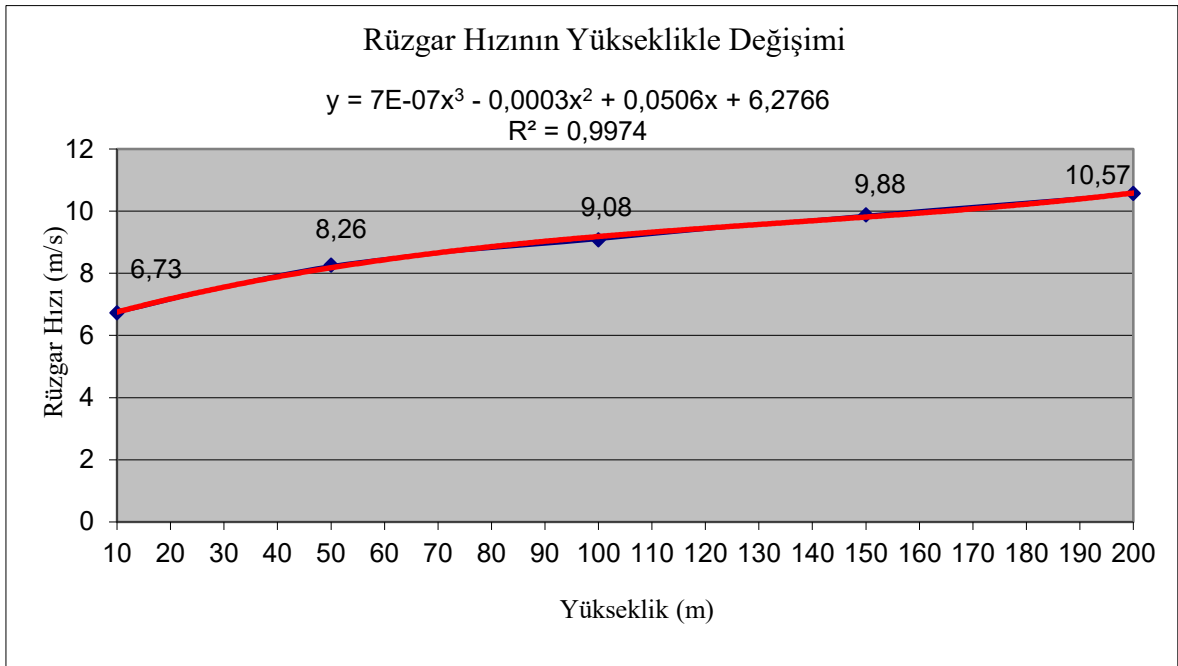
Şekil 34. 40,104 K° ve 26,474 D° koordinatları için 50 m yükseklikteki rüzgar verileri (GWA, 2021).

Son olarak rüzgar türbini kurulumu için incelenen noktaya ilişkin 100 m yükseklikteki rüzgar verileri, GWA sitesinde Şekil 35'teki gibi verilmiştir. Şekildeki rüzgar hızı ve güç yoğunluğu bilgileri incelenirse, her ikisinin de 50 m verilerine göre arttığı; ancak 10 metreden 50 metreye geçişte gerçekleşen artışa göre daha düşük oranda bir artış gerçekleştiği görülmektedir. 40,104° K ve 26,474° D koordinatları için 100 metredeki rüzgar güç yoğunluğu 926 W/m² ve rüzgar hızı 9,05 m/s olarak elde edilmiştir. 10, 50, 100, 150 ve 200 m verilerinin ilgili formüllere uyarlanmasıyla bu noktaya ilişkin Hellmann katsayısı belirlenecektir. 50-100 m aralığındaki Hellmann katsayısı kullanılarak belirlenen türbinin yüksekliği olan 75 metredeki rüzgar verileri, yüksekliğe göre rüzgar hızının değerini hesaplama bağıntıları üzerinden elde edilecektir.



Şekil 35. 40,104° K ve 26,474° D koordinatları için 100 m yükseklikteki rüzgar verileri (GWA, 2021).

Kurulacak olan türbinin konumuna ait ortalama rüzgar hızı verileri bir araya getirilerek grafik haline dönüştürülmesi sonucunda Şekil 36 elde edilmiştir.

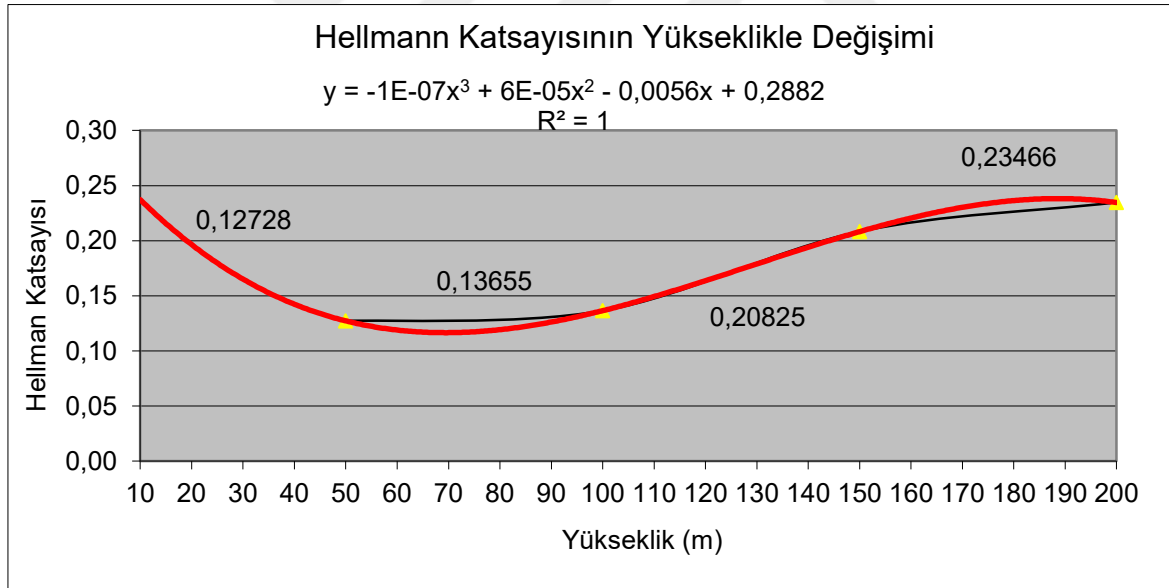


Şekil 36. Belirlenen konumda farklı yükseklikteki ortalama rüzgar hızları (GWA, 2021).

Şekilden de görülebileceği gibi, yerden yükseklik arttıkça ortalama rüzgar hızı artmaktadır. Kurulacak türbinin yüksekliği olan 75 m seviyesindeki ortalama rüzgar hızı değerini elde edebilmek amacıyla; 10, 50, 100, 150 ve 200 m verilerinin Denklem 4.1 formülüne uyarlanmasıyla, bu noktaya ilişkin farklı yükseklik aralıkları için Hellmann katsayısı (α) belirlenmiştir.

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{V_2^2}{V_1^2}\right)}{\ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right)} \quad (4.1)$$

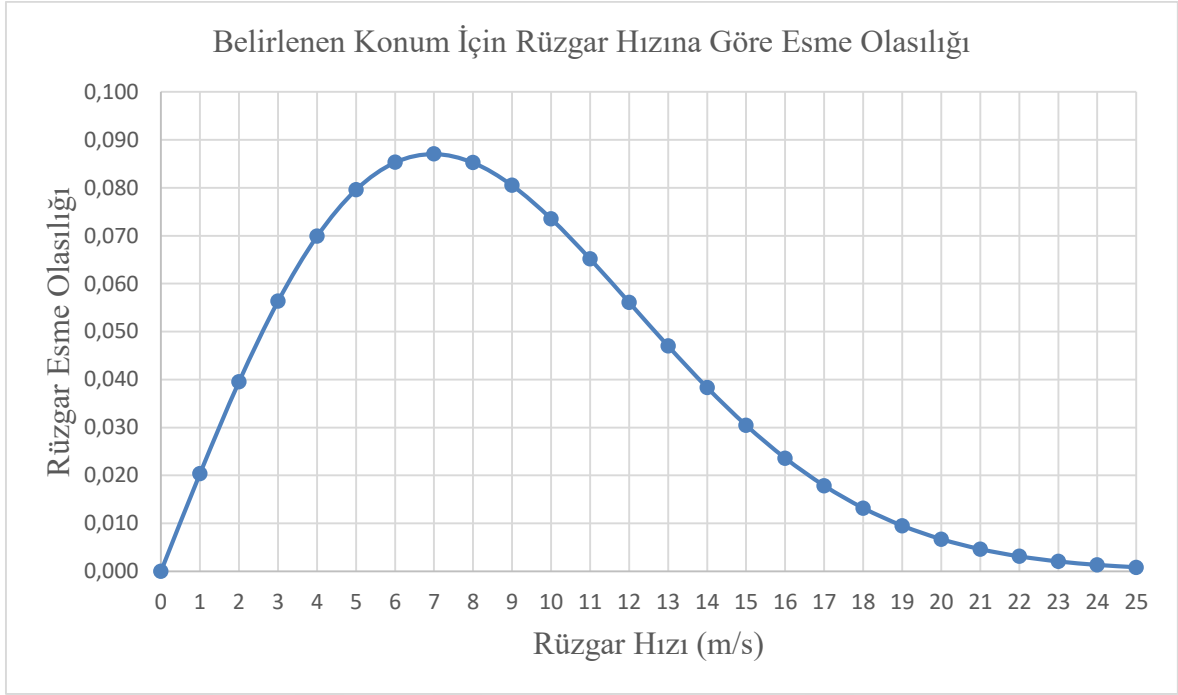
Denklem kullanılarak 10-50 m aralığı, 50-100 m aralığı, 100-150 m aralığı ve 150-200 m aralığı için 4 farklı Hellmann katsayısı elde edilmiş ve bu değerler, Şekil 37'deki grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu katsayılar, ait oldukları aralıktaki herhangi bir yükseklik için rüzgar hızı verisini elde etmeyi mümkün kılmaktadır (Durak ve Özer, 2008).



Şekil 37. Belirlenen konumda yüksekliğe göre Hellmann katsayısı değişimi (GWA, 2021).

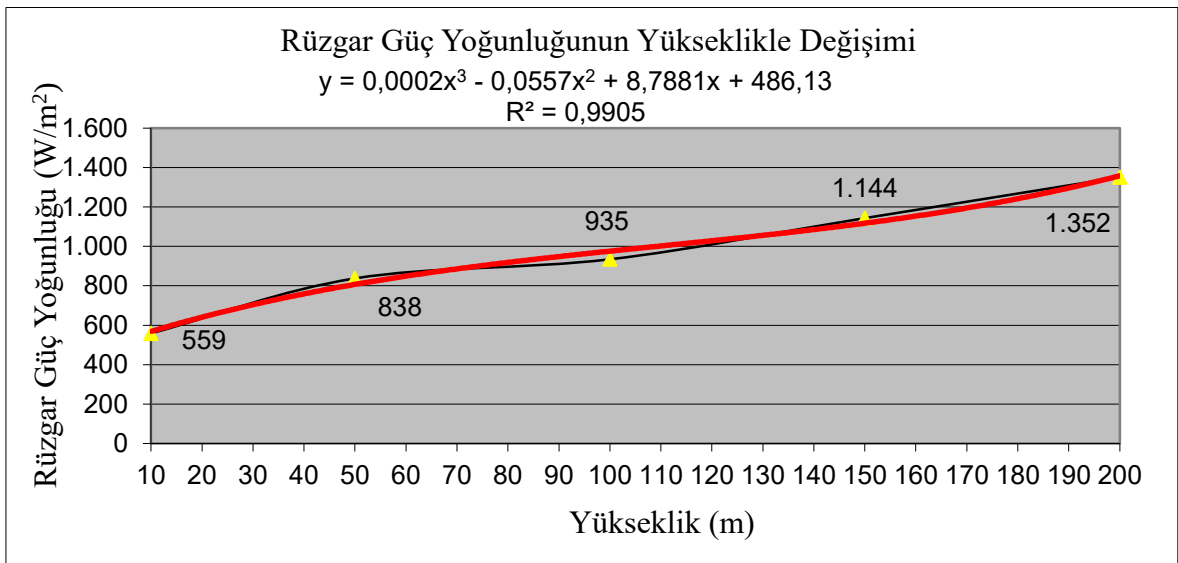
Kullanılacak türbin yüksekliği 75 m olduğu için Denklem 4.1 üzerinde 50-100 m aralığına ait Hellmann katsayısı (0,13655) kullanılarak 50 m verisi üzerinden 75 m için ortalama rüzgar hızı 8,73 m/s olarak bulunmuştur. Bulunan değer, kontrol amacıyla Denklem 4.1 kullanılarak bu kez 100 m verisi üzerinden tekrar hesaplanmış ve 8,73 m/s ortalama rüzgar hızı değeri teyit edilmiştir. Bulunan 8,73 m/s değerindeki ortalama rüzgar hızı verisi ve Denklem 3.3'teki Rayleigh dağılımı kullanılarak belirlenen konumda rüzgar

hızına göre esme olasılığı Şekil 38'deki gibi elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde; %8,7 esme olasılığı ile en çok esmesi beklenen rüzgar hızı, 7 m/s olarak belirlenmiştir. Bu değeri, %8,5 olasılığa sahip olan 6 m/s ve 8 m/s rüzgar hızları takip etmektedir.



Şekil 38. Belirlenen konum için rüzgar hızına göre esme sıklığı (GWA, 2021).

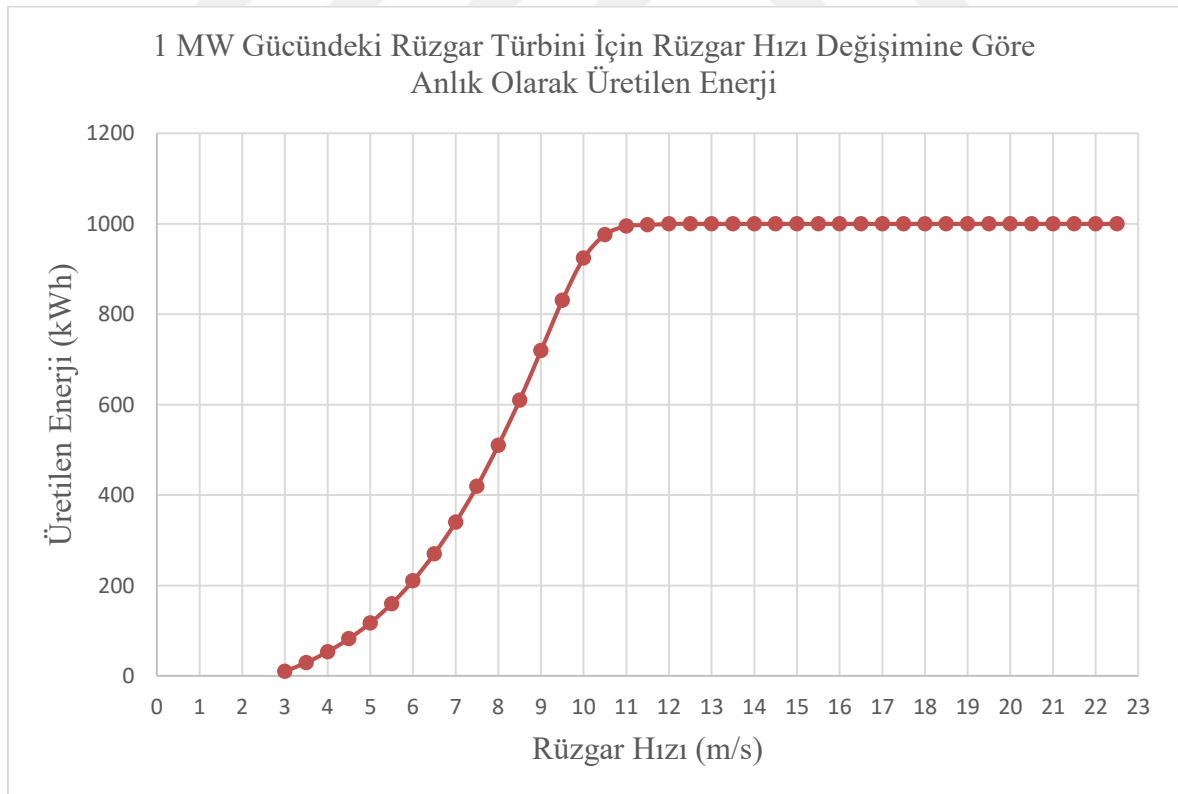
Yine GWA sitesi üzerinden elde edilen verilerin toparlanması sonucu, yükseklik ile rüzgar güç yoğunluğu ilişkisi grafiği olan Şekil 39 oluşturulmuştur.



Şekil 39. Belirlenen konumda yükseklik için rüzgar güç yoğunluğu değişimi (GWA, 2021).

Rüzgar hızının artmasına paralel olarak zeminden yükseklik arttıkça, rüzgar güç yoğunluğu da ciddi oranda artarak 100 metrede 935 W/m^2 değerine ulaşmıştır. Türbinin kurulacağı yüksekliğe ait rüzgar güç yoğunluğunu elde etmek için şekildeki eğri için verilen matematiksel formül kullanılarak 75 metredeki rüzgar güç yoğunluğu değeri, 916 W/m^2 olarak bulunmuştur.

Tablo 4'teki Çanakkale 112 AÇM binasının enerjini tüketimini (345.900 kWh) karşılamak üzere rüzgar enerjisinin kullanılması hesabı, 1 MW gücündeki rüzgar türbini üzerinden yapılacaktır. Bu güçteki türbinin, rüzgar hızına göre üretmesi beklenen enerjiye ilişkin anlık üretim tahminleri, grafik halinde oluşturulmuştur (Şekil 40). Şekil incelendiğinde, az da olsa ilk enerji üretiminin, rüzgar hızının 3 m/s değerini geçtiğinde gerçekleştiği; ancak tam kapasite üretim için rüzgar hızının 12 m/s değerine çıkması gerektiği görülmektedir. 23 m/s (82,8 km/h) rüzgar hızına kadar rüzgar türbininin nominal gücü kadar üretim yapabildiği ancak daha yüksek rüzgar hızlarında sistemin zarar görmemesi için türbinin koruma moduna geçtiği çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 40. Belirlenen konumda 1 MW gücündeki bir türbinin rüzgar hızına göre enerji üretimi değişimi (GWA, 2021).

Türbin katalogları üzerinden yapılan araştırmada, 1 MW gücündeki rüzgar türbini kanat yarıçapı olarak 28 m değeri verilmektedir (Durak ve Özer, 2008). Bu değer kullanılarak Denklem 3.5'te enerji üretim tahmini hesabı için gerekli olan son parametre süpürme alanı da hesaplanmıştır. Böylece rüzgar enerjisi yıllık üretim miktarını elde edebilmek için 1 MW gücündeki türbinin 75 m yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızının girilmesiyle enerji üretimleri hesaplanmıştır. Seçilen noktada 1 MW gücündeki türbin ile yıllık rüzgar enerjisi üretiminin 3.718.766 kWh değerinde olacağı hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir. Bu üretim değeri, binanın yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 10,75 katına karşılık gelmektedir. Bu durumda, tüketim fazlası olan 3.372.866 kWh enerjinin elektrik dağıtım şirketine satışı yapılarak gelir elde edilmesi mümkün olmaktadır. Alternatif olarak daha küçük güce sahip rüzgar türbini kullanımıyla, enerji tüketimine daha yakın üretim değeri elde edilerek ilk yatırım masrafı azaltılabilir.

Rüzgar türbini kurulumu için belirlenen noktadaki türbülans (I) değerini bulmak amacıyla Denklem 4.2 formülü ile hesaplama yapılmıştır (Durak ve Özer, 2008). Öncelikle, her bir yükseklik için ayrı ayrı ortalama rüzgar hızının standart sapma değeri (σ) bulunmuş ve sonrasında bulunan standart sapma değeri, her yükseklik için ayrı ayrı ortalama rüzgar hızına (V_{ort}) oranlanarak türbülans değeri belirlenmiştir.

$$I = \frac{\sigma}{v_{ort}} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2 kullanılarak 10, 50, 100, 150 ve 200 m yükseklikleri için türbülans hesabı yapıldığında, beklendiği gibi tüm yükseklikler için 0,085147 türbülans değeri elde edilmiştir. İdeal RES kurulumu için bu değer 0,25 değerinin altında olması beklenmektedir. Bu açıdan bakıldığında, seçilen konumun türbülans sınır değerinin yaklaşık üçte bir büyüklükte türbülans değeri ile kurulum için oldukça olumlu bir sonuç vermektedir.

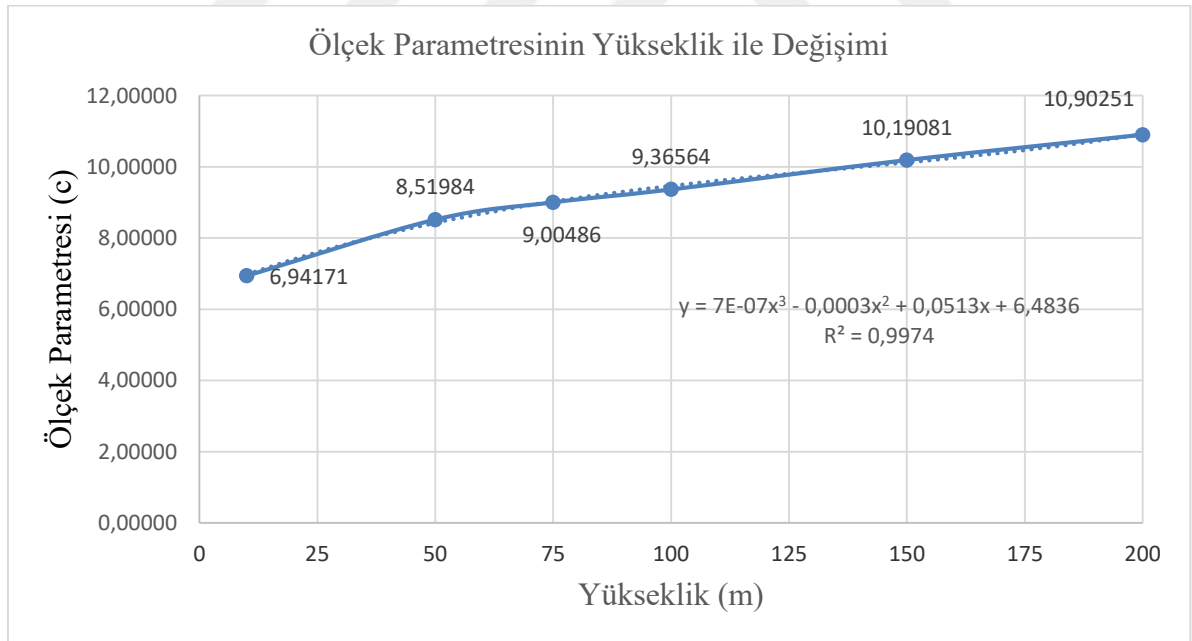
Rüzgar enerjisi açısından diğer önemli etkenler, şekil (k) ve ölçek (c) parametreleridir. Denklem 4.3 kullanılarak önce şekil parametresi elde edilecektir.

$$k = I^{-1,086} \quad (4.3)$$

Denklemden daha önce bulunan türbülans değeri (0,085147) ile hesaplama yapılarak belirlenen konum için şekil parametresi 14,5156 olarak bulunmuştur. Şekil parametresi ne kadar büyük olursa, o noktada rüzgar hızının o kadar az değişim gösterdiği çıkarımı yapılmaktadır (Durak ve Özer, 2008). Bu değerin Denklem 4.4 üzerinde kullanımı sonucu ölçek parametresi değeri elde edilir.

$$c = v_{ort} \left(0,568 + \frac{0,433}{k} \right)^{-\frac{1}{k}} \quad (4.4)$$

Denklemden sayısal değerler girilerek her bir yükseklik için ayrı değerde olan ölçek parametreleri bulunmuş ve Şekil 41'deki grafik oluşturulmuştur. Ölçek parametresinin formülünden ve aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi; bu parametre değeri, ortalama rüzgar hızı ile doğru orantılıdır. Şekildeki eğriye ilişkin formülün belirlenmesi için yapılan incelemelerde, bu değerin belirlenmesi açısından gerçeğe en yakın sonuçların (%99,74) üçüncü dereceden polinom kullanımıyla elde edilebileceği belirlenmiştir.



Şekil 41. Belirlenen konumda ölçek parametresinin yükseklik ile değişimi.

RES kurulumu için belirlenen noktanın rüzgar verileri üzerinden yapılan incelemeler, RetScreen Uzman (RSE) yazılımında bulunan ve deniz seviyesinde olan Çanakkale Meteoroloji istasyonu verileri ile karşılaştırılmıştır. RSE yazılımındaki veriler,

şehir içinde yer alan meteoroloji istasyonundan alındığı için doğal olarak ortalama rüzgar hızı değerleri daha düşüktür. Ancak her iki veri kaynağındaki istatistikler, oransal olarak benzeşmektedir. Bu durumda, GWA sitesi dışındaki başka bir veri kaynağının da hesaplanan bileşenleri ve yıllık rüzgar enerjisi üretim tahminini desteklediği çıkarımı yapılabilmektedir.

Sonuç olarak; 40,104° K ve 26,474° D koordinatlarına kurulan ve 75 m yüksekliğe-1 MW güce sahip olan rüzgar türbini ile, Çanakkale 112 AÇM binasının yıllık elektrik enerjisi tüketiminin karşılanmasına ilişkin yapılan analizde; %35 kapasite faktörü ile yıllık 3.718.766 kWh değerinde rüzgar enerjisi üretilmesi öngörülmektedir. Bu üretim değeri, binanın yıllık tüketiminin 10,75 katına karşılık gelmektedir. Bu durumda, fazladan üretilen enerjinin satışı yoluyla ek gelir elde edilmesi mümkün gözükmemektedir. Bir sonraki bölümde, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi ile ilgili yapılan hesaplamalara dair veriler yorumlanacak ve bazı konularda önerilerde bulunulacaktır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çanakkale 112 AÇM binasının elektrik enerjisi tüketiminin, güneş enerjisi veya rüzgar enerjisi kullanılarak karşılanması için yapılan incelemeler sonucunda; her iki kaynağın da bu amaçla kullanılabileceği tespit edilmiştir. Elde edilen verilerin ve hesaplamaların değerlendirilmesi için bir sonraki bölümde; güneş enerjisi üretimine ilişkin açıklamalar yapılmıştır.

5.1. Güneş Enerjisi Üretim Tahmini ve Üretilen Enerjinin Tüketim Karşılığı

Çanakkale 112 AÇM binası çatısında kurulacak olan 161 kW güçteki GES'in yıllık toplam enerji üretim tahminleri ve ideal güneş paneli açısının farklı veri setlerine göre sonuçları ile enerji tüketimini karşılama oranı Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10

161 kW kurulu güç için farklı veri kaynaklarına göre üretim ve ideal panel açıları

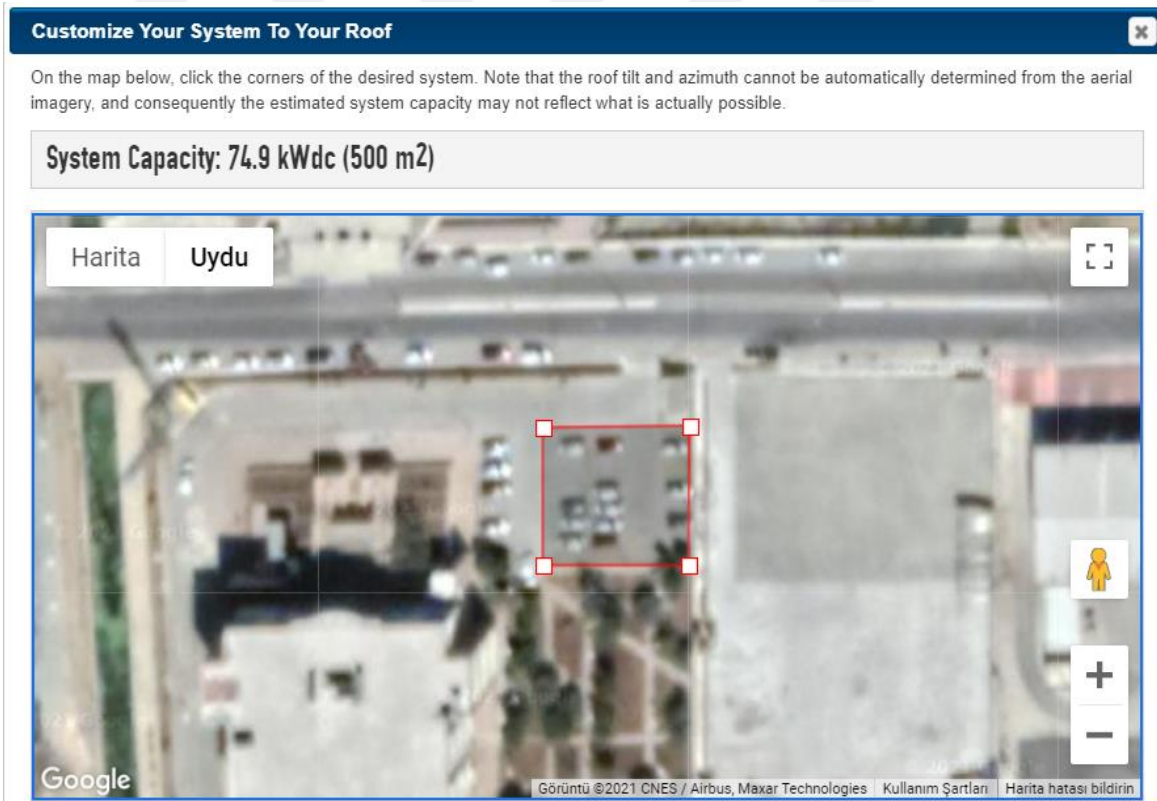
PV Veri Kaynağı	Maksimum Yıllık Üretim Tahmini (kWh)	İdeal Panel Eğim Açısı (°)	Enerji Üretiminin Bina Tüketimine Oranı (%)
PVWC	240.613	31	%69,6
CMSAF	250.664	33	%72,5
COSMO	211.446	32	%61,1
ERA5	247.234	35	%71,5
SARAH	236.603	33	%68,4
Ortalama Değer	237.312	32,8	%68,6

Tablo 10'da verilen ve 5 farklı veri kaynağının güneş enerjisi üretim ortalaması olan 237.312 kWh değeri, Tablo 4'te verilen 2020 yılı bina elektrik enerjisi tüketimi olan 345.900 kWh değerinin %68,6'sına karşılık gelmektedir. Ayrıca, 5 farklı veri setinin bina konumunda maksimum güneş enerjisi üretimi elde etmek için ideal panel eğim açıları incelenmiş ve Tablo 10'da da görülebileceği gibi, ortalama 32,8° değeri elde edilmiştir. Bu veriler göz önüne alınarak Çanakkale 112 AÇM hizmet binasının çatısına 161 kW gücünde

ve 33° panel eğim açısına sahip GES kurulmasının uygun olacağı ve bu kurulum sonucunda yıllık toplam 237.312 kWh elektrik enerjisi üretileceği öngörülmektedir.

5.1.1. Güneş Enerjisi Ek Kurulum Kapasitesi ve Ek Üretim Tahmini

Binanın yıllık tüketilen elektrik enerjisinin tamamının güneş panelleri ile üretilebilmesi için 108.588 kWh değerindeki enerji üretim açığının, bahçedeki otopark alanının üzerinin kapatılarak uygun şekilde güneş panelleri kurulması ile karşılanması, ilave senaryo olarak planlanmıştır. Bina günün belli saatlerinde gölgelenme yaptığı bölüm dışındaki otopark alanı, yapılan ölçümlerde eni 25 ve boyu 20 metre olmak üzere 500 m² olarak tespit edilmiştir.



Şekil 42. 112 AÇM otoparkı için PVWC veri tabanı GES güç kapasitesi (PVWC, 2021).

500 m² alana sahip otopark alanından üretilebilecek güneş enerjisi bilgileri, PVWC ve ERS veri bankalarında yer alan veriler kullanılarak incelenmiştir. Şekil 42’de görüleceği gibi PVWC yazılımı üzerinden otopark alanındaki potansiyel kurulum yapılabilecek olan 500 m² alana, yaklaşık 75 kW gücünde güneş panelleri kurulabileceği hesaplanmıştır (PVWC, 2021). Benzer şekilde, Şekil 43’te otopark alanında kurulabilecek güneş enerjisi

santrali için ERS veri tabanı üzerinde yapılan hesaplamalarda, bu alana yaklaşık 77,4 kW gücündeki panel kapasitesinin olduğu belirlenmiştir (ERS, 2021).



Şekil 43. Çanakkale 112 AÇM otoparkı için ERS veri arşivi GES güç kapasitesi (ERS, 2021).

İki farklı kaynakla yapılan analizler, birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Ancak tolerans aralığı bırakabilmek amacıyla, otopark alanına kurulabilecek güneş paneli kurulu güç kapasitesi; düşük değer olan 75 kW olarak belirlenmiştir. Belirlenen 75 kW güneş enerjisi kurulu gücü için bina çatı incelemesinde kullanılan 5 farklı veri kaynağından yararlanılmış ve elde edilen verilerle Tablo 11 hazırlanmıştır. Otopark alanının üzerine kurulabilecek olan 75 kW gücündeki güneş panellerinin yıllık olarak üretebileceği elektrik enerjisine ilişkin gerçekleştirilen analiz sonucu, ilgili alandan üretilmesi beklenen güneş enerjisinin yıllık ortalama 110.579 kWh değerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca, üretilmesi planlanan minimum 108.588 kWh değerinin 5 veri kaynağından 4'ü tarafından sağlanması da, otopark alanına yapılacak ilave kurulumun dikkate alınmaya değer bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 11

75 kW kurulu güç için farklı veri kaynaklarına göre üretim ve ideal panel açıları

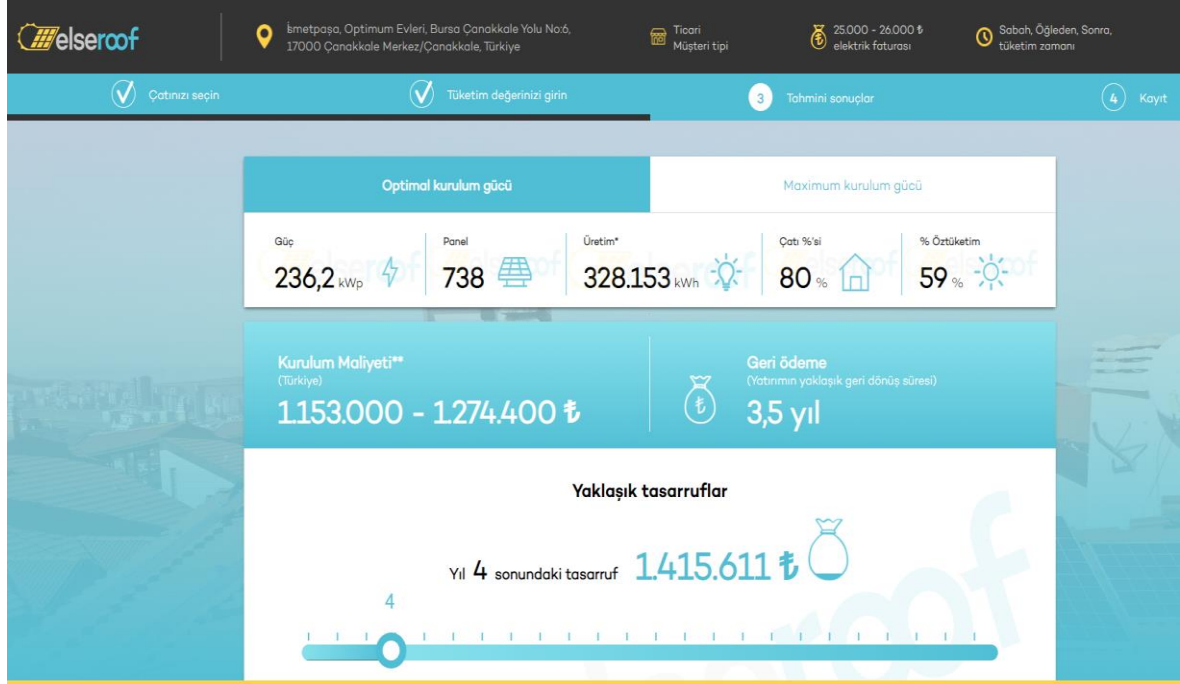
PV Veri Kaynağı	Maksimum Yıllık Üretim Tahmini (kWh)	İdeal Panel Eğim Açısı (°)	Enerji Üretiminin Bina Tüketimine Oranı (%)
PVWC	112.237	31	%32,4
CMSAF	116.769	33	%33,7
COSMO	98.500	32	%28,4
ERA5	115.171	35	%33,2
SARAH	110.219	33	%31,9
Ortalama Değer	110.579	32,8	%31,9

Çanakkale 112 AÇM binasının 2020 yılı elektrik enerjisi tüketimi olarak Tablo 4’te verilen 345.900 kWh değerinin güneş enerjisi ile sağlanmasına yönelik yapılan incelemeler ve simülasyonlar sonucunda, çatı alanına kurulacak güneş panellerinin binanın yıllık elektrik tüketim ihtiyacının yaklaşık %68,6’sını karşıladığı görülmüştür. Buna ek olarak binanın bahçesindeki otopark alanının üzerinin kapatılarak güneş panelleri ile kaplandığı ilave senaryoda, otopark alanının da bina yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık %31,9’u kadar elektrik üretim potansiyeli olduğu görülmüştür. Kısaca; bina çatısının 161 kW ile, bahçedeki otopark alanının 75 kW güçte ve monokristal özellikteki güneş panelleri ile kaplanması durumunda; güneş enerjisi ile yıllık elde edilmesi planlanan üretim değeri 347.891 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken kurulu güç açısından ihtiyatlı davranılmış ve kuruluma uygun alanlara ilişkin verilen potansiyel kurulu güç değerlerinden; düşük olan değerler, referans olarak alınmıştır. Genel olarak bakıldığında, Çanakkale 112 AÇM binasının güneş panelleri ile yıllık elektrik enerjisi tüketiminin tamamının karşılanması mümkün görünmektedir. Bir sonraki bölümde, hesaplaması yapılan GES’in kurulması durumunda; sistemin maliyetine, sisteme yapılan yatırımın geri dönüş süresine ve sistemin çevreye olan yararlarına ilişkin değerlendirme yapılmıştır.

5.1.2. Güneş Enerjisi Santralinin Maliyeti ve Yatırım Geri Dönüş Süresi

Çanakkale 112 AÇM binasının enerji ihtiyacının güneş enerji santrali ile karşılanması için binadaki enerji tüketim ve üretim verilerinin kaydının yapılabilmesi için trafoya çift yönlü sayaç takılması gerekmektedir. Kurulacak olan sistemde, 738 adet 320 W

güce sahip güneş panelinin kullanılması ve bu panellerin ürettiği DC formdaki elektrik enerjisinin, evirici (inverter) kullanılarak AC forma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu panellerin; 161 kW güçteki kısmının binanın çatısına, 75 kW güçteki kısmının ise otopark alanının üzerine kurulması gerektiği belirlenmiştir.

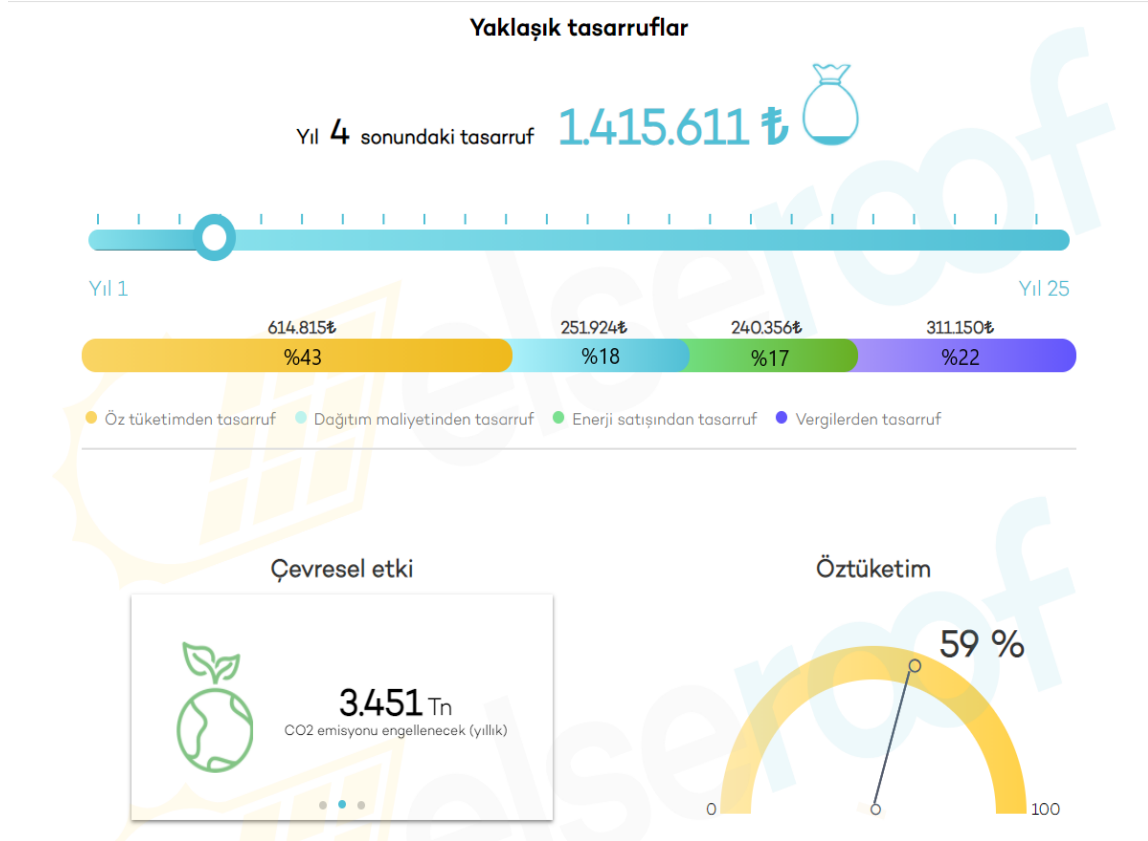


Şekil 44. GES yatırım maliyeti ve yatırımın geri dönüş süresi (ERS, 2021).

Bu sistemin kurulumu için ortalama olarak 1.213.700 TL değerinde yatırım yapılması gerektiği, Şekil 44'te ERS veri tabanı üzerindeki hesaplamalar sonucu elde edilmiştir. Bu hesaplamalarda, söz konusu yatırıma ilişkin geri dönüş süresi; ortalama senaryoda 3,5 yıl, kötü senaryoda 4,5 yıl olarak verilmektedir (Tablo 12). Finansman gereksiniminin karşılanması durumunda, yatırım geri dönüş süresinin kısa olması nedeniyle, Çanakkale 112 AÇM binası için güneş enerjisi santrali kurulumunun oldukça avantajlı olduğu ve santralin hayata geçirilmek için değerlendirilmeye değer olduğu görülmektedir.

Güneş enerji santralinin kurulmasının ardından 4 yıl sonunda elde edilecek 1.415.611 TL değerindeki tasarrufa ilişkin bilgiler, Şekil 45'te verilmiştir. Buna göre; bu tasarrufun 614.815 TL'lik kısmı öz tüketimden (%43), 251.924 TL'lik kısmı dağıtım maliyetinden (%18), 240.356 TL'lik kısmı enerji satışından (%17) ve 311.150 TL'lik kısmı ise vergilerden (%22) sağlanmaktadır. Sistem, gündüz enerji üreteceği için gündüz fazla

Üretilen enerji, ulusal Şebekeye aktarılacak ve gece tüketilecek enerji, ulusal Őebekeden ekilecektir. Böylece, sistem tarafından üretilen enerjinin %59'unun ulusal Şebekeye verilmeden bina öz tüketimi olarak kullanılması öngörülmektedir.



Şekil 45. GES'in sağıladığı tasarruf ve karbon emisyon karşılığı (ERS, 2021).

Ayrıca, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi ile yapılacak enerji üretimi sonucu, 3.451 ton karbon salımına engel olunacağı belirlenmiştir. Engellenen karbon emisyonunun, Uluslararası Karbon Kredisi Piyasası'nda satılması ile ek gelir elde edilmesi de mümkün olacaktır. Bu konuda, 2020 yılı içerisinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin yaptığı karbon kredisi satışı örnek gösterilebilir (İSTAÇ, 2021).

Tablo 12

Çanakkale 112 AÇM GES yatırımı maliyeti ve yatırımın geri dönüş süresi

Yıl	Üretim Yılı	Elektrik	Yıllık Üretim (kWh)	Yıllık Gelir (TL)	Yatırım Amortisman
		Alış Fiyatı (TL)			Durumu (TL)
1	2021	0,55	328.153,00	180.484,15	-1.213.700,00
2	2022	0,61	325.855,93	197.142,84	-672.650,10
3	2023	0,67	323.574,94	215.339,12	-114.941,51
4	2024	0,73	321.309,91	235.214,92	460.963,36
5	2025	0,81	319.060,74	256.925,26	1.056.744,03
6	2026	0,89	316.827,32	280.639,46	1.674.235,04
7	2027	0,97	314.609,53	306.542,48	2.315.440,25
8	2028	1,07	312.407,26	334.836,35	2.982.548,48
9	2029	1,18	310.220,41	365.741,75	3.677.950,59
10	2030	1,30	308.048,87	399.499,71	4.404.258,08
11	2031	1,43	305.892,52	436.373,54	5.164.323,55
12	2032	1,57	303.751,28	476.650,81	5.961.262,83
13	2033	1,73	301.625,02	520.645,68	6.798.479,40
14	2034	1,90	299.513,64	568.701,28	7.679.690,83
15	2035	2,09	297.417,05	621.192,41	8.608.957,86
16	2036	2,30	295.335,13	678.528,47	9.590.716,02
17	2037	2,53	293.267,78	741.156,65	10.629.810,24
18	2038	2,78	291.214,91	809.565,40	11.731.532,63
19	2039	3,06	289.176,40	884.288,29	12.901.663,79
20	2040	3,36	287.152,17	965.908,10	14.146.517,83
21	2041	3,70	285.142,10	1.055.061,42	15.472.991,68
22	2042	4,07	283.146,11	1.152.443,59	16.888.618,84
23	2043	4,48	281.164,09	1.258.814,13	18.401.628,18
24	2044	4,92	279.195,94	1.375.002,67	20.021.008,06
25	2045	5,42	277.241,57	1.501.915,42	21.756.576,48

Enerji dönüşümü aşamasında gerçekleşen kayıpları azaltmak amacıyla, Çanakkale 112 AÇM binasında çok sayıda bulunan KGK cihazlarının akülerinin DC formdaki elektrik enerjisini depolama özelliği de kullanılabilir. Bilindiği gibi, güneş panelleri elektron hareketi sonucu; DC formda enerji üretmektedir. Panellerde üretilen güneş enerjisinin, DC formda elektrik kullanımı yapan akülere yeni bir elektrik hattı döşenerek doğrudan iletimi yapılarak üretilen enerjinin, evirici ile DC/AC dönüşümü ve KGK iç yapısında AC/DC dönüşümü nedeniyle oluşan kayıpları en aza indirilebilir.

Sonuç olarak; bir kamu kurumu olan ve acil durum hizmeti veren Çanakkale 112 AÇM binasının enerji ihtiyacının, aktif kullanım dışı olan çatı alanı ve üstü açık olan otopark alanının üzerinin güneş panelleri ile kaplanarak kendi tüketimini karşılaması; yapılan hesaplamalarda ve analizlerde mümkün görünmektedir. Finansman bulunması durumunda, afet ve olağanüstü durumlarda çok önemli bir hizmet veren acil çağrı merkezinin enerjisinin çevreci ve öncü bir projeyle yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisiyle sağlanması; gerek enerji arz güvenliği, gerekse de yeşil enerji kullanımının yaygınlaşması açısından oldukça avantajlı görünmektedir. Bu projenin yapılması halinde, öncelikle diğer illerdeki 112 Acil Çağrı Merkezleri olmak üzere, diğer kamu kurumlarına da rol model olabilecek bir santralin kurulumu sağlanmış olacaktır. Diğer bir olumlu yanı ise; yıllar içinde elektrik faturası olarak ödenmek zorunda olan tutarın yaklaşık dört yıllık kısmının, tek seferde yatırım yapılarak bağımsız bir elektrik üretim tesisinin kamuya kazandırılması ve bu sayede bina işletim giderlerinin azaltılmasıdır.

5.2. Rüzgar Enerjisi Üretim Tahmini ve Üretilen Enerjinin Tüketim Karşılığı

Çanakkale 112 AÇM binasının elektrik enerjisi tüketimini karşılamak için 40,104⁰ K ve 26,474⁰ D koordinatlarına kurulacak olan 1 MW gücündeki rüzgar türbini için GWA sitesindeki veriler kullanılarak yapılan analizde, yıllık 3.718.766 kWh değerinde enerji üretim tahmini elde edilmiştir. Söz konusu analiz RSE yazılımındaki veriler ile kontrol edilmiş ve GWA sitesi verilerine dayalı rüzgar enerjisi üretim tahminin gerçekçi olduğu teyit edilmiştir. Rüzgar enerjisi üretim değeri, binanın yıllık enerji tüketiminin 10,75 katına karşılık gelmektedir. Bu durumda, üretilen enerjinin yaklaşık %10'unun kullanılarak fazladan üretilen enerjinin dağıtım şirketi üzerinden ulusal elektrik şebekesine aktarılması planlanmaktadır. Böylece diğer enerji kaynaklarına göre ilk yatırım masrafı daha düşük

olan RES kurulumu yapılarak binanın elektrik enerjisi ihtiyacının tamamının rüzgar enerjisinden karşılanması ve çağrı merkezi kurumunun elektrik dağıtım şirketine elektrik satışı yoluyla gelir edebilmesi sağlanacaktır. Alternatif senaryoda, Çanakkale Valiliği'ne bağlı olan bir müdürlük olan Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi Müdürlüğü binasının enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan rüzgar türbini enerji üretimi ile Çanakkale Valiliği binası ve valiliğe bağlı diğer binalara ait elektrik faturalarının da ödenmesi sağlanabilir. Böylece, fatura kalemleri altında dağıtım şirketlerine ödenen dağıtım bedeli, sayaç okuma bedeli vb. masrafların valiliğe bağlı tüm kurumlar tarafından ödenmemesi sağlanabilir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maliye Bakanlığı, Güney Marmara Kalkınma Ajansı gibi destekleyici kurumlardan sağlanabilecek proje destekleri ile GES ve RES projelerinden biri ya da eşzamanlı olarak her ikisi hayata geçirilebilir.

2021 yılı için 1 MW gücündeki rüzgar türbini, iletim hatları, işletme ve bakım vb. yatırım giderleri; yaklaşık 11.336.000 TL civarında belirlenmiştir. Üretilen enerjiye, tüketilecek olan enerjinin maddi karşılığına ve fazladan üretilen enerjinin sağlayacağı gelir göz önüne alınarak hazırlanan RES yatırımı geri dönüş süresi Tablo 13'te verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi, RES yatırımı 5,5 yıl sonra kendini amorti etmekte ve daha sonrasında ek gelir sağlamaktadır.

Tablo 13

Çanakkale 112 AÇM RES yatırımı maliyeti ve yatırımın geri dönüş süresi

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	3.718.766	2.045.321	-11.336.000
2	2022	0,61	3.718.766	2.249.853	-9.096.964
3	2023	0,67	3.718.766	2.474.839	-6.653.395
4	2024	0,73	3.718.766	2.722.323	-3.984.841
5	2025	0,81	3.718.766	2.994.555	-1.068.804
6	2026	0,89	3.718.766	3.294.010	2.119.466
7	2027	0,97	3.718.766	3.623.411	5.607.191
8	2028	1,07	3.718.766	3.985.753	9.424.318
9	2029	1,18	3.718.766	4.384.328	13.603.786
10	2030	1,30	3.718.766	4.822.761	18.181.828
11	2031	1,43	3.718.766	5.305.037	23.198.304
12	2032	1,57	3.718.766	5.835.540	28.697.056
13	2033	1,73	3.718.766	6.419.094	34.726.311
14	2034	1,90	3.718.766	7.061.004	41.339.120
15	2035	2,09	3.718.766	7.767.104	48.593.839
16	2036	2,30	3.718.766	8.543.815	56.554.659
17	2037	2,53	3.718.766	9.398.196	65.292.188
18	2038	2,78	3.718.766	10.338.016	74.884.099
19	2039	3,06	3.718.766	11.371.817	85.415.830
20	2040	3,36	3.718.766	12.508.999	96.981.362
21	2041	3,70	3.718.766	13.759.899	109.684.076
22	2042	4,07	3.718.766	15.135.889	123.637.690
23	2043	4,48	3.718.766	16.649.478	138.967.294
24	2044	4,92	3.718.766	18.314.425	155.810.487
25	2045	5,42	3.718.766	20.145.868	174.318.627
26	2046	5,96	3.718.766	22.160.455	194.658.210
27	2047	6,55	3.718.766	24.376.500	217.012.380
28	2048	7,21	3.718.766	26.814.150	241.582.596
29	2049	7,93	3.718.766	29.495.565	268.590.461
30	2050	8,72	3.718.766	32.445.122	298.279.741

Sonuç olarak; özellikle Çanakkale bölgesinde, yeşil enerji kullanımı yoluyla enerji tüketimini karşılama çabası içinde olan kurumların veya işletmelerin, rüzgar enerjisini ciddi bir üretim kaynağı olarak görmesi gerektiği çıkarımı yapılabilir. Kurulum sürecinde; kurulumu yapan firma ile, ilk 5 ya da 10 yıllık süre için bakım-onarım anlaşmasının yatırıma dahil edilmesi, sistem verimi ve ömrü için yararlı olacaktır. Böylece, rüzgar türbini enerji üretim kayıplarının azaltılması ve olası sistem arızalarının ivedi olarak giderilmesi sayesinde, aynı büyüklükte sistem için daha fazla enerji üretimi sağlanabilir.



KAYNAKÇA

- AÇM (2021). T.C. İçişleri Bakanlığı 112 Acil Çağrı Merkezi. *Çağrı Merkezleri*. Erişim: 05 Mayıs 2021, <https://www.112.gov.tr/cagri-merkezleri>.
- Anonim (2014). 31 Mayıs 2021, Dalga-Akıntı Enerjisi Testi. http://www.yapi.com.tr/haberler/canakkale-bogazinda-elektrik-uretim-testleri-subatta-baslayacak_115363.html.
- Anonim (2021a). Enerji Atlası, 24 Mayıs 2021. Erişim adresi: <https://www.enerjiatlası.com/sehir/canakkale/>.
- Anonim (2021b). Enerji Atlası, 21 Mayıs 2021. Erişim adresi: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html>.
- Anonim (2021c). Enerji Atlası, 21 Mayıs 2021. Erişim adresi: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html>.
- Anonim (2021d). Enerji Atlası, 21 Mayıs 2021. Erişim adresi: <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye>.
- Anonim (2021e). Enerjim Güneşten, 28 Mayıs 2021. Erişim adresi: <https://www.enerjimgunesten.com/gunes-paneli-cesitleri-nelerdir.html>.
- Başaran, K., Çetin, N. S. ve Çelik H. (2011). “Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması”. 6. Uluslararası Gelişmiş Teknolojiler Sempozyumu, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ. 114-119.
- Başkaya, Z. (2017). “Bilecik İlının Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Metristepe Rüzgar Enerjisi Santrali”. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 57, 253-276. <https://dx.doi.org/10.16992/ASOS.13020>.
- Behçet, R., Gül, H., Oral, H. ve Oral, F. (2014). “Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Bakımından Malatya İlının Doğu Anadolu Bölgesindeki Yeri”. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(1), 65-73. <https://doi.org/10.17798/beufen.59835>.
- Boztepe, M. ve Çolak, M. (2002). İzmir (Bornova) Koşullarında Şebekeye Bağlı Bir Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarımı ve Denenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.

- Durak, M. ve Özer, S. (2008). Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama. Baskı Yayınları, Ankara.
- EG (2021). Enerji Günlüğü, 18 Mayıs 2021. Erişim adresi: <https://www.enerjigunlugu.net/>.
- Efe, S. B. ve Behçet. K. (2017). “Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Hibrit Sistemin Fiziksel Olarak Gerçeklenmesi ve Analizi”. 5. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Girişimci Teknolojiler Sempozyumu, 29-30 Eylül 2017, Bakü/Azerbaycan. 1469-1475.
- Eraslan, H. İ. (2010). *Sürdürülebilir Rekabet Avantajı Elde Etmede Enerji Sektörü Sektörel Stratejiler ve Uygulamalar*. Uluslararası Rekabet Araştırmaları Kurumu (URAK) Derneği Yayınları, İstanbul.
- ERS (2021). *Elseroof Simülatörü* Erişim: 20 Şubat 2021, <https://www.elseroof.com/>.
- Ertuğrul, A. (2009). “Hamam Yapıları ve Literatürü”. Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi, 7(13), 241-266. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/talid/issue/43449/529938>.
- Gençel, H. ve Tarhan, İ. (2019). “Rüzgar Enerjisinin Önemli Geçiş Yerlerinden Olan Çanakkale Bölgesindeki Bazı Rüzgar Enerji Santralleri için Kapasite Faktörü İncelemesi”. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 120-139. <https://doi.org/10.28979/comufbed.537295>.
- GEPA (2021, Haziran). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. *Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli*. Erişim: 14 Mayıs 2021, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>.
- GMKA (2018, Mayıs). Güney Marmara Kalkınma Ajansı. *Çanakkale Enerji Sektörü Yatırım Rehberi*. Erişim: 21 Mayıs 2021, <https://www.gmka.gov.tr/dokuman-merkezi>.
- GWA (2021). Global Rüzgar Atlası (Global Wind Atlas), Erişim: 10 Mayıs 2021, <https://globalwindatlas.info/>.
- IEA (2021). Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency). *Türkiye 2021 Raporu* Erişim: 30 Mayıs 2021, https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey_2021_Energy_Policy_Review.pdf.

- İSTAÇ (2021). İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, Erişim: 30 Mayıs 2021, <https://www.istac.istanbul/tr/medya-ve-duyurular/haberler-ve-duyurular/>.
- Küçükkaya, E. (2019). 28 Mayıs 2021. “Rüzgar Türbini Nedir? Rüzgar Türbini Çeşitleri Nelerdir?” Enerji Portalı. Erişim adresi: <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/>.
- Özcan, M. ve Öztürk, S. (2015). Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Üretimi Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunda Beklenen Değişimler ve Karbon Vergisi Uygulaması. 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, 04-06 Haziran 2015. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/58a45a373b0c713_ek.pdf.
- PVGIS (2021). European Commission EU Science Hub. *Photovoltaic Geographical Information System*. Erişim: 20 Mart 2021, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP.
- PVWC (2021). National Renewable Energy Laboratory. *PVWatts Calculator* Erişim: 16 Mart 2021, <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>.
- REPA (2021, Haziran). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. *Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli*. Erişim: 16 Mayıs 2021, <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/CANAKKALE-REPA.pdf>.
- Resmi Gazete (2019, Mayıs). Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği*. Erişim: 12 Mayıs 2019, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm>.
- Tarhan, İ., Yüksel, B., Demircan, O., Özmetin, C., Türkeş, M., Yiğit, M., Baysal, H., Karaca, Z., Sümer, S. K., Şahiner, N., İlten, N., Büyükkateş, Y., Aslan, A. ve Akyol, T. (2013). “TR22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Raporu”. Güney Marmara Kalkınma Ajansı, 195-202.
- TEİAŞ (2021). Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı. *Kurulu Güç Raporu-Nisan 2021* Erişim: 9 Mayıs 2021, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>.

- Yıllancı, A., Öztürk, H. K. ve Dinçer, İ. (2008). Güneş-Hidrojenli Bir Sisteminin Kurulması ve Performansının Analizi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Yıldız, A., Özgener, Ö. ve Özgener, L. (2020). “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Uygulamaları, Mevcut Durum ve Gelecek Öngörüler”. EMO Bilimsel Dergi, 10(1), 8-20.
- Yücel, M. (2009). “Rüzgar Enerji Sistemleri ve Uygulamaları”. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Çanakkale.

