



**AÇIK DENİZ RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ
SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ
DEĞERLERİNİN ÜÇ FARKLI BÖLGE ÇİN
TAHMİNİ**

Yüksek Lisans Tezi

Rümeysa Hülya BALCI

Eskişehir 2024

**AÇIK DENİZ RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ
ÜRETİMDEKİ ROLERİNİN ÜÇ FARKLI BÖLGE ÜZERİNDEKİ TAHMİNİ**

Rümeysa Hülya BALCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik Enerji Sistemleri Teknolojileri Anabilim Dalı

Prof. Dr. Ümmühan BAĞCI

Haziran 2024

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

JÜR VE ENST TÜ ONAYI

Rümeysa Hülya BALCI'nın "AÇIK DENİZ RÜZGAR VE GÜNE ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMDELERİNİN ÜÇ FARKLI BÖLGE ÇİN TAHMİNİ" başlıklı tezi 15/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Anabilim dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı)

: Prof. Dr. Ümmühan BAĞCI

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı GÜNER

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Burak URAZEL

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

15/01/2024

DANI MAN ONAYI

Danı manlı ını yürüttü üm Rümeyya Hülya BALCI ö rencisi AÇIK DEN Z RÜZGAR VE GÜNE ENERJ S STEMLER N N ENERJ ÜRET M DE ERLER N N ÜÇ FARKLI BÖLGE Ç N TAHM N ba lıklı tez çalı masını tamamlamı tır. Hazırlamı oldu u tez tarafımca incelenmi ve ö rencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmü tür.

Tez Danı manı

Prof. Dr. Ümmühan BA ARAN F L K

ÖZET

AÇIK DENİZ RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİM DEĞERLERİNİN ÜÇ FARKLI BÖLGE ÇİN TAHMİNİ

Rümeysa Hülya BALCI

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2024

Danışman: Prof. Dr. Ümmühan BARANFİLİK

Sürdürülebilir enerjiyi sağlamak ve artan enerji talebini karşılamak amacıyla günümüzde akıllı ve gelişimi yenilenebilir enerji teknolojileri üzerinde çalışmalar artarak devam etmektedir. Güneşten daha fazla enerji üretilmesini sağlayan yüzey fotovoltaik (FPV) enerji sistemleri ve deniz üstü rüzgar enerji sistemleri, son yıllarda önemli küresel pazar potansiyeline sahip teknolojilerden biridir. Değişken enerji talebi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının hava koşullarına bağlı değişken enerji üretmesi gelecekte ne kadar enerji üreteceği konusunda zorluklar yaratmaktadır.

Bu çalışmada; mevcut olan üretim tahmin modelleri deniz üstü güneş ve rüzgar enerji santralleri üzerinde uyarlanmıştır. Güneş radyasyonu tahmini için Augström-Precott modelleri kullanılmış yüzey PV sistemlere en uygun üç farklı model seçilmiştir. Deniz üstü (offshore) rüzgar enerjisi için Weibull dağılım olasılık fonksiyonu kullanılmıştır. Türkiye'nin deniz bölgeleri için enerji üretimi tahmini yapılmıştır. Üretim tahmin modelleri ile birlikte PVGIS ve MATLAB simülasyon programları kullanılmıştır. Rüzgar enerjisi için moment ve grafik yöntemleri kullanılarak uygun parametrelerle gerçek ve yakın değerler hesaplanmıştır. Güneş enerjisi için aylık ve günlük ortalama güneş enerjisi değerleri Hargreaves-Samani, Annandale ve Allen modelleri kullanılarak gerçek ve yakın üretim değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yüzey güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, Tahmin modelleri, Rüzgar hızı, Rüzgar

ABSTRACT

ESTIMATED ENERGY PRODUCTION VALUES OF OFFSHORE WIND AND SOLAR ENERGY SYSTEMS FOR THREE DIFFERENT REGIONS

Rümeysa Hülya BALCI

Department of Advanced Technologies

Eskisehir Technical University, Graduate School of Education, June 2024

Supervisor: Prof. Dr. Ümmühan BA ARAN F L K

In order to provide sustainable energy and meet the increasing energy demand, research on smart and advanced renewable energy technologies is continuously growing. Floating photovoltaic (FPV) energy systems, which enable the production of more energy from the sun, and offshore wind energy systems are among the technologies with significant global market potential in recent years. The variable energy demand and the variable energy production of renewable energy sources depending on weather conditions pose challenges for how much energy they will produce in the future.

In this study, existing production forecast models have been adapted for offshore solar and wind energy plants. Augström-Precott models have been used for solar radiation prediction, and three different models most suitable for floating PV systems have been selected. For offshore wind energy, the Weibull distribution probability function has been utilized. Energy production forecasts have been made for Turkey's maritime regions. PVGIS and MATLAB simulation programs have been used along with production forecast models. For wind energy, moment and graph methods have been used to calculate realistic values with appropriate parameters. Monthly and daily average solar energy values have been calculated using Hargreaves-Samani, Annandale, and Allen models to estimate realistic production values for solar energy.

Keywords: Floating solar energy, Wind energy, Estimate models, Wind speed, Wind

TE EKKÜR

Bu tez üzerinde çalı tı ım tüm süre boyunca bilgisini ve deneyimlerini benimle payla an, hep daha iyiye yönlendiren ve deste ini hissettiren sayın hocam Prof. Dr. Ümmühan BA ARAN F L K'e minnettarlı ımı ve te ekkürlerimi sunarım.

Rümeysa Hülya BALCI



ETİK İLKELERİ VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışmam oldu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm amaçlarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışmam kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığımı ve hiçbir şekilde “intihal içermediğimi” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Rümeysa Hülya BALCI

Ç NDEK LER

	<u>Sayfa</u>
BA LIK SAYFASI	I
JÜR VE ENST TÜ ONAYI.....	II
DANI MAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TE EKKÜR	VI
ET K LKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMES	VII
Ç NDEK LER	VIII
TABLolar D Z N	XI
EK LLER D Z N	XII
S MGELER VE KISALTMALAR D Z N	XVIII
1.G R	1
1.1. Enerjinin Önemi	1
1.2. Yenilenebilir Enerji	2
1.3. Literatür Taraması.....	6
1.4. Tezin Amacı	8
2.RÜZGAR ENERJ S	10
2.1. Rüzgar Enerjisi Aerodinami i	11
2.1.1. Sürüklenme kuvveti.....	11
2.1.2. Kaldırma kuvveti.....	11
2.2. Rüzgar Türbini Güç Kontrolü	12
2.3. Rüzgar Türbinleri	13
3. GÜNE ENERJ S	19
3.1. Fotovoltaik (FV) Hücreler	20

Ç NDEK LER (Devamı)

	<u>Sayfa</u>
3.1.1. FV hücrelerinin yapısı ve çe itleri, yeni FV hücreler	20
3.1.1.1. Birinci nesil FV hücreler	21
3.1.1.2. kinci nesil FV hücreler	22
3.1.1.3. Üçüncü nesil FV hücreler	22
3.1.2. Güne takip sistemli güne paneli	24
3.2. Güne Radyasyonu ve Tahmin Modelleri	26
3.2.1. Güne radyasyonu tahmini.....	27
4.DEN Z ÜSTÜ YEN LENEB L R ENERJ S STEMLER	28
4.1. Deniz Üstü Rüzgar Enerjisi	28
4.1.1. Deniz üstü rüzgar türbinleri.....	30
4.1.2. Dünya’da açık deniz rüzgar enerjisi.....	32
4.1.3. Türkiye’de açık deniz rüzgar enerji potansiyeli	33
4.2. Yüzer (Floating) Güne Enerjisi	36
5. MATERYAL VE METOTLAR.....	38
5.1. Rüzgar Gücü ve Enerjisi.....	38
5.1.1. Rüzgar veri analizinde da ılım fonksiyonları.....	39
5.1.1.1. Weibull da ılımı	40
5.1.1.2. Rayleigh da ılımı	41
5.1.2. De i ken hesabında kullanılan matematiksel yöntemler	41
5.1.2.1. Moment yöntemi.....	41
5.1.2.2. Grafik yöntemi	42
5.2. Güne Radyasyonu ve Tahmin Modelleri	42
5.2.1. Augström-Precott modeli	42
5.3. Yer Seçimi	44

Ç NDEK LER (Devamı)

	<u>Sayfa</u>
5.3.1. Bandırma	44
5.3.2. Bozcaada	44
5.3.3. Uzunada	45
6. BULGULAR	46
6.1. Rüzgar Hızları Tahmin De erleri.....	46
6.1.1. Bandırma bölgesi weibull da ılımı.....	46
6.1.2. Bandırma bölgesi rayleigh da ılımı	50
6.1.3. Bozcaada bölgesi weibull da ılımı	51
6.1.4. Bozcaada bölgesi rayleigh da ılımı	55
6.1.5. Uzunada bölgesi weibull da ılımı.....	56
6.1.6. Uzunada bölgesi rayleigh da ılımı	59
6.2. Güne Radyasyon Tahmin De erleri.....	60
6.2.1. Bandırma bölgesi angstrom-prescott modelleri	60
6.2.1.1. <i>Bandırma bölgesi güne ı inum tahmin de erleri</i>	61
6.2.2. Bozcaada bölgesi angstrom-prescott modelleri	62
6.2.2.1. <i>Bozcaada bölgesi güne ı inum tahmin de erleri</i>	63
6.2.3. Uzunada bölgesi angstrom-prescott modelleri	64
6.2.3.1. <i>Uzunada bölgesi güne ı inum tahmin de erleri</i>	64
7. SONUÇ	65
KAYNAKÇA	68
ÖZGEÇM	

TABLULAR D Z N

Sayfa

Tablo 6.1. Bandırma Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve y_0 unluk düzeni-Weibull dağılımı.....	46
Tablo 6.2. Bandırma Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni	48
Tablo 6.3. Bandırma Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve y_0 unluk düzeni-Rayleigh dağılımı.....	52
Tablo 6.4. Bozcaada Bölgesine ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve y_0 unluk düzeni	53
Tablo 6.5. Bozcaada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni	54
Tablo 6.6. Bozcaada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve y_0 unluk düzeni	57
Tablo 6.7. Uzunada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve y_0 unluk düzeni	57
Tablo 6.8. Uzunada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni	58
Tablo 6.9. Uzunada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve y_0 unluk düzeni-Rayleigh dağılımı.....	60
Tablo 6.10. Bandırma Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin değerleri.....	62
Tablo 6.11. Bandırma Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmini güç değerleri.....	62
Tablo 6.12. Bozcaada Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin değerleri	63
Tablo 6.13. Bozcaada Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmini güç değerleri	64
Tablo 6.14. Uzunada Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin değerleri	65
Tablo 6.15. Uzunada Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmini güç değerleri.....	66
Tablo 6.16. Her bir bölgenin güne ışıması ile hesaplanan enerji çıktıları	67
Tablo 6.17. Güne enerji santrallerinin planlama kriterleri	67
Tablo 6.18. Rüzgar enerji santrallerinin planlama kriterleri	68

EK LLER D Z N

	<u>Sayfa</u>
ekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları	2
ekil 1.2. Kümülatif güç kapasitesinin birincil kaynaklara göre dağılımı	4
ekil 2.1. Türkiye rüzgar atlası.....	10
ekil 2.2. Rüzgar türbini güç kontrolü	12
ekil 2.3. Düşey eksenli rüzgar türbinleri	15
ekil 2.4. Yatay eksenli rüzgar türbini	16
ekil 2.5. Yatay eksenli rüzgar türbini	17
ekil 2.6. Farklı tür rüzgar türbinlerinde CP- de dağılımı	18
ekil 3.1. Panele nüfuz eden güneş radyasyonlarının dağılımı	21
ekil 3.2. Bir FV hücrenin temel yapısı	22
ekil 3.3. Farklı FV hücrelerin güneş ışınımı bant aralıkları	23
ekil 3.4. Boya duyarlı FV hücresi.....	24
ekil 3.5. Güneş takip sistemi	25
ekil 3.6. Çift eksenli güneş takip sistemi.....	26
ekil 4.1. 900 MW kapasiteli Vesta-Bakum Riffgrund açık deniz rüzgar santrali	29
ekil 4.2. Sabit temelli açık deniz rüzgar türbinleri	30
ekil 4.3. İlk yüzen rüzgar enerji santralleri.....	31
ekil 4.4. Birleşik Krallık'ta kıyı açıklarında ve yüzen rüzgar enerji santralleri	33
ekil 4.5. Farklı derinliklerdeki rüzgar hızı ölçüleri	35
ekil 4.6. Farklı derinliklerde ve rüzgar hızlarında olabilecek kurulum türleri	35
ekil 4.7. Marmara Bölgesi 'sinde kurulum yapılabilecek yerler	36
ekil 4.8. Ege Bölgesi' sinde kurulum yapılabilecek yerler.....	36
ekil 4.9. Modüller yapınının ve PV modüllerinin dalgalarla sorunsuz hareket etmesini sağlayan ince ve esnek takviyeli membran üzerine kaynaklanmış çift profil üzerine kurulu FPV	38
ekil 5.1. Bandırma bölgesine ait rüzgar gülü.....	45
ekil 5.2. Bozcaada bölgesine ait rüzgar gülü.....	46
ekil 5.3. Uzunada bölgesine ait rüzgar gülü	46

EKLER DİZİNİ (Devamı)

Sayfa

ekil 6.1. Bandırma Bölgesi'ne ait weibull dağılımı (Matlab-Simulink).....	48
ekil 6.2. Bandırma Bölgesi'ne ait weibull dağılımının grafik metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)	50
ekil 6.3. Bandırma Bölgesi'ne ait weibull dağılımının moment metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink).....	51
ekil 6.4. Bozcaada Bölgesi'ne ait weibull dağılımı (Matlab-Simulink).....	53
ekil 6.5. Bozcaada Bölgesi'ne ait weibull dağılımının grafik metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)	55
ekil 6.6. Bozcaada Bölgesi'ne ait weibull dağılımının moment metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)	55
ekil 6.7. Uzunada Bölgesi'ne ait weibull dağılımı (Matlab-Simulink)	57
ekil 6.8. Uzunada Bölgesi'ne ait Weibull Dağılımının Grafik Metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)	59
ekil 6.9. Uzunada Bölgesi'ne ait weibull dağılımının moment metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)	59
ekil 6.10. Rayleigh dağılım fonksiyonu	61
ekil 6.11. Bandırma bölgesi'ne ait yıllık PV enerji çıkışı	63
ekil 6.12. Bozcaada bölgesi'ne ait yıllık PV enerji çıkışı	65
ekil 6.13. Uzunada bölgesi'ne ait yıllık PV enerji çıkışı	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

	: Yüzey Azimut Açısı
	: Güneş'in Geliş Açısı
φ	: Enlem Açısı
ρ	: Yerin Yansımaya Katsayısı
ϵ_r	: Yarıiletkenin Bağıl Dielektrik Sabiti
	: Elektriksel İletkenlik
i	: Saf Bir Yarıiletkende Elektriksel İletkenlik
μ	: PV Pili Verimi
μm	: Mikrometre
	: Yarıiletkenin Özdirenci
Φ_{G}	: P-N Birleşim Noktasındaki Potansiyel Engel
η_{il}	: İncivör Verimi
η_{P}	: PV sistem Verimi
η_{S}	: STK'da Gösterilen Verim Değeri
$\eta_{\text{P}} (\text{G})$: Normalize Edilmiş, zafiri İrımına Bağılı Verim
	: PV Panelin Soğutma Katsayısı
eV	: Elektrovolt
G	: Referans İrım
G_0	: Atmosfer Dışı Toplam Güneş İrımı
G_{d}	: Yatay Düzlem Üzerine Gelen Difüz İrım
G_{d}	: Eşimli Düzleme Düşen Difüz İrım (PVG S metodu)
$G_{\text{t}}, \text{NOCT}$: NOCT şartlarındaki İrım Değeri
I_{M}	: Maksimum Güç Noktası Akım Değeri
I_{S}	: Sun Constant (Güneş Sabiti)
I_{S}	: Short Circuit (Kısa Devre Akımı)
k	: Boltzmann Sabiti
m	: Hava Kütlesi

m_A	: Miliamper
m_e	: Elektronun Kendi Kütlesi
m_e^*	: Elektronun Etkin Kütlesi
m_h	: Delinin Kendi Kütlesi
m_h^*	: Delinin Etkin Kütlesi
mV	: Milivolt
n	: Elektronların Yoğunlukları
P_{in}	: PV Sistemin Kurulu Gücü
$P(G)$: Güneş Işığında Olan Güç Çıktısı
P_{in}	: İnvörtör Gücü
P_m	: Maksimum Güç
P_M	: Maksimum Güç Değeri
P_{PV}	: PV Kurulu Güç
p_n	: Azınlık Akım Taşıyıcısı (Delikler)
q	: Elektronun Yüğü
s	: Etilim Açısı
T	: Mutlak Sıcaklık
T_a	: NOCT şartlarındaki Ortam Sıcaklığı
T_c	: PV Panel Sıcaklığı
$T_c, NOCT$: PV Panel Kataloğunda Gösterilen NOCT Değeri
T_D	: PV Hücrenin Referans Sıcaklığı
t_s	: Güneş Zamanı
V_h	: Deliklerin Sürüklenme Hızları
V_M	: Maksimum Güç Noktası Voltaj Değeri
V_{OC}	: Open Circuit (Açık Devre Voltajı)
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
C	: Capacitor (Kapasitör)
CAW	: Carbon Arc Welding (Karbon Ark Kaynağı)
CF	: Capacity Factor (Kapasite Faktörü)

CSP	: Concentrated Solar Power (Yo unla tırılmı Güne Enerjisi)
DC	: Direct Current (Do ru Akım)
EVA	: Ethylene Vinyl Acetate (Etilen Vinil Asetat)
FF	: Fill Factor (Fil Faktör)
FZT	: Floating Zone Method (Yüzen Bölge Metodu)
GES	: Güne Enerji Santrali
GW	: Gigawatt
KJ	: Kilojul
KWh	: Kilowatt Saat
KWp	: Kilowatt Pik
MPP	: Maximum Power Point (Maksimum Güç Noktası)
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
MW	: Megawatt
MWp	: Megawatt Pik
NOCT	: Nominal Operating Cell Temperature (Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı)
PR	: Performance Ratio (Performans Oranı)
PV	: Fotovoltaik
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System (Fotovoltaik Co rafi Bilgi Sistemi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Sinyal Genli lik Modülasyonu)
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
TEP	: Ton E de er Petrol
TWh	: Terawatt Saat
TYG	: Tuz Yo unluk Gradyenti
UV	: Ultraviolet (Ultraviyole)
Wp	: Watt Pik

1. G R

1.1. Enerji ve Enerjinin Önemi

Enerji; ölçülemeyen bir de erdir anlamsal olarak i yapabilme kabiliyetidir. Enerjinin do rudan tanımını yapmak zordur. En çok kullanılan anlamlardan biri olan i yapabilme kabiliyeti, depolanmı i gücü veya herhangi bir cismi harekete geçirmek, kaldırmak ısıtmak ve aydınlandırmak için duyulan gereksime denir [1].

nsanlık için enerji en ba ından beri hep en önemli unsur olmu tur. Hayatımızın birçok alanında sistemin çalı ması için enerjiye ihtiyaç duyulur. Enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmı tır ve artmaya devam edecektir.

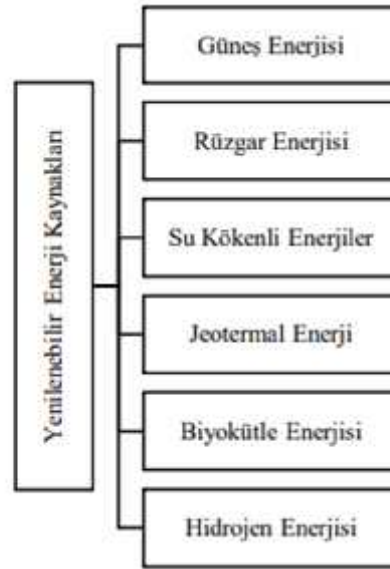
Bir ülkenin geli mi lik seviyesinin göstergelerinden biri de enerjidir. Bir ülkede enerji gücü arttıkça bununla birlikte refah seviyesi de artmaktadır. Dünya'daki öncü ülkelerden olmak için ham madde ve enerji kaynaklarına sahip olmak gereklidir.

Enerji, ekonominin büyümesinde, sürdürülebilirlikte, sosyal ve çevre dengesi gibi konularda ba arılı olmasında önemli bir parametredir. Bir ülkenin sürekli geli mesi ve kalkınabilmesi için enerji gereklidir. Enerji kaynaklarının artırılması ve yüksek üretimler elde edilmesi sürdürülebilir bir kalkınmaya do ru gidecektir. Sürdürülebilirlik ve enerji birbiri ile geli en büyüyen iki önemli parametredir. Sürdürülebilirlik; insanlık için gerekli ihtiyaçlarının kar ılanarak gelecek nesillere temiz bir dünyanın bırakılması olarak da tanımlayabiliriz. Bunun gerçekleştirilebilmesi için çevreye duyalı temiz, ekonomik açıdan tutarlı, temiz ve sonsuz kaynaklara sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerj kaynaklarının tükenmez ve çevre dostu olması sürdürülebilirli i artıca ından bu alandaki yatırımlar, ara tırmalar ve çalı malara desteklenmesi gerekmektedir [2].

Enerji kaynakları birçok ekilde sınıflandırılır. Ba lıca yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakaları olarak iki ana ba lıkta toplanırlar. Kaynakların özelliklerine göre yapılan sınıflandırmada; yenilemez enerji kaynakları fosil yakıtların olu turdu u do aya zarar veren tükenen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, do aya ve canlılara zarar vermeden, onların gelecek nesillere aktaracak olan yenilikçi ye il teknolojilerin de kayna ı tükenmeyen çevre dostu kaynaklardır. Aynı zamanda ye il ekonomi günümüzde sürdürülebilirli in ve sürdürülebilir kalkınmanın temelini olu turması olarak bilinmeleri literatürde yer almaktadır [3].

1.2. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, günümüzde alternatif enerji ya da ye il enerji olarak bilinir. Bu enerji türünü yenilenebilir yapan; enerji üretim a amalarında do ada var olan do al kaynaklardan yararlanılarak enerjinin üretilmesi ve do al kaynaklarda azalma olmadan kaynakların tükenmeden kendini hızla yenileyebilme özelli inin olması bu kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları yapmı tır. Dünya'nın gelece i için büyük bir öneme sahip olan bu kaynaklar, günümüzde ilgi ve yatırımların git gide artmasına neden olmaktadır. Artan nüfus, enerji tüketimin artması, geleneksel yakıt olan fosil yakıtların tükenecek olması ayrıca çevreye zararlı olmaları ve ülkelerin enerji ba ımlılıklarını azaltmasını istemesi en büyük ilgi nedenleri arasındadır. Sürdürülebilirlik bu artan enerji ihtiyacının ve olu an sorunlara önleyici bir etmendir [4]. Yenilenebilir enerji kaynakları da sürdürülebilirlikle do rudan ili ki içerisinde dir. ekil 1.1'de ba lıca yenilenebilir enerji kaynakları ematik olarak gösterilmi tir.



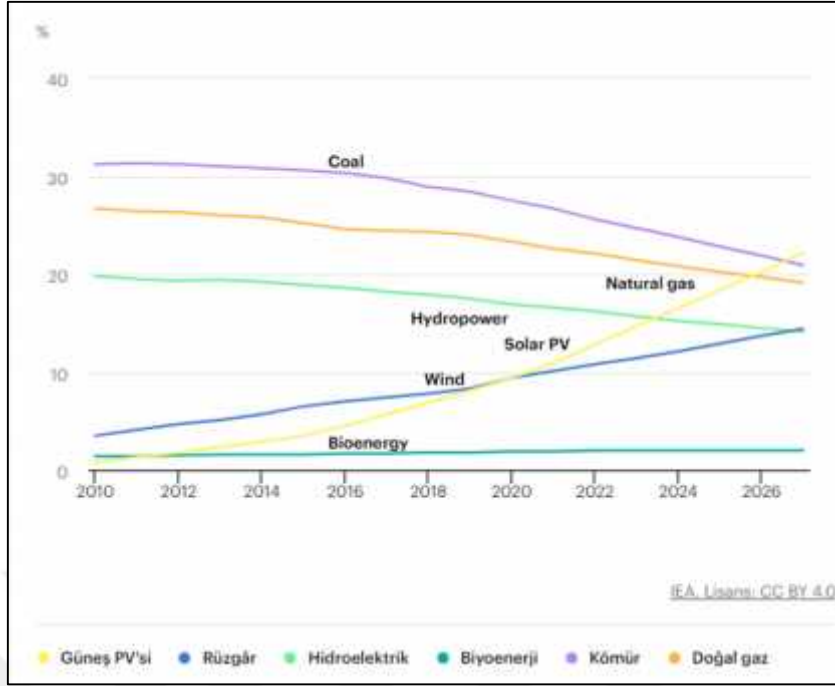
ekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları [4]

ekil 1.1'de oldu u gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını; güne , rüzgar, su kökenli, jeotermal, biyokütle ve yeni eklenen kaynak olan hidrojen enerjisi olarak sıralayabiliriz. Ba ka bir tanım ile yenilenebilir enerji kaynakları, sadece do al yollar ve yöntemlerle

üretilmesi mümkün olan ve kendisini sonsuz yenileyen enerji türleridir. Temiz enerji olarak da bilinen yenilenebilir enerji, doğal kaynakların süreçlerinden yararlanır. Hava artlarına bağlı kalmak koşulu ile güneşli veya rüzgar enerjisi örnek olarak verilebilir. Geçmişte, rüzgar güllerinin, su derinliklerinin ve deniz taşımacılığının olması bu doğal süreçlerin etkisidir. Aslında yenilenebilir enerji kavramı günümüzde yeni ve gelişen bir teknoloji olarak bilinse de geçmişte insanlığın kullandığı ve hala günümüze taşıyan bir olumdur. Diğer bir ifadeyle, yenilenebilir enerjiyi, geleceğin enerjisi veya günümüz modern çağın gerekliliği olarak da ifade edebiliriz [5].

Enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılan fosil yakıtların sebep olduğu karbon emisyonlarının çevresel risklerin arttırmasıyla ve mevcut rezervlerin sınırlı olmasıyla bir enerji dönüşümünün yaşanması zorunlu olmuştur bu da fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, küresel enerji sorunlarının ele alınması ve iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik önemli bir adım olarak görülmektedir [6].

Küresel çapta, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki durumu; 2010 yıllarında rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi üretimi diğer kaynaklardan düşük olsa da, 2021 yılından itibaren hidrolik enerji hariç en çok elektrik üretiminin gerçekleştirildiği yenilenebilir enerji kaynakları olmuştur. Şekil 1.2'de yıllara göre birincil enerji kaynaklarının elektrik üretim değerlerinin ivmesi gösterilmiştir. Rüzgardan elde edilen enerjisi 2000'li yılların başından itibaren düzenli bir artışla gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi ise 2009 yılına kadar pek fazla elektrik üretimi gözlenmemiş ama son yıllarda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Hidrolik enerji ise en fazla elektrik üretiminin yapıldığı yenilenebilir enerji kaynağı olma yolunda devam etmektedir.



ekil 1.2. Kümülatif güç kapasitesinin birincil kaynaklara göre dağılımı

ekil 1.2’de, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarda ayrıca hidrolik enerjide düşüş yaşanırken rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında her geçen yıllarda artış yaşanıyor ve bekleniyor. Biyo enerji ise sabitliğini koruyacağı öngörülmüştür.

Türkiye’nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarından öncülüğünü başta hidroelektrik santralleri olmak üzere rüzgar ve güneş enerjileri oluşturmaktadır. Rüzgar ve güneş enerjisinin çevreye göre olumsuzlukları fosil kaynaklara göre oldukça düşüktür. 2022 yılında kurulu güç miktarları incelendiğinde rüzgar enerjisi 10.88 GW güneş ise 8.09 GW kapasiteye ulaşmıştır. 2023’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç verileri şu şekildedir; rüzgar enerjisi 11.58 GW, güneş enerjisi 10.35 GW, biyo enerji 2.03 GW ve jeotermal enerji 1.69 GW kurulu güce ulaşmıştır.

Güneş enerjisi, elektrik üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Dünya çapında güneş enerjisi pazarı hızla büyüyerek 2021’in sonunda 849 GW’a ulaşmış olup dünyadaki toplam yenilenebilir enerji kurulu gücün %30’una ulaşmıştır. Türkiye’de 2022 yılında güneş enerjisi kurulum gücü 8.09 GW degerinde ulaşılmıştır.

Rüzgar enerjisi, geçen 20 yıl boyunca ciddi bir artış göstermiştir. Küresel rüzgar enerji konseyinin 2021 raporuna göre, rüzgar enerjisinin dünyada kurulu güç miktarı 837 GW seviyesindedir. Türkiye’de 2022 yılında rüzgar enerji kurulum gücü 10883 MW degerinde ulaşılmıştır.

Güne enerji kurulumunda arazi seçimi önemlidir. Eimli, erozyon oluacak yamaçlar ve statik problemlili yapılar kurulum tercih edilmez. Çatı tipi, karasal ve yüzer ekinde kurulum uygulamaları mevcuttur. Kurulacak santrallerin di er maliyet üzerindeki etkileri, ebekeye mesafesi, altyapı ve iletim kayıpları gibi kurulum ve i letme durumları olu turur. Ayrıca kurulacak santrallerin, yerle im alanına, sit bölgesine, tarım alanına ve bitki örtüsünün yo un oldu u yerlere kurulmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Rüzgar enerji kurulumunda iki ayrı katagori mevcut olup karasal (onshore) rüzgar enerjisi ve açık deniz (offshore) rüzgar enerjisi olmak üzere iki farklı kurulum uygulaması vardır. Karasal rüzgar türbinleri 1991'den beri mevcut enerji kaynaklarıdır. Türkiye'de ilk rüzgar santrali ise 1998 yılında zmir'de kurulmu tur. Açık deniz rüzgar türbinleri ise sonradan geli en bir teknolojidir. İlk açık deniz rüzgar çiftli i Danimarka'da 1991'de gerçekleştirilmiştir [7].

Güne enerjisi son zamanlarda yüzer güne enerji santralleriyle gündemi me gul etmektedir. Güne panellerini, baraj, göl gibi su rezervlerini kullanarak tabii ve suni su kütlelerinin üzerine yerle tirmesiyle uygulanan bir çalı madır. Açık deniz güne santralleri ise panellerin tıpkı rüzgar türbinleri gibi denize yerle tirilmesiyle kurulumu sa lanan bir di er yeni teknolojidir. Kullanılabilirlik açısından u an mevcut göl ve barajlara yerle imi yapılan yüzer güne enerji santralleri vardır. Yüzer fotovoltaik sistemlerin (YPV) karasal kurulumuna göre ba lıca avantajları; verimli tarım arazilerinin kullanımının önüne geçmek, tatlı su kaynaklarının gölgelenme etkisi nedeniyle buharla masını önlemek, güne panellerin suyun so utma etkisiyle daha az ısınarak daha yüksek verim sa lamak gibi avantajları sıralanabilir.

Açık deniz (offshore) rüzgar türbinleri, karadaki kurulumlarına göre daha yüksek enerji kapasitesine sahiptir. Bu, daha yüksek rotor çapı, daha yüksek kule yüksekli i ve kurulum ortamından dolayı daha yüksek rüzgar hızına sahip olmasıyla ilgilidir. Bu teknolojinin ilerlemesinin ba lıca nedenleri ise; kısıtlı alana sahip karasal bölgeler, deniz üstünde pürüzlülü ün azalmasına ba lı olarak daha yüksek rüzgar hızları varlı ından yararlanmak ve karasalda ya anan türbinlerin yarattı ı çevresel etkilerin azalması gibi faktörler sıralanabilir.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin fizibilitesi de erlendirirken, teknik, yapısal veya ekonomik yönlerin yanı sıra sosyal etkiler de dikkate alınmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ula mak için dünya çapında enerji yatırımları olu turulmaktadır. Yıllık temiz enerji yatırımının 2030 yılına kadar yaklaşık üç kat artarak 4 trilyon dolara ulaşması öngörülerden biridir [8].

1.3. Literatür Taraması

Rüzgar hızı tahmini ve güne radyasyon tahmini üzerine birçok çalı ma u ekilde sıralanabilir:

Arslan ve arkadaşları [10] yaptıkları çalı mada; Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak Kırıkkale Üniversite kampüsünde geçmiş rüzgar hızı verilerini kullanarak bölgenin rüzgar enerji potansiyelini analiz etmişlerdir. Analizlerinin sonucunda, kampüste bir rüzgar enerjisi kurulumu yapılabileceğini tartışmışlardır.

Yıldırım ve arkadaşları [11] yaptıkları çalı mada; 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgar hızı verileri kullanarak, Niğde bölgesinde rüzgar enerji potansiyeli analiz etmişlerdir. Çalı malarında rüzgar hızı tahmin modellerini kullanarak gerçeğe yakın tahminler bulmayı amaçlamışlardır.

Görgülü S. (2019) yaptığı çalı mada; Rayleigh dağılımı fonksiyonu kullanarak Atatürk Havalimanı'nda rüzgar enerji potansiyelini hesaplamışlardır. Bunu yaparken, meteorolojik istasyondan iki yıllık (2015-2017) rüzgar verilerini ele almışlardır.

Bhattacharya ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalı mada; iki parametrelili Weibull dağılımından yararlanarak rüzgar enerji potansiyeli analizi yapmışlardır. Weibull dağılımındaki parametreleri lineer en küçük kareler metodu ve maksimum olabilirlik metodunu kullanarak bulmuşlardır.

Mert ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalı mada; Antakya Bölgesi için rüzgar enerji potansiyelini ve rüzgar karakteristini incelemeye dayalı bir çalı ma yapmışlardır. Analizlerini gerçekleştirmek için Weibull dağılımını ve Log-normal dağılım fonksiyonlarından yararlanmışlardır. Dağılımları hesaplamak için rüzgar hızı ve güç yoğunluğunu bulmuşlardır. Bu tahminlere ulaşmak için maksimum olabilirlik metodu ve en küçük kareler metodu kullanmışlardır.

Kaplan (2016) yaptığı çalışmada; Osmaniye Bölgesi için rüzgar enerji potansiyeli analiz etmiştir. Analizinde Rayleigh ve Weibull dağılımlarını kullanmış, parametre tahmini yapmak için ise grafik ve moment metodlarına başvurmuştur. Analiz sonucunda; Weibull dağılımı için grafik metodu, Rayleigh dağılımı için moment metodunun gerçeğe yakın değerler verdiğini belirtmiştir.

Korukcu (2011) yaptığı çalışmada; Bababurnu, Belen, Datça ve Gökçeada olmak üzere dört farklı bölgenin rüzgar enerji potansiyelini analiz etmiştir. Analizlerinde Rayleigh ve Weibull dağılım fonksiyonlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında, ölçüm yapılan bölgeleri rüzgar enerji potansiyellerine göre sıralamışlardır.

Heinermann ve Kramer (2016) [12] yaptıkları çalışmada; Türkiye'nin dört farklı bölgesinin karar açıları ve destek vektör regresyonunu kullanarak rüzgar gücü tahmini ve bu dört bölgede yer alan rüzgar türbinleri için geçmiş dönemli uzun vadeli rüzgar hızı verileri kullanılmışlardır ve performans analizi yapmışlardır.

Foley *et al.* (2012) [14] yaptıkları çalışmada; mevcut rüzgar gücü tahmin modelleriyle ilgili çalışmalarını sadece geçmişte rüzgar hızı ya da rüzgar güç dizilerini kullanmakta olduğunu ve meteorolojik verilerin tahmin modellerindeki analizlerin sağlama ile ilgili olduğunu belirtmiştir.

Güneş enerjisi sistemlerinde üretim tahmini konusunda yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur:

Özgen ve Tan (2001) yaptıkları çalışmada; Türkiye'nin kuzeybatı kısmı için güneş ışınımı analizlerini yapmışlardır. Saatlik, günlük ve aylık ölçülen verilerin istatistiksel modellere yardımcı olduğunu belirtmiştir.

Rivinton ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmada; İngiltere'de 24 istasyon için güneş ışınım tahmin metodlarını kullanmışlardır. Bunları yaparken hava sıcaklığına dayalı iki ve güneşlenme süresi dönüşümüne dayalı bir modelin performansını değerlendirmiştir.

Yang ve ark., (2014) [16] yaptıkları çalışmada; gün öncesinde sıcaklık ve yağış tahmin verilerini kullanarak bir model geliştirmiştir. Güneş enerjisi santrali için üretilecek enerji bu model ile uyarlanmıştı. Kullanılan girdiler ile oluşan modelde güneşli günlerde daha iyi sonuç verdiği analiz etmiştir.

Wong ve Chaw (2021) yaptıkları çalışmada; günlük ortalama küresel ı nımı ve aylık ortalama saatlik küresel ı nım de erlerinin tahmin etmi lerdir. Modeller arası kar ıla tırma yapmı lardır.

Almorox ve Hontoria yaptıkları çalışmada; spanya'da farklı 15 istasyondan aldıkları güne lenme süresi ile Angstörm-Prescott modeli üzerine çalışmı lardır.

Tao ve ark., (2010) [17] yaptıkları çalışmada; herkese açık bir internet sitesinde kullanabilece imiz hava tahmin verilerini kullanarak ve bulutluluk durumunu gösteren bir veri tabanı kullanmı lardır. Güne enerji santrallerinin saatlik güç çıkı nı tahmin etmi lerdir. Bu model çatı güne santralleri için denenmi olup hassas de erlerde gerçe e yakın sonuçlar ortaya çıkarmı lardır.

Kim ve ark. (2017) [18] yaptıkları çalışmada; mevcut güne enerji tahmin modellerine dayanarak günlük bir tahmin modeli önerilmi tir. Hava durumu tahmin verileri girilerek Kore'de bir GES izleme sisteminde uyarlanarak iyi bir performans sergiledi ini göstermi lerdir.

1.4. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, yüzer güne ve rüzgar enerji sistemlerinde enerji üretim tahmini yaparak, bu sistemlerin etkinli ini-verimlili ini artırmak ve elektrik ebekesine olan katkılarını en üst düzeye çıkarmaktır. Meteorolojik veriler ile do ru bir enerji üretim tahmini yapılması hedeflenmi tir. Güne ve rüzgar enerjisinin üretimleri hava ko ullarına ba lıdır. Bu nedenle, enerji üretimini tahmin etmek, sistemlerin verimli bir ekilde i letilmesi ve elektrik ebekesinin istikrarlı bir ekilde çalışması için önemlidir. Bu tahmin de erleri çe itli matematiksel modellerle olu turulur.

Yüzer güne ve rüzgar enerji sistemlerinde enerji üretim tahmini, çe itli amaçlar için yapılır. Bu amaçlar; sistem boyutunu ve kapasitesini belirlemek, olası panellerin yönünü ve açısı, olası türbinin kanat boyutu ve tasarımını optimize etmek ve sistem performansını izlemek için, elektrik ebekelerinde talebi kar ılamak için yeterli enerji üretimini sa ladı ndan emin olmak, ebeke dengesini korumak ve arızaları önlemek için ve ticari kararlarda kullanılır. Yüzer güne ve rüzgar enerji sistemlerinde enerji üretim tahmini için kullanılan çe itli yöntemler vardır. Bu yöntemler, geçmi verileri analiz etmek, meteorolojik modelleri kullanmak ve yapay zeka tekniklerini kullanmak gibi yakla ımları içerebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarında, üretim tahminlerini do ru olarak yapabilen modeller tam olarak bulunmamaktadır. Bu çalı mada kullanılan modellerle gelece e yönelik en yakın tahmin modelinin bulunması hedeflenmi tir. Rüzgar ve güne enerjisi deniz üstü santral tipi ile tahmin modellerini farklı seçerek üretim tahmin de erlerine yakın sonuçlar gösterilmesi amaçlanmaktadır.

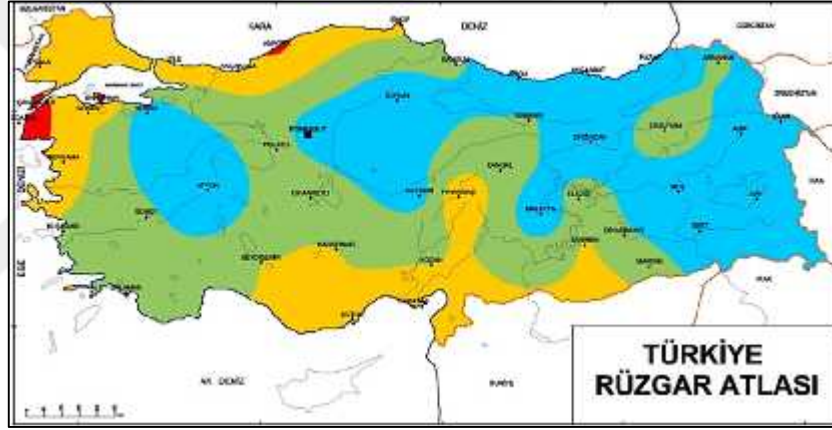
Enerji üretim tahmininin do rulu u, sistem performansı ve elektrik ebekesine olan katkısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bu nedenle, do ru ve güvenilir enerji üretim tahmini yapmak için yeni ve geli tirilmi yöntemler üzerinde ara tırmalar devam etmektedir.



2. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar enerjisi, dünyaya ulaşan güne enerjisinin %2'si gibi küçük bir miktarın atmosferin farklı katmanlarını ısıtması sonucunda meydana gelmektedir. Atmosfer, yükselti, coğrafi konum, güne açısı gibi farklılıklar nedeniyle eşit şekilde ısınmamaktadır. Bu durum basınç farklılıklarına ve hava akımlarına neden olmaktadır. Isınan hava yükselir ve daha düşük sıcaklıktaki hava ile konveksiyonel olayının etkisiyle yer değiştirir. Böylece rüzgar, sıcaklık farklılığı ile birlikte oluşan yüksek ve düşük basınçla yer değiştiren hava kütleleri oluşur [19].

Topografik koşullara bağlı olarak değişen rüzgar hızı, yerden 10 m yükseklikteki özgül gücü, rüzgar hızı 4.4 m/s'den küçük olduğunda 100 W/m^2 olabilmektedir [20]. 50 m yükseklikteki hızı 5.6 m/s'den küçük olduğunda özgül gücü 200 W/m^2 olabilmektedir. Ekil 2.1'de ülkemizin rüzgar enerji potansiyeli gösterilmektedir.



ekil 2.1. Türkiye rüzgar atlası.

Rüzgar atlası bize, bölgelere göre rüzgar hızı aralığını ve aynı zamanda farklı topografik durumlara göre kendi içinde ayrılmıştır. Bunlar; kapalı arazi, açık arazi, kıyıları, açık deniz ve tepelerde rüzgar hızı durumları karşılaştırılmıştır.

Kırmızı bölgelerde rüzgar hızı oldukça ideal durumlardadır. Özellikle açık deniz bölgelerde rüzgar hızı artmaktadır. Çalımızda, sırasıyla Bandırma, Bozcaada ve Uzunada bölgelerinde kurulacak açık deniz rüzgar türbinleri, rüzgar atlasında olduğu gibi uygun bölgeler seçilmiştir.

Rüzgar oluşum mekanizması çeşitli fizik kuvvetlerinin etkisi sonucu meydana gelmektedir. Bu kuvvetler rüzgarın aerodinamiği altında toplanır.

2.1. Rüzgar Enerjisi Aerodinami i

Aerodinamik; havanın katı bir cisim ile kurdu u ili kiyi inceleyen bir bilim dalıdır. Rüzgar türbinlerinin kanatları üzerine esen rüzgar sonucunda farklı yüklere maruz kalırlar. Aerodinami in detaylandırılması topolojiye ba lı olmakla birlikte bazı temel kavramlar tüm türbinler için geçerlidir. Rüzgar türbinlerinin aerodinami i son derece karma ıktır. Rüzgar hızı ve yönü fazlaca de i ti inden ayrıca yüksek türbülans ve rüzgar kesmesi ya andı ndan rüzgar türbinleri son derece kararsız ko ullarda çalı ırlar. Genellikle lineer bir akı ya anmaz. iddetli etkile imlere maruz kaldıklarından dolayı da her devirde farklı iz olu tururlar. Rüzgar türbini çiftlerinde her türbinin birbirinden etkilenmesiyle de farklı çalı ma aerodinami i ya anır. Türbin kurulacak bölgeye göre optimizasyon yapılmalıdır. En önemli aerodinamik kanat tasarımları ve beraberinde kanat hücum açılarıdır [21]. Rüzgarın kanada gelme açısına göre kanat hücum açısı belirlenmeli ve performan analizi yapılmalıdır. Kanat tasarımında aerodinamik ve mekanik özellikler önemli rol oynamaktadır [22].

Rüzgar enerjisi aerodinami ini olu turan iki temel kuvvet vardır. Bunlar sürüklenme ve kaldırma kuvvetleridir.

2.1.1. Sürüklenme kuvveti

Sürüklenme kuvveti, maddenin üzerinde akı yönünde olu turdu u bir kuvvettir. Düz bir cisme gelen maksimum sürüklenme kuvveti 90°'lik açı ile olu urken minimum sürüklenme kuvveti ise hava akı ı cisim üzerine paralel gelmesiyle meydana gelir. Rotor kanatları için dü ük sürüklenme kuvvetine sahip olması gerekmektedir. Herhangi bir kanat profili için sürüklenme katsayısı (C_D) a a ıdaki denklem 2.1 ile ifade edilir [23].

$$C_D = \frac{D}{0.5\rho V^2 A} \quad (2.1)$$

2.1.2. Kaldırma kuvveti

Kaldırma kuvveti akı a dik etki eder. Rüzgar türbin kanatlarının asıl dönmesini sa layan kuvvettir. Herhangi bir kanat profili için sürüklenme katsayısı (C_L) a a ıdaki denklem 2.2 ile ifade edilir [24].

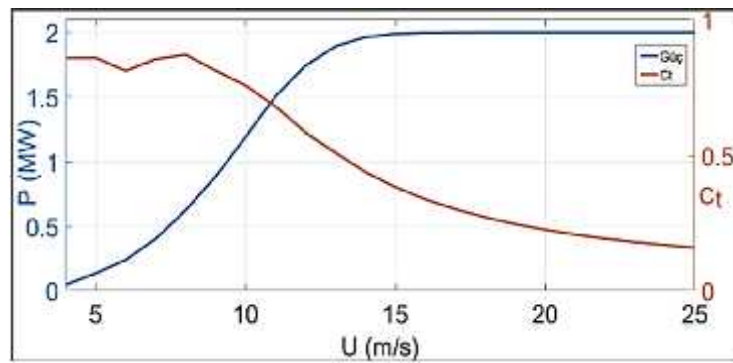
$$C_L = \frac{L}{0.5\rho V^2 A} \quad (2.2)$$

Dönme düzlemindeki kaldırma ve sürüklenme bileşenleri, rüzgar türbininin enerji akışını etkileyen bileşenlerdir. Rüzgar türbinlerinin güvenli bir şekilde çalışmasını ve elde edilecek elektriksel gücün kaliteli olması için, doğru optimizasyon sağlamak için bir kontrol sistemi gereklidir. Türbinin açma ve kesme hızlarını ele bir başka bir kontrol ünitesi; jeneratör tork, yunuslama açısı, nasel sapma açısıdır. Bu kontrol sistemi sayesinde, maksimum aerodinamik güç ve rüzgardan en iyi faydalanma imkanı sağlanıp en yüksek enerji üretimi sağlanabilir [25].

2.2. Rüzgar Türbini Güç Kontrolü

Rüzgar türbinlerinin bütün mekanizması, tüm alt sistemleri ve doğru yönetilmesi için kontrol sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Rüzgar türbini kontrol sistemlerinin temel amacı; rüzgardan dönüştürülen enerjiyi optimize etmektir. Bu kontrol, verimliliğin artırılması ve güç-hız verilerini belli bir değerde tutarak türbinin iddettirilen rüzgar hızlarında güvenli çalışmasını sağlarlar. Rotor kanatlarının üzerinde etkisi olan aerodinamik kuvvetler, rüzgar türbinlerini, kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirmede etkisi olurlar. Rüzgar türbininin kanat yapılarında aerodinamik kuvvetlerin performanslarının incelemesinde temel amaç, kurulması düşünülen rüzgar enerji santrallerinin en verimli hallerinde çalışmasını sağlayacak parametrelerin belirlenmesidir. Bunun için hücum açısının yani sürüklenme (C_D) ve kaldırma (C_L) kuvveti kat sayılarının oranlarına bakılır. C_L/C_D oranının yüksek çıkması rüzgar türbininin veriminin bir göstergesi olmaktadır [26].

Ortalama bir kurulu güce sahip rüzgar türbinine ait güç eğrisi şekilde 2.2'de gösterilmiştir. Bu grafik bize türbin hakkında bazı karakteristik özellikleri verir.



ekil 2.2. Rüzgar türbini güç kontrolü.

ekilde herhangi bir rüzgar türbinin güç e risi verilmi tir. Grafikte ayrıca kapasite faktörüde gösterilmektedir. Devreye girme hızı (cut-in) 3 m/s, devreden çıkı hızı (cut-out) 25 m/s, türbinin üretebilece i maksimum anma gücü ya da anma rüzgar iddeti noktası yakla ık 16 m/s olarak belirtilebilir. Tipik bir rüzgar türbini için ideal güç e risinde, i levsel rüzgar iddeti $v_{cut-off}$ arasında kalan hızlardır. Bu sınırlar haricinde türbin çalı mamaktadır. Devreye girme hızının yani cut-in'den dü ük bir rüzgar hızı çok yava oldu u için kayıplar kar ılanamaz e er devreden çıkma hızının yani cut-out yüksek ise türbine a ırı yüklenmenin önüne geçmek için türbinin kapatılması sa lanılır. Ama rüzgar iddeti $v_{cut-off}$ üzerinde olan rüzgarlar yüksek enerji ta ırlar bu türbin üzerinde fazla yorulmalara ve titre imlere sebep verir bu yüzfen bu de erin üstünde türbin çalı tırılmamaktadır [27], [28].

Rüzgar türbini modelleri hakkında bilgilere de inecek olursak e er; rüzgar türbinleri yatay ve dü ey eksenli olmak üzere iki grupta incelenmi tir.

2.3. Rüzgar Türbinleri

Ba lıca rüzgar türbinleri dört farklı gruba ayrılır. Bunlar: yatay eksenli, dikey eksenli, yüzer ve savunma türbinleri olarak sıralanır. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, en yaygın kullanılan rüzgâr türbini türüdür. Bu türbinlerde, rotor kanatları rüzgârın yönüne göre yönlendirilir ve genellikle üç kanatlı oldu u en yaygın türbinlerdir. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri, rotor kanatları rüzgârın yönüne göre yönlendirilmeden çalı ır. Bu türbinler, yatay eksenli rüzgâr türbinlerine göre daha sessiz ve kurulumu daha kolaydır ve genellikle çift kanatlı olurlar. Yüzer rüzgar türbinleri, açık denizlerde ya da sabit platformlarla deniz kenarlarında yani derin su olan yerlerde kullanılır ve genellikle daha büyük boyutlarda daha büyük güç çıkı na sahiptirler. Son olarak savunma türbinleri, ço unlukla askeri amaçlar için kullanılır ve genelde yatay eksenli türbinler tercih edilir, ancak genellikle daha küçük boyutlarda ve daha az güç çıkı na sahiptirler. Farklı amaçlar için kullanılan her bir rüzgar türbinleri, farklı avantajlar ve dezavantajlara sahiptirler. Kullanılacak bölgenin ihtiyaçlarına ve özelliklerine göre rüzgar türbinleri belirlenir. Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönü türen sistemlerdir. Rüzgâr türbinleri, genellikle kule, kanatlar, rotor, di li kutusu, generatör (alternatör), elektrik-elektronik elemanlardan olu ur. Kanatlar, rüzgârın kinetik enerjisini dönme kinetik enerjisine dönü türür. Kanatlar genellikle cam elyaf takviyeli plastik veya kompozit malzemelerden yapılır. Kanatlar, rüzgar türbinlerinin en önemli parçalarıdır,

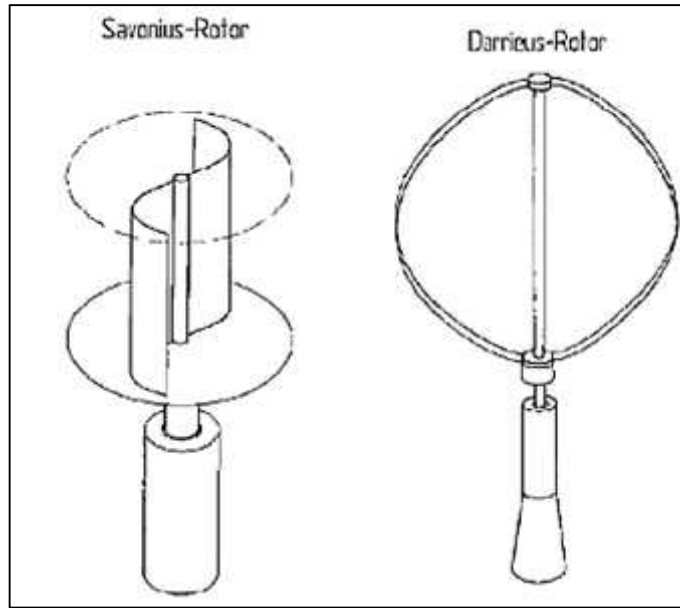
rüzgarın enerjisini türbin rotoruna aktarır ve türbinin verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Genellikle, üç kanatlı bir yapıya sahiptirler [29].

Rüzgâr türbinleri, güçlerine göre de sınıflandırılır. Küçük rüzgâr türbinleri, genellikle tek ailelik evler veya küçük işletmeler tarafından kullanılır. Orta büyüklükteki rüzgâr türbinleri, daha büyük işletmeler veya topluluklar tarafından kullanılır. Büyük rüzgâr türbinleri ise, elektrik şebekesine enerji sağlayan rüzgâr enerjisi santrallerinde kullanılır.

Yatay eksenli rüzgar türbinleri genellikle büyük ölçekli rüzgar santrallerinde kullanılır. Bireysel ve küçük ölçekli uygulamalarda ise genellikle dikey eksenli rüzgar türbinleri kullanılır. Dikey eksenli rüzgar türbinleri sayesinde çeşitli güçlerde elektrik üretimi yapılabilmektedir. Darrieus ve Savonius olmak üzere iki çeşittir. Darrieus tip türbin aerodinamik açısından, Savonius tip türbinler ise kalkış gücü bakımından üstünlük göstermektedirler. Şekil 2.3'te bahsedilen 2 tip dikey eksenli rüzgar türbinleri gösterilmiştir.

Dikey eksenli rüzgar türbinleri rüzgar yönüne bağımlı kalmaksızın her türlü enerji üretirler bu özellikleri en büyük üstünlükleridir. En temel bir avantajlardan birisi de bu tip türbinlerde jeneratör ve dikey kutusu yere yakın bir konuma yerleştirilir böylelikle uzun bir kule kısmına gerek kalmaz [30].

Dezavantajları ise, titreşimli tork oluşurlar ve montajı zordur. Yere yakın yerlere monte edildikleri için de düşük enerji üretimine sahiptirler.



Şekil 2.3. Dikey eksenli rüzgar türbinleri

Yatay eksenli rüzgar türbinleri, genel olarak 60-80-120 m yükseklikte kurulumu gerçekleştirir. Türbin verimi yüksek yerlerde in a edildikleri ve rüzgarı büyük alanlarda aldıkları için %45'lere kadar ulaşır. Türbin kanatları çok uzunlukla ve artık günümüzde de 3 kanatlı olarak dizayn edilirler. Şekil 2.4'te yatay eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir [29].

Kanatların aerodinamik tasarımı, rüzgârdan en fazla faydayı sağlayabilmeleri için önemlidir. Kanatlar, rüzgârın itme kuvvetini kullanarak rotor milini döndürür. Daha sonra Rotor, kanatları ve rotor milini bir arada tutar. Rotor, rüzgârın kinetik enerjisini dönme kinetik enerjisine dönüştürür. Rotor, genellikle üç kanatlı olarak yapılır. Üç kanatlı rotorlar, daha dengeli ve verimlidir. Dişli kutusu, rotor milinin dönüş hızını jeneratöre uygun hale getirir. Dişli kutuları, genellikle çelik veya kompozit malzemelerden yapılır. Dişli kutuları, rotor milinin dönüş hızını jeneratörün çalışma hızına düşürerek, jeneratörün daha verimli çalışmasını sağlar. Jeneratörlerden de elektrik enerjisi üretilir.

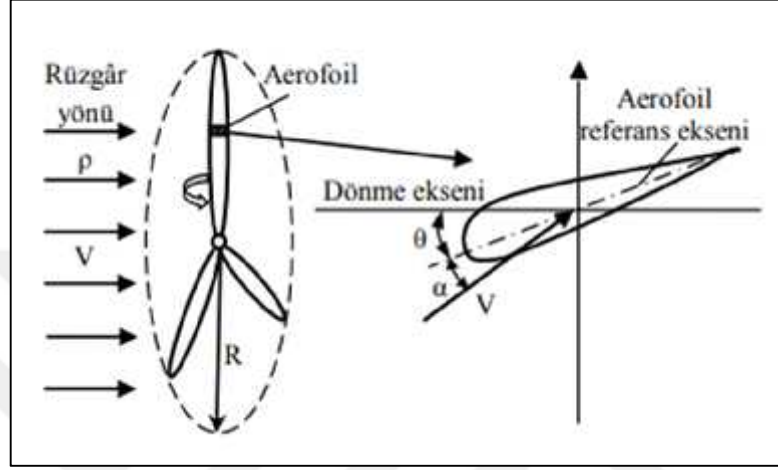


Şekil 2.4. Yatay eksenli rüzgar türbini

Türbinlerde rotor etrafındaki kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Türbinlerde kule dengesi için öncelikle tek sayılı kanat tercih edilir. Çift sayılı kanat türbin stabilesiniz bozmaktadır. 3 kanattan az sayıda rüzgar türbinleri rotasyonel hızlarının fazla olmasından kaynaklı kanat deformasyonları artar ve çalışma sistemleri dönüş hızından dolayı bozulur. 3 kanattan fazla sayıda rüzgar türbinleri ise,

rüzgar hızını alan her kanat birbirlerine zarar verir ve verimlilikleri dü mekte olur. En ideal verimde çalı an ve rüzgar türbini aynı zamanda kule dengesi için 3 kanatlı rüzgar enerji santralleri günümüzde ve ticari amaçlı kullanılmaktadır [32].

ekil 2.5'te 3 kanatlı yatay eksenli rüzgar türbininin eksenel hareketleri gösterilmektedir.



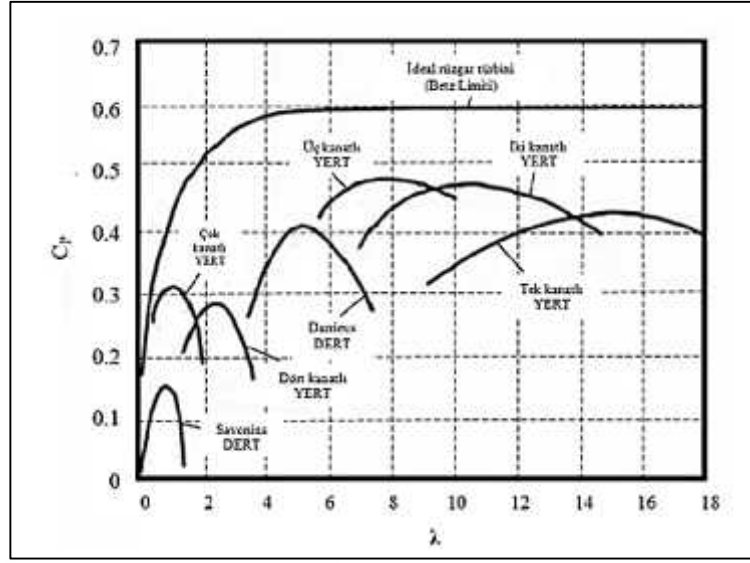
ekil 2.5. Yatay eksenli rüzgar türbini

Burada; havanın yoğunluğu ρ , u , v rüzgar hızı, R yarı çapı belirler. Rüzgar türbini tasarımının yapılması için öncelikle tasarım parametreleri belirlenmelidir. Bunlar başlıca, uç-hız oranı, kanat açısı, güç katsayısı, tork katsayısı gibi parametrelerdir [33]. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızının bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir. Bu oran denklem 3'te gösterilmektedir.

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (2.3)$$

Eğer bu oran 1-5 arasında ise çok kanatlı, 6-8 arasında ise üç kanatlı, 9-15 arasında ise iki kanatlı ve $\lambda > 15$ olursa tek kanatlı rotor kullanılır.

ekil 2.6'da kanat uç hız oranının rotor sayısı ile ilişkisi grafiksel olarak gösterilmiştir [34].



ekil 2.6. Farklı tür rüzgâr türbinlerinde C_p - de i mi

Rüzgâr türbini kanat açısı oranı, kanatların uçlarının rüzgara göre konumunu tanımlamak için kullanılan bir ölçüdür. Kanat uçları rüzgara dik oldu unda, kanat açısı oranı 1'dir. Kanat uçları rüzgara do ru e ildi inde, kanat açısı oranı 1'den büyük olur. Kanat uçları rüzgardan uzakla tı ında, kanat açısı oranı 1'den küçük olur.

Rüzgâr türbini kanat açısı oranı, rüzgâr türbininin performansını etkileyen önemli bir faktördür. Kanat açısı oranı, rüzgâr türbininin yakalayabilece i rüzgâr enerjisini ve türbinin üretebilece i gücü etkiler.

Rüzgâr türbininin kanat açısı oranı, rüzgâr hızına ba lı olarak ayarlanır. Rüzgâr hızı dü ük oldu unda, kanat açısı oranı artırılır. Bu, rüzgâr türbininin daha fazla rüzgâr enerjisi yakalamasına yardımcı olur. Rüzgâr hızı yüksek oldu unda, kanat açısı oranı azaltılır. Bu, rüzgâr türbininin hasar görmesini önlemeye yardımcı olur.

Rüzgâr türbini kanat açısı oranı, bir rüzgâr türbininin kontrol sisteminin bir parçası olarak ayarlanır. Kontrol sistemi, rüzgâr hızını ve türbinin üretti i gücü sürekli olarak izler. Bu bilgileri kullanarak, kontrol sistemi kanat açısı oranını ayarlayarak rüzgâr türbininin performansını optimize eder.

3. GÜNE ENERJİSİ

Güneş, Dünya gezegeni için tükenmez serbest enerjinin (yani güneş enerjisinin) önemli bir kaynağıdır. Günümüzde, toplanan güneş enerjisinden elektrik üretmek için yeni teknolojiler kullanılıyor. Güneş enerjisi, güneş enerjisinin hasadı ve tedariki için gerekli teknolojilerin halihazırda mevcut olması durumunda, teorik olarak tüm dünyanın enerji taleplerini yeterince karşılama potansiyeline sahiptir. Yılda yaklaşık dört milyon eksajoule ($1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$) güneş enerjisi dünyaya ulaşıyor. $5 \times 10^4 \text{ EJ}$ 'nin kolaylıkla hasat edilebileceği iddia edilmektedir. Bu büyük potansiyele ve farkındalık artışına rağmen güneş enerjisinin küresel enerji arzına katkısı hala göz ardı edilebilir düzeydedir [36].

Güneş enerjisi araştırmalarıyla ilgili bir diğer önemli beklenti, son yıllarda önemli bir küresel çevresel, sosyal ve ekonomik sorun olan küresel karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik mevcut çaba ile ilgilidir. Örneğin, Kaliforniya, ABD'de 113.533 ev tipi güneş enerjisi sisteminin kurulmasıyla 696.544 metrik ton CO₂ emisyonu azaltıldı veya önleildi. Bu nedenle, güneş teknolojilerinin benimsenmesi, enerji güvenliği, iklim değişikliği vb. ile ilgili sorunları önemli ölçüde azaltacak ve hafifletecektir. Ayrıca, herhangi bir gereksinim gerektirmeden için gelecekte ulaşım sektöründe de kullanımının önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir. yakıt taşımacılığı.

Çeşitli kamu ve sivil toplum kuruluşlarının güneş enerjisi teknolojilerine yönelik politikaları, yatırımları ve destekleri (araştırma finansmanı gibi), bu yenilenebilir enerji sisteminin kullanılmasına için sağlam bir temel oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Tevikler ve indirimler bu pazarların gelişmesi için etkili motivasyonlar olabilirken, bu politika teviklerinin mali yükünü azaltmaya yönelik çabalar da artıyor. Ancak birçok ülkede güneş enerjisi sübvansiyonlarında halihazırda keskin kesintiler yapıldı ve bu da sektördeki büyümeyi geciktirebilir. Bu potansiyel dürtü tersine çevirmek için, büyük ölçekli enerji üretimi için güneş enerjisi sistemlerinin konulandırılmasını destekleyecek politikalar geliştiriyor. Ayrıca, konut tipi güneş enerjisi jeneratörleri için ebeke ölçekli jeneratörlere göre daha büyük sübvansiyonlar sağlanmalıdır [37].

En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Güneş enerjisi, onun hasadı ve güneş enerjisine dayalı teknolojileri insanlığın enerji ihtiyacının giderek artmasıyla ön plana çıkıyor [35].

Güne enerjisinin kullanım formları; ısı, elektrik ve yakıt formuna dönü türülüp kullanılabilir. Fotovoltaik (FV) hücrelerle elektrik enerjisine ve yo unla tırma tekni iyle ısı enerjisine dönü türme en popüler tekniklerdir. nsanlı ın enerji tüketim biçimleri ve yo unlukları incelendiklerinde tüketimin üçte ikisinden fazlası elektrik enerjisi formundadır. Güne enerjisi, FV hücreler ve ısıl süreçler yardımıyla elektrik enerjisine dönü türülüyor.

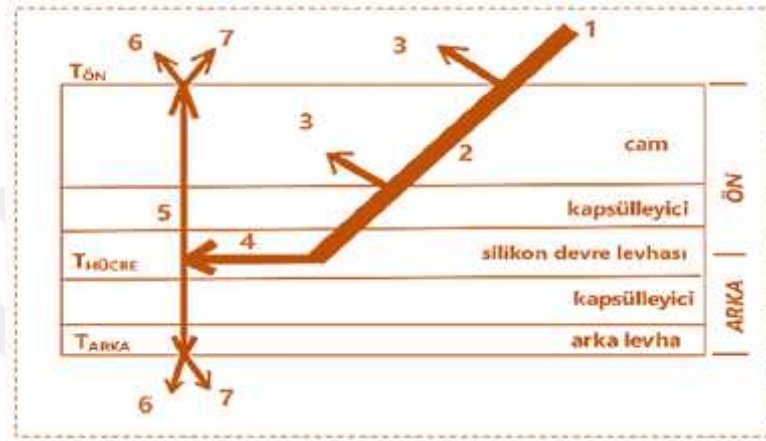
3.1. Fotovoltaik (FV) Hücreler

Elektrik enerjisi üretiminde, geleneksel fosil yakıtlı enerji üretimi yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması katlanarak artıyor. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güne fotovoltaikleri (PV 'ler), elektrik enerjisi üretimi için en hızlı büyüyen kayna ı temsil etmektedir. Ayrıca küresel ortalama 170 Watt/m² ile tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek güç yo unlu una sahiptirler Güne fotovoltaiklerinin (PV 'ler) elektrik enerjisi üretimindeki katkısı sürekli artmaktadır. PV hücreleri genellikle devreler olarak modellenir. PV hücrelerinin uygun devre modeli parametrelerinin bulunması, güne PV sistemlerinin performans de erlendirmesi, kontrolü, verimlilik hesaplamaları ve maksimum güç noktası takibi için çok önemlidir . [38].

3.1.1. FV hücrelerin yapısı ve çe itleri, yeni FV hücreler

PV hücresi, PV sistemlerinin temel bile enidir. Temel olarak PV hücresi, P-N bağlantısı ı ı a maruz kalan yarı iletken bir diyottur. Yarı iletkenin güne e bakan yüzeyine ince bir metalik ızgara yerle tirilir. PV hücrelerinin boyutu ve ekli, emici yüzeyin maksimuma çıkarılaca ı ve temas dirençlerinin minimuma indirilece i ekilde tasarlanmı tır. Seri olarak ba lanan birkaç PV hücresi bir PV modülü olu turur, seri ve paralel ba lanan bazı PV modülleri bir PV paneli olu turur ve bir PV dizisi bir veya birkaç PV panelden olu abilir. PV sistemleri, güne panellerini, DC'den DC'ye güçlendirme dönü türücülerini ve invertörleri (yalnızca ebekeye ba lı PV sistemleri için) ve maksimum güç noktası izleme sistemlerini içerir. DC'den DC'ye yükseltme dönü türücü, kontrol edilebilir bir çıkı voltajı sa lar. Çıkı voltajı ve dolayısıyla çıkı gücü, yükseltme dönü türücünün görev döngüsü tarafından kontrol edilebilir. ekil 3.1'de modüle dahil olan ısı akı yollarını ve ısı de i im modlarını gösterir.

Dış yüzeylerde ısı hem konveksiyonel hem de termal radyasyon yoluyla ısı alı veri i yapılır. Termal model modülleri üst kısım ve alt kısım olmak üzere iki kısma ayırır. 1 nolu termal radyasyon güne ten gelen ana radyasyondur. 2 nolu ok, iletilen ısı radyasyonunu, 3 nolu ok, yansıyanı, 4 nolu ok, modül tarafından absorpsiyon edileni, 5, 6 ve 7 nolu ok ise sırasıyla, iletim, ta ınım ve ı ınım ekleinde ısı iletim kayıplarını gösterir [39].

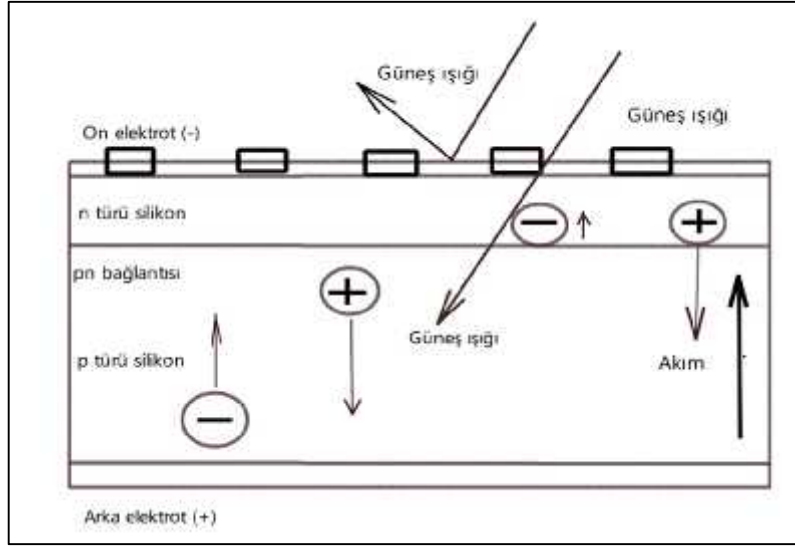


ekil 3.1. Panele nüfuz eden güne radyasyonlarının dağılımı

FV hücreler; birinci, ikinci ve üçüncü nesil hücreler ekleinde sınıflandırılmaktadır.

3.1.1.1. Birinci nesil FV hücreler

Geleneksel silikon tabanlı FV hücreler olarak isimlendirilen birinci nesil hücreler en çok kullanılan FV hücrelerdir. Kristal yapılu hücreler, monokristal ve polikristal olarak üretilirler. Ticari olarak sıklıkla kullanılan bu hücrelerin verimleri yaklaşık %20'lerde olarak seyrilir. Monokristalin hücrelerde verim daha yüksek olmu olsa da polikristal FV'ler, kristal yapıdaki problemler daha az ve maliyeti uygun olmasıyla bu verim açığı kapatılabilir. Aynı zamanda birinci nesil paneller alçak sıcaklık de erlerinde daha verimli olurlar ve aynı miktarda gücü üretmeleri için daha küçük bir alana ihtiyaç duyar, bu pv hücrelerde sıcaklık yükseldikçe panelin performansı da dü er [40]. kinci nesil FV hücrelere geçmeden önce ekil 3.2'de bir FV hücrenin temel yapısı gösterilmiştir.



ekil 3.2. Bir FV hücrenin temel yapısı

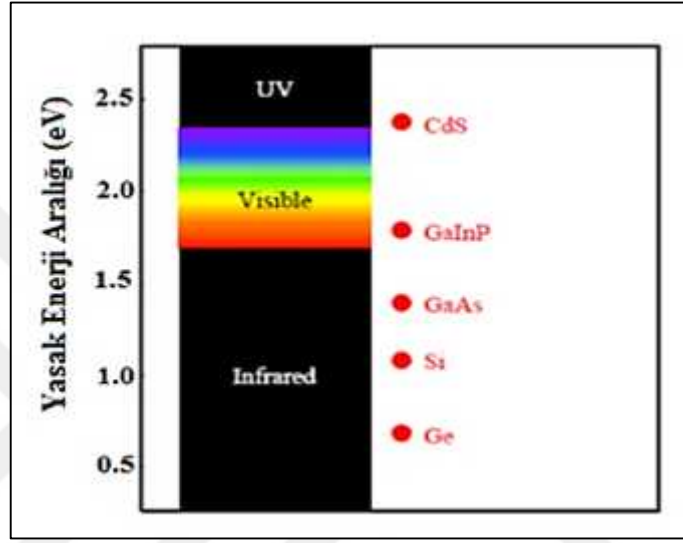
3.1.1.2. İkinci nesil FV hücreler

İnce film hücreleri, ikinci nesil FV hücreleri olarak kabul edilir. Bu hücreler daha düşük maliyetlidir çünkü daha az silikon malzeme kullanılır. Ancak verimlilikleri düşüktür pazarda kullanma payları düşüktür. İnce film hücrelerinin farklı türleri mevcuttur. Başlıca arasında amorf silikon vardır. Amorf silikonların verimlilikleri %10 olması nedeniyle düşük verimlilik ve zamanla ortaya çıkan elektriksel kararsızlıkları en büyük dezavantajlarıdır. Kadmiyum tellür (CdTe) ince film hücreler arasında verimlilikleri en yüksek hücre tipleridir. Düşük maliyet ve hızlı üretimden kaynaklı silikon tabanlı hücrelere alternatif olurlar. Ama tellür zehirli bir madde olduğundan dolayı CdTe hücrelerin kullanımı düşüktür. Bir diğeri ince film hücresi, bakır indiyum galyum selenid (CIGS) FV hücresidir. Bu hücrelerin verimlilikleri ise, %20'leri aşan laboratuvar ortamında %14'lere düşer [41].

3.1.1.3. Üçüncü nesil FV hücreler

Üçüncü nesil FV hücreleri diğer nesil hücrelerden ayıran en büyük özellikleri verimlilikleriyle birlikte çevre dostu hücreler olmalarıdır. Üçüncü nesil hücreler, silikon tabanlı ve maliyet açısından fazla olan FV hücrelere karşın geliştirilen yeni nesil hücrelerdir. Başlıca; nanokristal tabanlı, boya duyarlı, çok eklemlili ve organik güneş hücreleridir.

Öncelikle çok katmanlı her katmanında farklı dalga boyuna duyarlı eklemli FV hücrelerden bahsedelim. Farklı dalga boyuna duyarlı olması güneş ışığının farklı enerji aralıklarından yararlanmasını sağlar. Geleneksel p-n bazlı güneş hücrelerinde teorik verim %30'lar civarında iken, iki eklemli hücrelerde %42, üç eklemli %48 civarındadır. Şekil 3.3'te farklı FV hücrelerinin dalga boylarına karşı duyarlılıkları gösterilmiştir [42].

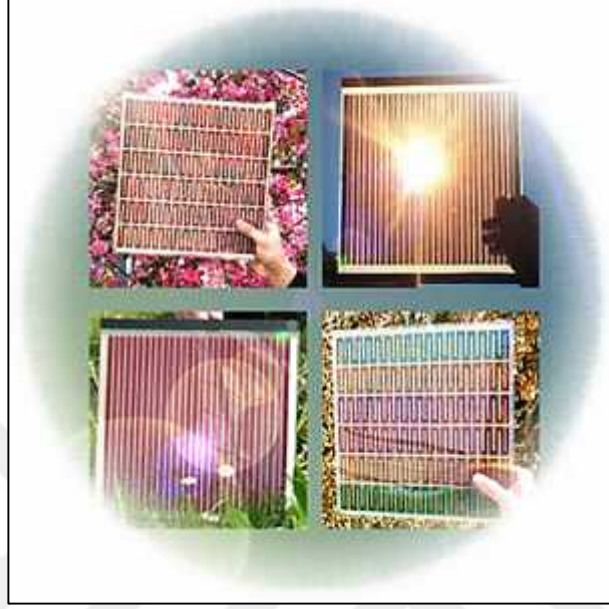


Şekil 3.3. Farklı FV hücrelerinin güneş ışığını bant aralıkları

Galyum arsenit (GaAs), germanyum (Ge) ve Galyum indiyum fosfit (GaInP) p-n çok eklemli temel güneş hücreleridir. Araştırmalarda ve piyasada öne çıkan örnekleridir. Nanokristal tabanlı güneş hücreleri veya kuantum nokta hücreler, görülmeyen bazı özellikleriyle avantajları vardır. Silikon ve germanyum gibi elementleriyle üretildiği gibi CdS ve CdTe gibi bileşiklerden üretilir.

Organik FV hücreler, karbon bileşikleriyle oluşturulabilen, çözülebilen ve çözelti ile iletilebilen hafif yapılardır. Organik ışık yayan diyot teknolojilere benzeyen, elektrikle iletken ve üreten organik polimerler ve moleküller bu hücrelerde kullanılır. Organik FV hücrelerinin kullanımı, farklı renklerde ve effaf olduğu için pazarda pencere, bina giydirmesi gibi uygulama alanları mevcuttur. Üçüncü nesil FV hücrelerinin son ürünü ise boya duyarlı güneş hücreleridir. Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu hücreler, ucuz, az toksik malzeme kullanımı, dolaylı ışık ve çalışma sıcaklık aralığı geniş olmasıyla öne çıkmaktadır. Bu hücrelere, geniş bant aralığına sahip TiO_2 ve SnO_2 gibi yarı iletken

malzemelerin üzerine bir boya molekül tabakası uygulanır. Boya duyarlı hücrelerin bir di er uygulaması yeni perovskit FV hücrelerdir [43].



ekil 3.4. *Boya duyarlı FV hücresi*

htiyaca göre geli tirilen FV hücrelerin verimlilikleri üzerinde Ar-Ge çalı maları devam etmektedir.

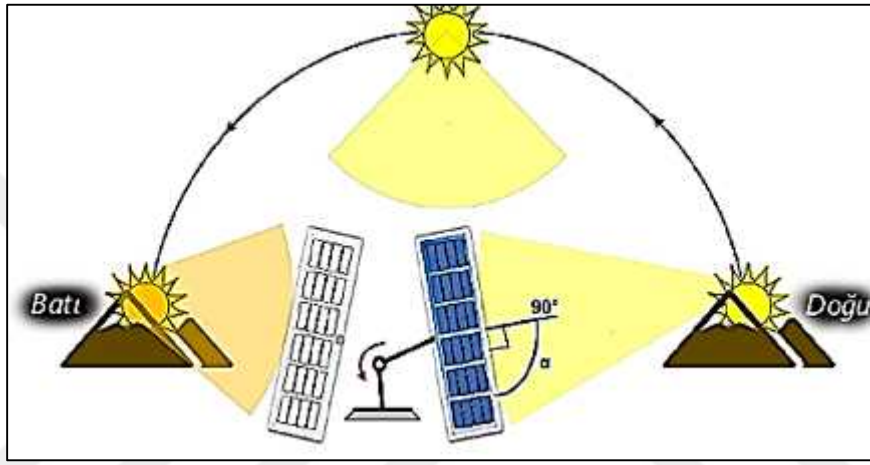
3.1.2. Güne takip sistemli güne paneli

Gün içinde, güne in sürekli hareket hali sabit bir güne paneli için önemli bir miktarda enerji kaybıdır. Bir güne paneli yere sabitlendi inde veya sadece güneye yönlendirildi inde gün içinde enerji verimi sabit olmaz. Günün ba nda ve sonunda panel açısı yanlış yönlendirmeden kaynaklı elektrik üretimi azalır [44]. Sabit ve güne takip sistemleri için yakalanan enerji potansiyelindeki kar ıla tırma günün farklı saatlerinde farklı de erlerle sonuçlanır [45].

Güne ı nlarının PV panellere geli açısına ba lı olarak dönü türülen enerji miktarı da de i mektedir. Çe itli fonksiyonlara sahip güne takip sistemleri, en yüksek enerjiyi elde etmek için kullanılabilir bir güne teknolojisidir [46]. Güne panellerin üzerine dü en güne radyasyonları dik açıyla dü tü ü sürece üretim azami olmaktadır, nedeni güne ı nım de eri, güne ı nlarının panellerde olu turdu u normali ile yapt ı açının kosinüs de eri ile hesaplanmaktadır. Bu durum, güne i takip ederek güne ı nlarını devamlı dik alınmasını sa layan bir sisteme götürmü tür. ekil 3.5'te güne takip sistemi

gösterilmiştir. Etildeki gibi güne takip sistemi güneş ışınlarını hep dik açıyla alınmasını sağlayan bir mekanizmadır [47].

Güneşin mekanik olarak izlenmesi için genellikle tek eksenli ve çift eksenli takip sistemleri kullanılmaktadır [46]. Güneş takip sistemleri konusu ile ilgili çalışmalar ve araştırmalar literatürde oldukça mevcuttur. Araştırmacılar; güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre yüksek verimlilikte çalıştıklarını gözlemlemiştir. Güneş takip sistemlerini geliştirmek ve maksimum seviyede güneş ışınlarını almak için farklı algoritmalar mevcuttur.



ekil 3.5. Güneş takip sistemi

Çift eksenli izleyici kullanarak güneşin konumuna göre yönlendirmeyi de gerçekleştirerek güneş panelinin verimliliğini artırma tekniğini de sunmaktadır. Panelin hareketini izlemek için güneş paneli üzerine 11 a b a ımlı dirençler monte edilmiştir. Çift eksenli güneş takip sisteminin statik panellere kıyasla daha yüksek güç üretimine sahip olduğunu göstermektedir.

Deneyler, güneşli koşullar altında çift eksenli izleme sisteminin kullanılmasının, üretilen voltajın sabah ve akşam yaklaşık %10 oranında artmasına neden olduğunu, ancak öğleden sonra önemli bir değişim göstermediğini göstermektedir. Etilde çift eksenli bir güneş takip sistemi gösterilmiştir [48]. Etil 3.6'da çift eksenli bir güneş takip sisteminin farklı açılarda dönme pozisyonları gösterilmiştir.



ekil 3.6.. Çift eksenli güne takip sistemi

Bir di er çalı mada, olu an olumsuz verim azalı larında geli tirilen üç eksenli güne takip sistemleri olmu tur. Üç eksenli bir güne takipçisi geli tirmenin birincil amacı, güne in konumunu takip etmek ve engellerin neden oldu u gölgelenmeyi ortadan kaldırmaktır.

Kar ıdan gelen binalar, a açlar gibi yüksek nesnelere veya kı ın ve yazın güne in de i en enlemleri nedeniyle öndeki PV modül sırasının neden oldu u gölgeleme engel olabilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, güne panelinin yüksekli inin gölgelenmeyecek ekilde ayarlanmasına izin veren üçüncü bir eksen dahil edilmi tir [49].

Sonuç olarak bir güne takip sisteminde önemli parametreler u ekilde sıralanabilir: Bir güne takip sisteminin verimli ve rekabetçi olabilmesi için, çalı tırma mekanizması için gereken enerjinin, güne in takip edilmesinden kaynaklanan enerji artı ından çok daha az olması gerekir.

Güne izleyicileri, güne sisteminin enerji çıkı ını artırmasına ra men, potansiyel olarak kurulum maliyeti yüksektir. Sistemin enerji üretimini artırmak için daha fazla güne paneli kurmak bazen bir güne takip cihazına yatırım yapmaktan daha ucuz olabilir. Güne izleyicileri, panellerin kurulumu için sınırlı miktarda alan oldu unda faydalı olabilir. Ek güne panelleri kurmak için yer yoksa, bir güne takip sistemi daha küçük bir alanda daha fazla elektrik üretilmesine yardımcı olabilir. Güne izleyicileri, büyük ölçekli kamu hizmetleri veya ticari kurulumlar için de yararlı olabilir [50].

3.2. Güne Radyasyonu ve Tahmin Modelleri

Güne ten gelen enerji, atmosfer, okyanus, iklim ve karasal biyosfer dinamiklerinin temel yapı ta ıdır. Güne enerjisi Dünya'nın yüzeyine ula ır ve yüzeyin so urma özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle ısıya dönü türülür. Do rudan ve da mık bile enlerin toplamı olan yeryüzüne ula an radyasyona küresel radyasyon denir ve birim alan ba ına güç boyutlarıyla ölçülür [51].

Güne ışı nımından faydalanmak için, esas olarak yapılabilecek enerji kayna ının do ru bir e kilde karakterize edilmesi gerekmektedir. Esas olarak u yollarla yapılabilir; uydu görüntüleri veya radyasyon atlası kullanımı yoluyla do rudan ölçümler ve fiziksel modeller kullanılır. Bu yakla ım, uydu tarafından elde edilenden daha do ru bilgi sa lar ve pahalı enstrümandaysan kullanımı gerektirmez. Karakterize edilecek yerdeki meteorolojik gözlemler ile ışı nım arasındaki fiziksel-matematiksel ba lantılara dayanmaktadır. Herhangi bir yüzey alanına ula an güne radyasyonunu hesaplamak için çok türde modeller geli tirilmi ve kullanılmı tır. Ama bu modellerin çe itlerinden önce güne lenme süresinin nelere ba lı oldu u fikrine göz atılmalıdır. Güne lenme süresi; hava sıcaklı ı, enlem, boylam, ya ı miktarı, ba ıl nem, rüzgar ve bulutluluk gibi klimatolojik ve meteorolojik parametrelere ba lıdır. Bu parametrelerle, güne radyasyonu tahmini için kullanılır. Bu çalı mada, e ik yüzeye gelen günlük ortalama güne radyasyonunun belirlenmesinde ve literatürde elde edilen güne radyasyonu tahmini modelleri yardımıyla bölgesel güne ışı nları tahminleri yapılmı ölçülmü tür [52].

3.2.1. Güne radyasyon tahmini

Güne radyasyon tahmin modelleri, güne enerjisi sistemlerinin tasarımı, kurulumu ve i letilmesi için çe itli e killerde kullanılabilir. Örne in, güne panellerinin boyutunu ve sayısını belirlemek, güne enerjisi santrallerinin üretece i elektri i tahmin etmek ve güne enerjisi sistemlerinin performansını de erlendirmek için kullanılabilir. Güne radyasyon tahmin modelleri, güne enerjisinin kullanımının artırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu modeller, güne enerjisi sistemlerinin daha verimli ve güvenilir bir e kilde tasarlanmasına ve kurulmasına yardımcı olmaktadır [53].

Güne radyasyon tahmin modellerinin bazı avantajları ş unlardır:

- Güne enerjisi sistemlerinin tasarımı, kurulumu ve i letilmesi için gerekli olan güne radyasyonu verilerini sa lar.
- Güne enerjisi sistemlerinin üretece i elektri i tahmin etmek için kullanılabilir.
- Güne enerjisi sistemlerinin performansını de erlendirmek için kullanılabilir.

Güne radyasyon tahmin modellerinin bazı dezavantajları ş unlardır:

- Güne radyasyonu, rastgele bir de i ken oldu u için, tahminler her zaman do ru olmayabilir.
- Güne radyasyon tahmin modelleri, kullanılan yakla ıma ve verilere ba lı olarak farklı performanslar gösterebilir.

Güne radyasyon tahmin modelleri, güne enerjisi sistemlerinin daha verimli ve güvenilir bir e kilde kullanılmasına yardımcı olmak için sürekli olarak geli tirilmektedir [54], [55].

4. DENİZ ÜSTÜ YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

4.1. Deniz Üstü Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi kurulumu gereği karasal (Onshore) ve açık deniz (Offshore) olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Deniz bazlı rüzgar enerjisi kurulumu 1991'de Danimarka'nın ilk deniz üstü rüzgar santraliyle başlanmıştır. İklim protokolleri ve Kyoto Antlaşması gereklilikleri nedeniyle giderek artan bir enerji talebi olmuştur [56]. Eylül 2010'da ilk deniz üstü rüzgar santrali olan Vindeby isimli santral gösterilmiştir.

Deniz üstü rüzgar santralleri, geçen son 10 yıl içinde üretim kapasitesini 10 kat artırarak hızla büyüyen bir sektör haline gelmiştir. Arazi kısıtlamalarına karşın, uzun vadede rekabetçi ek enerji gücü fırsatı vermesi, Avrupa'nın 100 GW açık deniz üstü hedeflerinin konulması ve bu potansiyeli Akdeniz'de ön görmeleri ve en önemlisi yüksek enerji çıkışlarının olması gibi fırsatlarının olması bu büyümedeki artışa katkı sağlamıştır [57].

Açık deniz rüzgar türbinleri, karadakilere göre farklı özellikleri vardır. Fiziksel olarak daha uzun kule yüksekliğine ve kanat çapına sahip olmaları nedeniyle yüksek rüzgar kapasitesine ve rüzgar enerji potansiyeline sahiptirler. Bir deniz üstü rüzgar enerji santrallerinin başarılı olmaları şu etkilere bağlıdır:

- Saha değerlendirilmesi yapılarak rüzgar hızı verileri, su derinliği ve deniz taban koşulları göz önünde bulundurulur. Rüzgar türbinlerinin ayrıntılarıyla birlikte çevresel tüm etkilerin değerlendirilmesi yapılır.
- Türbin, demirleme işlemleri ve kablolu maliyeti yapılır.
- Rüzgar türbininin bütün kurulum bileşenleri ve montaj gerçekleştirilir. Bunlar, temeller, kule, motor bölümü (nassel) ve kanat montajıdır. Ayrıca kurulum gemileri ve seçilen yöntemlere bağlı taşıyıcı ekipmanlarla devre alma işlemleri gerçekleştirilir.
- Rüzgar türbininin verimli çalışması için devreye alma süreci, bakım ve muayene faaliyetleri gerçekleştirilir.
- Çevrimiçi durum izlemeyi içerir. SCADA verilerinin toplanmasının yanı sıra rutin denetimler ve onarımlar yapılır. Özellikle sürekli bakım isteyen daha hassas parçalar olan kanatların ve dikey kutularınki yapılır.
- Bakım ve onarım sırasında mevcut rüzgar türbinlerinin güncellenmesi gerçekleştirilir ve eski türbinlerin geri dönüşüm faaliyetlerine bakılır.

Açık deniz rüzgar türbinlerinin kurulumu, standart olmayan rotor çapı, temel tipi ve saha koşulları gibi faktörlerden dolayı karmaşık teknolojilere sahiptir bu yüzden maliyetleri yüksek teknolojilerdir [58]. Ekil 4.1'de Almanya'ya ait Kuzey Denizde kurulan 900 MW kapasiteli bir açık deniz rüzgar enerji santrali gösterilmektedir.



ekil 4.1. 900 MW kapasiteli Vestas-Bakum Riffgrund açık deniz rüzgar santrali

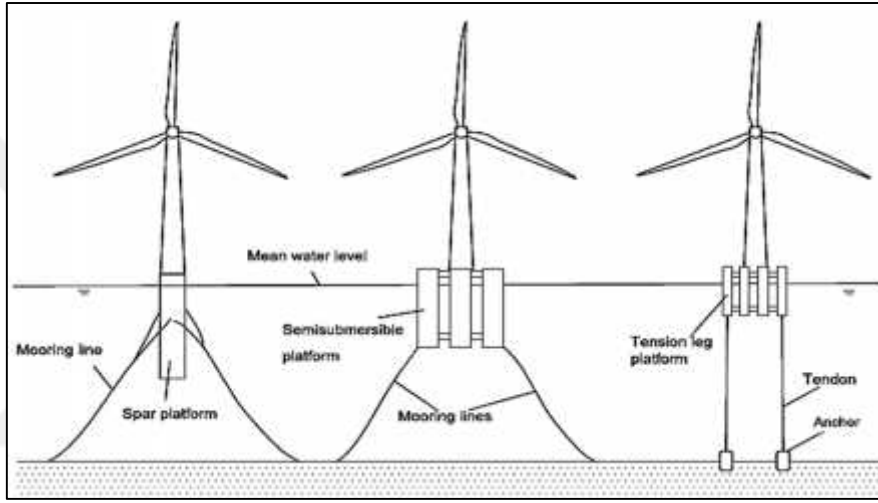
Deniz üstü rüzgar, karasal rüzgara göre genellikle daha yüksek hız ve daha fazla sürekliliğe sahiptir. Bu, deniz üstü rüzgar enerji santrallerinin daha fazla elektrik üretmesine ve daha verimli olmasına olanak tanır. Deniz üstü rüzgar enerjisi, küresel yenilenebilir enerji sektöründe hızla büyüyen bir alan haline gelmiştir. Dünya genelindeki deniz üstü rüzgar enerjisi kurulu gücü, 2023 yılında 57 gigavata ulaşmıştır. Bu rakamın 2025 yılına kadar 100 gigavata ulaşması beklenmektedir.

Türkiye'de de deniz üstü rüzgar enerjisine yönelik önemli yatırımlar yapılmaktadır. Türkiye'nin Karadeniz ve Ege bölgelerinde, deniz üstü rüzgar enerjisi için önemli potansiyel bulunmaktadır. Türkiye'nin ilk deniz üstü rüzgar santrali, 2024 yılında Sinop'ta devreye alınacaktır. Bu santral, 500 megavatlık kurulu güce sahip olacaktır.

Deniz üstü rüzgar enerjisi, Türkiye'nin enerji arzını çeşitlendirmek ve iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlamak için önemli bir fırsat sunmaktadır [59].

4.1.1. Deniz üstü rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinleri farklı kriterlere göre sınıflandırılırlar. Kriter dönme ekseninin yönüne göreyse yatay ve dikey ekinde, e er güç iletim yöntemine göre ayrılırsa; do rudan tahrikli (direct drive) ve di li kutulu anzımanları olan ekinde ayrılırlar. Aynı zamanda önemli bir ba ka kriter olan kurulum yöntemine göre olmasındır. Bunlar; alttan sabitli ve de i ken birçok deniz üstü türbin çe itleri olmasındır. Hepsinin detaylı ve öz anlatımı sırasıyla belirtilmi tir [60]. Mevcut açık deniz rüzgar enerjisi piyasasında, dipten sabitlenmi rüzgar enerjisi hakimdir. ekil 4.2’de yaygın tipte sabit çakılı açık deniz rüzgar türbinleri gösterilmi tir.



ekil 4.2. Sabit temelli açık deniz rüzgar türbinleri [61]

Aralarında yaygın olan tip çapı 3-8 m olan tek kazıklı monopile tipte türbindir. Maksimum su derinli i 20-40 m derinli e ula an bu türbinler çelik borudan yapılmaktadır. Di eri yerçekimi tabanı temeller genellikle betondan yapılırlar. Kumlu toprak ve kaya deniz tabanı ko ullarına uygun devrilme momentlerine kar ı dayanıklı türbinlerdir. Su derinlikleri 10 m’den daha az yerlerde tercih edilirler. Ceket temeller daha derin su derinliklerine kar ı kullanılan yakla ık 50-70 m derinliklerde tercih edilen türbinlerdir [62].

Yüzer tipte demirleme açık deniz türbinler bir ba ka kategori arasında daha zengin yeni teknolojilerdir. Özelle tirmi yapılarıdan olu makta olup denge, kaldırma kuvveti ve geri yükleme mekanizmaları gibi hidrostatik kuvvetlere dayanır. ekil 4.3’te yüzer platformda açık deniz rüzgar türbinleri gösterilmi tir.

lk yüzer rüzgar enerji platformu, 2009 yılında Norveç’in Bergen kenti yakınlarındaki Sør fjorden’de konu landırılan Hywind platformudur. Platform, 6MW’lık

bir rüzgar türbinini desteklemek için tasarlanmıştır, üç sütunlu bir yüzer yapıdır. Platform, dalgalara ve rüzgarlara karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır [63].



ekil 4.3. İlk yüzer rüzgar enerji santralleri

Hywind platformu, açık deniz rüzgar enerjisi teknolojisinde bir dönüm noktası olarak kabul edilir. Platformun başarısı, açık deniz rüzgar enerjisinin potansiyelini gösterdi ve yüzer rüzgar enerji platformlarının gelişimini teşvik etti.

Daha sonra, İskoçya'nın Orkney Adaları açıklarında Hywind Scotland ve Hollanda'nın Noordzee açıklarında WindFloat Atlantic gibi daha büyük ve güçlü yüzer rüzgar platformları kuruldu. Bu platformlar, açık deniz rüzgar enerjisinin daha ekonomik ve rekabetçi hale gelmesine yardımcı oldu [65].

Günümüzde, dünya çapında 50'den fazla yüzer rüzgar platformu bulunuyor. Bu platformların sayısı önümüzdeki yıllarda artmaya devam etmesi bekleniyor.

4.1.2. Dünya'da açık deniz rüzgar enerjisi

Deniz üstü rüzgar enerjisi, özellikle Avrupa ve Asya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Avrupa, dünyanın en büyük deniz üstü rüzgar enerjisi pazarıdır. 2023 yılında Avrupa'daki deniz üstü rüzgar enerjisi kurulu gücü 37 gigavattı. Asya, dünyanın ikinci büyük deniz üstü rüzgar enerjisi pazarıdır. 2023 yılında Asya'daki deniz üstü rüzgar enerjisi kurulu gücü 11 gigavattı.

Açık deniz rüzgar santralleri, büyük ölçekleri nedeniyle dünya çapında man etlere çıkıyor ve ülkeler, enerji geçi lerini hızlandırmanın yanı sıra Rusya'ya olan enerji ba ımlılı nı azaltmak için giderek daha fazla onlara yöneliyor [66].

skoçya kıyısı açıklarındaki Kincardine, Danimarka tarafından üretilen be tane 164 m rotor çapı 9 MW türbinle u anda dünyanın en büyük yüzen rüzgar çiftli idir. Baltık Denizi'ndeki sekiz AB ülkesi, ço u Danimarka ve Almanya sularında açık deniz rüzgar enerjisi üretim kapasitesini 2030 yılına kadar yedi kat artırma hedefindedir bu rakam u anda 2.8 GW olarak bilinmektedir.

ABD yüzen teknolojilerin maliyetini 2035 yılına kadar yüzde 70'ten fazla azaltarak megawatt-saat ba ına 45 dolara dü ürmeyi ve kapasiteyi 2035 yılına kadar 5 milyon eve güç sa lamaya yetecek miktarda 15 GW 'a kadar çıkarmayı hedeflemektedir. Aynı zamanda sabit tabanlı türbinlerle 2030 yılına kadar 30 GW'lık açık deniz rüzgar enerjisi hedeflemektedir [67].

Kincardine dünyanın en büyük yüzen rüzgar santrali olabilir, ancak İngiltere'nin kıyılarında Hornsea 2 dünyanın en büyük sabit tabanlı açık deniz rüzgar santralidir. ekil 4.4'te Birle ik Krallık'ta kıyı açıklarında ve yüzen rüzgar enerji santralleri gösterilmektedir.



ekil 4.4. Birle ik Krallık'ta kıyı açıklarında ve yüzen rüzgar enerji santralleri

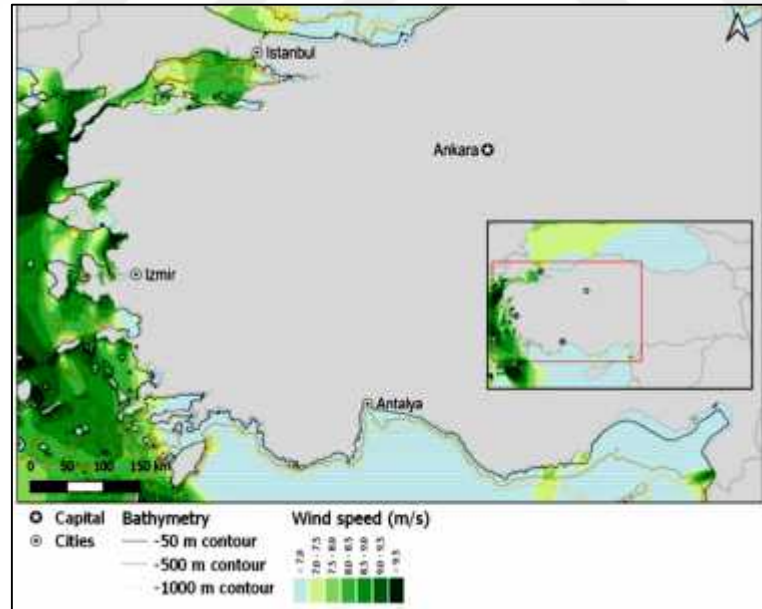
30 yıl önce ilk açık deniz rüzgar santrallerine öncülük eden Danimarka Hornsea 2'yi 165 rüzgar türbini, di er santralinin yanına yerle tirmi tir. Di er yandan Hornsea 4 'ün planlama süreci ba lamı tır.

Rüzgar çiftçili i teknolojilerinde, karaya yerle tirilen rüzgar türbinleri birinci nesil, açık denizde sabit tabanlı rüzgar santralleri ikinci nesil, yüzen rüzgar santralleri ise üçüncü nesil teknolojilerdir [68].

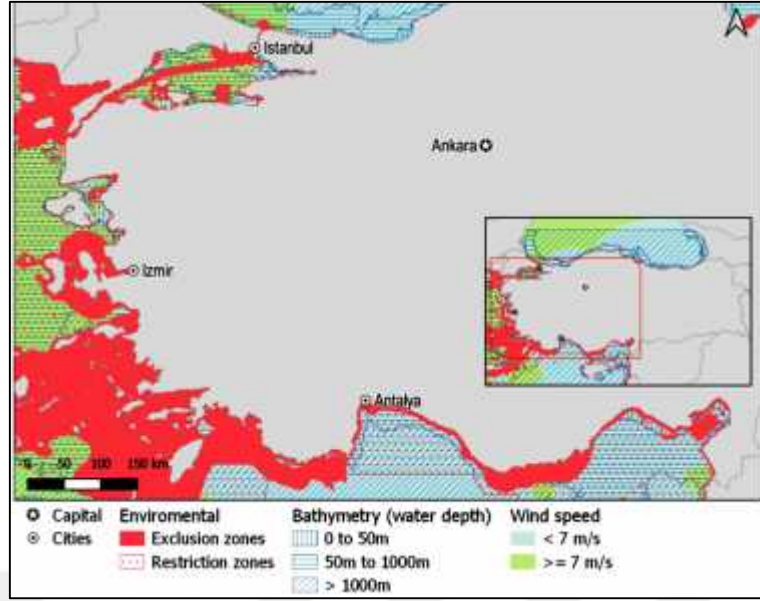
4.1.3. Türkiye’de açık deniz rüzgar enerji potansiyeli

Türkiye özel konumu ve matematik konumu nedeniyle, yüksek güç ve yo unluk kapasitesine sahiptir bu özelli i nedeniyle yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye’nin karasal rüzgar enerjisi potansiyeli 37000 MW iken deniz üstü rüzgar enerji potansiyeli 11000 MW olarak öngörülmektedir.

Rüzgar enerji santralleri için mevcut potansiyeller; rüzgar hızı, sosyal ve teknik kısıtlamalardır. Sabit açık denizde (fixed-bottom) kısıtlı alan olsa bile yüzer sistemlerde daha fazla kar ılamaktadır. ekil 4.5 ve ekil 4.6’da bu sıralanan mevcut potansiyeller açık bir ekilde belli olmaktadır [69].



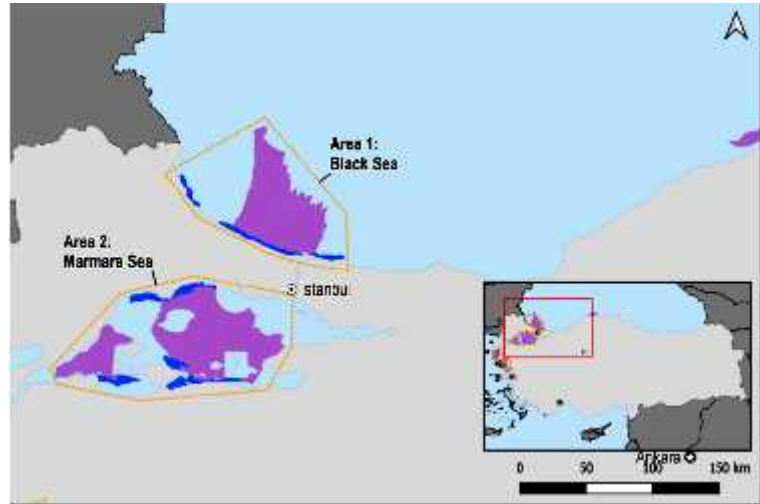
ekil 4.5. Farklı derinliklerdeki rüzgar hızı ölçüleri



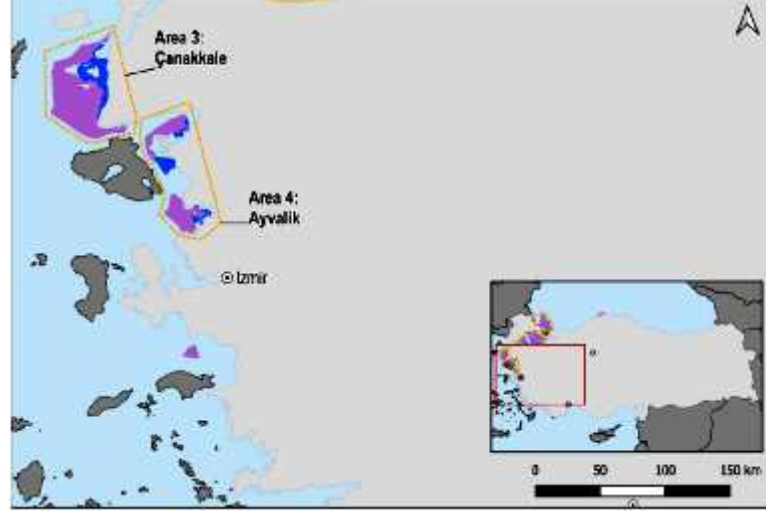
ekil 4.6. Farklı derinliklerde ve rüzgar hızlarında olabilecek kurulum türleri

ekillerde deniz kıyılarımız ba ta olmak üzere açık denizlerdeki rüzgar hızı potansiyelleri, su derinlikleri, çevresel ve sosyal alan kısıtlamaları gösterilmi tir.

ekilleri daha da özelle tirirsek, ekil 4.7 ve ekil 4.8’de Marmara ve Ege Bölgesi’nde kurulabilecek RES potansiyeli haritası gösterilmi tir.



ekil 4.7. Marmara Bölgesi 'sinde kurulum yapılabilecek yerler



ekil 4.8. Ege Bölgesi'inde kurulum yapılabilecek yerler

Mavi ile gösterilen alan sabit çakılı sistemler iken mor ile gösterilen daha geni potansiyele sahip alanlardır. Bu çalı mada da bu bölgelerde yapılması dü ünülen RES için uygun oldu u görülmektedir.

4.2. Yüzer (Floating) Güne Enerjisi

Fotovoltaik (PV) modüllerinin gelecek vaat eden uygulamalarından biri, yüksek verimlili e sahip olan ve su rezervuarlarının buharlaşmasını da azaltabilen yüzer fotovoltaik (FPV) sistemlerdir [70]. Yüksek enerji üretim potansiyeli nedeniyle, açık deniz ve yüzer formlarda su teknolojileri yenilenebilir enerji uygulamalarında hızla gelişmektedir. FPV enerji santrallerinin yapımı ve montajı ilk kez 2007'de Jopanya'daki projelerden biri olmu tur. 20 kW kapasiteli olan bu proje ara tırma amaçlı kurulmu tur [71,72]. O zamandan beri FPV güç üretim sistemleri uygulamaları ABD, talya, spanya, Fransa, Güney Kore ve Singapur gibi birçok ülkede genilemiştir. Türkiye'nin güne enerjisi üretim kapasitesindeki artışa katkı, Avrupalı meslektaşlarının varlığı panel fiyatlarındaki azaltıcı etkisi, yerel panel üretimi ve hükümette vikleri önemli paya sahiptir [73]. Türkiye FPV sistemi olarak sadece Büyükçekmece Gölünde yapılan 240 kWp kurulu güçte santral devreye almıştır. Su rezervuarları açısından zengin olan ülke FPV gelişimine sıcak bakmaktadır. PV sistemi, güneş ışınlarının getirdi i enerjiyi doğrudan elektrik üretmek için fotovoltaik etkiyi kullanır. PV panelin aşırı ısınması güç çıkışını ve verimliliğini azaltmasına sebep olur [74]. Zemin kurulumunun alternatifi olan FPV sistemler bu olumsuzluğu çözümlenir niteliktedir.

PV panellerde; akım-voltaj (I-V) e rileri hem güne radyasyonuna hem de sıcaklı a ba lıdır. Buna ek olarak paneldeki elektrik üretimi, ba ıl nem, rüzgar hızı ve havanın yo unlu una da ba lılıklar gösterir. Bu parametreler zamanla de i kenlik gösterdikleri için çıkı gücün de eri do rusal olmayan sebeplerden etkilenir [75]. Normal sabit karasal PV panellerde gerçekle en bu olumsuzluklar FPV sistemler için do rusal olmayan dalgalanmaları dengeleyici niteli ine sahiptir. Su yüzeyi, zemin üzerinden daha so uk havaya sahiptir. Yüzen güne panellerinin bu özelli i zemine kurulan panellere göre %11 daha verimli hale getirmektedir [76]. Yüzer PV panellerinin birçok faydası oldu u bahsedilmi tir, bunlardan en önemlisi ve enerji çıktısının de i imine en etkisi olan faydaları, suyun so utma etkisine ba lı sıcaklı ın dengelenmesi ve buharla ma yükünün azaltılmasına olanak sa lamasıdır [77]. Birçok FPV teknolojisi geli tirilmi bazıları iyi yapılanmı bazıları ise pilot a masındadır. ekil 2’de okyanus güne enerjisi olarak da adlandırılan sistemin katmanları belirtilmi tir oldukça üstün özellikte geli tirilen ince esnek membranı ile sorunsuz hareket eden FPV sistemi su kütlesi üzerine yerle tirilen panel modülünün yapısı ekil 4.9’da gösterilmektedir.

Tasarım, kıyıya yakın su ürünleri çiftlikleri ve yarı korunaklı sular için kullanılabilir. FPV teknolojilerinin e itlili i nedeniyle, so utma etkisinin genel bir de erlendirilmesi zordur. Ancak teknolojilerin o u arasındaki benzerlikler bunların sınıflandırılmasına izin verir. FPV’nin su yüzeyinin kaplama miktarına göre ve havanın so utma kapasitesi, modüllerin arkasını so utmak için e itli FPV teknolojileri, küçük, orta ve büyük su ayakizi olarak kategorize etmesine öncülük eder.



ekil 4.9. Modüller yapının ve PV modüllerinin dalgalarla sorunsuz hareket etmesini sa layan ince ve esnek takviyeli membran üzerine kaynaklanmı çift profil üzerine kurulu FPV [78].

Yüzen güne enerji sistemleri, dünya çapında giderek daha popüler hale gelmektedir. Bu sistemler, güne enerjisinden daha fazla yararlanmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını geli tirmek için önemli bir potansiyele sahiptir.

Türkiye'de de yüzer güne enerji sistemlerine yönelik yatırımlar artmaktadır. Türkiye'nin ilk yüzer güne enerji santrali, 2022 yılında Büyükçekmece Gölü'nde kurulmu tur. Bu santral, 45 megavat kurulu güce sahiptir.

Türkiye'de yüzer güne enerji sistemleri için uygun birçok su kayna ı bulunmaktadır. Bu kaynaklar arasında barajlar, göller ve göletler yer almaktadır. Yüzer güne enerji sistemleri, bu su kaynaklarının verimli bir ekilde kullanılmasını sa layarak, Türkiye'nin enerji ihtiyacının kar ılanmasında önemli bir rol oynayabilir [78].

5. MATERYAL VE METOTLAR

Çalı mamızda geni literatür ara tirmaları sonucu deniz üstü rüzgar ve güne enerji sistemlerinde, enerji hesaplamalarında kullanılmak üzere tahmin modelleri kullanılmı tır. Geli tirilen bu tahmin modelleri hem güne hem de rüzgar enerjisi sistemleri için ayrı ayrı formüller kullanılmı tır.

Rüzgar enerjisi tarih boyunca insanların ya amlarına katkı sa layacak bir güç kayna ı olarak kullanılmı tır. Günümüzde elektrik enerjisi üretmek için rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgarın gücünü kısaca anlatılmak istenilirse; güç Betz yakla ımına göre, havanın yo unlu ρ , rüzgar türbinin kesit alanı ve rüzgar hızının küpüne ba lı orantılıdır. Havanın yo unlu ρ dünya genelinde homojen kabul edildi i göz önünde bulunduruldu unda, rüzgar enerjisi üretiminde yüksek rüzgar alan bölgeler ile daha fazla enerji eldesi konusu hala geli mektedir [79].

Betz limiti, rüzgar türbinleri ile ilgili 1926 yılında ortaya atılan bir teoremdir. Teoremden rotor, havaya kar ı sürüklenme direnci göstermeyen sonsuz sayıda kanada sahip olarak kabul edilmektedir [80,81]. Denklem 5.1'de maksimum rüzgar gücü verilmi tir.

$$P_m = \frac{8}{27} \rho v^3 \quad (5.1)$$

Rüzgarın esme yönüne dik ya da rüzgarın önünde yer alan herhangi bir A alanına birim zaman içerisinde ta ınan enerjiyi P , rotor gücünün en üst seviyedeki gücü P_{max} , temsil etmektedir. Denklem 5.2'de güç faktörü verilmi tir. Güç faktörü c_p olarak gösterilir denklemden sayısal analizi yapılmı tır;

$$c_p = \frac{P_m}{P} = \frac{1}{2} = \%59.3 \quad (5.2)$$

Elde edilen oran Betz limitidir. Kurumsal olarak ideal artlarda güç katsayısı $c_p = 0.593$ olarak kabul edilir.

5.1. Rüzgar Gücü ve Enerjisi

Rüzgar enerjisi elde etmek için bazı temel denklemler kullanılır. Bunlar hareket halindeki havanın kinetik enerjisi ve temel yo unluk formülüdür. Rüzgar enerjisinin güç formülü Denklem 5.3'te verilmi tir [82].

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \quad (5.3)$$

Burada; ρ havanın yoğunluğu, r rüzgar kanadının süpürdüğü çemberin yarıçapını, v rüzgar hızını vermektedir. Enerjini formülü, t zamanda enerji üretimi Denklem 5.4'te açıklanmıştır.

$$E = p \cdot t \quad (5.4)$$

Burada; p rüzgar gücünü, t belli bir zaman aralığını gösterir.

5.1.1. Rüzgar veri analizinde dağılım fonksiyonları

Belli bir bölgedeki rüzgar potansiyelini belirlemek için olasılık yoğunluk fonksiyonlarından faydalanılır [83]. Rüzgar hızı (v), belirli bir parametre olduğu için bazı dağılım fonksiyonlarındaki artıları sağlaması gerekmektedir. Kümülatif dağılım Denklem 5.5'te açıklanır ve bu bize Denklem 5.6'daki kümülatif dağılım fonksiyonunu çıkarır.

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1, f(v) > 0 \quad (5.5)$$

Kümülatif dağılım fonksiyonu;

$$F(v > v^*) = 1 - \int_0^{v^*} f(v) dv = \int_{v^*}^{\infty} f(v) dv \quad (5.6)$$

$$F(v_1 < v < v_2) = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv \quad (5.7)$$

Rüzgar verilerinin yorumlanmasında en çok tercih edilen analiz dağılım fonksiyonları; Weibull ve Rayleigh rüzgar dağılım fonksiyonlarıdır. Weibull dağılımı iki parametreye, Rayleigh dağılımı bir parametreye sahiptir. Bu yüzden en çok tercih edilen rüzgar dağılımı Weibull dağılım fonksiyonudur.

Weibull dağılımı rüzgar hızında yaygın olarak kullanılmaktadır. Rüzgar hızı, bir bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için önemli bir faktördür. Weibull dağılımı, rüzgar hızının olasılık dağılımını modellemek için kullanılabilir ve bu da rüzgar enerjisi üretiminin tahmin edilmesini sağlar.

Weibull dağılımının rüzgar hızında kullanılmasının birkaç nedeni vardır:

- Rüzgar hızı, genellikle sa a çarpık bir dağılıma sahiptir. Weibull dağılımı, sa a çarpık dağılımlara iyi bir şekilde uyum sağlar.
- Rüzgar hızı, genellikle bir ölçek parametresi ile modellenenir. Weibull dağılımı, bir ölçek parametresi ile modellenenir.
- Weibull dağılımı, pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, rüzgar hızını modellemek için Weibull dağılımının kullanıldığı birçok veri ve uygulama mevcuttur.

Weibull dağılımının rüzgar hızında kullanılmasının bazı örnekleri şunlardır:

- Rüzgar türbinlerinin performansını tahmin etmek
- Rüzgar enerjisi santrallerinin kurulum yerlerini belirlemek
- Rüzgar enerjisi üretim tahminleri yapmak

Weibull dağılımı, rüzgar hızı için güçlü bir olasılık dağılımıdır ve rüzgar enerjisi potansiyelini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

5.1.1.1. Weibull dağılımı

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu, rüzgar karakterizasyonu için yaygın kullanılan bir fonksiyon türüdür. Ayrıca tek tepeli olmayan rüzgar verileri için iki bileşenli karma olan bir dağılımda da kullanılmaktadır. Yalnız bu fonksiyonlarda, bölgesel rüzgar karakterizasyonu için Weibull olasılık dağılımını uygulamadaki zorluk, ekil (k) ve ölçek (c), parametrelerinin olabildiğince en küçük hatayla tahmin edilmesidir. k parametrelili bir dağılım olan Weibull'un dağılım fonksiyonu Denklem 5.8'deki gibi ifade edilir.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (5.8)$$

Bu denklemde v [m/s] rüzgâr hızı, c [m/s] Weibull ölçek parametresi ve k Weibull ekil parametresidir.

5.1.1.2. Rayleigh da ılımı

Belirli bir süre boyunca ortalama rüzgâr hızının ve rüzgâr gücünün tahmininde birçok yöntem kullanıldı ndan bahsedilmi ti. Bunlardan geleneksel istatistiksel yöntemler en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemler arasında da sıklıkla kullanılan yöntemler Weibull, Rayleigh da ılım fonksiyonlarıdır. Bunlardan Rayleigh modeli Weibull modelinin basitle tirilmi bir halidir. Tek parametrelidir. Tek parametrelidir. Rayleigh da ılımı Weibull da ılımına göre daha çok gerçekli e uzaktır fakat parametrelerin hesabı daha kolaydır [84].

5.1.2. De i ken hesabında kullanılan matematiksel yöntemler

5.1.2.1. Moment yöntemi

Moment yöntemi, Weibull da ılımının ekil ve ölçek parametreleriyle, ortalama rüzgar hızıyla ve standart sapma kullanılarak hesaplanan bir yöntemdir. Moment ve Grafik yöntemleri çok az hesaplama gerektirdi i için basit bir yöntemle daha çok tercih edilen metotlardır. Denklem 5.9'da Gamma fonksiyonu, Denklem 5.10'da ortalama hız ve Denklem 5.11'de standart sapma e itlikleri hesaplanmaktadır.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (5.9)$$

$$v_o = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (5.10)$$

$$\sigma = c \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.11)$$

5.1.2.2. Grafik yöntemi

Weibull da ılımında bir di er en çok tercih edilen yöntem grafik yöntemidir. Bu yöntemin temeli, parametreleri bulmak için, birikimli da ılım frekanslarının logaritmik dönüşümle do rusalla tırılmasına dayanır [85]. Yöntemlerle birikimli olarak adlandırılan weibull da ılımına iki kez logaritmanın uygulaması gerekir bu eklede do rusal regresyon

modeli elde edilir. Denklem 5.12 ve 5.13'te parametreler tahmin edilir. Bu çalışmada grafik yöntemiyle hesaplamalar yapılmıştır.

$$h \{-h [1 - F(v)]\} = k(v) - k(c) \quad (5.12)$$

$$y = a + b; k = a, c = e^{-b/a} \quad (5.13)$$

5.2. Güne Radyasyonu ve Tahmin Modelleri

Güne ten gelen enerji, atmosfer, okyanus, iklim ve karasal biyosfer dinamiklerinin temel yapı taşıdır. Güne enerjisi Dünya'nın yüzeyine ulaşır ve yüzeyin soğurma özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle ısıya dönüştürülür. Doğrudan ve dağınık bileşenlerin toplamı olan yeryüzüne ulaşan radyasyona küresel radyasyon denir ve birim alan başına güç boyutlarıyla ölçülür.

Güne radyasyon tahmin modellerinin performansı, modelin kullanılan yaklaşıma, kullanılan verilere ve tahminin yapıldığı bölgeye bağlı olarak değişir. Genel olarak, ampirik modeller, kısa vadeli tahminler için daha iyi performans gösterirken, deterministik ve stokastik modeller, uzun vadeli tahminler için daha iyi performans gösterir.

5.2.1. Augström-precott modeli

Küresel radyasyonun belirlenmesine yönelik ilk modeller, güne parlaklığına dayalıydı, aralarında literatürdeki en önemli model Augström-Precott modelidir. Bu model, farklı yerlerde farklı çeşitlerde kullanılmış ve farklı formüller oluşturulmuştur. Bu formüller iyileştirilip farklı sayısal değerlerle farklı yazarlarla yeniden oluşturulmuştur. Bunlardan en önemli olanı Augström-Precott modeli, farklı türevleriyle karımıza çıkar.

Bu model aşağıda verilen Denklem 5.14 ile ifade edilir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (5.14)$$

Burada, H aylık ortalama günlük güne radyasyonu, H₀ aylık ortalama günlük dünya dışı güne radyasyonu, S gün uzunluğu, S₀ maksimum günelenme süresini, a ve b katsayıları göstermektedir.

Model, güneş ışığının atmosferden geçerken nasıl da ısıldığını ve soğutulduğunu hesaplamak için kullanılır. Bu bilgiler, güneş radyasyonunun bir bölgeye ne kadar ulaşacağını tahmin etmek için kullanılabilir.

Augström-Prescott modeli, güneş radyasyonunun günlük, aylık ve yıllık varyasyonlarını tahmin etmek için kullanılabilir. Model, güneş aktivitesi, bulut örtüsü ve atmosferik kirlilik gibi faktörleri dikkate alır.

Augström-Prescott modeli, güneş radyasyonunu tahmin etmek için kullanılan en yaygın modellerden biridir. Model, basit ve kullanımı kolaydır ve iyi bir doğruluk sağlar.

Augström-Prescott modelinin güneş radyasyon tahmini için kullanıldığı bazı uygulamalar şunlardır:

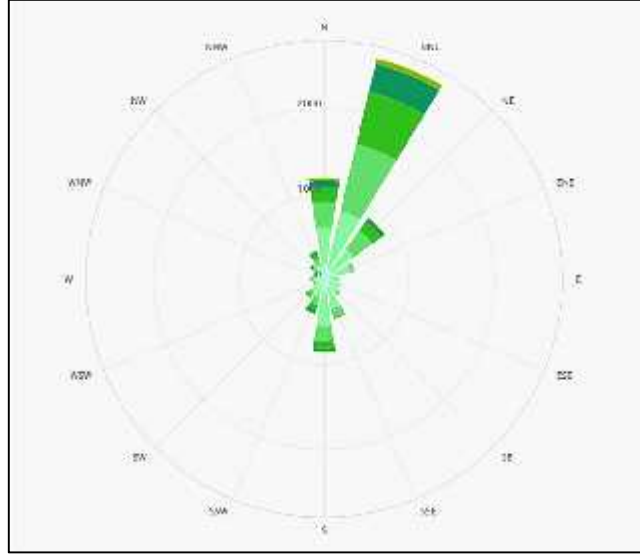
- Güneş enerjisi sistemleri için projeksiyonlar yapmak
- İklim değişikliğinin güneş radyasyonunu nasıl etkileyeceğini tahmin etmek
- Uzaydan gelen radyasyonu ölçmek

Augström-Prescott modeli, güneş radyasyonunu tahmin etmek için önemli bir araçtır. Model, güneş enerjisi sistemleri, iklim değişikliği ve uzay araştırmaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

5.3. Yer Seçimi

5.3.1. Bandırma

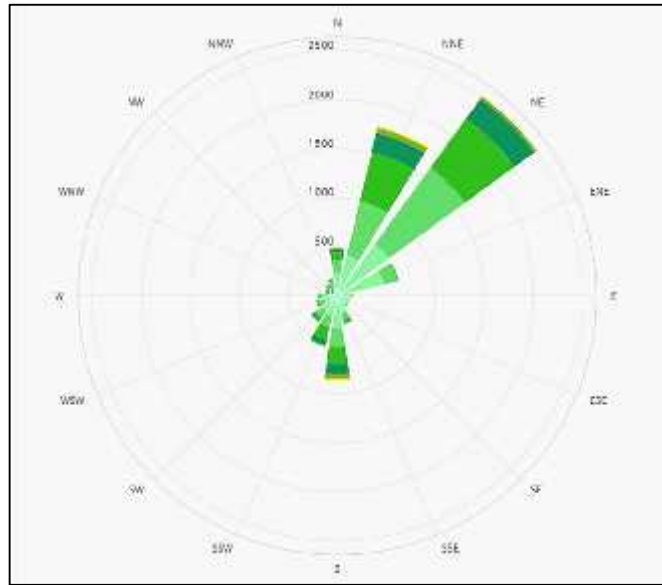
Bandırma, Marmara Bölgesi'sinin güneyinde yer alan 66.5 km² bir alana sahip bir bölgedir. Su derinliği hemen hemen 15 m- 35 m arasında değişkenlik gösterir. Türbinlerin kıyıya erişimine olan mesafesi 1.5 - 3.5 km arasındadır. Elimizdeki raporlara ve verilere göre ortalama rüzgar hızı 7.8 m/s hız olarak belirtilmiştir. Ekil 5.1'de Bandırma Bölgesi'ne ait rüzgar gülü verilmiştir.



ekil 5.1. Bandırma bölgesine ait rüzgar gülü.

5.3.2. Bozcaada

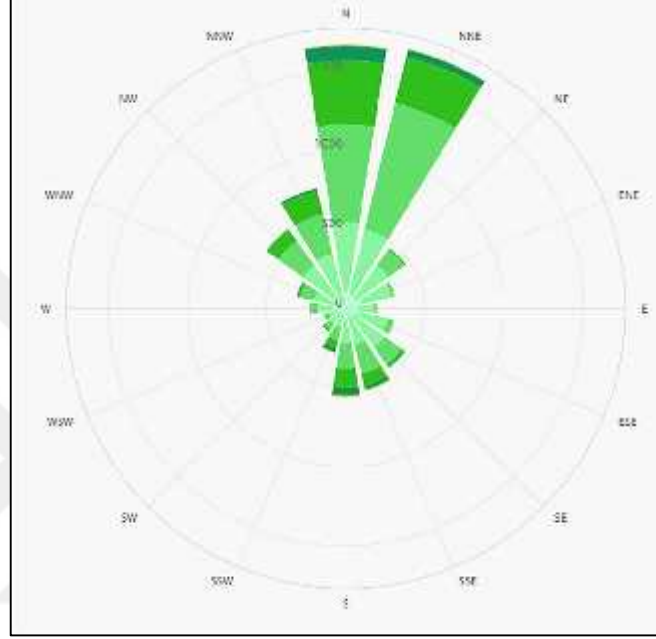
Bozcaada, Çanakkale merkezinde Türkiye'nin en batı uçlarında Ege Denizi'nde yer alan ve 50.2 km² alana sahip bir bölgedir. Su derinliği hemen hemen 5m ila 26m arasında değişkenlik göstermektedir. Rüzgar türbinlerinin yerleştirilmesi planlanan bölgenin ortalama rüzgar hızı WindPro ve çeşitli veri analizleriyle 9.5 m/s olarak saptanmıştır. ekil 5.2'de Bozcaada Bölgesi'ne ait rüzgar gülü verilmiştir.



ekil 5.2. Bozcaada bölgesine ait rüzgar gülü

5.3.3. Uzunada

Türkiye'nin zmir'e ba lı ve zmir Körfezi'nin orta kısmında yer alan bir adadır. Ortalama rüzgar 7.5 m/s olarak saptanmı tır. ekil 5.3'de Uzunada Bölgesi'ne ait rüzgar gülü verilmi tir.



ekil 5.3. Uzunada bölgesine ait rüzgar gülü.

Weibull dağılım fonksiyonlarıyla moment ve grafik metotları yardımıyla bu rüzgar hızı değerlerinin ne kadar yaklaşık değerlere karşılık geleceğini hesaplayıp tartışılacaktır.

6. BULGULAR

6.1. Rüzgar Hızları Tahmin Değerleri

6.1.1. Bandırma bölgesi weibull dağılımı

Bu çalışmada; Bandırma, Bozcaada ve Uzunada olmak üzere; Türkiye'ye denizsel olarak yakınlık gösteren yerlerde deniz üstü (offshore) rüzgar ve güneş enerjisi sistemleri üzerinde tahmin değerlerini ele almıştır. İlk olarak ele alınan rüzgar enerjisi potansiyeli için hesaplamalar yapılmıştır.

Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'de rüzgar hızı potansiyeli en yoğun üç farklı bölgede rüzgar hızı tahmini değerleri simülasyon sonuçlarını görmek adına Weibull dağılımı yapılarak ölçülmüştür.

Meteoblue programından hava ölçüm tahminlerinin yapıldığı geçmiş yıllara ait rüzgar hızı ölçüm değerleri alınmıştır. Her bir bölgenin; rüzgar hızı, saniyede esme sayısı ve rüzgar hızı esme yoğunlukları hesaplanmıştır.

Tablo 6.1'de birinci sütunda belirli rüzgar hız aralıkları verilmiştir. İkinci sütunda ortalama rüzgar hızları alınmıştır, üçüncü sütunda belirli aralıklardaki rüzgar hızlarının esme sayıları, dördüncü sütunda esme frekansları hesaplanıp gösterilmiştir ve son sütunda esme yoğunlukları hesaplanmıştır.

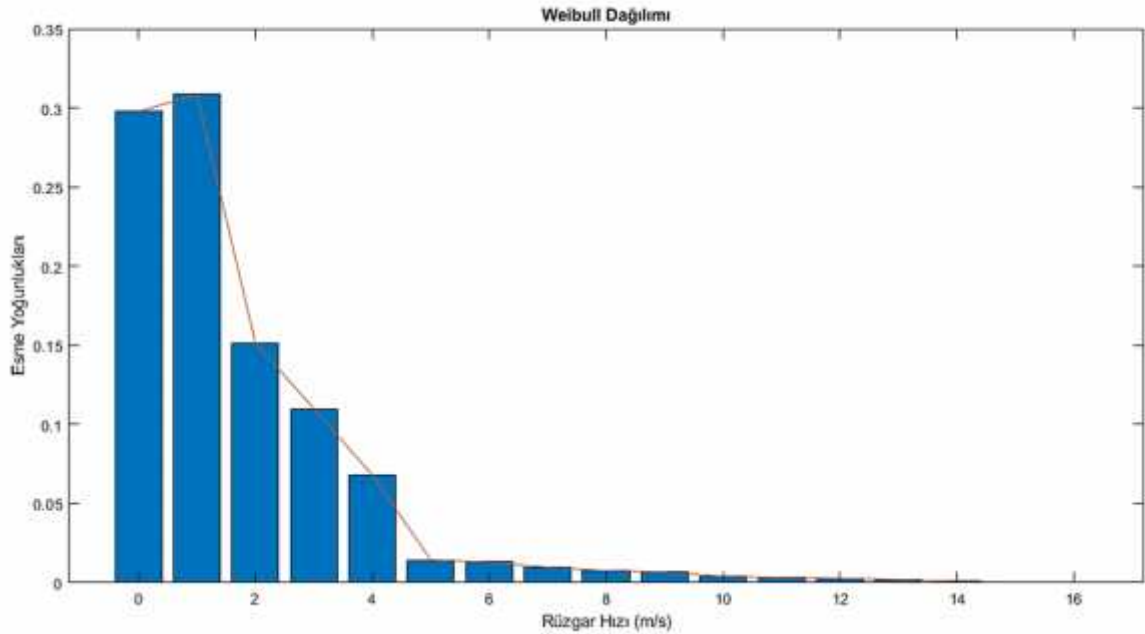
Tablo 6.1. Bandırma Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve yoğunluk düzeni-Weibull dağılımı

Hız (m/s)	Ort.Hız (m/s)	Esme Sayısı (n)	Esme Frekansı (f)	Esme Yoğunluğu (F)
0-1	0.5	2322	0.297768	0.297768
1-2	1.5	2405	0.308412	0.606180
2-3	2.5	1182	0.151577	0.757757
3-4	3.5	857	0.109899	0.867656
4-5	4.5	531	0.068094	0.935750
5-6	5.5	112	0.014362	0.950112
6-7	6.5	101	0.012952	0.963064
7-8	7.5	76	0.009746	0.972810
8-9	8.5	58	0.007437	0.980247
9-10	9.5	53	0.006796	0.987043
10-11	10.5	30	0.003847	0.990890
11-12	11.5	25	0.003205	0.994095
12-13	12.5	21	0.002692	0.996787
13-14	13.5	15	0.001923	0.998710
14-15	14.5	6	0.000769	0.999479
15-16	15.5	3	0.000384	0.999863
16-17	16.5	1	0.000282	1

iki parametrelili weibull dağılımı, Bandırma Bölgesi için saatlik rüzgar hızı ve beraberinde esme sayısı ve rüzgar hızı esme yoğunluğu hesaplanmıştır ve gösterilmiştir. Grafik ve moment metodlarında ekil ve ölçek parametrelerinin hesaplanması için elde edilecek bu tablodaki veriler her bir bölge için tek tek hesaplanmıştır.

En fazla esme sayısı ve buna bağlı esme rüzgar yoğunluğu, 0-17 m/s aralığında rüzgar hızlarıdır.

Şekil 6.1’de Bandırma Bölgesine ait matlab-simulink programında yapılan Weibull Dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Bandırma Bölgesi’ne ait weibull dağılımı (Matlab-Simulink)

Tablo 6.2’de iki parametrelili weibull dağılımının denklemine göre bulunan ekil ve ölçek parametrelerinin bulunması için hesaplanan x ve y noktaları bulunmaktadır.

Tablo 6.2. Bandırma Bölgesine ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni

Ort.rüzgar hızı (m/s)	$x=\ln(v)$	$Y=\ln[-\ln[1-p(v)]]$
0.5	-0.69315	-1.039895
1.5	0.405465	-0.070571
2.5	0.916291	0.349116
3.5	1.252763	0.704260
4.5	1.504077	1.009771
5.5	1.704748	1.097936
6.5	1.871802	1.193488
7.5	2.014903	1.282295
8.5	2.140066	1.367226

Tablo 6.2. (Devam) Bandırma Bölgesine ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni

Ort.rüzgar hızı (m/s)	$x=\ln(v)$	$Y=\ln[-\ln[1-p(v)]]$
9.5	2.251292	1.469283
10.5	2.351375	1.547218
11.5	2.442347	1.635486
12.5	2.525728	1.747555
13.5	2.602689	1.895084
14.5	2.674148	2.022839
15.5	2.740840	2.185548
16.5	2.803360	-

Weibull dağılımı fonksiyonundan daha önce rüzgar hızı kümülatif denkleminin integrali alınarak elde edilen, grafik metodu için istenilen lineer denklem bulunur. Denklemden elde edilen x ve y noktalarıyla en uygun eğilim ve ölçek parametreleri elde edilir.

Burada ; $x=\ln(v)$, $y=\ln[-\ln[1-p(v)]]$, $A=k$ ve $B=-k\ln(c)$ kabul edilirse $y=Ax+B$ şeklinde lineer bir denklem bulunur. Ayrıca, $B=-k\ln(c)$ 'den $c=\exp(-B/A)$ ifadesi elde edilir.

Elde edilen bu lineer denklemden, uygun eğilim (k) ve ölçek (c) parametrelerinin bulunması için öncelikle eğilim hesaplanır. Eğilim Denklem 6.1 ve 6.2 gibi yazılır ve aşağıda gösterilir ;

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (6.1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (6.2)$$

Bandırma bölgesi için uygun noktalar seçildikten sonra eğilim Denklem 6.3 ve Denklem 6.4'te yerine yazılmıştır eğilim "1.0065" olarak bulunmuştur.

$$m = \frac{2.1 - 0.3}{2.7 - 0.9} \quad (6.3)$$

$$y = 1.0065x - 0.573149 \quad (6.4)$$

Denklem 6.5'teki de aynı zamanda weibull dağılım fonksiyonundaki eğilim parametresini vermektedir. Denklem 6.6 ise ölçek parametresi de verir.

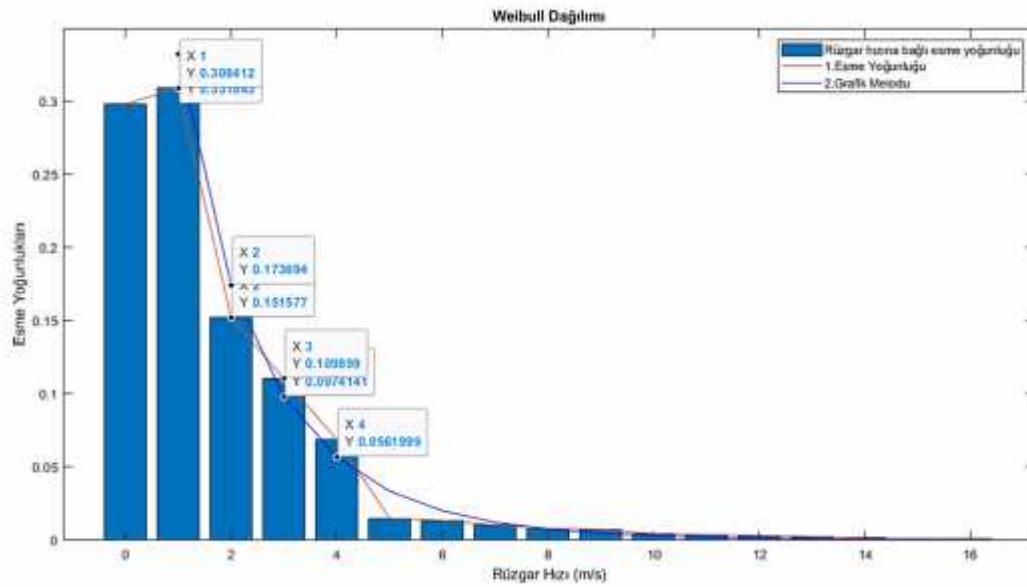
$$k_1 = 1.0065 \quad (6.5)$$

$$C_1 = e^{\left(\frac{B}{\lambda}\right)} \quad (6.6)$$

$$C_1 = 1.76 \quad (6.7)$$

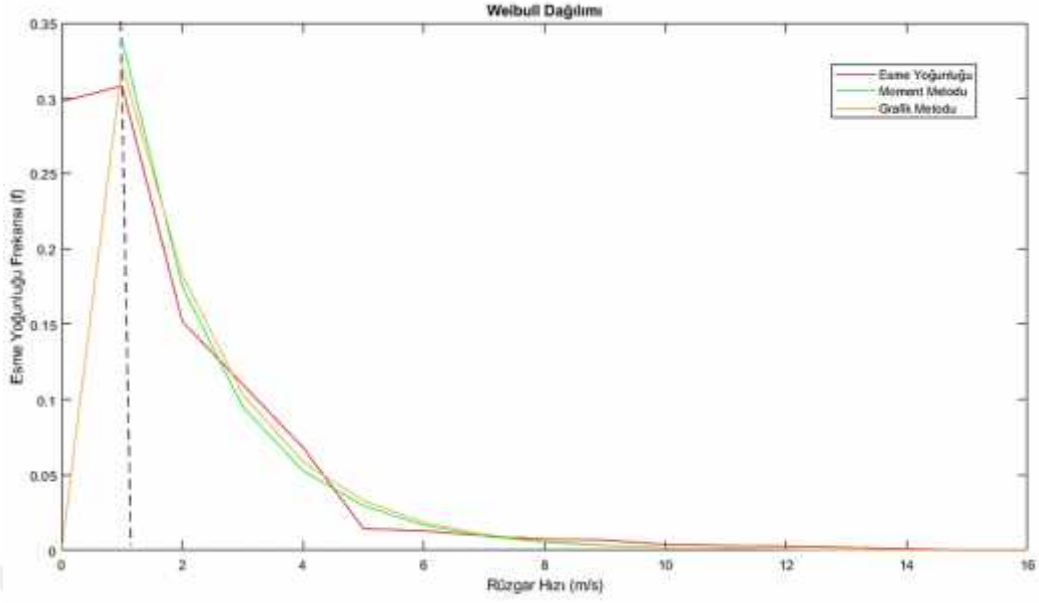
Bandırma bölgesi için bulunan ekil (k) ve ölçek(c) parametreleri y denkleminde bulunur. Daha sonra weibull dağılım fonksiyonuna dahil edilerek yeni bir dağılım grafiği oluşturulur.

ekil 6.2’de Weibull dağılımına ait ekil ve ölçek parametrelerinin belirlenmesiyle rüzgar hızı tahmini yaklaşımına yakın sonuçlar vererek tahmini değerlere yaklaşımını sağlayan yöntemlerden biri olan grafik metodu uygulanmıştır.



ekil 6.2. Bandırma Bölgesi'ne ait weibull dağılımının grafik metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)

ekil 6.3'te yine Weibull Dağılımına ait ekil ve ölçek parametrelerin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının standart sapmalarıyla bulunan moment metodu yardımıyla hesaplanmış dağılım gösterilmiştir.



ekil 6.3. Bandırma Bölgesi'ne ait weibull dağılımının moment metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)

6.1.2. Bandırma bölgesi rayleigh dağılımı

Tablo 6.2'de esme yoğunluklarına bağlı bölgenin ortalama hızları hesaplanmıştır. Daha sonra Rayleigh dağılım fonksiyonu uygulanmıştır. Ortalama hız (v_m), Bandırma için, 2.2 m/s hız olarak bulunmuştur.

Bandırma Bölgesi için ortalama hız, esme sayılarının ortalama hızlarla çarpıp toplamı alınır ve toplam esme sayılarına bölünerek bulunmuştur.

Tablo 6.2. Bandırma Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve yoğunluk düzeni-Rayleigh dağılımı

Hız (m/s)	Ort.Hız (m/s)	Esmeye Sayısı (n)	Esmeye Yoğunluğu (F_R)
0-1	0.5	2322	0.039756
1-2	1.5	2405	0.305881
2-3	2.5	1182	0.637308
3-4	3.5	857	0.863008
4-5	4.5	531	0.962597
5-6	5.5	112	0.992618
6-7	6.5	101	0.998946
7-8	7.5	76	0.999891
8-9	8.5	58	0.999991
9-10	9.5	53	0.999999
10-11	10.5	30	0.999999
11-12	11.5	25	0.999999
12-13	12.5	21	0.999999
13-14	13.5	15	0.999999
14-15	14.5	6	0.999999
15-16	15.5	3	0.999999
16-17	16.5	1	0.999999

6.1.3. Bozcaada bölgesi weibull dağılımı

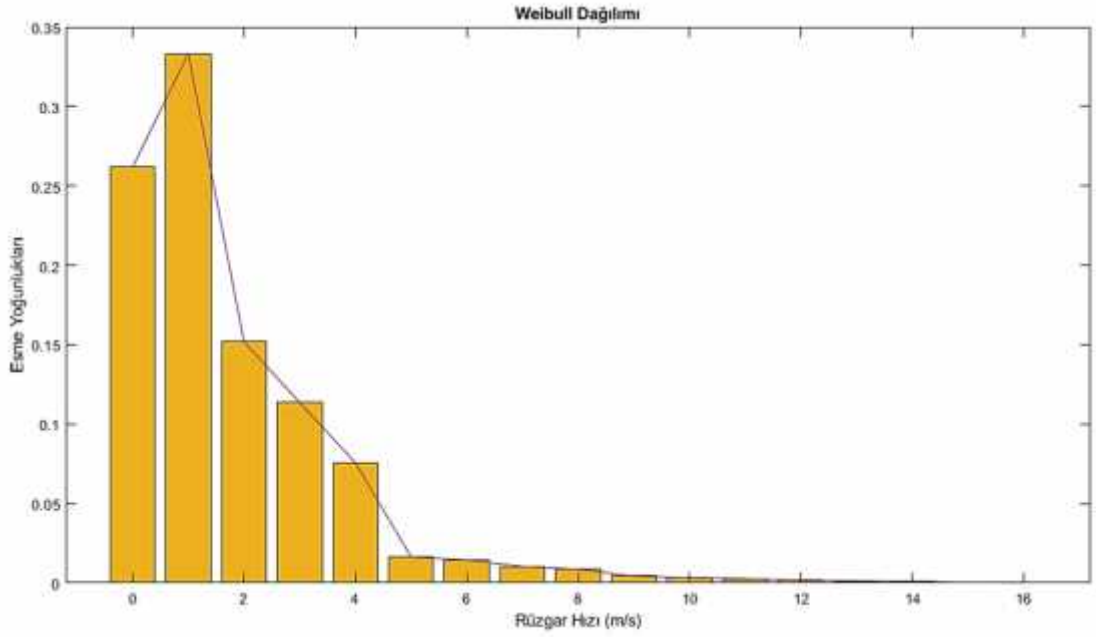
Tablo 6.3'te Bozcaada Bölgesi'ne ait farklı aralıklardaki rüzgar hızı ve esme sayıları verilmiştir. Daha sonra esme sıklığına bağlı rüzgar hızı esme yoğunlukları hesaplanmıştır.

Tablo 6.3. Bozcaada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve yoğunluk düzeni

Hız (m/s)	Ort.Hız (m/s)	Esme Sayısı (n)	Esme Frekansı (f)	Esme Yo unlu u (F)
0-1	0.5	1729	0.261731	0.261731
1-2	1.5	2201	0.333181	0.594912
2-3	2.5	1003	0.151831	0.746743
3-4	3.5	750	0.113533	0.860276
4-5	4.5	500	0.075688	0.935964
5-6	5.5	108	0.016348	0.952312
6-7	6.5	95	0.014380	0.966692
7-8	7.5	68	0.010293	0.976985
8-9	8.5	57	0.008628	0.985613
9-10	9.5	28	0.004238	0.989851
10-11	10.5	20	0.003027	0.992878
11-12	11.5	18	0.002724	0.995602
12-13	12.5	10	0.001513	0.997115
13-14	13.5	9	0.001362	0.998477
14-15	14.5	7	0.001059	0.999536
15-16	15.5	2	0.000302	0.999838
16-17	16.5	1	0.000151	1

ki parametrelili weibull dağılımı, Bandırma Bölgesi için saatlik rüzgar hızı ve beraberinde esme sayısı ve rüzgar hızı esme yoğunluğu hesaplanmıştır ve gösterilmiştir. lerde hesaplanacak grafik ve moment metodlarında ekil ve ölçek parametrelerinin hesaplanması için i e yarayacak bu tablodaki veriler her bir bölge için tek tek hesaplanmıştır. En fazla esme sayısı ve buna bağlı esme rüzgar yoğunluğu, 0-17 m/s aralığında rüzgar hızlarıdır.

ekil 6.4'te Bozcaada Bölgesi'ne ait matlab-simülink programında yapılan weibull dağılımı gösterilmektedir.



ekil 6.4. Bozcaada Bölgesi'ne ait weibull dağılımı (Matlab-Simulink)

Tablo 6.4'de iki parametrelili weibull dağılımının denkleminde bulunan ekil ve ölçek parametrelerinin bulunması için hesaplanan x ve y noktaları bulunmuştur.

Tablo 6.4. Bozcaada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni

Ort.rüzgar hızı (m/s)	$x=\ln(v)$	$Y=\ln[-\ln[1-p(v)]]$
0.5	-0.69315	-1.192548
1.5	0.405465	-0.101312
2.5	0.916291	0.317253
3.5	1.252763	0.677061
4.5	1.504077	1.010986
5.5	1.704748	1.112868
6.5	1.871802	1.224351
7.5	2.014903	1.327501
8.5	2.140066	1.444900
9.5	2.251292	1.523962
10.5	2.351375	1.598289
11.5	2.442347	1.691313
12.5	2.525728	1.766139
13.5	2.602689	1.869811
14.5	2.674148	2.038049
15.5	2.740840	2.166526
16.5	2.803360	-

Weibull dağılımı fonksiyonundan daha önce rüzgar hızı kümülatif denkleminin integrali alınarak elde edilen, grafik metodu için istenilen lineer denklem bulunmuştur. Denklemden elde edilen x ve y noktalarıyla en uygun eğilim ve ölçek parametreleri elde edilmiştir.

Bozcaada bölgesi için uygun noktalar seçildikten sonra eğilim “1.0191” olarak bulunmuştur.

$$m = \frac{2.0 - 0.3}{2.6 - 0.9} \quad (6.8)$$

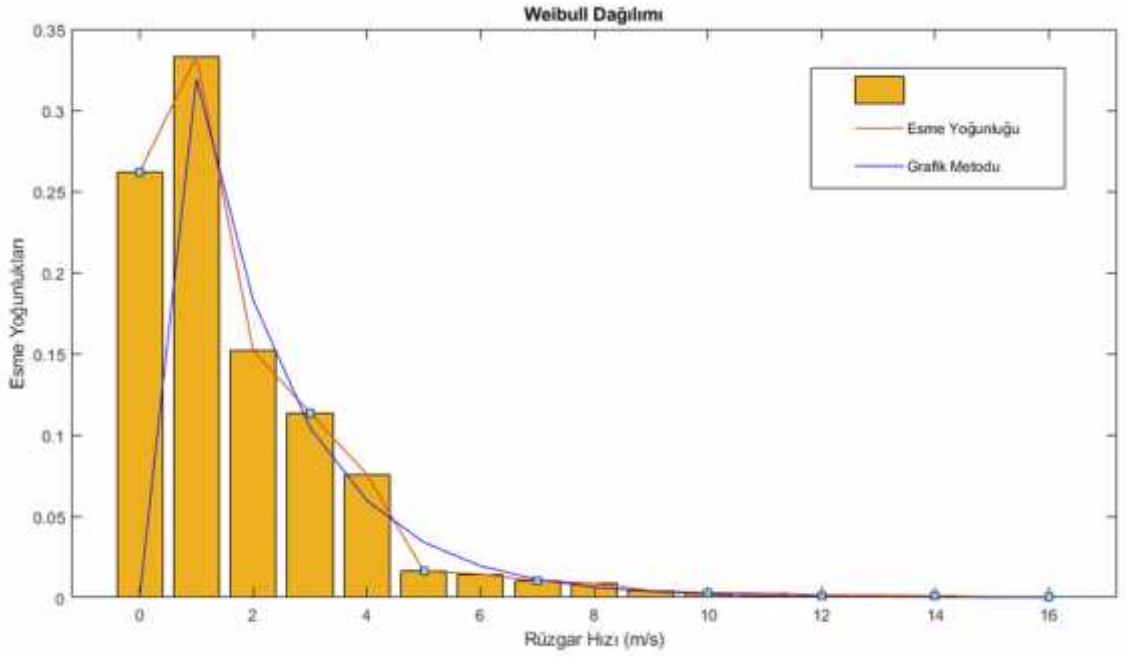
$$y = 1.0191x - 0.616437 \quad (6.9)$$

$$k_2 = 1.0191 \quad (6.10)$$

$$C_2 = 1.83 \quad (6.11)$$

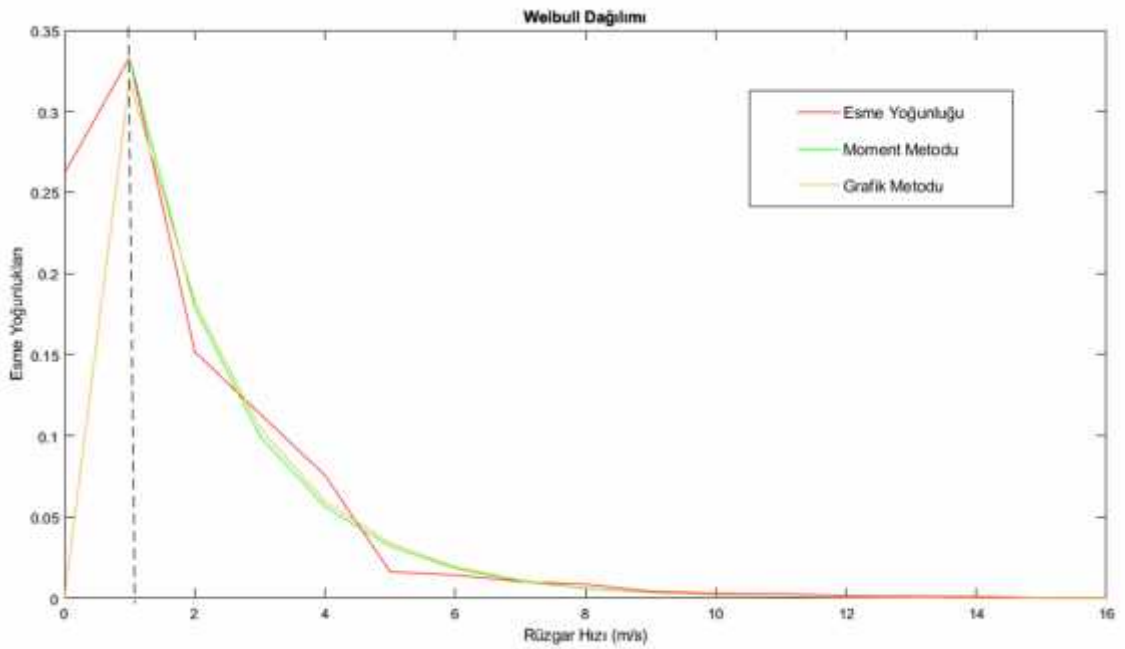
Bozcaada Bölgesi için bulunan eğilim (k) ve ölçek (c) parametreleri elde edilen y denkleminde bulunur. Daha sonra weibull dağılımı fonksiyonuna dahil edilerek yeni bir dağılım grafiği oluşturulur.

Eğilim 6.5'te weibull dağılımına ait eğilim ve ölçek parametrelerinin belirlenmesiyle rüzgar hızı tahmini yaklaşımlarına yakın sonuçlar vererek tahmini değerlere yaklaşımını sağlayan yöntemlerden biri olan grafik metodu uygulanmıştır.



ekil 6.5. Bozcaada Bölgesi'ne ait weibull dağılımının grafik metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)

ekil 6.6'da yine weibull dağılımına ait ekil ve ölçek parametrelerin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının standart sapmalarıyla bulunan moment metodu yardımıyla hesaplanmıştır. Dağılım gösterilmiştir.



ekil 6.6. Bozcaada Bölgesi'ne ait weibull dağılımının moment metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)

6.1.4. Bozcaada bölge'si rayleigh dağılımı

Tablo 6.5'te esme yoğunluklarına bağlı bölgenin ortalama hızları hesaplanmıştır. Daha sonra Rayleigh dağılım fonksiyonu uygulanmıştır. Ortalama hız (v_m), Bozcaada için, 2.245 m/s hız olarak bulunmuştur.

Bozcaada Bölge'si için ortalama hız, esme sayılarının ortalama hızlarla çarpıp toplamı alınır ve toplam esme sayılarına bölünerek bulunmuştur.

Tablo 6.5. Bozcaada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve yoğunluk düzeni-Rayleigh dağılımı

Hız (m/s)	Ort.Hız (m/s)	Esmeye Sayısı (n)	Esmeye Yoğunluğu (F_R)
0-1	0.5	1729	0.038208
1-2	1.5	2201	0.295750
2-3	2.5	1003	0.622411
3-4	3.5	750	0.851763
4-5	4.5	500	0.957387
5-6	5.5	108	0.991030
6-7	6.5	95	0.998617
7-8	7.5	68	0.999843
8-9	8.5	57	0.999987
9-10	9.5	28	0.999999
10-11	10.5	20	0.999999
11-12	11.5	18	0.999999
12-13	12.5	10	0.999999
13-14	13.5	9	0.999999
14-15	14.5	7	0.999999
15-16	15.5	2	0.999999
16-17	16.5	1	0.999999

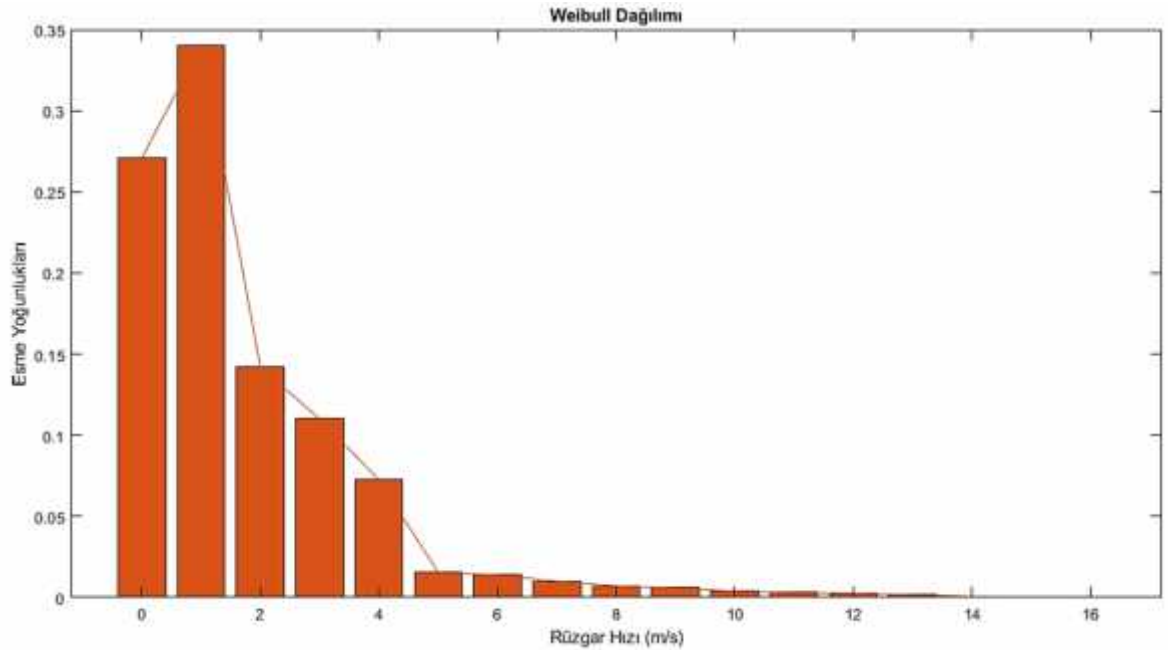
6.1.5. Uzunada bölgesi weibull dağılımı

Tablo 6.6'da Uzunada Bölgesi'ne ait farklı aralıklardaki rüzgar hızı ve esme sayıları verilmiştir. Daha sonra esme sıklığına bağlı olarak rüzgar hızı esme yoğunlukları hesaplanmıştır.

Tablo 6.6. Uzunada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve yoğunluk düzeni

Hız (m/s)	Ort.Hız (m/s)	Esme Sayısı (n)	Esme Frekansı (f)	Esme Yoğunluğu (F)
0-1	0.5	1917	0.2708	0.270800
1-2	1.5	2411	0.340584	0.611384
2-3	2.5	100	0.141969	0.753353
3-4	3.5	779	0.110043	0.863396
4-5	4.5	512	0.072326	0.935722
5-6	5.5	109	0.015397	0.951119
6-7	6.5	98	0.013843	0.964962
7-8	7.5	71	0.010029	0.974991
8-9	8.5	50	0.007063	0.982054
9-10	9.5	41	0.005791	0.987845
10-11	10.5	27	0.003814	0.991659
11-12	11.5	21	0.002966	0.994625
12-13	12.5	19	0.002683	0.997308
14-15	14.5	4	0.000565	0.999426
15-16	15.5	3	0.000423	0.999849
16-17	16.5	1	0.000141	1

ekil 6.7'de Uzunada Bölgesi'ne ait Matlab-Simulink programında yapılan weibull dağılımı gösterilmektedir.



ekil 6.7. Uzunada Bölgesi'ne ait weibull dağılımı (Matlab-Simulink)

Tablo 6.7’de iki parametrelili weibull dağılımının denklemine göre bulunan ekil ve ölçek parametrelerinin bulunması için hesaplanan x ve y noktaları bulunmuştur.

Tablo 6.7. Uzunada Bölgesi’ne ait saatlik rüzgar hızlarının x ve y formlarındaki düzeni

Ort.rüzgar hızı (m/s)	$x=\ln(v)$	$Y=\ln[-\ln[1-p(v)]]$
0.5	-0.69315	-1.152623
1.5	0.405465	-0.056397
2.5	0.916291	0.336327
3.5	1.252763	0.688470
4.5	1.504077	1.009612
5.5	1.704748	1.104715
6.5	1.871802	1.209354
7.5	2.014903	1.305225
8.5	2.140066	1.391378
9.5	2.251292	1.483878
10.5	2.351375	1.565814
11.5	2.442347	1.653645
12.5	2.525728	1.777909
13.5	2.602689	1.913623
14.5	2.674148	2.009941
15.5	2.740840	2.174550
16.5	2.803360	-

Uzunada bölgesi için uygun noktalar seçildikten sonra m im “1.0074” olarak bulunmuştur.

$$m = \frac{2.1}{2.7} \frac{-0.3}{-0.9}; \quad (6.12)$$

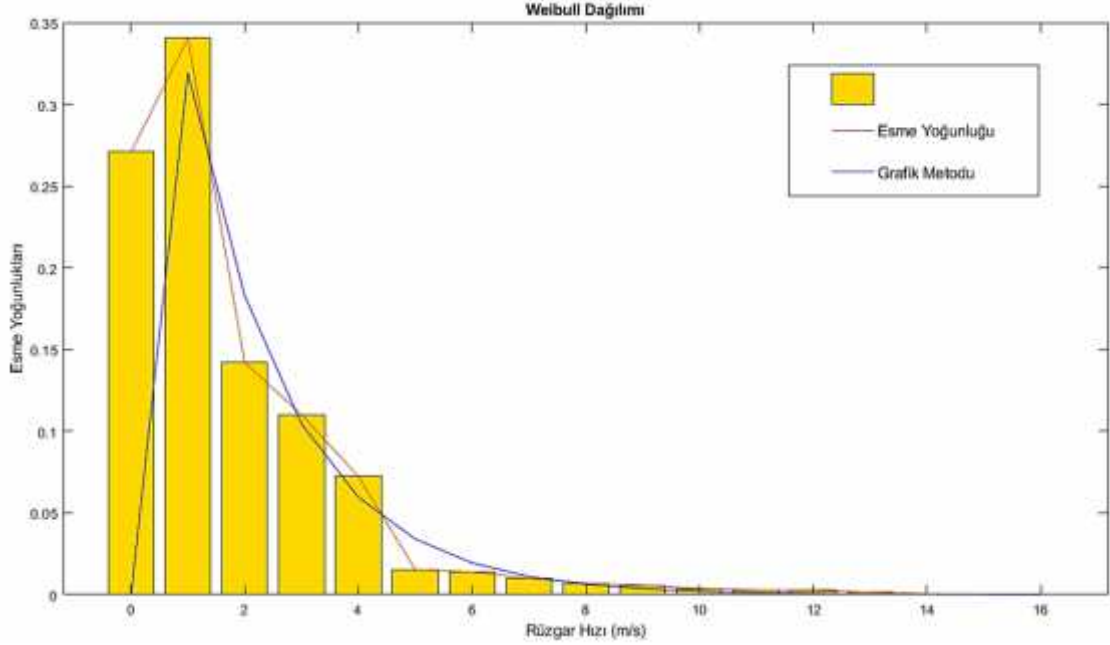
$$y = 1.0074x - 0.586764; \quad (6.13)$$

$$k_3 = 1.0074 \quad (6.14)$$

$$c_3 = 1.79 \quad (6.15)$$

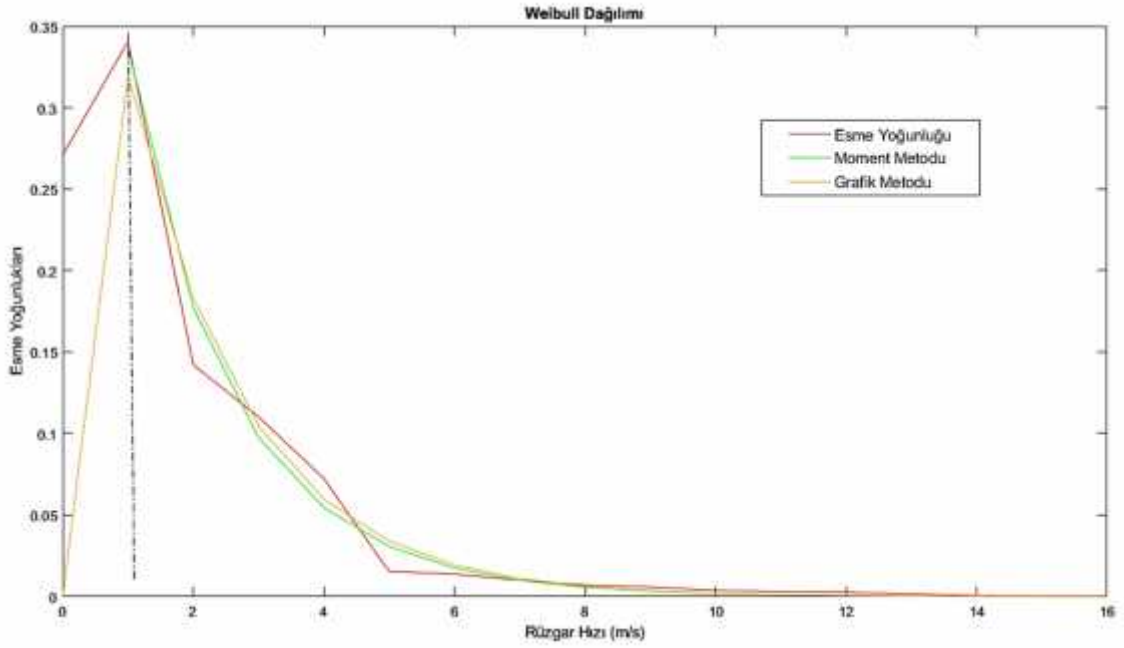
Uzunada Bölgesi için bulunan ekil (k) ve ölçek (c) parametreleri elde edilen y denkleminde bulunur. Daha sonra weibull dağılım fonksiyonuna dahil edilerek yeni bir dağılım grafiği oluşturulur.

ekil 6.8’de weibull da ılımına ait ekil ve ölçek parametrelerinin belirlenmesiyle rüzgar hızı tahmini yakla ımına yakın sonuçlar vererek tahmini de erlere yakla mamızı sa layan yöntemlerden biri olan grafik metodu uygulanmı tır.



ekil 6.8. Uzunada Bölgesi'ne ait Weibull Da ılımının Grafik Metodu yakla ımı (Matlab-Simulink)

ekil 6.9’da yine Weibull Da ılımına ait ekil ve ölçek parametrelerin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının standart sapmalarıyla bulunan moment metodu yardımıyla hesaplanmı da ılım gösterilmi tir.



ekil 6.9. Uzunada Bölgesi'ne ait weibull dağılımının moment metodu yaklaşımı (Matlab-Simulink)

6.1.6. Uzunada bölgesi rayleigh dağılımı

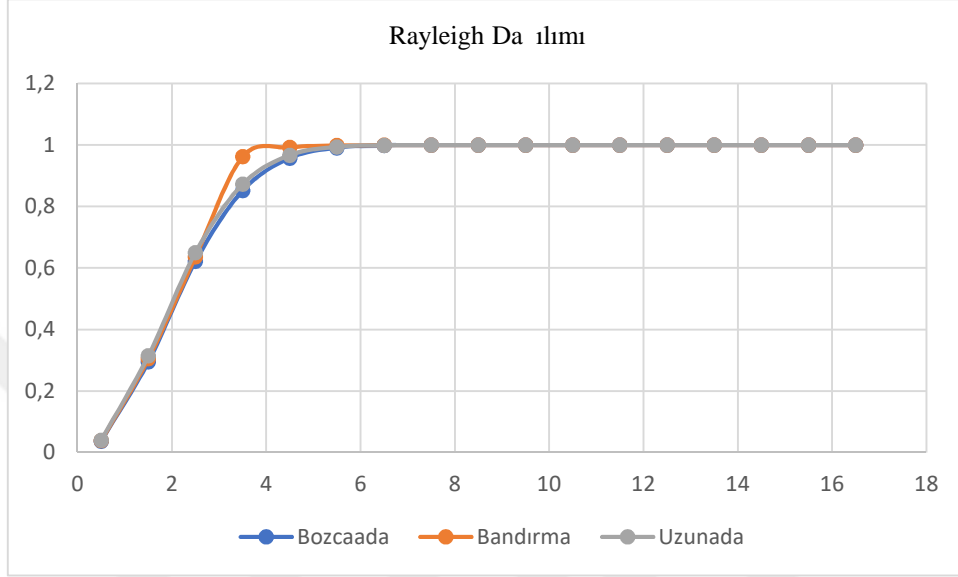
Tablo 6.8'de esme yoğunluklarına bağlı bölgenin ortalama hızları hesaplanmıştır. Daha sonra Rayleigh dağılım fonksiyonu uygulanmıştır. Ortalama hız (v_m), Uzunada için, 2.16 m/s hız olarak bulunmuştur.

Uzunada Bölgesi için ortalama hız, esme sayılarının ortalama hızlarla çarpıp toplamı alınır ve toplam esme sayılarına bölünerek bulunmuştur.

Tablo 6.8. Uzunada Bölgesi'ne ait saatlik rüzgar hızlarının belirli aralıklardaki frekans ve yoğunluk düzeni-Rayleigh dağılımı

Hız (m/s)	Ort.Hız (m/s)	Esmeye Sayısı (n)	Esmeye Yoğunluğu (F_R)
0-1	0.5	1917	0.041211
1-2	1.5	2411	0.315290
2-3	2.5	100	0.650800
3-4	3.5	779	0.872818
4-5	4.5	512	0.966920
5-6	5.5	109	0.993855
6-7	6.5	98	0.999184
7-8	7.5	71	0.999922
8-9	8.5	50	0.999994
9-10	9.5	41	0.999999
10-11	10.5	27	0.999999
11-12	11.5	21	0.999999
12-13	12.5	19	0.999999
14-15	14.5	4	0.999999
15-16	15.5	3	0.999999
16-17	16.5	1	0.999999

ekil 6.10’da her üç bölgenin Rayleigh Da ılımı fonksiyonu hesaplandıktan sonra kar ıla tırma yapılmı olup grafikte gösterilmi tir.



ekil 6.10. Rayleigh da ılım fonksiyonu

6.2. Güne Radyasyon Tahmin De erleri

6.2.1. Bandırma bölgesi angstrom-prescott modelleri

Güne radyasyon de erlerinin hesaplanması için daha önce bahsedilen Angstrom-Prescott modelleri kullanılmı tir. Sistem tasarımının; yüzer güne uygulaması olması nedeniyle bu ko ullar baz alınarak farklı parametrelerle modeller uygulanmı ve hesaplanmı tir. Sistem tasarımına uygun seçilen modeller; Hargreaves-Samani, Annandale ve Allen modelleri olarak uygun görülmü tür. Bu modeller sırasıyla; sıcaklık, yükseklik ve basınç farklılıkları sonucunda de i en de erler olup ı nım oranları (H/H_0) oranı bu parametrelere göre de i kenlik göstermi tir. İlk olarak, Bandırma Bölgesi ele alınmı tir. Tablo 6.9’ da bu üç model için ayrı ayrı güne radyasyon ı nım oranları hesaplanmı ve de erler gösterilmi tir.

Tablo 6.9. Bandırma Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin de erleri

H/H ₀	Hargreaves-Samani Modeli	Annandale Modeli	Allen Modeli
Ocak	0.5026	0.5297	0.5304
ubat	0.5374	0.5656	0.5684
Mart	0.6008	0.6324	0.6380
Nisan	0.6301	0.6633	0.6649
Mayıs	0.6581	0.6928	0.6948
Haziran	0.6581	0.6928	0.6921
Temmuz	0.6581	0.6928	0.6928
A ustos	0.6301	0.6633	0.6620
Eylül	0.6301	0.6633	0.6639
Ekim	0.6008	0.6324	0.6352
Kasım	0.5700	0.6000	0.6005
Aralık	0.5026	0.5291	0.5296

6.2.1.1. Bandırma bölgesi güne ı nım tahmin de erleri

PVGIS simülasyon programı yardımıyla bölgenin koordinat bilgileri girilip panel açısı 30° açıyla ayarlanıp çıktılar olu turulmu tur. Simülasyon programından elde edilen ortalama günlük ı nım verileri ve beraberinde hesaplanan aylık ı nım verileri Tablo 6.10'da gösterilmi tir.

Tablo 6.10. Bandırma Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin de erleri

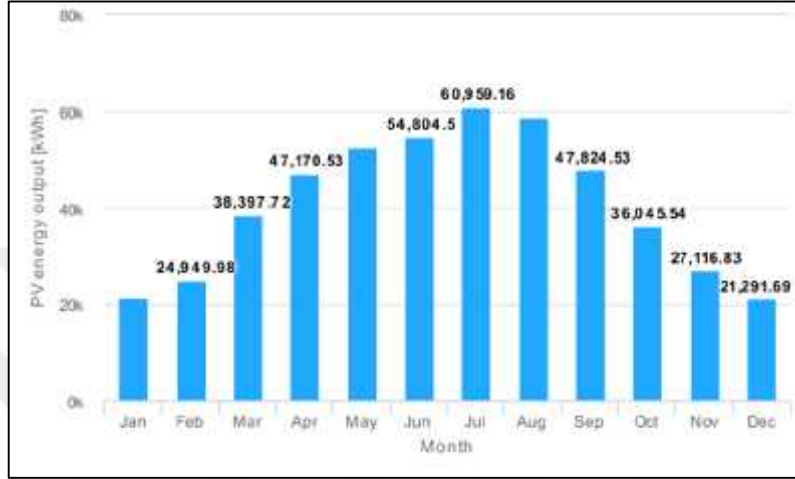
Güne I nımı (G _T)	Ort. Günlük I nım De eri (kW/m ²)	Aylık I nım De eri (kW/m ²)
Ocak	72.246,6	70.73
ubat	93.448,5	114.13
Mart	131.890,8	138.98
Nisan	171.711,3	175.35
Mayıs	190.645,2	203.01
Haziran	208.545,6	202.64
Temmuz	223.705,5	231.61
A ustos	215.000,4	226.64
Eylül	178.252,8	175.03
Ekim	126.858,9	136.75
Kasım	95.927,1	98.22
Aralık	71.999,1	66.08

Ortalama günlük ı nım verileri ile hesaplanan yıllık ı nım miktarı 1780.23 kWh/m² hesaplanmı enerji miktarı ise 484153.97 kWh olarak ölçülmü tür.

Aylık ı nım verileri ile hesaplanan yıllık ı nım miktarı 1839.17 kWh/m² hesaplanmı enerji miktarı ise 500183.38 kWh olarak ölçülmü tür.

Simülasyon çıktıları; Bandırma Bölgesi'nde yıllık PV enerji üretimi 491771.62 kWh ve yıllık ortalama değeri 1808.24 kWh/m² olarak göstermiştir.

PVGIS ile hesaplanan yıllık enerji çıktısı Bandırma Bölgesi için ekil 6.11'deki gibi gösterilmiştir.



ekil 6.11. Bandırma Bölgesi'ne ait yıllık PV enerji çıktısı

6.2.2. Bozcaada bölgesi angstrom-prescott modelleri

Meteoblue iklim verileri simülasyon hava tahmin programı sayesinde alınan verilerde, ikinci hesaplanan bölgenin; basınç, sıcaklık ve rakım değerleri tespit edilmiştir. Tablo 6.11'de Angstrom-Prescott modelleri ile hesaplanan değerler Bozcaada Bölgesi için yeniden hesaplanmıştır.

Tablo 6.11. Bozcaada Bölgesi'ne ait güneş radyasyon tahmin değerleri

H/H ₀	Hargreaves-Samani Modeli	Annandale Modeli	Allen Modeli
Ocak	0.6850	0.7213	0.7204
Şubat	0.7109	0.7485	0.7477
Mart	0.7109	0.7485	0.7509
Nisan	0.6301	0.6635	0.6635
Mayıs	0.7358	0.7748	0.7742
Haziran	0.5374	0.8488	0.8476
Temmuz	0.5374	0.8488	0.8473
Ağustos	0.7358	0.7748	0.7734
Eylül	0.7109	0.7485	0.7490
Ekim	0.7833	0.8248	0.8261
Kasım	0.6301	0.6635	0.6672
Aralık	0.5374	0.8488	0.5684

6.2.2.1. Bozcaada bölgesi güne ışıması tahmin değerleri

PVGIS simülasyon programı yardımıyla bölgenin koordinat bilgileri girilip panel açısı 30° açıyla ayarlanıp çıktılar oluşturulmuştur. Simülasyon programından elde edilen ortalama günlük ışıma verileri ve beraberinde hesaplanan aylık ışıma verileri Tablo 6.12’de gösterilmiştir.

Tablo 6.12 Bozcaada Bölgesi’ne ait güne radyasyon tahmin değerleri

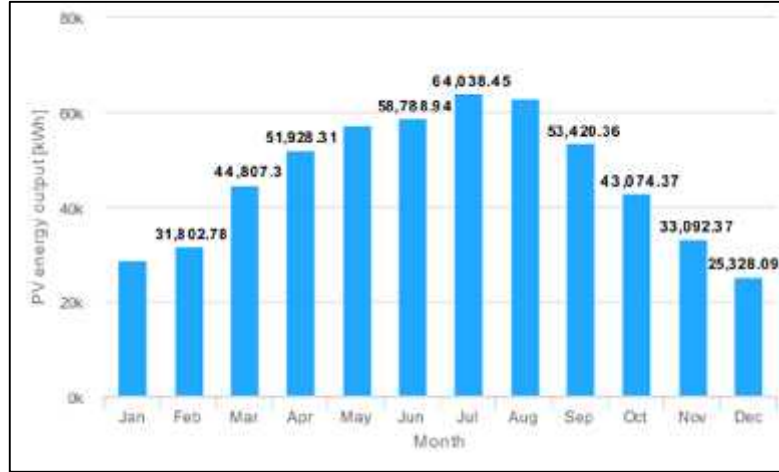
Güne Işınımı (G _T)	Ort. Günlük Işınım Değeri (kW/m ²)	Aylık Işınım Değeri (kW/m ²)
Ocak	93.686,1	122.32
Şubat	115.880,7	128.7
Mart	150.508,8	148.94
Nisan	184.773	180.2
Mayıs	202.791,6	215.28
Haziran	219.157,5	217.92
Temmuz	231.343,5	242.7
Ağustos	226.381,8	236.47
Eylül	194.567,7	199.66
Ekim	147.920,4	157.67
Kasım	114.603,9	122.31
Aralık	83.376,9	83.86

Ortalama günlük ışıma verileri ile hesaplanan yıllık ışıma miktarı 1964.9 kWh/m² hesaplanmış enerji miktarı ise 547884.65 kWh olarak ölçülmüştür.

Aylık ışıma verileri ile hesaplanan yıllık ışıma miktarı 2056.03 kWh/m² hesaplanmış enerji miktarı ise 573294.96 kWh olarak ölçülmüştür.

Simülasyon çıktıları; Bozcaada Bölgesi’nde yıllık PV enerji üretimi 555379.76 kWh ve yıllık ışıma değeri 1991.78 kWh/m² olarak ölçülmüştür.

PVGIS ile hesaplanan yıllık enerji çıktısı Bozcaada Bölgesi için şekil 6.12’deki gibi gösterilmiştir.



ekil 6.12. Bozcaada Bölgesi'ne ait yıllık PV enerji çıktı

6.2.3. Uzunada bölgesi angstrom-prescott modelleri

Meteoblue simülasyon hava tahmin programından alınan veriler 11 in da, bölgenin basınç, sıcaklık ve rakım de erleri tespit edilmi tir. Tablo 6.13'te Angstrom-PreScott modelleri ile hesaplanan de erler Uzunada Bölgesi için yeniden hesaplanmı tir.

Tablo 6.13. Uzunada Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin de erleri

H/H ₀	Hargreaves-Samani Modeli	Annandale Modeli	Allen Modeli
Ocak	0.5374	0.6000	0.6000
ubat	0.5700	0.6000	0.6023
Mart	0.6301	0.6324	0.6368
Nisan	0.7109	0.6928	0.6935
Mayıs	0.7358	0.7211	0.7221
Haziran	0.7858	0.7746	0.7734
Temmuz	0.7833	0.8246	0.8238
A ustos	0.7600	0.8246	0.8221
Eylül	0.7358	0.7746	0.7742
Ekim	0.6581	0.6928	0.6955
Kasım	0.6008	0.6000	0.6002
Aralık	0.5374	0.5657	0.5659

6.2.3.1. Uzunada bölgesi güne ı nım tahmin de erleri

PV GIS simülasyon programı yardımıyla bölgenin koordinat bilgileri girilip panel açısı 30° açıyla ayarlanıp çıktılar olu turulmu tur. Simülasyon programından elde edilen ortalama günlük ı nım verileri ve beraberinde hesaplanan aylık ı nım verileri Tablo 6.14'de gösterilmi tir.

Tablo 6.14. Uzunada Bölgesi'ne ait güne radyasyon tahmin de erleri

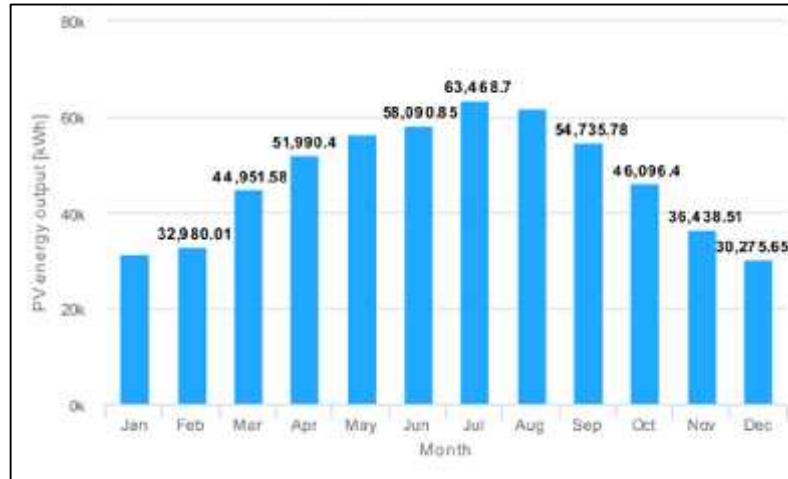
Güne I mmı (G _T)	Ort. Günlük I mm De eri (KW/m ²)	Aylık I mm De eri (kW/m ²)
Ocak	104.619	137.46
ubat	123.022,2	138.33
Mart	154.224,6	163.07
Nisan	189.062,7	194.24
Mayıs	204.016,2	212.18
Haziran	221.122,2	210.12
Temmuz	234.391,2	243.78
A ustos	228.176,1	236.4
Eylül	205.098,3	206.26
Ekim	162.643,8	160.67
Kasım	129.097,5	147.54
Aralık	100.740,6	100.55

Ortalama günlük ı mm verileri ile hesaplanan yıllık ı mm miktarı 2056.21 kWh/m² hesaplanmı enerji miktarı ise 560214.6 kWh olarak ölçülmü tür.

Aylık ı mm verileri ile hesaplanan yıllık ı mm miktarı 2150.6 kWh/m² hesaplanmı enerji miktarı ise 585931.16 kWh olarak ölçülmü tür.

Simülasyon çıktıları; Uzunada Bölgesi'nde yıllık PV enerji üretimi 568777.71 kWh ve yıllık ı nılama de eri 2087.64 kWh/m² olarak ölçülmü tür.

PVGIS ile hesaplanan yıllık enerji çıktısı Uzunada Bölgesi için ekil 6.13'teki gibi gösterilmi tir.



ekil 6.13. Uzunada Bölgesi'ne ait yıllık PV enerji çıktı ı

İlk model sıcaklık parametresine göre de i imi göstermekte olup minimum ve maksimum hava sıcaklı ı dikkate alınmı tır. İkinci modelde, deniz seviyesinde ve deniz

seviyesinden yüksek uygulamalar için kullanılmakta olup rakım baz alınarak hesaplanmıştır. Son modelde, atmosferik basınç farklılıkları ele alınıp sıcaklık de i imine ba lı basınç farklılıklarına göre hesaplanmıştır.

Tablo 6.15’de her üç bölge için hesaplanan güne ı nım de erleri ile enerji hesabı yapılmıştır. Tahmin de erleri ve modelleri ile hesaplanan, yıllık enerji de erleri hesaplanan modeller ve veriler ı ında birbirleriyle kar ıla tırılmış gerçek de ere yakın sonuçlar bulmak amaçlanmıştır. PVGIS simülasyon programı ile hesaplanan enerji çıkı ları ve günlük aylık ı nım tahmin de erleri hesaplanarak tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6.15. Her bir bölgenin güne ı nım de erleri ile hesaplanan enerji çıktıları

	Simülasyon de erleri (kWh)	Güneş ışınım tahmin de ğerleri	
		Ort. Günlük ı nım de erleri ile enerji (kWh)	Aylık ı nım de erleri ile enerji (kWh)
Bandırma	491771.62	484153.97	500183.38
Bozcaada	555379.76	547884.65	573294.96
Uzunada	568777.71	560214.6	585931.16

Tablo 6.15’deki veriler ortalama günlük ı nım de erleri ile hesaplanan enerji miktarının simülasyon sonucu elde edilen enerji çıktısına daha yakın de erde sonuç verdi ini göstermiştir.

Tablo 6.16’da olması dü ünülen bir yüzer güne enerji santralinin bütün kriterleri göz önüne alınmıştır. Bunlar; maksimum H/H₀ oranı, ortalama günlük güne ı nım de eri, panel verimi, kıyıya olan uzaklı ı ve yıllık enerji miktarı baz alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 6.16. Güneş enerji santrallerinin planlama kriterleri

Güneş Enerjisi	Bozcaada	Bandırma	Uzunada
Maksimum H/H ₀ oranı- Hargreves-Sam	0.7833	0.6581	0.7858
Maksimum H/H ₀ oranı- Annandale	0.8488	0.6928	0.8246
Maksimum H/H ₀ oranı- Allen	0.8476	0.6948	0.8238
Ort.Günlük G _T değeri (kW/m ²)	163.748	148.352	171.35
panel verimi	0.00129	0.0014	0.00123
Kıyıya olan uzaklık (m)	10	20	8
Yıllık enerji miktarı (kWh)	484153.97	547884.65	560214.6

Tablo 6.17’de olması düşünülen yüzer rüzgar enerji santrallerinin planlama kriterleri belirtilmiştir.

Tablo 6.17. Rüzgar enerji santrallerinin planlama kriterleri

Rüzgar Enerjisi	Bozcaada	Bandırma	Uzunada
Ana rüzgar hızı (v _m)	2.24	2.2	2.16
Ana güç yoğunluğu (W/m ²)	13.5	12.7	12.04
Rüzgar frekansı (f _w , f _r)	0.7467	0.7577	0.7533
Su derinliği (m)	15	25	10
Karaya olan uzaklık (km)	8	2	11

7. SONUÇ

Bu çalı mada, olası kurulumu gerçekte tirilecek olan yüzer açık deniz üzeri rüzgar ve güne enerji santralleri üzerinde enerji üretim tahmini yapılmı tır. Rüzgar hızı ve güne radyasyonu, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi ve güne enerjisi üretiminde önemli rol oynamaktadır.

Rüzgâr hızı, rüzgâr enerjisi üretiminde önemli bir faktördür. Rüzgar hızı yüksek olan bölgelerde rüzgâr türbinlerinin daha verimli çalı ması ve daha fazla elektrik enerjisi üretilmesi mümkündür. Güne radyasyonu miktarı, güne enerjisi üretiminde önemli bir faktördür. Güne radyasyonu miktarı yüksek olan bölgelerde güne panellerinin daha verimli çalı ması ve daha fazla elektrik enerjisi üretilmesi mümkündür.

Rüzgar hızı ve güne radyasyonu, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi ve güne enerjisi üretiminde önemli rol oynamaktadır. Bu enerji kaynakları, fosil yakıtlara olan ba ımlılı ı azaltmak ve çevre kirlili ini önlemek için önemli bir potansiyele sahiptir.

Açık deniz rüzgar ve güne enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından olup, fosil yakıtlara olan ba ımlılı ı azaltmak ve çevre kirlili ini önlemek için önemli bir potansiyele sahiptir.

Açık deniz rüzgar enerjisi, rüzgârın kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönü türülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür. Açık deniz rüzgarı, karadaki rüzgara göre daha sabit ve güçlüdür. Bu nedenle, açık deniz rüzgar enerjisi santralleri, karadaki rüzgar enerjisi santrallerine göre daha verimlidir.

Açık deniz güne enerjisi, güne ten gelen radyasyonun fotovoltaik paneller tarafından elektrik enerjisine dönü türülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür. Açık deniz güne enerjisi, karadaki güne enerjisine göre daha fazla güne radyasyonu alır. Bu nedenle, açık deniz güne enerjisi santralleri, karadaki güne enerjisi santrallerine göre daha fazla elektrik enerjisi üretebilir. Açık deniz rüzgar ve güne enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından olup, fosil yakıtlara olan ba ımlılı ı azaltmak ve çevre kirlili ini önlemek için önemli bir potansiyele sahiptir.

Açık deniz rüzgar enerjisi, rüzgârın kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönü türülmesiyle elde edilen bir enerji türüdür. Açık deniz rüzgarı, karadaki rüzgara göre daha sabit ve güçlüdür. Bu nedenle, açık deniz rüzgar enerjisi santralleri, karadaki rüzgar enerjisi santrallerine göre daha verimlidir.

Rüzgar hızı tahmini için çe itli yöntemler mevcuttur. En yaygın yöntemler, istatistiksel modeller ve atmosferik modelleri kullanır. statistiksel modeller, geçmi rüzgar hızı verilerini kullanarak gelecekteki rüzgar hızını tahmin eder. Atmosferik modeller, rüzgar hızını etkileyen hava durumu faktörlerini simüle eder.

Güne radyasyonu tahmini için çe itli yöntemler mevcuttur. En yaygın yöntemler, istatistiksel modeller ve atmosferik modelleri kullanır. statistiksel modeller, geçmi güne radyasyonu verilerini kullanarak gelecekteki güne radyasyonunu tahmin eder. Atmosferik modeller, güne radyasyonunu etkileyen hava durumu faktörlerini simüle eder.

Çalı mamızda, üç farklı denizsel bölge seçilerek güne ve rüzgar enerjisi için üretim tahmini yapılmı tır; mevcut olan üretim tahmin modelleri deniz üstü güne ve rüzgar enerji santralleri üzerinde uyarlanmı tır. Güne radyasyonu tahmini için Augström-Precott modelleri kullanılmı yüzer PV sistemlere en uygun üç farklı model seçilmi tir. Deniz üstü (offshore) rüzgar enerjisi için weibull da ılım olasılık fonksiyonu kullanılmı tır. Türkiye'nin denizsel bölgeleri için enerji üretimi tahmini yapılmı tır. Üretim tahmin modelleri ile birlikte PVGIS ve Matlab simülasyon programları kullanılmı tır. Rüzgar enerjisi için moment ve grafik metotları uygun parametrelerle gerçe e yakın de erler hesaplanmı tır. Güne enerjisi için aylık ve günlük ortalama güne enerjisi de erleri Hargreaves-Samani, Annandale ve Allen modelleri ile gerçe e yakın üretim de erleri hesaplanmı tır.

Moment ve grafik yöntemi ile en yakın esme yo unlu u e risi elde edilmı tir. Her bölgede farklı ekil ve ölçek parametreleri elde edilmı tir. Olu turulan e im denkleminde her bölge için olu abilecek farklı en uygun parametreler hesaplanmı ve matlab programında yerine yazılmı tır ve gerçe e en yakın grafikler elde edilmı tir.

Angstrom-Prescott modelleri ile hesaplanan güne 1 inım tahmin de erleri, PVGIS ile hesaplanan 1 inım de erleri ile yakla ık aynı oranda sonuçlar çıkmı tır. Her modelde temmuz ayı, a ustos ayı ve haziran ayında sırasıyla yaz aylarında en çok güne 1 inımı de erleri ve buna ba lı enerji miktarları fazla çıkmı tır.

Uzunada bölgesi en yüksek yıllık güne 1 inım de erine sahip bölge olmu tur. Temmuz ayı her üç bölge içinde enerji çıktısının en yüksek oldu u ay olarak hesaplanmı tır. En yüksek 1 inım ve enerji de erleri sırasıyla Bandırma, Bozcaada ve Uzunada olarak sıralanmı tır.

Açık deniz rüzgar ve güne enerjisi, dünyanın birçok ülkesinde hızla büyüyen bir sektördür. 2022 yılında küresel açık deniz rüzgar ve güne enerjisi kapasitesi, 100 gigavata ulaşmıştır. Bu kapasitenin, 2030 yılına kadar 500 gigavata ulaşması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Rüstemli, S., & Kocaman, B. (2023). Bitlis ilinin sürdürülebilir kalkınmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi. *Kahramanmara Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 532-541.
- [2] Gülersoy, T., Çetin, N. (1990). Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması *Politeknik Dergisi*, 13(3), 209-213.
- [3] Arslan, Ö.P., Arıkan, Y., Erten, M., Çam, E. (2014). Kırıkkale Üniversitesinde Kurulacak Olan Rüzgar Türbinleri için Enerji ve Maliyet Analizinin Yapılması, *International Journal of Engineering Research and Development*, 6 (2).
- [4] Yıldırım, U., Gazibey, Y., Güngör, A. (2012). Ni de li Rüzgar Enerjisi Potansiyeli. *Ni de Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 37-47.
- [5] Kahraman, Hüseyin, and dris Cesur. (2023). Rüzgar türbinlerinin farklı rüzgar hızı ko ullarında performans kar ıla tırması. *International Conference on Recent Academic Studies*. Vol. 1. No. 1.
- [6] Çeviker, G. (2022). 1 kW gücünde, difüzörlü yatay eksenli bir rüzgâr türbininin optimizasyonu ve deneysel incelenmesi= Optimization and experimental study of a horizontal axis wind turbine with diffuser with 1 kW power. (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [7] Emine, A. M. A. L., Yılmaz, K., & Özdemir, E. (2022). Rüzgar Enerji Santrallerinin Elektrik ebekesine Etkilerinin ncelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 50-65.
- [8] Yasin, . Ç. E. L. (2023). Mikro Rüzgâr Türbin Modelleri Üzerine Bir Ara tırma., *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (47), 47-52.
- [9] Öztürko lu, Onur, et al. (2023). Kullanımda Olan 2, 5 MW Kapasiteli Bir Rüzgâr Türbininden Veri Toplanması, Sistem Tanımlama ve Model Güncelleme. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 25.75: 611-622.
- [10] Çeviker, G. (2022). 1 kW gücünde, difüzörlü yatay eksenli bir rüzgâr türbininin optimizasyonu ve deneysel incelenmesi= Optimization and experimental study of a horizontal axis wind turbine with diffuser with 1 kW power (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- [11] Çalı kan, M. E. (2023). *Rüzgâr Enerjisi Sistemleri için Biyomimetik Kanat tasarımı, Performans Analizi ve Optimizasyonu* (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).
- [12] A.G. Burns ve M.J. Allen, Springer. (2010). Güne Radyasyonu Tahmini: Yöntemler ve Uygulamalar.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [13] S. Solomon, Cambridge University Press, (2007). Güneş Radyasyonu ve İklim Değişikliği.
- [14] Aagaard, P., et al. (2015). The Hywind floating offshore wind turbine project: Design, installation and operational experience. *Renewable Energy*, 75, 62-74.
- [15] Brevik, K., et al. (2013). The Hywind project: A feasibility study for the development of floating offshore wind turbines. *Renewable Energy*, 50, 52-59.
- [16] de Jong, A., et al. (2017). WindFloat Atlantic: A deep water floating offshore wind farm. *Renewable Energy*, 108, 229-240.
- [17] Offshore Wind Power: Global Status Report (2023). Global Wind Energy Council.
- [18] A New Model for Estimating Solar Radiation at the Earth's Surface. (2010). Svante Arrhenius ve Lars Anderson, *Journal of Geophysical Research*.
- [19] Global Solar Radiation and Climate Change. (2007). Susan Solomon, *Science*.
- [20] A.G. Burns ve M.J. Allen. (2010). A Comparison of Solar Radiation Models for Space Applications. *Solar Physics*.
- [21] Baran Filik, Ü., Filik, T., Nezih Gerek, Ö. (2015). New electricity transmission systems: experiences from Turkey. *Clean energy systems handbook*, 1-13.
- [22] Goswami, A., & Sadhu, P. K. (2021). Degradation analysis and the impacts on the feasibility study of floating solar photovoltaic systems. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 26, 100425.
- [23] Dörenkämper, M., Wahed, A., Kumar, A., de Jong, M., Kroon, J., & Reindl, T. (2021). The cooling effect of floating PV in two different climate zones: A comparison of field test data from the Netherlands and Singapore. *Solar Energy*, 219, 15-23.
- [24] López, M., Soto, F., & Hernández, Z. A. (2022). Assessment of the potential of floating solar photovoltaic panels in bodies of water in mainland Spain. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130752.
- [25] Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427.
- [26] Lindholm, D., Selj, J., Kjeldstad, T., Fjær, H., & Nysted, V. (2022). Büyük su ayak izine sahip yüzen PV teknolojileri için Uç deşerleri elde etmek için CFD modellemesi. *Güneş Enerjisi*, 238, 238-247.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [27] Kaymak, M. K. (2021). Hava-çevre ko ullarına adaptif yüzer güne enerji santrali tasarımı ve uygulaması. *Doctoral dissertation, Lisansüstü E itim Enstitüsü*.
- [28] Ranjbaran, P., Yousefi, H., Gharehpetian, G. B., & Astaraei, F. R. (2019). A review on floatingphotovoltaic (FPV) power generation units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 332-347.
- [29] Farrar, LW, Bahaj, AS, James, P., Anwar, A., & Amdar, N. (2022). Su sıkıntısı çekenbölgelerde su buharla masını azaltmak ve su pompalamaya güç sa lamak için yüzen güne enerjisi: Ürdün örne i. *Enerji Dönü üümü ve Yönetimi*, 260, 115598.
- [30] Patel, M. Tahir, et al. (2021). Global analysis of next-generation utility-scale PV: Tracking bifacial solar farms. *Applied Energy*, 290: 116478.
- [31] Lindholm, D., Kjeldstad, T., Selj, J., Marstein, E. S., & Fjær, H. G., (2021). Heat loss coefficientscomputed for floating PV modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 29(12), 1262-1273.
- [32] Kınalı, M. Y., (2019). Güne enerjisi simülasyon programlarının gerçek verilerle do ruluk analizi. *Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi*.
- [33] Ram, J. P., Babu, T. S., & Rajasekar, N. (2017). A comprehensive review on solar PV maximum power point tracking techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 826-847.
- [34] Kim, S. H., Kim, I. T., Choi, A. S., & Sung, M. (2014). Evaluation of optimized PV power generation and electrical lighting energy savings from the PV blind-integrated daylight responsive dimming system using LED lighting. *Solar energy*, 107, 746-757.
- [35] Roes, AL, Alsema, EA, Blok, K. ve Patel, MK. (2009). Polimer fotovoltaiklerin ex-ante çevresel ve ekonomik de erlendirmesi. *Fotovoltaikte lerleme: Ara turma ve Uygulamalar*, 17 (6), 372-393.
- [36] Sanchez, RG, Kougiyas, I., Moner-Girona, M., Fahl, F., & Jäger-Waldau, A. (2021). Afrika'daki mevcut hidroelektrik rezervuarlarında yüzen güne fotovoltaik potansiyelinin de erlendirilmesi. *Yenilenebilir Enerji*, 169, 687-699.
- [37] Junianto, B., Dewi, T. ve Sitompul, CR (2020). Güney Sumatra, Palembang'da Yüzer Güne Paneli Uygulamasının Geli tirilmesi ve Fizibilite Analizi. *Journal of Physics: Conference Series'de (Cilt 1500, No. 1, s. 012016)*. G B Yayıncılık.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [38] Zonda , HA. (2008). Düz plakalı PV-Termal kolektörler ve sistemler: Bir inceleme. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji ncelemeleri*, 12 (4), 891-959.
- [39] VO, Thi Thu Em, et al. (2021). Overview of Possibilities of Solar Floating Photovoltaic Systems in the Offshore Industry. *Energies*, 14.21: 6988.
- [40] Oliveira-Pinto, S. ve Stokkermans, J. (2020). Farklı yüzen güne teknolojilerinin potansiyelinin de erlendirilmesi-farklı vaka çalı malarına genel bakı ve analiz. *Enerji dönü ümü ve Yönetimi*.
- [41] Farrar, L. W., Bahaj, A. S., James, P., Anwar, A., & Amdar, N. (2022). Floating solar PV to reduce water evaporation in water-stressed regions and powering water pumping: Case study Jordan. *Energy Conversion and Management*, 260, 115598.
- [42] Junianto, B., Dewi, T. ve Sitompul, CR (2020). Güney Sumatra, Palembang’da Yüzer Güne Paneli Uygulamasının Geli tirilmesi ve Fizibilite Analizi. *Journal of Physics: Conference Series*’de (Cilt 1500, No. 1, s. 012016) . G B Yayıncılık.
- [43] Ayvazo luyüksel, Ö., & Filik, Ü. B. (2018). Estimation methods of global solar radiation, cell temperature, and solar power forecasting: A review and case study in Eski ehir. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 639-653.
- [44] Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). “Floating photovoltaic power plant: A review”. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 815-824.
- [45] Sutar, N., Ganbawle, S., Madar, P., Shahapure, S., Ambi, O., & Sutar, A. Automatic Sun Rays Tracker Solar Panel in Space. *Journal homepage: www.ijrpr.com* ISSN, 2582, 7421.
- [46] Filik, T.; Filik Ü. (2017). “Eski ehir bölgesindeki güne takipli PV sistemlerinin verim analizi”. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 18.1: 209-217.
- [47] IHP, EDP, Case Study (2018): a hybrid hydropower and floating PV system in Portugal, International Hydropower Association (IHA) and Energias de Portugal (EDP), London.
- [48] Ba aran Filik, Ü., Filik, T., & Gerek, Ö. N. (2018). “A hysteresis model for fixed and sun-tracking solar PV power generation systems”. *Energies*, 11(3), 603.
- [49] Rauf, H., Gull, M. S., & Arshad, N. (2020). “Complementing hydroelectric power with floatingsolar PV for daytime peak electricity demand”. *Renewable Energy*, 162, 1227-1242.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [50] Rosa-Clot, M., & Tina, G. M. (2020). Integration of PV floating with hydroelectric power plants(HPPs). In *Floating PV Plants. Academic Press*, 89-100.
- [51] Choi, Y. K. (2014). A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact. *International journal of software engineering and its applications*, 8(1), 75-84.
- [52] Esmaeili Shayan, M. ve Hojati, J. (2021). Yüzen güne enerjisi santralleri: çevresel ve operasyonel esnekli i iyile tirmenin bir yolu. *ran (ran) Enerji ve Çevre Dergisi*, 12 (4), 337-348.
- [53] Spencer, RS, Macknick, J., Aznar, A., Warren, A., & Reese, MO. (2018). “Yüzen fotovoltaik sistemler: Amerika Birle ik Devletleri kıtasındaki insan yapımı su kütlelerinde fotovoltaik sistemlerin teknik potansiyelinin de erlendirilmesi”. *Çevre bilimi ve teknolojisi*, 53 (3), 1680- 1689.
- [54] Cazzaniga, R., Cicu, M., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, GM ve Ventura, C. (2018). “ Yüzer fotovoltaik tesisler: Performans analizi ve tasarım çözümleri”. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji ncelemeleri*, 81, 1730-1741.
- [55] Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427.
- [56] El Hammoumi, A., Chalh, A., Allouhi, A., Motahhir, S., El Ghzizal, A., & Derouich, A. (2021). ”Design and construction of a test bench to investigate the potential of floating PV systems”. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123917.
- [57] Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2 0 1 6). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 815-824.
- [58] Mehrotra, S., Rawat, P., Debbarma, M., & Sudhakar, K. (2014). “Suya daldırmalı so utma tekni i ile bir güne panelinin performansı.” *Uluslararası Bilim, Çevre ve Teknoloji Dergisi*, 3 (3),1161-1172.
- [59] Liu, L., Wang, Q., Lin, H., Li, H., & Sun, Q. (2017). Power generation efficiency and prospectsof floating photovoltaic systems. *Energy Procedia*, 105, 1136-1142.
- [60] Tina, GM, Scavo, FB ve Gagliano, A. (2020). Tek yüzlü ve çift yüzlü fotovoltaik modüllerin performanslarını de erlendirmek için çok katmanlı termal model. *IEEE Fotovoltaik Dergisi*, 10 (4), 1035-1043.
- [61] Yönetken, Ahmet; Gürsoy, Tu ba. (2021). Algılayıcı güne takip i letim sisteminin kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25: 112-119.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [62] Yılmaz, M. (2017). ki eksenli güne takip sistemlerinde takip verimlili in artırılması. *Batman Üniversitesi Ya am Bilimleri Dergisi*, 7(1/2), 56-62.
- [63] Sumathı, Vijayan, et al. (2022). Dual-Axis Solar Tracking and Monitoring of Solar Panel Using Internet of Things. In: *Cyber-Physical Systems and Industry 4.0. Apple Academic Press*, 137-148.
- [64] Ay egül, E. T. C. .; Bilhan, Ay e. PVSyst ile Konya linde Sabit ve Çift Eksenli Güne Takip Sisteminin Modellenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32: 142-147.
- [65] Sukarso, A. P., & Kim, K. N. (2020). Cooling effect on the floating solar PV: Performance and economic analysis on the case of west Java province in Indonesia. *Energies*, 13(9), 2126.
- [66] Awad, H., & Gül, M. (2018). Optimisation of community shared solar application in energy efficient communities. *Sustainable cities and society*, 43, 221-237.
- [67] Solomin, E., Sirotkin, E., Cuce, E., Selvanathan, SP, & Kumarasamy, S. (2021) “Hibrit yüzengüne enerjisi santrali tasarımları: bir inceleme”. *Energiler*, 14 (10), 2751.
- [68] Hamoodi, AN, Abdulla, FS ve Süleyman, SM. (2022). Teknik Mühendislik Koleji/Musul'daki laboratuvar binası için solar PV sisteminin tasarımı ve boyutlandırılması ve PV* SOL programı ile simülasyon. *NTU Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 1 (4).
- [69] Pushpavalli, M., Abirami, P., Sivagami, P., & Geetha, V. (2021). Elektrikli Aletler, Elektrikli Araçlar ve Akü Sistemleri ile ebekeye Ba lı PV Sisteminin PVsol Yazılımı Kullanılarak ncelenmesi. *Birinci Uluslararası Bilim, Mühendislik ve Teknolojide Geli mi Bilimsel Yenilik Konferansı Bildiri Kitabında, ICASSET, Chennai, Hindistan*.
- [70] Shoukry, I., Libal, J., Kopecek, R., Wefringhaus, E., & Werner, J. (2016). “Modeling of dual-surface gain for stand-alone and field-installed dual-surface PV modules” *Enerji Procedia*, 92, 600-608.
- [71] Duman, S., & Mustafa, A. L. Ç. I. Yarım ve tam fotovoltaiik hücreleri ile tasarlanan güne enerjisi panellerinin toplam verimlili ini etkileyen parametrelerinin incelenmesi. *Ni de Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 592-600.
- [72] Dal, AR. Göllerin ve Barajların Güne Enerjisi Santrali Olarak Kullanım Potansiyelinin ncelenmesi: Yamula Barajı Örne i. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Bölüm C: Tasarım ve Teknoloji*, 9 (4), 726-738.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [73] Kjeldstad, T., Nysted, VS, Kumar, M., Oliveira-Pinto, S., Otnes, G., Lindholm, D., & Selj, J. (2022). Yeni bir yüzer fotovoltaik teknolojisinin performansı ve amfibi çalı ma potansiyeli. *Güne Enerjisi*, 239, 242-251.
- [74] Kjeldstad, T., Lindholm, D., Marstein, E., & Selj, J. (2021). Yüzen fotovoltaiklerin so utulmasıve su sıcaklı ının önemi. *Güne Enerjisi*, 218, 544-551.
- [75] Jordehi, A. R. (2016). Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 354-371.
- [76] Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900.
- [77] Kurban, M., and Y. M. Kantar. (2006). Weibull distribution used to analyze wind speed and power density. *Energy Conversion and Management*, 47(15):2881-2890.
- [78] Bilgin, S., and M. Kurban. (2011). Application of Weibull distribution to wind speed data: A case study. *Renewable Energy*, 36(10):2788-2796.
- [79] Deniz, B., and A. S. Ozkan. (2014). A comparison of different methods for estimating Weibull parameters of wind speed data. *Renewable Energy*, 64:374-384.
- [80] Bard, J. (2010). Weibull distribution. In Bard, J., editor. *Encyclopedia of machine learning*. New York: Springer.
- [81] Görçel, P., & Kavlak, E. (2020). Uzun kısa süreli hafıza ve evri imsel sinir a ları ile rüzgar enerjisi üretim tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 69-80.
- [82] Bulut, Y., & Açikkalp, E. (2013). Rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında parametre tahmin yöntemlerinin incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 1(2), 49-54.
- [83] enol, Ü., & Musayev, Z. (2017). Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yapay Sinir A ları le Tahmini. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Ara tırmaları Dergisi*, 1(1), 23-31.
- [84] Ahmet, K. A. R. A. (2019). Uzun-Kısa Süreli Bellek A ı Kullanarak Global Güne I nımı Zaman Serileri Tahmini. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7(4), 882-892.

KAYNAKÇA (Devamı)

- [85] Gabralı, D., & Aslan, Z. (2020). Güne enerji potansiyelinin çoklu lineer regresyon ve yapay sinir a ları ile modellenmesi. *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, 4(1), 23-36.



ÖZGEÇM

ORCID NO : 0009-0005-6905-3156

Ad Soyad : Rümeyya Hülya BALCI

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Geçmi i:

- 2024, Yüksek Lisans, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Kaynakları ve Yönetimi, Enerji Teknolojiler Anabilim Dalı
- 2020, Lisans, Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisi, Teknoloji Fakültesi

Yayımlar :

- 2022, ELECO Konferansı, Anot ve katot bazlı Lityum iyon pillerin enerjileri ve karbon ayak izi hesabı