

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ KAYALI KAMPÜSÜNÜN
RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir Adem ÇAKMAKÇI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER

HAZİRAN 2019

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ KAYALI KAMPÜSÜNÜN
RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bekir Adem ÇAKMAKÇI
(1168204801)**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER

HAZİRAN 2019

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1168204801 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Bekir Adem ÇAKMAKÇI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ KAYALI KAMPÜSÜNÜN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER**
Kırklareli Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN**
Kırklareli Üniversitesi

Dr.Öğr. Üyesi Erkan DURSUN
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **21 Haziran 2019**

Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecim boyunca, bilgi ve deneyimleriyle bana her konuda destek olup, sabırla ve özveriyle yönlendiren kıymetli hocam, tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER'e teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışma sürecim boyunca, kendisini sürekli sorularıyla bunalttığım halde, büyük bir sabırla sorularımı yanıtsız bırakmayan değerli meslektaşım Sayın Araştırma Görevlisi Hacı Osman BOYAN'a ayrıca teşekkürü borç bilirim.

Çalışmanın her aşamasında sürekli beni motive eden ve destekleyen başta değerli eşim ve ailem olmak üzere, emeği geçen herkese sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Rüzgar enerjisi üzerine çalışmayı düşünen herkese faydalı olmasını temenni ederim.

Haziran 2019

Bekir Adem ÇAKMAKÇI
(Enerji Sistemleri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Yöntemi.....	2
1.3 Literatür Taraması	3
2. ENERJİ TALEBİ VE ENERJİ KAYNAKLARI	11
2.1 Dünya’da Enerji Talebi ve Üretimi	12
2.2 Türkiye’de Enerji Talebi ve Üretimi	14
2.3 Enerji Kaynakları	17
2.3.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları’na Genel Bakış	18
2.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları’na Genel Bakış	20
2.3.2.1 Güneş Enerjisi	23
2.3.2.2 Biyokütle ve Biyogaz Enerjisi	25
2.3.2.3 Jeotermal Enerji	28
2.3.2.4 Hidrolik Enerji	30
2.3.2.5 Deniz Kökenli Enerji Kaynakları.....	31
2.3.2.6 Rüzgar Enerjisi.....	33
3. RÜZGAR ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ.....	37
3.1 Rüzgar Türlerinin Sınıflandırılması	37
3.1.1 Süreklilik Durumlarına Göre	37
3.1.2 Hızlarına Göre.....	38
3.1.3 Esmeye Yönlerine Göre.....	39
3.2 Rüzgar Teknolojileri	40
3.2.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	41
3.2.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	41
3.2.1.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri	45
3.2.1.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri	47
3.3 Rüzgar Türbini Parçaları	48
3.3.1 Gövde (Kanopi,Nasel)	48
3.3.2 Rotor ve Rotor Kanatları.....	49
3.3.3 Göbek (Hub)	49
3.3.4 Düşük Hız Mili (Şaftı)	50
3.3.5 Dişli Kutusu	50
3.3.6 Yüksek Hız Mili (Şaftı).....	50
3.3.7 Fren	50

3.3.8 Jeneratör	51
3.3.9 Yaw Mekanizması (Sapma Mekanizması).....	52
3.3.10 Hatve Mekanizması (Pitch Kontrol Sistemi)	52
3.3.11 Elektronik Kontrol Sistemi.....	52
3.3.12 Hidrolik Sistem	53
3.3.13 Soğutma Sistemi.....	53
3.3.14 Kule	53
3.3.15 Anemometre ve Rüzgar Vanası.....	54
3.4 Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi	54
3.5 Rüzgar Enerji Potansiyelini Etkileyen Faktörler	57
3.5.1 Yükseklik	57
3.5.2 Pürüzlülük (Yüzey Pürüzlülüğü).....	58
3.5.3 Türbülans.....	60
3.5.4 Rüzgar Engelleri (Perdeleme Etkisi).....	60
3.5.5 Tünel Etkisi	61
3.5.6 Tepe Etkisi.....	62
3.6 Dünya’da Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	62
3.7 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	64
3.8 Kırklareli İli’nde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	68
4. MATERYAL VE METOT	71
4.1 Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü Yerleşim Alanı.....	71
4.2 Materyal.....	72
4.2.1 Rüzgar Ölçüm İstasyonu	73
4.2.1.1 Anemometre ve Rüzgar Vanası (Rüzgar hız ve yön sensörleri)	73
4.2.1.2 Basınç Sensörü	73
4.2.1.3 Sıcaklık ve Nem Sensörü	73
4.2.1.4 Ultraviyole (UV) ve Solar Radyasyon Sensörleri	74
4.2.1.5 Data logger	74
4.3 Metot.....	75
4.3.1 İstatiksel Analizler.....	75
4.3.1.1 Weibull ve Rayleigh Dağılımları	76
4.3.1.2 Gamma Dağılımı	77
4.4 Hata Analizleri.....	78
4.5 Rüzgar Hızlarının Teorik Olarak Yükseltilmesi.....	78
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	81
5.1 Referans Yükseklikteki (25 metre) Rüzgar Profilinin Değerlendirilmesi.....	81
5.2 50 Metre Yükseklikteki Rüzgar Profilinin Değerlendirilmesi	87
5.3 80 Metre Yükseklikteki Rüzgar Profilinin Değerlendirilmesi	100
5.4 100 Metre Yükseklikteki Rüzgar Profilinin Değerlendirilmesi	113
5.5 Bölgenin Rüzgar Yön ve Hız Frekanslarının Oluşturulması.....	126
5.6 Rüzgar Türbinin Seçilmesi	143
6. SONUÇLAR	147
KAYNAKLAR.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	163

KISALTMALAR

BTEP	: Bin Ton Eşdeğer Petrol
BDT	: Bağımsız Devletler Topluluğu
c	: Ölçek Parametresi
C	: Celcius Ölçeği
Cp	: Güç Katsayısı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GW	: GigaWatt
GWEC	: Global Wind Energy Council (Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi)
GWh	: GigaWatt-saat
J/kgK	: Joule/Kilogram-Kelvin
K	: Kelvin Ölçeği
k	: Şekil Parametresi
kg/m³	: Kilogram/metreküp
kW	: KiloWatt
kWh	: KiloWatt-saat
kWh/m²-yıl	: KiloWattsaat/ metrekare-yıl
m/s	: Metre/saniye
m²	: Metrekare
MLE	: Maximum Likelihood Estimation (Maksimum Olabilirlik Metodu)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	: MegaWatt
MWh	: MegaWatt-saat
MSE	: Mean Square Error (Ortalama Karesel Hata)
OPEC	: Organization of Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü)
Pa	: Pascal
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RMSE	: Root Mean Square Error (Kök Ortalama Karesel Hata)
R²	: Korelasyon Katsayısı
TW	: TeraWatt
TWh	: TeraWatt-saat
W/m²	: Watt/metrekare
WASP	: Wind Atlas Analysis and Application Program (Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı)
WRPLOT	: Wind Rose Plots for Meteorological Data (Meteorolojik Datalar için Rüzgar Gülü Çizim Programı)
χ^2	: Ki-Kare Testi
'	: Dakika
°	: Derece

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye'nin 2007 ve 2017 yılları arası enerji dengesi.....	14
Çizelge 2.2 : Türkiye enerji ithalatında en çok talep edilen fosil kaynaklar.	14
Çizelge 2.3 : Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün değişimi. .	17
Çizelge 2.4 : Fosil kaynakların bölgelere göre rezervleri.....	18
Çizelge 2.5 : Fosil kaynaklı yakıtların küresel rezerv ömürleri.....	19
Çizelge 2.6 : Ülkemizin fosil kaynaklı yakıtlarının küresel rezerv miktarları.	19
Çizelge 2.7 : Dünya yenilenebilir enerji kaynakları doğal potansiyeli.....	21
Çizelge 2.8 : Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü.....	22
Çizelge 2.9 : Güneş enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.....	24
Çizelge 2.10 : Biyokütle kaynakları çevrim metodları ve elde edilen yakıtlar	26
Çizelge 2.11 : Biyokütle ve biyogaz enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.....	27
Çizelge 2.12 : Jeotermal enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke	29
Çizelge 2.13 : Hidrolik enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke	31
Çizelge 2.14 : Deniz kökenli enerji kurulu kapasitesine göre önde gelen ülkeler.....	32
Çizelge 2.15 : Rüzgar enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke	35
Çizelge 3.1 : Rüzgarların sürekliliklerine göre sınıflandırılması.....	37
Çizelge 3.2 : Rüzgar hızlarının sınıflandırılması.....	38
Çizelge 3.3 : Rüzgarların esme yönüne göre dereceleri ve isimleri	39
Çizelge 3.4 : Yüzey şekillerine göre pürüzlülük sınıfları ve uzunluk değerleri	58
Çizelge 3.5 : Kurulu güç kapasitesi artışı gerçekleştiren ilk 10 ülke (2007-2017)	64
Çizelge 3.6 : Bölgelere göre ortalama rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunlukları.	65
Çizelge 3.7 : Kurulabilecek rüzgar santrali güç kapasitesi (50 m yükseklik için). ...	69
Çizelge 5.1 : Referans yükseklikte aylara ait parametreler	85
Çizelge 5.2 : Rüzgar yönlerine göre esme sayıları.	86
Çizelge 5.3 : Referans yükseklikte aylara ait türbülans yoğunluğu değerleri.	86
Çizelge 5.4 : Eylül ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre)	88
Çizelge 5.5 : Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre)	88
Çizelge 5.6 : Ekim ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre)	89
Çizelge 5.7 : Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre)	90
Çizelge 5.8 : Kasım ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre)	91
Çizelge 5.9 : Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).....	91
Çizelge 5.10 : Aralık ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).....	92
Çizelge 5.11 : Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).....	93
Çizelge 5.12 : Ocak ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).	94
Çizelge 5.13 : Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).....	94
Çizelge 5.14 : Şubat ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).....	95
Çizelge 5.15 : Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).....	96
Çizelge 5.16 : Mart ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).	97
Çizelge 5.17 : Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).	97
Çizelge 5.18 : Nisan ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).....	98
Çizelge 5.19 : Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).....	99

Çizelge 5.20 : Aylara göre ortalama güç yoğunluğu ve dağılımlar (50 metre)	100
Çizelge 5.21 : Eylül ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre)	101
Çizelge 5.22 : Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre)	101
Çizelge 5.23 : Ekim ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre)	102
Çizelge 5.24 : Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre)	103
Çizelge 5.25 : Kasım ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).....	104
Çizelge 5.26 : Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).....	104
Çizelge 5.27 : Aralık ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).....	105
Çizelge 5.28 : Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).	106
Çizelge 5.29 : Ocak ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).....	107
Çizelge 5.30 : Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).....	107
Çizelge 5.31 : Şubat ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).....	108
Çizelge 5.32 : Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).....	109
Çizelge 5.33 : Mart ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).	110
Çizelge 5.34 : Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).	110
Çizelge 5.35 : Nisan ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).....	111
Çizelge 5.36 : Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).....	112
Çizelge 5.37 : Aylara göre ortalama güç yoğunluğu ve dağılımlar (80 metre).	113
Çizelge 5.38 : Eylül ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).	114
Çizelge 5.39 : Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre)	114
Çizelge 5.40 : Ekim ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre)	115
Çizelge 5.41 : Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre)	116
Çizelge 5.42 : Kasım ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).....	117
Çizelge 5.43 : Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).....	117
Çizelge 5.44 : Aralık ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).....	118
Çizelge 5.45 : Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).	119
Çizelge 5.46 : Ocak ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).....	120
Çizelge 5.47 : Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).....	120
Çizelge 5.48 : Şubat ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).....	121
Çizelge 5.49 : Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).....	122
Çizelge 5.50 : Mart ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).	123
Çizelge 5.51 : Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).	123
Çizelge 5.52 : Nisan ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).....	124
Çizelge 5.53 : Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).....	125
Çizelge 5.54 : Aylara göre ortalama güç yoğunluğu ve dağılımlar (100 metre)	126
Çizelge 5.55 : Eylül ayı saatlik esme sayıları (80 metre)	128
Çizelge 5.56 : Eylül ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre)	128
Çizelge 5.57 : Ekim ayı saatlik esme sayıları (80 metre)	130
Çizelge 5.58 : Ekim ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre)	130
Çizelge 5.59 : Kasım ayı saatlik esme sayıları (80 metre).....	132
Çizelge 5.60 : Kasım ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre)	132
Çizelge 5.61 : Aralık ayı saatlik esme sayıları (80 metre).....	134
Çizelge 5.62 : Aralık ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre)	134
Çizelge 5.63 : Ocak ayı saatlik esme sayıları (80 metre).....	136
Çizelge 5.64 : Ocak ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre)	136
Çizelge 5.65 : Şubat ayı saatlik esme sayıları (80 metre).....	138
Çizelge 5.66 : Şubat ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).....	138
Çizelge 5.67 : Mart ayı saatlik esme sayıları (80 metre)	140
Çizelge 5.68 : Mart ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).....	140
Çizelge 5.69 : Nisan ayı saatlik esme sayıları (80 metre).....	142

Çizelge 5.70 : Nisan ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre)	142
Çizelge 5.71 : Bölge için seçilen rüzgar türbininin genel özellikleri	143
Çizelge 5.72 : Seçilen rüzgar türbinin aylara göre ürettiği enerji miktarları	145

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 2019 yılı Dünya genelinde birincil enerji tüketimi.	12
Şekil 2.2 : Ülkemizin kurulu gücünün yakıt kaynaklarına göre dağılımı.....	15
Şekil 2.3 : Ülkemizin elektrik enerjisi miktarının yakıt kaynaklarına göre dağılımı	16
Şekil 2.4 : Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)	25
Şekil 3.1 : Rüzgarı alış biçimlerine göre rüzgar türbinleri	42
Şekil 3.2 : Üç kanatlı yatay eksenli bir rüzgar türbini	44
Şekil 3.3 : Darrieus tip dikey eksenli rüzgar türbini.....	46
Şekil 3.4 : Dikey eksenli savonius türbin modelleri örnekleri.....	47
Şekil 3.5 : Eğik eksenli bir rüzgar türbini.....	47
Şekil 3.6 : Modern bir rüzgar türbininin ana parçaları	48
Şekil 3.7 : Bölgelerin pürüzlülük derecelerine göre sınıflandırılması.....	59
Şekil 3.8 : Bir engel etrafında rüzgar akışı	61
Şekil 3.9 : Dünya’da rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllar bazında değişimi.....	63
Şekil 3.10 : Dünya’da rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi.....	63
Şekil 3.11 : Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı haritası (100 m yükseklik için).....	66
Şekil 3.12 : Ülkemizde rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi.	66
Şekil 3.13 : Bölgesel bazda işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin dağılımı.	67
Şekil 3.14 : Kırklareli ili rüzgar hız dağılımı (50 m yükseklik için).	68
Şekil 4.1 : Kampüs alanındaki ölçüm alınan bölge	71
Şekil 4.2 : Kampüs alanına yerleştirilen rüzgar ölçüm istasyonu.....	72
Şekil 4.3 : Rüzgar ölçüm istasyonu konsolu.....	72
Şekil 5.1 : Eylül ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri	81
Şekil 5.2 : Ekim ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri	82
Şekil 5.3 : Kasım ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.	82
Şekil 5.4 : Aralık ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.....	83
Şekil 5.5 : Ocak ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.	83
Şekil 5.6 : Şubat ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.....	84
Şekil 5.7 : Mart ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.	84
Şekil 5.8 : Nisan ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.	85
Şekil 5.9 : Eylül ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).....	89
Şekil 5.10 : Ekim ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).....	90
Şekil 5.11 : Kasım ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).....	92
Şekil 5.12 : Aralık ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).	93
Şekil 5.13 : Ocak ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).	95
Şekil 5.14 : Şubat ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).	96
Şekil 5.15 : Mart ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).....	98
Şekil 5.16 : Nisan ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).	99
Şekil 5.17 : Eylül ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).....	102
Şekil 5.18 : Ekim ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).....	103
Şekil 5.19 : Kasım ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).....	105
Şekil 5.20 : Aralık ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).....	106

Şekil 5.21 : Ocak ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre)	108
Şekil 5.22 : Şubat ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).	109
Şekil 5.23 : Mart ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).....	111
Şekil 5.24 : Nisan ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre)	112
Şekil 5.25 : Eylül ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).....	115
Şekil 5.26 : Ekim ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).	116
Şekil 5.27 : Kasım ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).	118
Şekil 5.28 : Aralık ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).	119
Şekil 5.29 : Ocak ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).	121
Şekil 5.30 : Şubat ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).	122
Şekil 5.31 : Mart ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).....	124
Şekil 5.32 : Nisan ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).	125
Şekil 5.33 : Eylül ayına ait rüzgar gülü (80 metre).....	127
Şekil 5.34 : Eylül ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre)	127
Şekil 5.35 : Ekim ayına ait rüzgar gülü (80 metre).....	129
Şekil 5.36 : Ekim ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre)	129
Şekil 5.37 : Kasım ayına ait rüzgar gülü (80 metre)	131
Şekil 5.38 : Kasım ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre)....	131
Şekil 5.39 : Aralık ayına ait rüzgar gülü (80 metre)	133
Şekil 5.40 : Aralık ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre)....	133
Şekil 5.41 : Ocak ayına ait rüzgar gülü (80 metre)	135
Şekil 5.42 : Ocak ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).....	135
Şekil 5.43 : Şubat ayına ait rüzgar gülü (80 metre)	137
Şekil 5.44 : Şubat ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).....	137
Şekil 5.45 : Mart ayına ait rüzgar gülü (80 metre).....	139
Şekil 5.46 : Mart ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre)	139
Şekil 5.47 : Nisan ayına ait rüzgar gülü (80 metre)	141
Şekil 5.48 : Nisan ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).....	141
Şekil 5.49 : Seçilen türbin modelinin rüzgar hızına göre güç eğrisi.....	144

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ KAYALI KAMPÜSÜNÜN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, 2018 Eylül-2019 Nisan ayları arasında Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü'nün rüzgar enerjisi potansiyeli, kampüs içerisinde en uygun yer olarak belirlenen 25 metre uzunluğundaki aydınlatma direğine monte edilen rüzgar ölçüm istasyonundan 5 dakika aralıklarla ölçülen ham rüzgar hızı verileri baz alınıp, veriler üzerinde çeşitli istatistiki dağılımlar uygulanması yöntemiyle analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli tahmininde Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımlarından faydalanılmıştır.

Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır. Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE), Ki-Kare Testi (χ^2) ve Korelasyon Katsayısı (R^2) yaklaşım metodları, hangi dağılımın modellemede daha başarılı olduğu ve istatistiksel olarak uygun yaklaşıma sahip olduğunu belirlemek amacıyla uygulanmıştır.

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar hızlarının seçilecek olan türbinin göbek yüksekliğine taşınması için Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılmıştır. Bu bağıntıyla; rüzgar hızları 50, 80 ve 100 metre türbin göbek yüksekliğine taşınmış ve her bir dikkate alınan yükseklik değerleri için bölgenin aylara göre şekil (k) ve ölçek parametresi (c), gerçek ve dağılımlardan elde edilen ortalama rüzgar hızı, gerçek ve dağılımlardan elde edilen standart sapma değerleri, gerçek ve dağılımlardan elde edilen güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında, istatistiki çalışmaları yapılan bölgeye 80 metre göbek (hub) yüksekliğine sahip bir rüzgar türbini kurulması planlanmış ve çalışılan bölge için enerji üretim hesaplamaları bu kabul üzerinden yapılmıştır.

Rüzgar türbini göbek (hub) yüksekliği olarak planlanan 80 metre yükseklikteki rüzgar profilinin saatlik hız, frekans ve yön dağılımlarının oluşturulmasında WRPLOT programı kullanılmıştır. Ayrıca bu program sayesinde bölgenin aylara göre rüzgar gülleri ve uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi elde edilmiş ve incelenen aylara ait olmak üzere her bir rüzgar yönü için; hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları ve frekans dağılımları oluşturulmuştur.

Bölgede toplam 69860 adet veri analiz edilmiştir. Ölçüm referans yüksekliğindeki (25 metre) rüzgar profilinden çıkarılan sonuçlara göre bölgenin; ortalama hız değerinin 4.9076 m/s, aylara göre hakim rüzgar yönünün Kuzey ve Kuzey-Kuzey-Doğu aralığında değiştiği, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin 76.98 W/m² olduğu, aylık ortalama standart sapma değerinin 3.0968 m/s ve aylık ortalama türbülans yoğunluğunun ise 0.6270 değerine sahip olduğu ortaya konmuştur.

Bölgenin topoğrafik ve ortam pürüzlülük şartları göz önüne alınarak Hellmann katsayısı 0.1893 olarak belirlenmiştir.

Analizi yapılan bölgenin, 50 metre rüzgar profilinden çıkarılan sonuçlara göre ortalama hız değerinin 5.5957 m/s, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin 109.498 W/m² olduğu, aylık ortalama standart sapma değerinin 3.531 m/s olduğu hesaplanmıştır.

Bölgenin 50 metre yükseklikteki hız profillerinin; istatistiksel dağılımların ve hata analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda ağırlıklı olarak MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına uygun olduğu tahmin edilmiştir.

İstatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlara göre bölgenin; k parametresinin 1.33-3.51 aralığında değiştiği, c parametresinin 1.38-8.09 aralığında değiştiği, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin ise 243.9458 W/m² olduğu tahmin edilmiştir.

Analizi yapılan bölgenin, 80 metre rüzgar profilinden çıkarılan sonuçlara göre ortalama hız değerinin 6.1164 m/s, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin 148.5534 W/m² olduğu, aylık ortalama standart sapma değerinin 3.8596 m/s olduğu hesaplanmıştır.

Bölgenin 80 metre yükseklikteki hız profillerinin; istatistiksel dağılımların ve hata analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda ağırlıklı olarak MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına uygun olduğu tahmin edilmiştir. İstatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlara göre bölgenin; k parametresinin 1.33-3.51 aralığında değiştiği, c değerinin 1.51-8.84 aralığında değiştiği, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin 330.573 W/m² olduğu tahmin edilmiştir.

Analizi yapılan bölgenin, 100 metre rüzgar profilinden çıkarılan sonuçlara göre ortalama hız değerinin 6.3803 m/s, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin 168.2951 W/m² olduğu, aylık ortalama standart sapma değerinin 4.026 m/s olduğu hesaplanmıştır.

Bölgenin 100 metre yükseklikteki hız profillerinin; istatistiksel dağılımların ve hata analizlerinin değerlendirilmesi sonucunda ağırlıklı olarak MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına uygun olduğu tahmin edilmiştir. İstatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda elde edilen sonuçlara göre bölgenin; k parametresinin 1.33-3.51 aralığında değiştiği, c parametresinin 1.58-9.22 aralığında değiştiği, aylık ortalama güç yoğunluğu değerinin 375.3313 W/m² olduğu tahmin edilmiştir.

80 metre yükseklikler için incelenen aylara ait rüzgar hızlarının saatlik esiş adetleri, esme frekansları ve istatistiksel dağılımlarından elde edilebilecek rüzgar hız olasılık yoğunluklarının karşılaştırılması sonucunda analizi yapılan bölgenin en fazla enerji üretim yoğunluğunun 3-6 m/s aralığında olduğu bulunmuştur.

Piyasadaki 80 metre ve civarı hub yüksekliğine sahip türbin modellerinin incelenmesi sonucunda, en fazla enerji üretim yoğunluğunun bulunduğu hız aralıklarında yüksek çıkış gücüne sahip ve bölgenin ortalama güç yoğunluğu değerine yakın olan Gamesa G-97 türbin modelinin bölge için en uygun model olacağına karar verilmiştir.

Seçilen rüzgar türbini ile incelenen 8 aylık sürecin sonunda yaklaşık olarak 1,290 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. Türbinin ilgili aylar bazında kapasite faktörü değeri %11.1 olarak hesaplanmıştır.

DETERMINATION THE WIND ENERGY POTENTIAL OF THE KIRKLARELI UNIVERSITY KAYALI CAMPUS

SUMMARY

In this study, the wind energy potential of Kırklareli University Kayalı Campus between September 2018-April 2019 was determined based on raw wind speed data measured at 5 minute intervals from the wind measurement station, which is mounted on 25 meter long lighting column that considered as the most suitable place in the campus. The statistical distributions which are Weibull, Rayleigh and Gamma were applied the data about to estimate the wind energy potential of the region.

The parameters of these distributions were calculated with Moment and Maximum Likelihood (MLE) methods. Root Mean Square Error (RMSE), Chi-Square Test (χ^2) and Correlation Coefficient (R^2) approach methods are applied, in order to determine which distribution has statistically proper approach and more successful in modelling.

The Hellmann coefficient formula was used to transport the wind speeds at the measured height to the selected turbine's hub height. With this formula; wind data speeds were transport to the turbine hub height at 50, 80 and 100 meters. For each considered height values, the shape (k) and scale (c) parameters, the mean wind speed obtained from the actual and the distributions, the standard deviation values obtained from the actual and the distributions, the power density values obtained from the actual and distributions were calculated for the selected region. Within the thesis study, it is planned to establish a wind turbine with 80 meters hub height to the region where statistical studies are performed and the energy production calculations for the region were made according to this acceptance.

The WRPLOT program was used to generate the hourly speed, frequency and direction distributions of the 80 meters wind profile, which was planned as the height of the wind turbine hub. In addition, wind roses and wind charts that is satellite map of the region by months were obtained. According to the speed range hours and frequency distribution for each wind direction by months were examined.

A total of 69860 data were analyzed in the region. According to the results obtained from the wind profile at the reference height (25 meters); the average speed value is 4.9076 m/s, the dominant direction of the wind datas range between at North and North-North-East, monthly average power density value is 76.98 W/m², monthly mean standard deviation is 3.0968 m/s and the monthly average turbulence density is 0.6270.

Considering the topographic and ambient roughness conditions of the region, the Hellmann coefficient was determined as 0.1893. According to the results obtained from the wind profile at the 50 meters; the average speed value is 5.5957 m/s, monthly average power density value is 109.498 W/m² and monthly mean standard deviation is 3.531 m/s.

The wind speed profiles at 50 meters height of the region were estimated to be appropriate for the Rayleigh distribution obtained by the MLE method, as a result of the application of statistical distributions and error analyzes. According to the results obtained as a result of the application of statistical distributions it was found that k parameter ranged between 1.33-3.51 and the c parameter ranged between 1.38-8.09, monthly average power density value is 243.9458 W/m².

According to the results obtained from the wind profile at the 80 meters; the average speed value is 6.1164 m/s, monthly average power density value is 148.5534 W/m² and monthly mean standard deviation is 3.8596 m/s.

The wind speed profiles at 80 meters height of the region were estimated to be appropriate for the Rayleigh distribution obtained by the MLE method, as a result of the application of statistical distributions and error analyzes. According to the results obtained as a result of the application of statistical distributions it was found that k parameter ranged between 1.33-3.51 and the c parameter ranged between 1.51-8.84, monthly average power density value is 330.573 W/m².

According to the results obtained from the wind profile at the 100 meters; the average speed value is 6.3803 m/s, monthly average power density value is 168.2951 W/m², and monthly mean standard deviation is 4.026 m/s.

The wind speed profiles at 100 meters height of the region were estimated to be appropriate for the Rayleigh distribution obtained by the MLE method, as a result of the application of statistical distributions and error analyzes. According to the results obtained as a result of the application of statistical distributions it was found that k parameter ranged between 1.33-3.51 and the c parameter ranged between 1.58-9.22, monthly average power density value is 375.3313 W/m².

As a result of the comparison with number of hourly blowing wind speeds, the actual wind speed blowing ranges, can be obtained from the distribution's wind speed blowing ranges; it was found that the highest energy production density of the region analyzed is between 3-6 m/s for 80 meters turbine hub height.

As a result of the examination of turbine models with 80 meters turbine hub height on the market, it was decided that Gamesa G-97 turbine model; which has highest energy density value at wind speed profile range and closest to average power density, would be the most suitable model for the region.

At the end of the 8 month period, approximately 1,290 MWh of electricity could be produced by the selected wind turbine. The turbin capacity factor value calculated as % 11.1.

1. GİRİŞ

İnsanlık var olduğu tarihten bu yana sürekli olarak enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde her geçen gün gelişmekte olan teknoloji sayesinde yaşantımızın neredeyse bütün alanlarında ihtiyaç duyulan bu enerji kaynaklarından yararlanmaktayız. Bizim için bu derece kritik öneme sahip olan enerji kaynakları kesintiye uğradığında; ulaşım, çalışma hayatı, ısınma, eğitim, beslenme gibi hayatımızın temel girdileri neredeyse durma noktasına gelmektedir. İnsan nüfusundaki sürekli artış ile birlikte insanlığın enerjiye olan gereksinimi katlanarak artmaktadır. Ancak, dünyamızda bilinen temel enerji kaynakları çok kısıtlı bir potansiyele sahiptir. Bu kısıtlı durumun yanı sıra uygulanan plansız ve bilinçsiz politikalar sonucunda bu enerji kaynakları neredeyse tükenme noktalarına gelmiştir. Enerji talebinin mevcut kaynaklarla karşılanamamasından dolayı oluşan enerji açığı, ülkelerin mevcut enerji plan ve politikalarını revize etmesi ve önlemlerin alınması zorunluluğunu getirmiştir. Alınacak önlemler arasında; birincil kaynaklardan enerji üretiminde petrol ve türevi fosil yakıtların oranının giderek düşürülmesi, enerji tasarrufunun ciddi bir biçimde uygulanması, enerji kaynaklarının efektif kullanılması ve enerji kaynaklarından maksimum miktarda fayda sağlamaya yönelik stratejilerin hızla geliştirilip acilen faaliyete geçirilmesi gelmektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının temininde fosil bazlı olan ve yenilenemez enerji kaynakları olarak da bilinen kömür, petrol, doğal gaz, odun gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Dünyamızda sürekli büyüme trendinde olan sanayi sektörünün enerji talebine rağmen, kullanılan bu yakıtların çok yakın gelecekte tükeneceği öngörülmektedir. Sanayi sektörünün her geçen gün büyümesi ve bu gelişim sürecinde enerji talebinin karşılanması amacıyla fosil yakıtların yakılması sonucunda oluşan sera gazlarının atmosferde birikerek küresel ısınma etkisiyle sert iklim değişiklerine sebep olması, tarım alanlarında çölleşmeye sebep olması vb. ciddi sorunlar dikkate alındığında yeni ve temiz enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi mecburi hale gelmiştir. Rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, biyokütle, deniz kökenli enerji kaynakları gibi doğal oluşumlu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır.

Dünyamızda bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli, ülkelerin enerji taleplerinin önemli bir kısmını karşılayacak kapasitededir. Yeni enerji kaynaklarının fosil yakıtların dezavantajlarından arınmış olması, süreklilik arz etmesi ve çevre sorunlarına yol açmaması gibi olumlu özellikleri sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları tüm dünyada büyük önem kazanmış, ülkelerin kendi potansiyel güçlerini kullanmaları, dolayısıyla enerji taleplerini yerli kaynaklardan karşılamaları için büyük bir fırsat doğmuştur.

1.1 Çalışmanın Amacı

Yaşadığımız çevreyi korumak ve sahip olduğumuz doğal enerji kaynaklarımızdan faydalanmak için ülkemizde rüzgar enerjisi sektörünün gelişmesi hayati önem arz etmektedir. Ülkemizin yüzölçümünün büyüklüğü ve kıyı şeridinin uzunluğu bu inancı güçlendirmektedir. Rüzgar enerjisi, uzun süreli yatırım maliyeti geri ödemesi olmayan, politik ve ekonomik açıdan diğer ülkelere bağılılığı azaltan yerli ve her daim faydalanabilen bir kaynak türüdür. Rüzgar enerjisi bu özelliklerinden dolayı ülkemizin enerji stratejileri kapsamında gün geçtikçe yerini sağlamlaştırmaktadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen rüzgar enerjisi potansiyelin değerlendirilmesi çok önemlidir. Bölgesel bazda da potansiyel çalışmalarının yapılması enerji politikalarımıza ve milli sermayemize katkı bağlamında gereklidir. Bu çalışmada; Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsünün rüzgar enerji potansiyelinin istatistiksel olarak analizinin yapılması ve bölgenin rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin ekonomik açıdan araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise; istatiki analizler sonucunda çalışılan bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli açısından ekonomik olarak uygunluğu durumunda, ilgili üniversite kurumlarına fizibilite raporu oluşturmaktır.

1.2 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada ilk olarak, kampüs içerisinde en uygun yer olarak belirlenen 25 metre uzunluğundaki aydınlatma direğine monte edilen rüzgar ölçüm istasyonundan ham rüzgar verileri elde edilmiştir. Ham rüzgar verileri, çalışılan bölge için Hellmann katsayısı belirlenmesi suretiyle, uygunluğu çeşitli kriterlere dayanarak seçilen rüzgar türbinin göbek (hub) yüksekliğine göre hesaplanmıştır.

Rüzgar hızı verilerini türbin göbek yüksekliğine uyarlamadaki amaç, seçilecek olan türbinin gerçek hız verilerini dikkate almaktır. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli tahmininde literatürde sıkça tercih edilen Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımlarından faydalanılmıştır. Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır. Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE), Ki-Kare Testi (χ^2) ve Korelasyon Katsayısı (R^2) yaklaşım metodları hangi dağılımın modellemede daha başarılı olduğu ve istatistiksel olarak uygun yaklaşıma sahip olduğunu belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Bu çalışmada genel olarak; Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü'nün rüzgar enerjisi potansiyeli, 2018 yılı Eylül ayından başlanarak 2019 yılı Nisan ayı sonuna kadar olan süreçte 5 dakika aralıklarla ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

1.3 Literatür Taraması

Kurban vd. (2006), ele aldıkları çalışmada; 2005 yılı Temmuz-Ekim aralığındaki aylara ait ham rüzgar verilerinin saatlik ölçümleri baz alınarak, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'nün rüzgar enerji potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları kullanılmıştır. Çalışılan dağılımlarının parametrelerini, En Küçük Kareler Yöntemi ile belirlenmiştir. Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE), Ki-Kare Testi (χ^2) ve Korelasyon Katsayısı (R^2) uyum iyiliği test metodlarından faydalanılmıştır. Enerji ve ortalama güç yoğunluğu, ortalama hız ve standart sapma değerlerini çalışılan dağılım fonksiyonları ile tahmin edilmiştir. 10 metre referans yükseklikteki ölçümlerin sonucunda; her ay için hesaplanan ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerlerinin ilgili yükseklikte ülkemiz kriterlerinin üstünde çıkması sonucunda kampüsün potansiyelinin ekonomik açıdan elektrik üretimine uygun olduğuna karar verilmiştir [1].

Özgür (2006), ele aldığı tez çalışmasında; Temmuz 2001- Haziran 2004 ayları süresince (36 ay), Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı sınırlarında bulunan bir tepeye kurulan rüzgar ölçüm istasyonundan elde edilen rüzgar datalarını istatiki olarak değerlendirmiştir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre; bölgenin yıllık ortalama rüzgar hızının 4.80 m/s olarak belirlemiştir. Bölgenin güç yoğunluğu değerinin ise 53-61 W/m² aralığında değiştiğini tahmin etmiştir.

Ayrıca, çalışma yapılan bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılaması amacıyla bulgu ve değerlendirmeler sonucunda seçilen rüzgar türbini modelinin maliyet analizini yapmıştır. Bazı kabuller ile bölgenin enerji üretim maliyetini hesaplamıştır. Son olarak enerji üretim maliyetini baz alınarak, kurulması düşünülen rüzgar enerjisi santralının amortisman süresini hesaplamıştır [2].

Gökçek vd. (2007), ele aldıkları çalışmada; Marmara Bölgesi'nde bulunan Kırklareli İli'nin rüzgar karakteristik özellikleri ve potansiyeli irdelenmiştir. 2004 yılını kapsayan bu çalışmada, Elektrik Enerjisi Kaynakları Araştırma ve Geliştirme İdaresi Başkanlığı'ndan, saatlik olmak üzere ham rüzgar verileri alınmıştır. Ölçülen rüzgar verileri; aylık, mevsimsel ve yıllık olarak skalalara ayrılarak işlenmiştir. Çalışılan bölgenin potansiyeli, Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları yardımı ile hesaplanmıştır. Bölgenin, Weibull istatistiksel dağılım fonksiyonu dayalı yapılan analizine göre, dağılımın parametreleri, yıllık ortalama güç yoğunluğu ve aylara göre hız değerleri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak çalışılan bölgenin iyi bir rüzgar enerji potansiyeline sahip olduğunu belirtilmiştir [3].

Bilgili vd. (2009), ele aldıkları çalışmada; ülkemizin batı ile güney kıyılarında kalan bazı bölgelerindeki rüzgar karakteristik özellikleri ve potansiyelleri değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan rüzgar hızı dataları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden alınmıştır. Çalışılan bölgenin potansiyelinin analizinde; Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonlarının yanı sıra, Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) kullanılmıştır. İstatistiksel dağılım fonksiyonları ve paket programla elde edilen tahmini değerler, kurum tarafından ölçülen verilerle kıyaslanmıştır. En yüksek rüzgar hız ve ortalama güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 7.23 m/s ve 526 W/m² olmak üzere Gökçeada istasyonundan elde edilmiştir. Ölçümü gerçekleştirilen istasyonlar için; Weibull istatistiksel dağılım fonksiyonu ve WASP paket programı ile elde edilen değerler daha iyi tahminler vermiştir. Sonuç olarak; analizi yapılan bölgelerin ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerlerinin ülkemiz kriterlerinin çok üstünde çıkması sonucunda ekonomik açıdan elektrik üretimine uygun olduğuna karar verilmiştir [4].

Talayoğlu (2010), ele aldığı tez çalışmasında; Denizli ili Tavas ilçesi için Aralık 2004-Aralık 2005 tarihleri arasındaki aylara ait Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden elde ettiği 10 m ve 30 m yükseklikteki 10, 30 ve 60 dakikalık rüzgar hızı ve rüzgar yönleri verilerini kullanarak bölgenin istatistiksel analizini yapmıştır.

WASP program modelini kullanılarak, enerji üretim ve rüzgar enerji potansiyeli hesaplamalarını gerçekleştirerek, farklı rüzgar türbini tipleri için bölgeye uygun olabilecek türbin konumlandırmaları yapmıştır. WASP'ta çizilen Weibull dağılımı sonuçlarında, k parametresini 1.44 ve c parametresini ise 3.3 m/s olarak bulmuştur.

WASP ile yapılan modellemede 30 MW'lık bir enerji santrali için Vestas V63 ve V80 türbinleri seçerek yaptığı hesaplama sonucu, V80 tipi türbinin yıllık enerji üretim miktarını daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. 10 ve 30 metredeki sonuçlara göre incelenen rüzgar türbinlerine ait en yüksek ve en düşük kapasite faktörleri için santrallerin yıllık enerji üretimlerini hesaplayarak çalışmanın yapıldığı tarihteki türbin fiyatları göz önünde bulundurması sonucu türbin maliyetini kWh başına 1.15 ile 2.97 cent arasında hesaplamıştır [5].

Yalçın (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında; İstanbul ilinin Terkos bölgesinde kurulması tasarlanan bir rüzgar türbin santrali için, İstanbul Enerji A.Ş. kayıtlarından alınan rüzgar verilerini kullanmıştır. 52 metre yükseklikte bulunan anemometreden faydalanarak, Kasım 2007-Nisan 2009 dönemini kapsayan 28 aylık ölçümlerin sonucunda ortalama rüzgar hızını 6.44 m/s bulmuştur.

Daha sonra WASP programını kullanarak 3 farklı mikrokonuşlandırma çalışması yapmış, ilk senaryoda 3 sıra, 1.5 MW'lık 30 adet rüzgar türbinini yerleştirerek 45 MW güç kapasitesine sahip bir rüzgar türbini santrali oluşturmuştur. Sonraki mikrokonuşlandırmada 2 sıra 2 MW'lık 22 adet rüzgar türbini ile 44 MW güç kapasitesine sahip bir rüzgar türbini santrali oluşturmuştur. Üçüncü senaryoda 2 sıra 1.5 MW'lık 22 adet rüzgar türbini yerleştirerek 33 MW güç kapasitesine sahip bir rüzgar türbini santrali oluşturmuştur. WASP programı vasıtasıyla incelenen her senaryo için; türbin kapasite faktörü, türbin toplam güç kapasitesi, yıllık elektrik enerjisi üretim miktarı, kurulum maliyeti, çeşitli fiyatlar için senelik kazanç ve geri ödeme sürelerini hesaplayarak en avantajlı durumu ortaya koymuştur. Bu kabuller sonunda İstanbul Terkos bölgesinde bir rüzgar enerjisi santralinin kurulmasının ekonomiklik açısından uygun olduğu belirtilmiştir [6].

Gülersoy ve Çetin (2010), yapmış oldukları çalışmada; Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü'nün bölgede bulunan istasyonundan 2008-2009 yılları için saatlik olmak üzere ölçülen ham rüzgar verileri alınmıştır.

Rüzgar hızlarının saatlik esiş frekanslarının Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları uyumları araştırılmıştır. Ölçülen verilerin analizi sonucunda; Weibull şekil parametresi olan k değeri 1.838-1.869 aralığında ve ölçek parametresi olan c değeri ise 5.629-5.898 m/s aralığında bulunmuştur. Sonuç olarak Weibull istatistiksel dağılım fonksiyonu elde edilen değerler daha iyi tahminler vermiştir. Yapılan bu ön değerlendirme sonucuna göre Menemen bölgesinde bir rüzgar enerjisi santralının kurulmasının ekonomiklik açısından uygun olduğu belirtilmiştir [7].

Gürdal (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında; Temmuz 2001-Ekim 2002 tarih aralığında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs bölgesinde 10 metre ve 30 metre yüksekliklerde bulunan anemometreler ve yön kontrol cihazı yardımıyla elde edilen ham rüzgar verilerini kullanmıştır. Elde edilen veriler neticesinde 14 tip rüzgar türbini için yıllık üretilen enerji miktarı, maliyet analizleri ve türbinlerin kendilerini geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı 4.6 m/s tespit edilmiş ve bölge için en uygun türbinin 2500 kW gücündeki Nordex-100 tipi türbin olduğunu belirtmiştir. Bu türbinin yatırım maliyetini 7 yılda geri ödediğini tespit etmiştir [8].

Oral (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında; Temmuz 2006-Temmuz 2007 yılları arasında Sakarya ili, Esentepe bölgesi Tahtalı Tepe konumunda kurulan rüzgar ölçüm istasyonunda, 10 metre ve 30 metre yükseklikler için ölçümler yapmıştır. 30 metrede yapılan ölçümlerde yıllık ortalama rüzgar hızını 4.49 m/s, ortalama güç yoğunluğu değerini ise 122.26 W/m² olarak bulmuştur. Rüzgar verilerinin analizi için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra rüzgar verilerinin analizinde; WindPRO 2.5, WASP 8.3 ve JMP 4 paket programları kullanılmıştır. Bölgede kurulması düşünülen santral için enerji üretim amaçlı analizin sonucunda toplam kurulu gücü 15 MW olarak belirlemiştir. Yapılan hesaplamada santralin; kapasite faktörü değerini %20.3, santralin yıllık toplam enerji üretim miktarının 26.658 GWh, yerleşim verimliliğini ise %96.6 olarak hesaplamıştır. Santralin ekonomik analizinin sonucunda yatırımın geri dönüş süresini 15 yıl 3 ay olarak hesaplamıştır [9].

Taşkın (2013), yapmış olduğu tez çalışmasında; Niğde ili için kurulabilecek bir rüzgar santralının, RETScreen programı yardımıyla fiziksel ve ekonomik analizini yapmıştır. Niğde Meteoroloji istasyonundan alınan verilerde ortalama hız değeri 3.5 m/s iken, programla yaptığı analiz sonucunda gerçek hız değerini 4.3 m/s olarak tespit etmiştir.

Çalışma sonucunda 50 metre ve daha yukarı yükseklikler için uygun konumda yapılacak ölçümlerde, Niğde ilinin merkez bölgesinde rüzgar enerjisi yatırımlarının ekonomik olabileceği kanaatine varılmıştır [10].

Yazar (2013), yapmış olduğu tez çalışmasında; Ekim 2010-Nisan 2012 tarih aralığında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü'nün rüzgar potansiyelini belirlemek için; kampüste kurulan 40 metre yüksekliğindeki rüzgar ölçüm istasyonundan rüzgar verileri elde edilmiştir. Referans yükseklik olan 10 metre ve 40 metre yükseklik için yapılan ölçümlerde ortalama rüzgar hızı değeri sırasıyla 4.70 m/s ve 4.82 m/s olarak bulmuştur. Bölgenin hakim rüzgar yönü kuzeybatı olarak tespit etmiştir. Elde edilen analizlerin ışığında, 600 kW'lık güce sahip bir rüzgar türbininin üreteceği elektrik enerjisinin kampüs kurulu elektrik gücünün % 33'ünü karşılayacağı sonucuna varmıştır [11].

Mert vd. (2014), yaptıkları çalışmada; 2006-2009 yılları arasında Hatay'da bulunan Antakya bölgesinin 10 metre referans yükseklikte ölçülen, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen rüzgar verileri; aylık, mevsimsel ve yıllık olarak skalalara ayırarak işlenmiş ve istatiki olarak değerlendirilmiştir. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli araştırılmasında Log-normal ve Gamma istatistiksel dağılım fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Anderson-Darling, Korelasyon Katsayısı ve RMSE testleri dağılımların rüzgar modellemesinde başarı oranlarını belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Elde edilen analizlerin ışığında; bölgenin ortalama rüzgar gücü yoğunluğunun 100 W/m²'den küçük olması sebebiyle, çalışılan bölgede rüzgar enerjisi santralının şebeke ağını beslemesinin yetersiz olacağı, dolayısıyla türbin kurulmasının ekonomiklik açısından uygun olmadığı belirtilmiştir [12].

Ammari vd. (2014), Ürdün'ün rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla; 51 ile 1120 metre arasında değişen yüksekliklerde 5 konum belirlenmiştir. Bu konumlarda 2008-2012 yılları arasında yapılan 10 metre referans yüksekliğe sahip ölçüm direkleriyle rüzgar verilerini elde edilmiş ve bu verilere göre analiz ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Birbirinden farklı kapasitelere sahip (100, 500, 900, 1500 ve 3000 kW) rüzgar türbinleri için yapılan analizlerde tüm rüzgar türbini kapasiteleri için maksimum enerji çıkışının Akabe Havalimanı'nda elde edildiği belirlenmiştir [13].

Shu vd. (2015), yaptıkları çalışmada; bölgede bulunan 51 meteoroloji istasyonundan, farklı arazi koşullarına sahip 5 istasyon seçilmiştir. Ocak 2005-Kasım 2010 aralığındaki rüzgar verileri, Weibull dağılımı modeli yardımıyla bölgenin rüzgar karakteristiğini ve rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak incelenmiştir. İstasyonların konumlarının tek tek değerlendirilmesi sonucunda maksimum rüzgar güç yoğunluğu ortalamasının Tai Mo Shan hava istasyonunda 915.23 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Beş istasyonun mevsimsel analizinde en yüksek aylık rüzgar güç yoğunlukları Eylül ayı olarak tespit edilmiştir [14].

Belabes vd. (2015), yaptıkları çalışmada; Cezayir'de bulunan altı farklı konumda bulunan rüzgar türbinlerini kullanarak ekonomik ve teknik açıdan elektrik enerjisi üretim analizi yapılmıştır. 1981-1990 yılları için yapılan analiz sonucunda, seçilen altı istasyonun yıllık ortalama rüzgar hızlarının $2.64\text{-}5.07 \text{ m/s}$ aralığında değiştiği bulunmuştur. Ele alınan tüm aylar için; 10 metre olan referans yükseklik Hellmann bağıntısı kullanılarak 30, 50 ve 70 metreye yükseltilmiştir ve Weibull dağılım fonksiyonu ile k ve c parametreleri bulunmuştur.

WASP paket programı vasıtasıyla, altı bölge için 300 kW, 1000 kW ve 2000 kW gücündeki türbinlerin kapasite faktörleri, yıllık güç ve enerji çıktıları hesaplanmıştır. Weibull şekil parametresinin k aylık ortalama değerinin $1.02\text{-}2.06$ aralığında, c değerinin ise $2.2\text{-}9.2 \text{ m/s}$ aralığındadır. Seçilen bölgelerde türbinlerin kapasite faktörlerinin % 5.40 ile % 33.16 arasında değiştiğini belirlenmiştir. Her bir lokasyonda maliyet hesabı yapılmıştır. Maliyet hesabının sonucu olarak üç bölgede rüzgar enerjisi yatırımlarının ekonomik olacağını belirtilmiştir [15].

Akkoyunlu (2015), yapmış olduğu tez çalışmasında; 2000-2014 yılları arasında Muğla ilinde yer alan dört farklı konumdaki rüzgar karakteristik özelliklerini ve potansiyellerini, MATLAB ve WRPLOT programı yardımıyla değerlendirmiştir. Weibull, Rayleigh, Gauss ve Gumbel istatistiksel dağılım fonksiyonları uygulanarak elde edilen tahminlerin herbirini bölgenin gerçek verileri ile kıyaslamış ve istatistiksel dağılım fonksiyonlarının uygunluğunu değerlendirmiştir. Sonuç olarak, en doğru tahminlerin Weibull ve Gumbel, en başarısız tahminlerin ise Rayleigh dağılımlarının ürettiğini belirtmiştir [16].

Kaplan (2016), yapmış olduğu çalışmasında; 2013 yılına ait saatlik olarak ölçülen rüzgar verilerini Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden sağlamıştır. Rüzgar hızlarının saatlik esiş frekanslarının Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları uyumları araştırmıştır. Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonlarının parametrelerini hesaplamak için Moment ve Grafik metotlarını kullanmıştır. Grafik metodunda k ve c parametreleri sırasıyla 1.0046 ve 1.7744 m/s olarak hesaplamıştır. Moment metodunda ise k ve c parametreleri sırasıyla 1.6394 ve 2.5391 m/s olarak hesaplamıştır. Weibull istatistiksel dağılım fonksiyonu elde edilen değerler daha iyi tahminler vermiştir. Yapılan bu ön değerlendirme sonucuna göre Menemen bölgesinde bir rüzgar enerjisi santralının kurulmasının ekonomiklik açısından uygun olduğu belirtmiştir [17].

Emeksiz vd. (2016), yaptıkları çalışmada; 2000-2010 yılları arasında Tokat Meteoroloji İstasyonu Müdürlüğü'ne ait günlük ortalama rüzgar hızlarına ait veriler kullanılarak, Tokat bölgesinin rüzgar karakteristik özellikleri ve potansiyeli değerlendirilmiştir. Potansiyelin belirlenmesinde bölgede daha önce çalışılmamış olan Weibull, Rayleigh, Log-normal ve Gamma istatistiksel dağılım fonksiyonlarından faydalanılarak, ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları hesaplanmıştır.

Çalışılan dağılımlarının parametreleri, En Küçük Kareler Yöntemi ile belirlenmiştir. Kök ortalama karesel hata (RMSE) ve ortalama karesel hata (MSE) kriterleri dağılım fonksiyonlarının istatistiksel olarak uygun yaklaşım başarı oranlarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Sonuç olarak; ortalama rüzgar hız değerlerinin Şubat ve Mart aylarında yüksek, Kasım ve Aralık aylarında ise düşük olduğu gözlenmiştir. MSE ve RMSE kriterleri incelendiğinde Weibull dağılımının diğer yöntemlere göre daha başarılı modele sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük MSE değeri 0.0011 ile Mart ayı olasılık dağılımında hesaplanmıştır. Hata aralıklarının, kullanılan dağılım fonksiyonlarına göre 0.0011 ile 7.9609 aralığında değiştii yapılan analizlerin sonucunda hesaplanmıştır [18].

Gökdemir (2017), yapmış olduğu tez çalışmasında; kampüs alanında rüzgar ölçüm istasyonu kurmuş ve bir yılı kapsayan süreçte 15 metre yükseklikte rüzgar ölçümleri almıştır. Bu istasyondan, 10 dakika aralıklarla rüzgarın karakteristik ve fiziki parametre (basınç, sıcaklık ve nem) değerlerini ölçmüştür.

Weibull, Log-Normal ve Gamma istatistiksel dağılım fonksiyonlarından faydalanarak bölgenin rüzgar karakteristiğini ve rüzgar enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak irdemiştir. WRPLOT programı vasıtasıyla bölgenin yıl boyunca hakim rüzgar yönü tespit etmiştir. Çalışma yapılan kampüsün 15 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızı değeri 1.63 m/s ve aylara göre yıllık ortalama güç yoğunluğu değeri ise 2.65 W/m² olarak hesaplamıştır. Analiz sonuçlarına göre, rüzgar verilerinin, Weibull ve Gamma dağılım fonksiyonları ile en başarılı şekilde tahminsel uyumluluk gösterdiği sonucuna varmıştır [19].

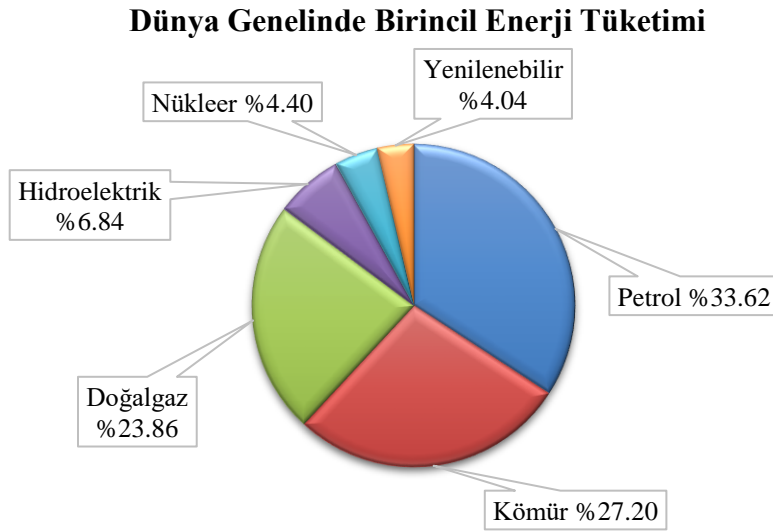
2. ENERJİ TALEBİ VE ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji, en genel haliyle iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Günlük hayatımızın her alanında farklı enerji türlerinden faydalanılmaktadır. Doğada hiçbir enerji çeşidi yok olmayıp, başka bir enerji formuna dönüşmektedir. Günümüzde her geçen gün gelişmekte olan teknoloji ve insan nüfusundaki sürekli artış ile birlikte insanlığın enerjiye olan ihtiyacı katlanarak artmaktadır [20]. Dünyamızda bilinen temel enerji kaynakları kısıtlı bir potansiyele sahiptir. Bu kısıtlı durumun yanı sıra uygulanan plansız ve bilinçsiz politikalar sonucunda bu enerji kaynakları neredeyse tükenme noktalarına gelmiştir. Dolayısıyla gelecekte dünya genelinde hızla artan nüfusun enerji ihtiyaçlarına cevap vermek mümkün olmayacaktır. Enerji talebinin mevcut kaynaklarla karşılanamamasından dolayı oluşan enerji açığı, ülkelerin mevcut enerji plan ve politikalarını revize etmesi ve önlemlerin alınması zorunluluğunu getirmiştir. Alınacak önlemler arasında; birincil kaynaklardan enerji üretiminde petrol ve türevi fosil yakıtların oranının giderek düşürülmesi, enerji tasarrufunun ciddi bir biçimde uygulanması, enerji kaynaklarının efektif kullanılması ve enerji kaynaklarından maksimum miktarda fayda sağlamaya yönelik stratejilerin hızla geliştirilip acilen faaliyete geçirilmesi gelmektedir [21]. Enerji kaynakları, oluşumlarına bağlı olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Günümüzde enerji ihtiyacının temininde fosil bazlı olan ve yenilenemez enerji kaynakları olarak da bilinen kömür, petrol, doğal gaz, odun gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Dünyamızda sürekli büyüme trendinde olan sanayi sektörünün enerji talebine rağmen, kullanılan bu yakıtların çok yakın gelecekte tükeneceği öngörülmektedir. Her geçen gün büyüme trendinde olan sanayi sektörünün enerji talebinin karşılanması amacıyla fosil bazlı yakıt kaynaklarından faydalanılmaktadır. Bu kaynakların yakılmasıyla oluşan sera gazlarının atmosferde birikerek küresel ısınma etkisiyle sert iklim değişikliklerine sebep olması, tarım alanlarında çölleşmeye sebep olması vb. ciddi sorunlar dikkate alındığında yeni ve temiz enerji kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi mecburi hale gelmiştir. Rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, biyokütle, deniz kökenli enerji kaynakları gibi doğal oluşumlu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır.

2.1 Dünya’da Enerji Talebi ve Üretimi

Dünya’da her geçen gün insan popülasyonu ve sanayi sektörünün gelişiminin artışı, enerji talebi ve tüketimini de paralel olarak süratle artırmaktadır. Fosil bazlı yakıt stoklarının yakın gelecekte tükeneceği gerçeği ve bu yakıtların yüksek olan enerji maliyetinin getirdiği maddi külfetler, enerji üretim ve tüketim dengesinin sağlanması için çok ciddi ekonomik yaptırımları ve geniş çaplı araştırmaları mecbur kılmaktadır [22]. Dünyamızda 2030 yılına gelindiğinde elektrik enerjisi tüketiminin 31,753 TWh olacağı tahmin edilmektedir [23].

Dünya üzerinde üretilen enerjinin %75’ini gelişmiş ülkeler, kalan %25’ini ise az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tüketmektedir. Ülkemizin dünya genelinde enerji tüketimindeki payı ise yaklaşık %1 oranındadır. 2019 yılı Dünya genelinde kaynaklara göre birincil enerji tüketimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir [24].



Şekil 2.1 : 2019 yılı Dünya genelinde birincil enerji tüketimi.

2019 yılında dünyadaki elektrik enerjisi tüketimi 25,654 TWh’dır. Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık %85’i petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Ulaşım alanında temel enerji kaynağı olarak kullanılmakta olan petrol aynı zamanda, dünya birincil enerji tüketimi içinde de en büyük orana sahiptir. Dünya’da tüketilen doğal gaz ve kömürün büyük bir kısmı da elektrik üretiminde kullanılmaktadır. ABD Enerji İdaresi, BP, Uluslararası Enerji Ajansı gibi uluslararası kurum ve kuruluşlara göre petrol, uzun vadede birincil enerji kaynakları arasındaki payını korumaya devam edecektir [25].

2018 yılı verilerine göre toplam birincil enerji talebinin %23'ü elektrik üretiminde kullanılmış olup bu oranın 2035 yılında %46.6 olması öngörülmektedir. Petrol, sektörel bazda en çok taşıma sektörü tarafından talep görmektedir. 2015 yılında ulaştırma sektöründe 2.37 milyon ton petrol tüketilirken, 2040 yılında bu rakamın 2.70 milyon tona çıkması öngörülmektedir [26]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın, "Petrol 2018" raporuna göre, üretim kapasitesinin 2017-2023 dönemini kapsayan süreçte 6.4 milyon ton artması ve ilk etapta artışın ABD'den kaynaklanması beklenmektedir. Raporda, ABD ile birlikte artışın yaşanacağı diğer ülkelerin Brezilya ve Kanada olacağı, bu dönemde OPEC dışı üretim artışının 5.2 milyon varil/gün'e ve toplam üretimin 63.3 milyon varil/gün'e ulaşacağı öngörülmektedir [27]. BP Energy Outlook 2035 raporuna göre, 2013 ile 2035 yılları arasında endüstriyel üretimde kömürün kullanım oranının azalarak, fosil yakıtların arasında çevreyi daha az kirleten doğal gazda artış olacağı öngörülmüştür [28].

Yeni Politikalar başlıklı Uluslararası Enerji Ajansı senaryosuna göre, 2040 yılında küresel enerji talebi, dünya siyasetine bağlı olarak, şu anki talebin 1.4 katına çıkmasını öngörmektedir. Bu enerji talebindeki artışı karşılamak için kullanılacak enerji kaynaklarındaki 2012'den 2040'a kadar olan dönem için talep artışı öngörülürse, ulaşımda kullanılan temel kaynak olan petrolde %13.5, elektrik üretiminde en çok kullanılan kömür ve doğal gazda sırasıyla %14.6 ve %55, halen güvenli olup olmadığı tartışılan nükleerde %88.5, hidrolik enerjinin de dahil olduğu yenilenebilir kaynaklarda %317 olmuştur. Aynı senaryoda 2040 yılında doğal gaz tüketiminin 5.4 trilyon m³ (metreküp) değerine ulaşacağı ve bu talebin %30.4'ünün OECD ülkelerinden, %69.6'sının ise OECD dışı ülkelere olacağı değerlendirilmiştir [25]. Geleceğe dönük senaryoların incelendiğinde, ülkelerin ileriki dönem projeksiyonları için temiz enerji kaynaklarının kritik bir öneme sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Dünyada 2019 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklardan elektrik üretimi 2,480.4 TWh ile toplam elektrik üretiminin %9.32'sine karşılık gelmektedir. Hidroelektrik tesislerin yapı özellikleri bakımından kısmi olarak yenilenebilir enerji kaynağı sayılan hidrolik enerjisi bu kaynaklara dahil edildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %25.07 oranına ulaşmaktadır [24].

2.2 Türkiye’de Enerji Talebi ve Üretimi

Ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacı yıllara göre sürekli bir artış içerisinde ve toplam yerli üretim miktarı düşük olan ülkemizin enerji talebinin büyük bir kısmı ithalat yoluyla yenilenemez bazı yakıtlardan karşılanmaktadır. Türkiye’nin 2007 ve 2017 yılları arası genel enerji dengesi Çizelge 2.1’de verilmiştir [29].

Çizelge 2.1 : Türkiye’nin 2007 ve 2017 yılları arası enerji dengesi.

Enerji Dengesi	2007	2017	Değişim Miktarı
Toplam Enerji Talebi (BTEP)	104,06	145,3	% 39.63
Toplam Yerli Üretim (BTEP)	27,51	35,3	% 28.31
Toplam Enerji İthalatı (BTEP)	84,00	124,4	% 48.09
Yerli Üretimin Talebi Karşılama Oranı	% 26.43	% 24.29	(-) % 8.09

Çizelge 2.1 incelendiğinde; Türkiye’nin enerji talebi 2007 yılında 104,06 BTEP iken, 2017 yılında %39.63 oranında artış ile 145,3 BTEP’e yükselmiştir. 2017 yılında toplam yerli üretimde %28.31’lik bir artış olmasına rağmen, yerli kaynak üretiminin enerji talebini karşılama oranı %8.09 azalmıştır.

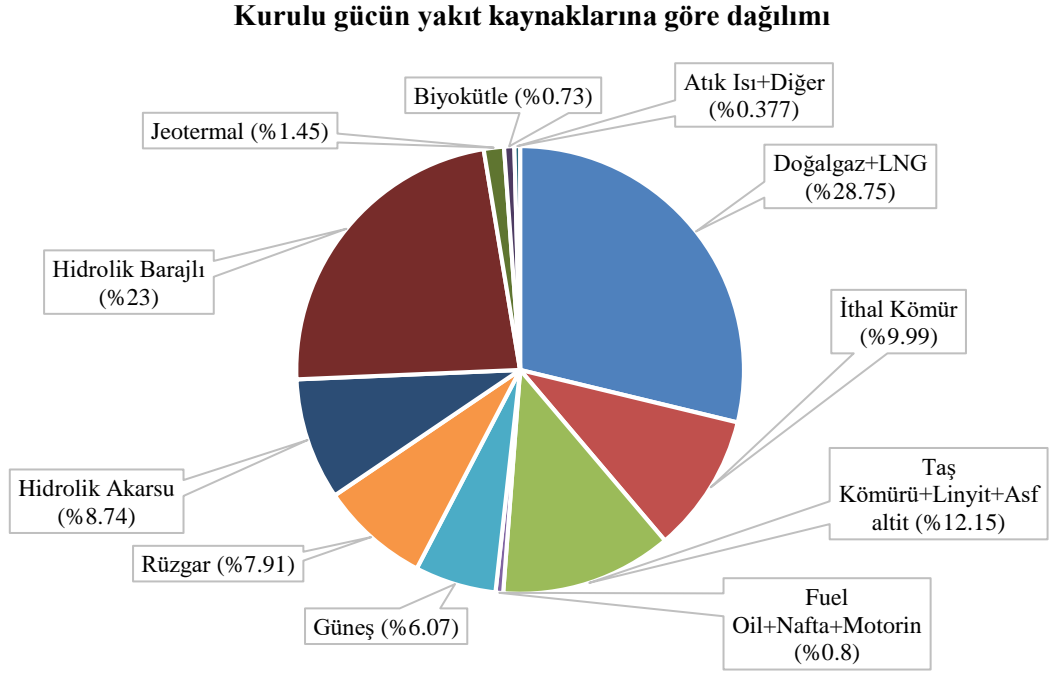
2007 yılında ülkemizde toplam enerji ithalatı 84 BTEP iken, 2017 yılında %48.09 oranında artış ile 124,4 BTEP’e yükselmiştir. 2017 yılı sonunda artan enerji talebini karşılamak için tüketilen enerjinin yaklaşık %85’i kadar ithalat yapılmıştır. Bu tablo bize Türkiye’nin yerli üretiminin yetersiz olduğunu ve enerji açığını karşılamada dışa bağımlı olduğunu göstermektedir. 2017 yılı itibariyle Türkiye’nin enerji ithalatında en çok talep edilen kaynakların sıralaması Çizelge 2.2’de verilmiştir [29].

Çizelge 2.2 : Türkiye enerji ithalatında en çok talep edilen fosil kaynaklar.

KAYNAK	İTHALAT MİKTARI (BTEP cinsinden)
Doğal gaz	45,581
Petrol	53,723
Kömür	24,347
Petro Kok	0,537

2017 yılı itibariyle Türkiye’nin enerji ithalatında en çok talep edilen kaynaklar arasında; 53,723 BTEP ile petrol birinci, 45,581 BTEP ile doğal gaz ikinci, 24,347 BTEP ile kömür üçüncü ve 0,537 BTEP ile petrokok dördüncü sırada yer almaktadır.

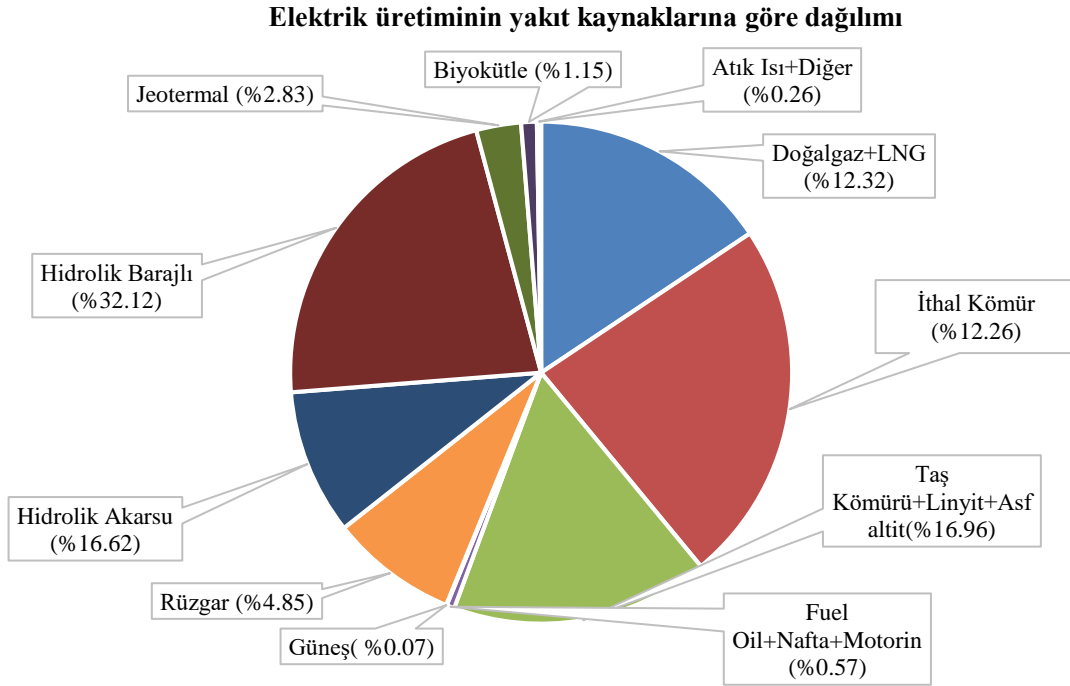
Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) bünyesinde bulunan Yük Tevzi Bilgi Sistemi Türkiye Elektrik Enerjisi istatistiklerine göre; 2018 yılı sonunda ülkemizin elektrik üretimi için kurulu kapasite gücü 88.550 GW iken, 2019 yılı Mayıs ayı sonu itibariyle kurulu güç kapasitesi 89.471 GW'a ulaşmıştır. 2019 yılı Mayıs ayı sonu itibariyle ülkemizin elektrik üretimi için kurulu güç kapasitesinin yakıt kaynaklarına göre oranları Şekil 2.2'de gösterilmiştir [30].



Şekil 2.2 : Ülkemizin kurulu gücünün yakıt kaynaklarına göre dağılımı.

2019 yılı Mayıs ayı sonunda kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı sırasıyla; 28.400 GW hidrolik (%31.74), 25.724 GW doğal gaz+LNG (%28.75), 10.874 GW taş kömürü+linyit+asfaltit (%12.15), 8.939 GW ithal kömür (%9.99), 7.084 GW rüzgar (%7.91), 5.435 GW güneş (%6.07), 1.303 GW jeotermal (%1.45), 0.715 GW fuel oil+nafta+motorin (%0.8), 0.659 GW biyokütle (%0.73) ve 0.338 GW (%0.377) atık ısı +diğer şeklindedir.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) bünyesinde bulunan Yük Tevzi Bilgi Sistemi Türkiye Elektrik Enerjisi istatistiklerine göre; 2019 yılı Mayıs ayı sonunda 237,772 TWh olmuştur [30]. Ülkemizin elektrik enerjisi miktarının yakıt kaynaklarına göre dağılımı Şekil 2.3’de gösterilmiştir [30].



Şekil 2.3 : Ülkemizin elektrik enerjisi miktarının yakıt kaynaklarına göre dağılımı.

2019 yılı Mayıs ayı sonu itibariyle; üretilen toplam elektrik enerjisi miktarının kaynaklara göre oranları sırasıyla; hidroelektrik (%48.74), ithal kömür (%12.26), taşkömürü+liniyit+asfaltit (%16.96), doğal gaz+LNG (%12.32), rüzgar (%4.85), jeotermal (%2.83), biyokütle (%1.15), fuel oil+nafta+motorin (%0.57), atık ısı+diğer (%0.26) ve güneş (%0.07) kaynaklarından karşılanmaktadır [30].

Türkiye’de enerji açığının karşılanabilmesi için alternatif çözüm olarak, yerli üretimin artırılması ve yeni enerji kaynaklarının üretim dengesine katılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimi oranlarının hızla yükselmesi beklenmektedir. Aksi takdirde gelecek yıllarda dışa bağımlılığın %85’lerin üzerine çıkması kaçınılmaz bir sonuç olacaktır [31].

Ülkemizde 2007-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün değişimi Çizelge 2.3'te verilmiştir [32].

Çizelge 2.3 : Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün değişimi.

Birim: GW						
	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Diğer	Toplam
2007	13.394	0.022	0.146	-	0.042	13.606
2017	27.273	1.063	6.516	3.420	0.641	38.915
Değişim Oranı (%)	103	4545	4354	341970	1403	186

Çizelge 2.3'te görüldüğü üzere son 10 yılda elektrik üretimi için kurulu gücümüzde alternatif enerji kaynakları yerini almıştır. Ele alınan 10 yıllık süreç içerisinde en yüksek yüzdesel artışlar güneş enerjisi ve jeotermal enerji kaynaklarında gerçekleşmiştir.

Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında 2023 yılında enerji güvenliğini artırmak ve enerji talebini karşılayabilmek için elektriğin en az %30'unun yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi hedeflenmektedir [33]. Bu hedeflere ulaşma adımlarından birisi olarak 2008 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından "Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği" yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre; 1000 m² ve üzerinde kullanım alanına sahip binaların enerji taleplerinin kısmen veya tamamen karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kullanım imkanlarının araştırılması zorunludur. Eğer 20 bin m²'ye kadar olan binalarda kurulması planlanan sistemin 10 yılda kendini amorti etmesi söz konusu ise yenilenebilir enerji üretim sisteminin kurulması zorunludur [34].

2.3 Enerji Kaynakları

En genel haliyle enerji kaynakları; mekanik enerji (kinetik ve potansiyel enerji), ısı (termik) enerji, kimyasal enerji, elektrik enerjisi, ışın enerjisi, atom (çekirdek) enerjisi, birleşme (füzyon) enerjisi olmak üzere 7 grupta incelenebilir. Genel olarak enerji kaynakları oluşumlarına göre yenilenemez enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki grupta toplanabilir.

2.3.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları'na Genel Bakış

Küresel bazda birincil enerji ihtiyacının %85'i fosil kaynaklı yakıtlar olarak da adlandırılan yenilenemez enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır [24]. Yenilenemez enerji kaynakları, kullanıldıktan sonra tekrar oluşması için belli bir zaman diliminin geçmesi gereken enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının temelini kömür, petrol doğal gaz, taş kömürü, linyit, uranyum vb. fosil kaynaklı yakıtlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtlar ölen canlı organizmaların oksijensiz bir ortamda uzun yıllar süresince bozulması sonucunda oluşurlar.

Dünyada enerji talebinin çok büyük bir kısmı bu yakıtlardan karşılanmaktadır. Dünyanın en büyük çıkamazlarından birisi de fosil yakıtların yakın gelecekte tükenme eğiliminde olmasıdır. Dünya enerji tüketim hızı doğal fosil oluşum hızının 300 bin katıdır. Bu da bir gün içerisinde tükettiğimiz enerjinin karşılanabilmesi için; doğal fosil oluşum sürecinde bin yıllık bir oluşum süresi gerektirmektedir [35]. Sonuç olarak en çok kullanılan birincil enerji kaynağı olan fosil yakıtları hızla tüketmekteyiz. Dünya'da en sık kullanılan fosil yakıt kaynaklarının bölgelere göre rezervleri Çizelge 2.4'te verilmiştir [24].

Çizelge 2.4 : Fosil kaynakların bölgelere göre rezervleri.

Bölge	Petrol (Milyar Ton)	Doğal gaz (Trilyon m ³)	Taş Kömürü (Milyar Ton)	Linyit (Milyar Ton)
Kuzey Amerika	35.4	13.9	225.673	32.339
Orta ve Güney Amerika	51.1	8.2	8.943	5.073
Avrupa	1.9	3.9	56.132	78.461
BDT	19.6	62.8	98.123	90.730
Orta Doğu	113.2	75.5	1.203	0
Afrika	16.6	14.4	13.151	66
Asya ve Pasifik	6.3	18.1	331.678	113.210
Dünya Geneli	244.1	196.9	734.903	319.879

Fosil yakıtlar arasında en sık tercih edilen petrolün 2019 yılı ispatlanmış rezerv miktarı 244.1 milyar ton olarak belirlenmiştir. Dünya petrol rezervleri göz önüne alındığında toplam rezervin bölgelere göre sırasıyla; Orta Doğu (%46.37), Orta ve Güney Amerika (%20.93), Kuzey Amerika (%14.5), Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) (%8.03), Afrika (%6.8), Asya ve Pasifik (%2.58) ve Avrupa (%0.77) şeklindedir.

Fosil yakıtlar arasında öne çıkan yakıtlardan birisi olan Doğal gazın 2019 yılı ispatlanmış rezerv miktarı 196.9 trilyon m³ olarak belirlenmiştir. Dünya doğalgaz rezervleri göz önüne alındığında toplam rezervin bölgelere göre sırasıyla; Orta Doğu (%38.34), Orta ve Güney Amerika (%4.16), Kuzey Amerika (%7.05), Bağımsız Devletler Topluluğu (%31.89), Afrika (%7.31), Asya ve Pasifik (%9.19) ve Avrupa (%1.98) şeklindedir.

Fosil kaynaklı yakıtların küresel rezerv ömürleri küresel enerji ihtiyacını karşılayamayacak süreçlere girmektedir. Fosil yakıtlar arasında en sık tercih edilen petrolün kalan rezerv ömrü yaklaşık 50 yıl olarak tahmin edilmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların küresel rezerv ömürleri Çizelge 2.5'te verilmiştir [36].

Çizelge 2.5 : Fosil kaynaklı yakıtların küresel rezerv ömürleri.

Enerji Kaynağı	Kalan Rezerv Ömrü (Yıl)
Petrol	50.7
Doğal gaz	52.8
Linyit	114
Taş Kömürü	114

Dünya'da en fazla petrol rezervine sahip bölge Güney ve Orta Amerika, en fazla doğalgaz rezervine sahip bölge Orta Doğu ve en fazla linyit ve taş kömürü rezervine sahip olan bölge ise Kuzey Amerika'dır [36].

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji talebi büyük ölçüde fosil bazlı yakıtlarından sağlanmaktadır. Ülkemizin birincil fosil enerji kaynaklarının yeterli düzeyde olmamasından dolayı enerji ithal etmektedir. Ülkemizin fosil enerji kaynaklarının rezerv miktarları Çizelge 2.6'da verilmiştir [37].

Çizelge 2.6 : Ülkemizin fosil kaynaklı yakıtlarının küresel rezerv miktarları.

Enerji Kaynağı	Fosil Yakıt Rezervi
Petrol (Milyar Ton)	0.052
Doğal gaz (Milyar m ³)	90
Linyit (Milyar Ton)	10.975
Taş Kömürü (Milyar Ton)	0.378

Ülkemizde linyit hariç; kömür, petrol ve doğalgaz rezervlerimiz sınırlıdır ve ülkemizin projelendirilmiş taleplerini karşılamaktan uzaktır. Uzun vadede baktığımızda, linyit maden rezervleri de yeterli görünmemektedir [38].

Ayrıca fosil yakıtların çevreye olan etkileri de günümüzdeki en büyük sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya’da sanayi devriminden sonra, insanlığın iklimi etkilediği bir döneme girilmiştir. Geçmişte çevre bilincinin yeteri kadar gelişmemesinden ve fosil yakıt kullanımı nedenleriyle, dünya genelinde sıcaklıklarda düzensizlikler olmaya başlamıştır. Bu durumun sonucu olarak atmosferin yapısındaki sera gazları olarak tabir edilen karbondioksit, azot oksit ve metan gazlarının oranında artışlar meydana gelmiştir. Atmosferin ısı tutma özelliği artmış, küresel ortalama hava sıcaklıkları geçtiğimiz yüzyıl içerisinde 0.4-0.8°C arasında yükselmiştir. Bu sürecin devam etmesi halinde küresel yüzey sıcaklıklarının önümüzdeki 50 yıllık süreçte 0.6-2.5°C arasında, 100 yıllık süreçte ise 1.4-5.8°C arasında artacağı öngörülmektedir [39].

En çok kullanılan fosil yakıtlardan olan petrol ve doğal gazın bulunan rezervi ve tüketimi küresel anlamda düşünüldüğünde insanlık tarihi açısından yarım yüzyıl gibi kısa bir ömre sahip olması ve fosil yakıtların hava kirliliği, sera gazı etkisi gibi küresel çevre sorunlarına yol açması nedeniyle yeni enerji kaynakları arayışı içine girilmiştir. Yeni enerji kaynaklarının fosil yakıtların dezavantajlarından arınmış olması, süreklilik arz etmesi ve çevre sorunlarına yol açmaması gibi olumlu özellikleri sebebiyle bu kaynakların gelecekte kullanımı ile ilgili beklentiler artmıştır.

Fosil enerji kaynaklı yakıtlar bu olumsuzlukların yanı sıra elektrik enerjisi üretiminde dolaylı maliyet ögeleri de içerir. Böyle maliyetlere harici maliyetler denir. Örneğin yakıt maliyetine ilave olarak altyapı, araştırma, geliştirme ve çevre kirliliği kontrolü gibi maliyetleri içerir. Fosil yakıtların dezavantajları ve ilave maliyet gerekçeleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynakları tüm dünyada büyük önem kazanmış, ülkelerin kendi potansiyel güçlerini kullanmaları için fırsat doğmuştur.

2.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları’na Genel Bakış

Yenilenebilir enerji kaynakları; tabiatta daim bir biçimde sirkülasyona sahip olan, doğal süreçlerde yer alan ve genellikle bir üretim döngüsüne gerek duymadan elde edilebilen, sürdürülebilir enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biyokütle olarak sayılabilir. Ayrıca bu kaynaklar, alternatif enerji kaynakları olarak da isimlendirilmektedir [40].

Dünyamızın sahip olduğu yenilenebilir enerji doğal potansiyeli, ülkelerin enerji taleplerinin çok büyük bir kısmını karşılayacak kapasitededir. Dünya yenilenebilir enerji kaynakları doğal potansiyeli Çizelge 2.7’de verilmiştir [41].

Çizelge 2.7 : Dünya yenilenebilir enerji kaynakları doğal potansiyeli.

	Güneş Enerjisi	Rüzgar Enerjisi	Deniz Kökenli Enerjiler	Hidrolik Enerji	Biyokütle Enerjisi
Dünya Potansiyeli (Zettajoule)	1.6	0.7	0.1008	0.059	0.2

Dünya’daki ülkelerin enerji taleplerinin karşılanması noktasında; bu kaynakların kendisini yenileyebilmesi neticesinde tükenmeyen bir kaynak olması, çevreye zararının fosil bazlı yakıtlara oranla çok az olması, nakliye, dışa bağımlılık gibi sorunlarının olmaması gibi avantajlar cazip kılmaktadır [42]. 2019 yılı Dünya’da elektrik enerjisi üretiminde alternatif enerji kaynaklarının oranı %25.06 olup; %15.75’ini hidrolik enerji, geriye kalan %9.31’ini ise yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır [24].

Dünya’da alternatif enerji kaynaklarının enerji üretimine daha fazla katkı sağlaması amacıyla, Avrupa Birliği üyesi ülkeler “AB Enerji İklim Değişikliği Paketi” adı altında bir strateji belirlemişlerdir. Bu stratejiyi benimseyen ülkeler, 2020 yılına kadar karbon emisyonlarının %20 azaltılmasını, fosil kökenli yakıt kullanımının %20 azaltılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %20 arttırılmasını hedeflemektedir [43].

Ülkemizde 1970 ile 1983 yılları arasında elektrik enerjisi üretiminde, hidrolik dışında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmazken 1984 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanılmaya başlandığı görülmektedir. 10 Mayıs 2005 tarihli ve 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" ile alternatif enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların ekonomik, güvenilir ve efektif bir biçimde milli sermayemize kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin çoğaltılması, karbon bazlı yakıtların yakılması sonucu oluşan çevreye zararlı gazların oranlarının düşürülmesi, çevreye salınan atıkların dönüştürülmesi ve bu hedeflerin uygulanmasında gereksinim duyulan imalat sektörünün ileri düzeylere çıkartılması hedeflenmiştir.

Buna paralel yapılan değişiklikler ve düzenlemeler sonucu; fiyat desteği, arazi kullanımını için destek ve alım garantisi gibi teşvikler sayesinde 2006 yılından itibaren hidrolik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde önceki yıllara göre önemli artışlar gerçekleşmiştir [44].

Türkiye sahip olduğu coğrafi yapısı nedeniyle hatırı sayılır yenilenebilir enerji potansiyellerine sahiptir. Özellikle su, rüzgar ve güneş enerjisi bu potansiyellerin arasında başı çekmektedir. Ülkemizde bu potansiyeller dışında kalan yenilenebilir kaynakların da kapasiteleri ve enerji üretimleri her geçen yıl gelişmektedir. Ülkemizin 2019 yılı Mayıs Ayı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü Çizelge 2.8’de verilmiştir [30].

Çizelge 2.8 : Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü.

ENERJİ KAYNAĞI	KURULU GÜÇ (GW)
Güneş Enerjisi	5.435
Rüzgar Enerjisi	7.084
Jeotermal Enerjisi	1.303
Biyokütle Enerjisi	0.659
Hidrolik Enerjisi	28.400
Atık Isı+Diğer Yenilenebilir	0.338

2019 yılı Mayıs ayı itibariyle ülkemizin toplam kurulu gücü 89.471 GW’dır. Aynı ay içerisinde ülkemizin yenilenebilir enerji kurulu gücü; sınırlı bir kaynaktan elde edilmesi ve doğa olaylarına büyük oranda bağlı olması gibi nedenlerle kısmen yenilenebilir enerji kaynağı kapsamına giren hidrolik enerji de dahil edildiğinde 43.22 GW’a ulaşmıştır. Hidrolik enerji santralleri kapsam dışında bırakıldığında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücümüzün %16.56’sını oluşturmaktadır.

Bu durum yenilenebilir enerji alanında dünyanın yüksek potansiyele sahip olan ülkeleri arasında olan Türkiye’nin yerli üretimin yetersiz kaldığına dikkat çekmektedir. Ülkemizin elektrik enerjisi üretim dengesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının arttırılması kritik bir yere sahiptir. Bu amaçla ülkemizin sahip olduğu enerji kaynaklarının belirlenerek, faydalanılabilir miktarlarının incelenmesi gerekmektedir. Rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, çevresel faydalarının yanı sıra dış devletlere muhtaç olma durumunu önemli ölçüde düşüreceğinden, ülkemizin teknolojik ilerleme düzeyini de yükseltecektir [45]. Alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasıyla, kısıtlı olan fosil kökenli yakıtların rezerv ömürleri de arttırılacaktır.

Ülkemiz ve dünyadaki devletler tarafından yapılacak iyileştirmeler ve ilk yatırım maliyetlerini azaltma gibi teşvik edici destekler ile bu alanda yapılacak teknik ve teknolojik ilerlemeler neticesinde yenilenebilir enerjinin üretim ve enerji dengesindeki payı artacaktır. Geleceğe dönük projeksiyon çalışmalarına göre, temiz enerji teknolojilerinin, birçok ülkede market gelişimi stratejisinin uygulanması sonucu enerji güvenilirliğini arttıracığı ve daha aktif bir rol üstleneceği tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, enerji kaynaklarının potansiyelinin tespit edilerek, kullanılabilir enerji alanlarının belirlenmesi gerekmektedir [46].

2.3.2.1 Güneş Enerjisi

Güneş, dünyaya göre tükenmez olduğu kabul edilen tek enerji kaynağıdır. Denizlerde oluşan gel-git enerjisi ve yüzey ısısı olarak da bilinen jeotermal enerji hariç diğer bütün yenilenebilir enerjilerin ve fosil bazlı yakıtların kaynağını oluşturmaktadır. Güneşin Dünya'ya ışınım yolu ile aktardığı anlık güç 178.000 TW'dır. Ancak, bu anlık gücün 62.000 TW'lık bölümü Dünya yüzeyinden yansımakta, 76.000 TW'lık bölümü ise, Dünya'dan uzaya yayılmaktadır. Güneşin Dünya'ya ışınım yolu ile aktardığı anlık net güç 40.000 TW'dır [47].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti (güneş sabiti), yaklaşık 1370 W/m² değerindedir, ancak atmosfer tabakalarının kırılcılık etkisinden dolayı yeryüzüne ulaşan miktarı 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim göstermektedir [48].

Güneş enerjisi, çevremiz açısından temiz ve sürdürülebilir bir kaynak özelliği taşımasıyla fosil bazlı yakıtlar karşısında önemli bir seçenek olarak yer almaktadır. Dünyaya ulaşan bu enerjinin bir yılda gelen miktarı, bilinen kömür stoklarının yaklaşık 50 katına, petrol stoklarının ise yaklaşık 800 katına denk gelmektedir. Özellikle 1970'lerden sonraki dönemlerde güneş enerjisi sistemleri ile ilgili araştırmalar ivme kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojisi ilerlemiş ve ilerleyen teknolojiye paralel maliyetlerde düşüşler yaşanmıştır [40].

Güneş enerjisi sistemleri metot, materyal ve teknik ilerleme seviyesi açısından çok farklılık göstermekle birlikte fotovoltaiik güneş teknolojileri ve termal güneş teknolojileri olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır.

Fotovoltaik güneş teknoloji sistemlerinde; fotovoltaik hücreler olarak ta adlandırılan yarı iletken malzemeler üzerlerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedirler. Bir diğer yöntem olan termal güneş teknoloji sistemlerinde ise güneş enerjisinden ısı elde edilmesi ön plandadır. Daha sonra ısı enerjisinden istenilen alanda direkt kullanım ya da dolaylı olarak elektrik enerjisi üretimi sağlanmaktadır [48].

Dünyamızın ortalama doğal güneş enerjisi potansiyeli 432,000 TWh'dir [41]. 2018 yılı sonu itibariyle dünyada güneş enerji sistemlerinin toplam kapasitesi 406.9 GW'dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %18.53'ü güneş enerji sistemlerinden sağlanmıştır [49]. 2018 yılı sonu itibariyle dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kurulu güç göz önüne alındığında Çin (175.032 GW) ile lider durumdadır. 2018 yılı sonu itibariyle en yüksek güneş enerjisi kurulu kapasitesine sahip beş ülke Çizelge 2.9'da verilmiştir [50].

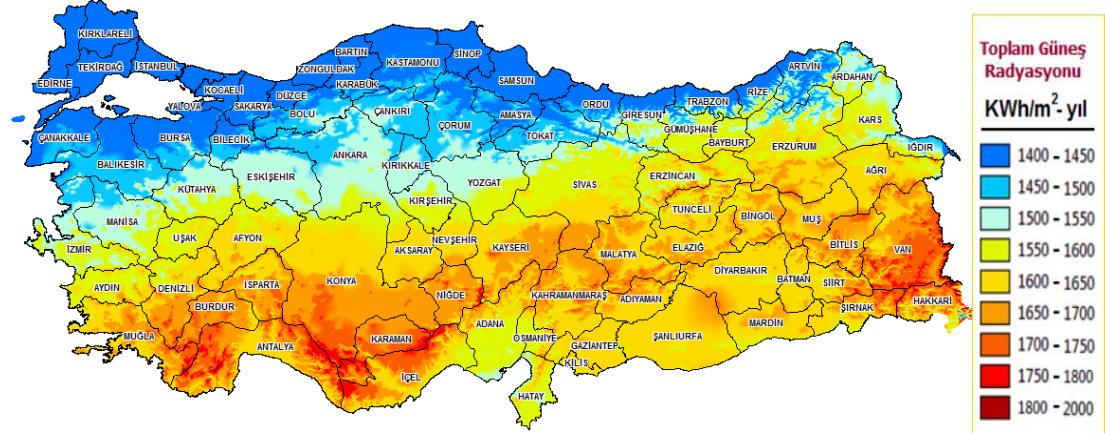
Çizelge 2.9 : Güneş enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.

Ülke	Kurulu Güç (GW)
Çin Halk Cumhuriyeti	175.032
Japonya	55.5
Amerika Birleşik Devletleri	51.45
Almanya	45.932
Hindistan	27.098

2018 yılı sonunda Türkiye'nin güneş enerjisindeki kurulu gücü 5.064 GW'dır. 2017-2018 yılı içerisinde Çin (44.220 GW), Hindistan (9.225 GW) ve Amerika Birleşik Devletleri (8.590 GW) ile kurulu güçlerini en çok arttıran ülkelerdir. Ülkemiz ise bu yıllar arasında kurulu gücünü 1.642 GW arttırmıştır [50].

Ülkemiz, coğrafi konumu göz önüne alındığında dünyanın birçok ülkesine göre avantajlı durumdadır. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından dünyanın sayılı ülkeleri arasında yer almaktadır [40]. Ülkemizde güneş enerjisi, daha çok termal ısıtma amacıyla kullanılır. Isıl güneş enerjili sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Ülkemiz 18 milyon m² kurulu kollektör alanı ile bu alanda dünyanın öne çıkan ülkelerinden biri pozisyonundadır [48]. Son yıllarda ülkemizin güneş enerjisinden elektrik üretimi kapasitesi de artmaktadır. Ülkemizde yapılan yıllık güneş enerjisinden elektrik üretimi teknik hesaplarına göre; doğal potansiyelin 977,000 TWh, teknik potansiyelin 6,105 TWh, ekonomik potansiyelin ise 305 TWh olduğu hesaplanmıştır [51].

Ülkemizde “Güneş Enerji Potansiyeli Belirleme Çalışması” bağlamında hazırlanan skala ile ülkemizdeki güneş enerjisinden faydalanılması için en uygun bölgelerin belirlenmesi ve belirlenen bu alanlarda güneş enerjisi teknolojilerine dayalı enerji üretim imkânlarının ortaya konulması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ülkemizin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) Şekil 2.4’te gösterilmiştir [52].



Şekil 2.4 : Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA).

Şekil 2.4'te Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası incelendiğinde, ülkemizin ekvatora yakın olan güney bölgelerinin güneş enerjisi potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Güneş enerjisini en çok alan bölgeler sırasıyla Güneydoğu Anadolu, Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, güneş enerjisini en az alan bölgeler Marmara ve Karadeniz bölgeleridir. Ülkemizdeki toplam güneş radyasyonu değeri 1400-2000 kWh/m²-yıl arasında değişmektedir. Haritadan da görüldüğü gibi Trakya bölgesi ve Kırklareli ili için bu değer 1400-1450 kWh/m²-yıl arasındadır.

2.3.2.2 Biyokütle ve Biyogaz Enerjisi

Dünyamızda sürekli artan insan popülasyonu ve sanayi sektörünün her geçen gün büyümesi ile giderek artan enerji ihtiyacını, çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak karşılayabilecek kaynaklardan birisi de biyokütle enerjisidir. Güneşten gelen enerjinin önemli bir bölümü bitkiler tarafından biyokütle enerjisine dönüştürülmektedir [53]. Bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle enerjisi; tükenmeyen, ekonomik ihtiyaçlara cevap verebilen, her bölgede yetiştirilebilen, özellikle taşra bölgeleri için sosyo-ekonomik kalkınmaya destek olan, çevreyi tahrip etmeyen yenilenebilir ve yerli bir enerji kaynağıdır.

Bir cinse veya farklı cinslerden oluşan bir topluluğa ait canlı organizmaların belirli bir süre periyodunda sahip oldukları toplam kütleyle biyokütle denmektedir. Bunlar biyolojik bazlı fakat fosil olmayan organik maddelerdir. Biyokütle enerji kaynaklarını; deniz bitkileri, orman kökenli, zirai kökenli (bitkisel ve hayvansal), sanayi ve kentsel bazlı atıklar ve bu atıkların işlenmesi sonucu elde edilen yakıtlar oluşturmaktadır.

Bunlara örnek olarak tarımı yapılan mısır, buğday, arpa, kolza bitkisi; otlar, ağaçlar, denizdeki algler, yosunlar, hayvan kökenli atıklar, gübre, endüstriyel atıklar ile evsel atıklar gibi tüm organik çöpler sıralanabilir [54].

Fosil bazlı yakıtların kullanılmasıyla çok uzun süreçler boyunca yeraltında stoklanmış olan karbondioksit gazı çevreye salınmaktadır. Atmosferde biriken karbondioksit gazı sera etkisi nedeniyle küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Buna karşılık olarak biyokütlenin yakılmasıyla, karbondioksit gazı tekrar tepkimeye girmektedir. Biyokütlenin tekrar oluşturulması sonucunda çevreye ilave olarak karbondioksit gazı salınmamaktadır. Bu nedenle biyokütle yakılması sürdürülebilir biyokütle enerjisi olarak da adlandırılmaktadır [55].

Bu kaynaklar, biyokütle çevrim teknikleri yardımıyla katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülmektedir. Üretim sonucu biyodizel, bioetanol, biyogaz gibi ana ürünler elde edilmekte ve bu yakıtların kullanımıyla da ısı enerjisinin yanı sıra elektrik enerjisi de üretilebilmektedir [56]. Biyokütle kaynaklarından enerji elde etmek için hangi çevrim yöntemi ile hangi yakıtların üretildiği ve uygulama alanları Çizelge 2.10' da verilmiştir [56].

Çizelge 2.10 : Biyokütle kaynakları çevrim metodları ve elde edilen yakıtlar.

Biyokütle	Çevrim Yöntemi	Üretilen Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman Artıkları	Anaerobik Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi, Isınm
Tarımsal Artıklar	Piroliz	Etanol	Isınma, Ulaşım
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Dizel Yakıt, Hidrojen	Isınma, Ulaşım
Hayvansal Artıklar	Fermantasyon, Anaerobik Çürütme	Metan	Ulaşım Araçları, Isınma
Organik Çöpler	Gazlaştırma	Metanol	Uçak Yakıtı
Algler	Hidroliz		Sentetik Yağ, Roketler
Enerji Ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün Kurutma
Bitkisel ve Hayvansal Yağlar	Esterleşme Reaksiyonları	Motorin	Isınma, Ulaşım, Seracılık

Dünyamızın ortalama doğal biyokütle enerjisi potansiyeli 54,000 TWh'dir [41]. 2018 yılı sonu itibariyle dünyada biyokütle enerji sistemlerinin toplam kapasitesi 122 GW'dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %5.55'i biyogaz enerjisinden sağlanmıştır [49].

2018 yılı sonu itibariyle dünyada biyokütle enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kurulu güç göz önüne alındığında Amerika Birleşik Devletleri (15.310 GW) ile lider durumdadır. 2018 yılı sonu itibariyle en yüksek biyokütle ve biyogaz enerjisi kurulu kapasitesine sahip beş ülke Çizelge 2.11'de verilmiştir [50].

Çizelge 2.11 : Biyokütle ve biyogaz enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.

Ülke	Kurulu Güç (GW)
Amerika Birleşik Devletleri	15.310
Almanya	15.172
Brezilya	15.060
Çin Halk Cumhuriyeti	13.865
Hindistan	10.266

Ülkemiz biyokütle ve organik atık kaynakları bakımından çok yüksek bir potansiyele, bu kaynağın geliştirilmesi bakımından elverişli imkanlara ve atmosferik şartlara sahiptir. Ülkemizin enerji sektörü açısından dış devletlere olan bağılılığını minimize etmek için, enerji eldesi için ekim-dikim bölgelerinin oluşturulması, bu bölgelerden ve organik atıklardan biyoyakıt üretiminin geliştirilmesi, gübreler ve çöplerden üretilecek biyogaza gereken değerin verilmesi gereklidir [57].

Ülkemizin biyokütle kaynakları arasında ormanlar, organik şehir atıkları, tarımsal ve hayvansal atıklar bulunmaktadır. Ülkemizde üretimi yapılan biyoyakıt türleri arasında biyoetanol, biyogaz ve biyodizel bulunmaktadır.

Ülkemizin kullanılabilir biyoenerji potansiyeli yaklaşık 17 MTEP olup odun ve orman atıklarından enerji üretim potansiyeli 8.6 MTEP olarak öngörülmektedir. Üretilebilecek biyogaz miktarının ise 1.5-2 MTEP aralığında olduğu öngörülmektedir.

2018 yılı sonu itibariyle ülkemizde biyokütle ve biyogaz enerjisinden elektrik üretimi kurulu gücü 811 MW'tır. Ayrıca bu enerji türünden aynı dönem içerisinde 3,216 GWh elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir [58].

2.3.2.3 Jeotermal Enerji

Yerkabuğunun derinliklerine inildikçe kayalar içerisinde birikerek oluşan ısının akışkanlar aracılığı ile taşınarak haznelerde birikmesi neticesinde meydana gelen sıcak su, buhar, kuru buhar ve kızgın kuru kayalardan suni yollarla sağlanan termal enerjiye jeotermal enerji denir [59]. Bu kaynaklar yapısı gereği volkanik ve magmatik yapılar ile fay hatlarının etrafında oluşmaktadır.

Yeraltında bulunan granit gibi bazı sert kayaların oluşturduğu sistemler de yapılarında su akışkanını ihtiva etmemesine rağmen bir jeotermal enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Bu kayaların içeriğinde herhangi bir akışkan bulunmamasına rağmen bazı teknik metodlarla ısı enerjisinden faydalanılan, yeryüzünün alt katmanlarındaki sıcak kuru kayalardır. Günümüzde jeotermal enerji; sağlık sektörü, mahal ısıtması, endüstriyel uygulamalar, elektrik üretimi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır [60]. Jeotermal kaynakların sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntem, jeotermal sıvının içerdiği entalpidir.

20-70°C aralığındaki düşük sıcaklıklı sahaların başlıca kullanım alanı ısıtma olup, endüstri ve kimyasal madde üretiminin birçok yan kolunda tercih edilmektedir. 70-150°C aralığındaki orta sıcaklıklı sahalar farklı dönüşüm teknolojileri ile elektrik enerjisi üretimi için gerekli olan sahalardır. 150°C ve üstü sıcaklığa sahip yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen akışkan ise, temel olarak elektrik üretiminde ve elektrik üretimiyle ilişkili olan diğer sahalarda da kullanılabilir [60,61].

Teknik gelişmeler neticesinde yüksek sıcaklık değerine sahip olan jeotermal akışkanların sebep olduğu aşınma, hızlı çökme ve kabuklaşma gibi ciddi problemler aşılmıştır. Bu dezavantajlardan arınması ile Dünya'da ve ülkemizde önemli bir potansiyel enerji kaynağı niteliği kazanan jeotermal enerjiden faydalanma oranı ve elde edilen verim oldukça artmıştır [59].

Elektrik üretimini genel olarak üç farklı şekilde kategori edebiliriz. Birinci tür üretimde; kullanılan sahalarda buharın baskın olduğu sahalarda olup, kuyudan elde edilen kuru buhar alınarak elektrik üretmek için kullanılan türbini döndürmesi sağlanır. Bu sahalarda kullanımı en kolay sahalardır. İkinci tür üretimde ise; ilk önce jeotermal akışkan separatörlerde sıvı ve buhar olarak ayrılır. Daha sonra ayrıştırılan buhar alınarak birinci tür üretimde olduğu gibi elektrik üretmek için kullanılan türbini döndürmesi sağlanır.

Bu türbinlerin avantajı ilk yatırım maliyetlerinin diğerlerine göre daha düşük olmasıdır. Üçüncü tür üretim ise; ikili çevrim santrallerinde yapılan üretdir. Jeotermal akışkanın sıcaklığından faydalanılır. Jeotermal akışkandan daha düşük kaynama sıcaklığına sahip ikincil bir akışkan eşanjörde buharlaştırılarak elektrik üretmek için kullanılan türbini döndürmesi sağlanır. Böylece bu sistem daha düşük sıcaklıklarda üretim imkanı sağlanmaktadır [60].

Dünyadan uzaya yayılan jeotermal kaynaklı enerji yılda yaklaşık 4×10^{17} kJ değerindedir. Dünyamızın magma kaynaklı doğal jeotermal enerjisi potansiyeli 4,050,000,000 TWh'dir [62]. 2018 yılı sonu itibariyle dünyada jeotermal enerji sistemlerinin toplam kapasitesi 12.8 GW'dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %0.58'i jeotermal enerji sistemlerinden sağlanmıştır [49].

2018 yılı sonu itibariyle dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kurulu güç göz önüne alındığında Amerika Birleşik Devletleri (2.546 GW) lider durumdadır. 2018 yılı sonu itibariyle en yüksek jeotermal enerjisi kurulu kapasitesine sahip beş ülke Çizelge 2.12'de verilmiştir [50].

Çizelge 2.12 : Jeotermal enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.

Ülke	Kurulu Güç (GW)
Amerika Birleşik Devletleri	2.546
Endonezya	1.946
Filipinler	1.928
Türkiye	1.283
Yeni Zelanda	0.996

2017-2018 yılı içerisinde Türkiye (0.219 GW), Endonezya (0.137 GW) ve Amerika Birleşik Devletleri (0.058 GW) ile kurulu güçlerini en çok arttıran ülkelerdir [50].

Ülkemiz, jeotermal enerji bakımından yüksek potansiyele sahip ülkeler arasındadır. 100°C sıcaklığa kadar varan birçok kaynağın varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Ülkemizin jeotermal brüt teorik ısı potansiyeli 31.500 MW, teknik ısı potansiyeli 7.500 MW ve yararlı ısı potansiyeli ise 2.843 MW'tır [63].

Kanıtlanmış jeotermal elektrik teknik potansiyeli 500 MW, faydalanılabilir elektrik enerjisi potansiyeli 350 MW civarındadır. Faydalanılabilir potansiyelle yıllık bazda üretililecek elektrik enerjisi miktarı ise 1,400 GWh düzeyindedir [63].

Ülkemizde jeotermal potansiyeli oluşturan alanların; %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'dadır. Jeotermal kaynaklarımızın %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup direkt sistemler (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için, %10'u ise dolaylı sistemler (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. 0.5 MW güce sahip Kızıldere Santrali'nin kurulmasıyla, ülkemizde jeotermal enerji sistemlerinden elektrik enerjisi elde edilmeye başlanmıştır [64].

2018 yılı sonu itibariyle; ülkemizde jeotermal enerji 4,283 dönüm sera ısıtmasında, 116,000 adet konutun ısıtılmasında kullanılmıştır [65]. 2019 yılı Mayıs ayı sonu itibariyle; ülkemizin jeotermal enerji sistemlerinden elektrik enerjisi toplam kurulu kapasitesi 1.303 GW'tır [30].

2.3.2.4 Hidrolik Enerji

Hidroelektrik santrallerde yer çekimi ve suyun gücünden faydalanarak elektrik elde edilmektedir. Suyun potansiyel enerjisinden yararlanabilmek için, su kütlesi belli bir yükseklikten daha alçakta bulunan türbinlere yönlendirilir. Böylece suyun akış veya düşüş hızının yardımı ile pervane gibi kolları bulunan türbinleri döndürmesi sağlanmaktadır. Bu türbinler generatörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler [66].

Hidroelektrik santraller, yaygın olarak suyun düşüş yüksekliklerine göre değerlendirilmektedir. Hidroelektrik santraller suyun düşüş yüksekliğine göre; 25 metreden küçük ise alçak basınçlı, 25-100 metreden büyük olan santraller ise yüksek basınçlı olarak sınıflandırılmaktadır. Elektrik enerjisi eldesinde; hidroelektrik enerji santrallerinde faydalanılan teknoloji diğer enerji kaynaklarında faydalanılan teknolojilerden daha basittir [66,67].

Hidrolik enerjide ithal kaynaklardan faydalanılmadığından üretilen elektrik enerjisi yerli olarak kabul edilmektedir ve tesisin yapı niteliği açısından da kısmen yenilenebilir enerji kaynakları kategorisindedir. Hidroelektrik santraller elektrik enerjisi üretmelerinin yanında; ülke kaynaklarının kullanılması, akarsuların kontrolü ve su ihtiyacının karşılanması gibi avantajları da bulunmaktadır. Yapım maliyetinin yüksek olması, ekonomik olarak geliştirilebilir yakıt rezervinin sınırlı olması, yerleşim yeri, ekim dikim alanları, tarihi eserlerin su altında kalması ve su rejiminin değişken olması sebebiyle doğal hayata zarar vermesi dezavantajlarıdır [66,67].

Dünyamızın ortalama doğal hidrolik enerjisi potansiyeli 15,930 TWh'dir [41]. 2018 yılı sonu itibariyle dünyada hidrolik enerji sistemlerinin toplam kapasitesi 1,114 GW'dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %50.75'i hidrolik enerji sistemlerinden sağlanmıştır [49]. 2018 yılı sonu itibariyle Dünya'da hidrolik enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kurulu güç göz önüne alındığında Çin (352.261 GW) lider durumdadır. 2018 yılı sonu itibariyle en yüksek hidrolik enerjisi kurulu kapasitesine sahip beş ülke Çizelge 2.13'te verilmiştir [50].

Çizelge 2.13 : Hidrolik enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.

Ülke	Kurulu Güç (GW)
Çin Halk Cumhuriyeti	352.261
Brezilya	104.195
Amerika Birleşik Devletleri	103.109
Kanada	80.747
Rusya	51.478

2018 yılı sonunda Türkiye'nin hidrolik enerjisindeki kurulu gücü 28.291 GW'dır. Ülkemiz 2017-2018 yılı içerisinde kurulu gücünü 1,018 GW arttırmıştır [50].

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli potansiyele sahip olan enerji türü hidroelektrik enerjidir. Ülkemizde yapılan yıllık hidrolik enerjisinden elektrik üretimi teknik hesaplarına göre; doğal potansiyel 433 TWh, teknik potansiyel 216 TWh, ekonomik potansiyel ise yaklaşık 128 TWh olarak hesaplanmıştır [51]. Bu enerjinin global olarak en büyük sorunu üretim bölgesinin, tüketim bölgesine olan uzaklığıdır. Bu dezavantajına rağmen, yenilenebilir ve güvenilir bir enerji olması önemini korumasını sağlar. Türkiye'nin 2020 yılında hidrolik enerjiden hedeflediği kurulu güç miktarı 33 GW olarak belirlenmiştir [33].

2.3.2.5 Deniz Kökenli Enerji Kaynakları

Deniz kökenli enerji kaynakları; deniz termal enerjisi, deniz akıntısı, dalga enerjisi ve gel-git (medcezir) enerjisi olarak sayılabilir. Deniz kökenli enerji kaynakları; alternatif ve temiz bir enerji türüdür. Okyanus ve deniz yüzeylerinde rüzgar, hareketli taşınlar, depremler veya ay ve dünya arasındaki çekim kuvveti gibi dış faktörler neticesinde dalga adı verilen oluşumlar meydana gelmektedir. Bu oluşumlar ise inişli-çıkışlı hareketler sonucunda dalga enerjisini oluşturmaktadır. Rüzgar hareketleriyle oluşan deniz dalgaları, diğer nedenlerle oluşan dalgalardan daha süreklidir. Dalga enerji sistemleri ise, kıyılara ve açık denizlere uygulanabilir.

Bu sistemler opsiyonel olarak deniz tabanına ya da yüzeyine kurulabilir. Son yıllarda dalga enerjisi sistemlerinden elektrik enerjisi üretimiyle ilgili araştırmalar hız kazansa da bu enerji çeşidi ekonomik kriterler açısından henüz yeterli değildir [68].

Gel-git enerjisi ise, Ay'ın kütle çekim kuvvetinin bir sonucu olarak denizlerde meydana gelen kabarıp alçalmalar sayesinde oluşmaktadır. Bu olayın meydana geldiği kıyılara gel–git santralleri kurulmaktadır. Bu santraller; çift taraflı çalışan türbinler yardımıyla mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde edilmesi ilkesi ile çalışır. Gel-git enerji sistemlerinin yüksek ilk yatırım maliyetlerinden dolayı yakın gelecekte birincil fosil yakıt kaynaklarına alternatif bir pozisyona gelmeleri pek olası gözükmemektedir [69].

Dünyamızın deniz kökenli enerji potansiyeli 27,216 TWh'dır. [41] 2018 yılı sonu itibarıyla dünyada deniz kökenli enerji sistemlerinin toplam kapasitesi 0.5 GW'dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %0.02'si deniz kökenli enerjilerden sağlanmıştır [49]. 2018 yılı sonu itibarıyla en yüksek deniz kökenli enerjilerde kurulu kapasitesine göre önde gelen ülkeler Çizelge 2.14'te verilmiştir [50].

Çizelge 2.14 : Deniz kökenli enerji kurulu kapasitesine göre önde gelen ülkeler.

Ülke	Kurulu Güç (MW)
Kore Cumhuriyeti	255
Fransa	219
Kanada	23
Birleşik Krallık	20

Dünya'da dalga enerjisi sistemlerinden faydalanmanın ülkelerin enerji taleplerinin çok büyük bir kısmını karşılayacağı tahmin edildiğinden okyanuslara kıyısı olan birçok ülkede araştırmalara ve uygulamalara büyük önem verilmektedir. Ancak, dalga enerjisi yoğunluğu orta yükseklikte olan ülkelerde, ekonomik olduğu sürece mevcut alternatif enerji stratejilerini bütünleyici bir enerji türü olarak dahil edilmektedir. Dünyada deniz kökenli enerji kaynaklarının kullanımı gün gittikçe yaygınlaşmaktadır. Deniz kökenli teknolojilerin uygulamaları arasında; okyanus ve denizlerdeki dalga enerjisi ile milyonlarca evin elektrik ihtiyacını karşılamak, körfezlere boydan boya baraj veya barikat kurulup gelgitler arasında basınç farkı yaratarak elektrik üretiminin sağlanması, gel-gitler oluştuğunda su yüzeyinde döneren enerji üreten gelgit çitleri, suyun altına yerleştirilen gelgit türbinleri bulunmaktadır [69].

Ülkemizde yapılan yıllık deniz kökenli enerjilerden elektrik üretimi teknik hesaplarına göre; doğal potansiyelin 150 TWh, teknik potansiyelin 18 TWh olduğu bulunmuştur [51]. Ülkemiz için bu enerji türü içerisinde en önemli potansiyeli olan kaynak deniz dalga enerjisidir. Açık deniz bakımından şanslı olan ülkemizde deniz dalga konvektörleri ile bu enerjiden faydalanılması araştırılmalıdır. Ülkemizin Marmara Denizi dışında açık deniz kıyıları 8,210 kilometreyi bulmaktadır [70].

Gel-git santrallerinin en önemli kriterlerinden birisi olan dalga yüzeyi güç değeri, okyanuslar dışında 10-40 kW/m² arasında değişmekle birlikte, Akdeniz kıyıları için bu değer ortalama 13 kW/m² olarak verilmektedir. Ancak ülkemizde gel-git santrallerinin kurulabileceği herhangi bir kıyı mevcut değildir [70].

2.3.2.6 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi; oluşumu güneşe bağlı olan, temiz, yenilenebilir bir enerji türüdür. Yeryüzüne ulaşan toplam güneş enerji potansiyelinin yaklaşık %2'sinin rüzgarın kinetik enerjisi formuna dönüştüğü öngörülmektedir. Bu oranın, dünyadaki bütün bitkiler tarafından biyolojik kütleye dönüştürülen enerji miktarının 50-100 katıdır. Bu oranın ayrıca dünyamızın enerji tüketiminin yüzlerce katı olduğu hesaba katıldığında, geleceğimiz için rüzgar enerjisinin anlamı açıkça ortadadır [53].

Güneşin atmosfer tabakalarındaki yansıma ve kırılmalardan dolayı yeryüzünü ve dış ortam çevresini homojen ısıtamamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkları hava akımlarını oluşturmaktadır. Bir hava kütlesi ısındıkça atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesiyle boşalan yere aynı hacme sahip olan bir soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değişim hareketleri rüzgar olarak adlandırılmaktadır [71].

Diğer bir ifadeyle rüzgar; yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine doğru hareket eden hava akımıdır. Havanın bir kütlesi vardır ve rüzgar şeklinde hareket eden hava bir kinetik enerjiye sahiptir. Havanın sahip olduğu bu kinetik enerjiye rüzgar enerjisi adı verilmektedir [39,72]. Rüzgarlar yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru ilerlerken; dünyanın kendi eksenini etrafında hareketleri, yer yüzeyi sürtünmeleri, bölgesel ısı dağılımı, rüzgara karşı oluşan atmosferik etkenler ve arazinin yapısı gibi bölgesel faktörlerden ve zamana bağlı oluşumlardan etkilenmektedir [39,72].

İki nokta arasındaki basınç farkının yüksek olduğu bölgelerde (deniz, okyanus kıyısı, pürüzsüz tepe ve vadiler, kıyı şeritleri, tepeler ve vadiler vb.) rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu bilinmektedir [39,44].

Alternatif enerji kaynaklarından birisi olan rüzgar enerjisi; doğal bir atmosferik dönüşüm sonucunda oluşması, doğada sürekli ve tükenmeyen bir formda olması, asit yağmurlarına ve küresel ısınmaya yol açmaması, atmosfere karbondioksit ve diğer zararlı gaz emisyon salınımının olmaması, habitat ve insan sağlığı üzerinde negatif bir etkisinin bulunmaması, fosil yakıt tasarrufu sağlaması, herhangi bir radyoaktif etkisinin bulunmaması gibi özellikleri ile çevre dostu bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir [44,71].

Atmosferde bol ve serbest halde bulunması, teknolojik gelişiminin hızlı olması, enerjinin yönetiminde yüksek bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaması, kısa sürede devreye alınabilmesi ve gerekli durumlarda kısa sürede devreden çıkartılabilmesi, düşük maliyetli olması, sık bakım gerektirmemesi, çevre kirliliği yaratmaması gibi özellikleri rüzgar enerjisinin temel avantajları arasındadır [44,72].

Bu enerji türünün dezavantajları arasında; rüzgar hızının kararsız ve stabil olmaması, kapasite faktörlerinin düşük olması, rüzgar türbini ilk yatırım maliyetinin fazla olması, gürültü ve ses kirliliği, radyo ve TV alıcılarında parazite neden olmaları olarak sayılabilir [71,72].

Rüzgar enerjisi; hem diğer yenilenebilir enerji kaynakları hem de fosil kaynaklı enerji yakıtları arasında doğaya çevresel etki açısından neredeyse zararsız olan tek enerji türüdür. Rüzgar enerjisinin tek çevresel etkisi gürültü olmasına rağmen bu faktör de minimum seviyelere yakındır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil kaynaklı enerji yakıtlarının; iklim değişikliği, asit yağmurları, su kirliliği, toprak kirliliği, gürültü, radyasyon gibi dünyamızın ve yaşamımızın geleceğini tehdit eden konularda, çeşitli seviyelerde ve azımsanamayacak çevresel etkileri mevcuttur [44].

Dünyamızın doğal rüzgar enerjisi potansiyeli 189,000 TWh'dir [41]. 2018 yılı sonu itibarıyla dünyada rüzgar enerji sistemlerinin toplam kapasitesi 539 GW'dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %24.55'i rüzgar enerji sistemlerinden sağlanmıştır [49].

2018 yılı sonu itibariyle dünyada rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kurulu güç göz önüne alındığında Çin 184.696 GW ile lider durumdadır. 2018 yılı sonu itibariyle en yüksek rüzgar enerjisi kurulu kapasitesine sahip beş ülke Çizelge 2.15’te verilmiştir [50].

Çizelge 2.15 : Rüzgar enerjisi kurulu kapasitesine göre ilk 5 ülke.

Ülke	Kurulu Güç (GW)
Çin Halk Cumhuriyeti	184.696
Amerika Birleşik Devletleri	94.295
Almanya	59.420
Hindistan	35.288
İspanya	23.436

2018 yılı sonunda Türkiye’nin rüzgar enerjisindeki kurulu gücü 7.005 GW’dır. 2017-2018 yılı içerisinde Çin (20.304 GW), Amerika Birleşik Devletleri (6.752 GW) ve Almanya (3.702 GW) ile kurulu güçlerini en çok arttıran ülkelerdir. Ülkemiz ise bu yıllar arasında kurulu gücünü 0.489 GW arttırmıştır [50].

“Rüzgar Gücü 12” adlı çalışma raporuna göre, 2020 yılına kadar olan süreçte rüzgar enerjisinden dünya elektrik enerjisi üretiminin %12’sinin tedarikine yönelik bir fizibilite çalışması planlanmaktadır [73]. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi dünyada her geçen gün daha fazla ilgi görmektedir. Bu enerji çeşidi, ülkeler tarafından yürütülen araştırma, uygulama ve teknoloji geliştirme faaliyetleri kapsamında cazibesini sürdürmektedir.

3. RÜZGAR ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ

3.1 Rüzgar Türlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar genel olarak süreklilik durumlarına, hızlarına ve esme yönlerine göre sınıflara ayrılabilir. Bu sınıflandırmalar; rüzgarı karakterize etmekte, belirli referans yükseklikleri baz alarak ham veri ölçümlerinin elde edilmesinde, rüzgarın esme yönüne göre derecelendirilmesi ve isimlendirilmesinde, rüzgar özelliklerinin belli kategorileri ayrılıp tanımının yapılmasında büyük önem arz etmektedir.

3.1.1 Süreklilik Durumlarına Göre

Rüzgarda yön ve şiddet unsurlarının yanı sıra, rüzgarı karakterize eden en önemli faktörlerden birisi de sürekliliktir. Elektrik üretimi amaçlı türbin seçiminde belirleyici bir unsur olarak çalışılan bölgenin rüzgar süreklilik faktörü göz önüne alınmalıdır. Dünyamızda rüzgar sabit bir kararlılık ve frekansta esmediği için, modern rüzgar türbinleri, çalışılan zamanın %65 ile %80 arasında devrededir ve dolayısıyla nominal kapasitelerinden daha düşük bir verimde çalışırlar. Rüzgarın sürekli estiği zamanlarda kapasite faktörü değeri yüksek olmasına rağmen, rüzgarın sürekli değişken ve kararsız bir yapıda olmasından dolayı kapasite faktörü genel olarak %25 ile %40 arasında yaygındır [53,72].

Rüzgarın oluşumunda alanın topoğrafik yapısı büyük önem arz etmektedir. Rüzgarlar topoğrafik etkilerin sonucunda meydana gelirler. Rüzgarlar; yıl boyunca sürekli esen ve yıl içerisinde aralıklı esen süreksiz rüzgarlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [72]. Rüzgarların sürekliliklerini göre sınıflandırılması Çizelge 3.1’de verilmiştir [53].

Çizelge 3.1 : Rüzgarların sürekliliklerine göre sınıflandırılması.

Sürekli Rüzgarlar				Süreksiz Rüzgarlar	
Alize Rüzgarlar	Kontralize Rüzgarlar	Meltem Rüzgarları		Föhn Rüzgarları	Antisiklon Rüzgarları
		Kara ve Deniz Meltemleri	Dağ ve Vadi Meltemleri		

Sıcak ekvator bölgesinde ısınan hava yerden 10 km kadar yükselerek kuzey-güneye yönlerine doğru yayılır. Dünya'nın dönmesi ile oluşan coriolis kuvvetleri sıcak havanın ilerlemesini engelleyerek daha önce boşalttıkları düşük basınç bölgelerine doğru alçalarak hareket etmesini sağlayarak küresel rüzgarları (Alize Rüzgarlar) meydana getirir. Bu rüzgarlar 1000 m ve üzeri yüksekliklerde olduğundan yerel coğrafik koşullardan etkilenmezler [53,72]. Kontralize rüzgarlar, alize rüzgarların tersi yönde hareket ederek ekvatorдан uzaklaşırlar. Bu rüzgarlar yer yüzeyinden etkilenir; yerküre pürüzlülüğü, rüzgar hızı, engeller gibi nedenlerle hızları yavaşlar ve yönleri değişir. 100 m yükseklik içerisinde olduklarından, rüzgar türbini kule yükseklikleri dikkate alındığında rüzgar enerjisi için önemli olan rüzgarlardır [58]. Kara ve deniz meltemleri, hem gündüz hem de gece karaların denizlerden daha çabuk ısınıp soğuması sonucu oluşur. Dağ ve vadi meltemleri; gündüz vadiden daha fazla ısınan yamaçlara esen vadi rüzgarları ile gece yüksek yerlerde soğuyan havanın vadilere doğru esmesiyle oluşan dağ rüzgarlarıdır [53,72].

3.1.2 Hızlarına Göre

Rüzgar karakteristiği, hız ve yön olmak üzere iki değişkenle ölçülmektedir. Hız niceliğindeki ani dalgalanmalar hamle olarak isimlendirilmektedir. Sınıflandırma ve tahminsel rüzgar ölçümü rüzgar hızından enerji üretiminde çok önemli bir gösterge olduğundan, rüzgar karakteristiğinin hız, yön ve hamle gibi nicelikleri anemometre, yön kontrol cihazı gibi çok hassas aletlerle ölçülmektedir. Rüzgarlar hızlarına göre sınıflandırılırlar. 10 metre referans yükseklik için rüzgarların hızlarına göre sınıflandırılması Çizelge 3.2'de verilmiştir [39,74].

Çizelge 3.2 : Rüzgar hızlarının sınıflandırılması.

Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Çeşidi
0-0.4	Sakin
0.4-1.8	Hafif
1.8-3.6	
3.6-5.8	
5.8-8.5	Orta
8.5-11	Rüzgarlı
11-14	Güçlü
14-17	
17-21	Sert
21-25	
25-29	Çok Sert
29-34	
>34	Kasırğa

Rüzgar niceliklerini ölçü aletleriyle belirlemenin mümkün olmadığı durumlarda rüzgar hızı ölçümü tahmin edilebilir. Tahmini rüzgar ölçümünde Beaufort ölçeği kullanılmaktadır. Bu ölçek, rüzgarın görsel durumuna göre hızı ve şiddetinin tahmin etmek için kullanılmaktadır. Çeşitli rüzgar hızlarında karada, denizde ve kıyıda görsel durumlar yazılarak bu görsel durumlara göre skala üzerinden rüzgar hızı tahmininde bulunmaktadır [39,74,75].

3.1.3 Esmeye Yönlerine Göre

Rüzgar yönünün belirtilmesinde kuzey, doğu, güney ve batı olmak üzere dört temel ana esme yönü tanımlanmıştır. Daha hassas yön tayini durumlarında, ana yönlere ek olarak ara yönlerden de faydalanılmaktadır. Böylece bölgesel rüzgarlar esme yönlerine göre adlandırılmaktadır [76]. Rüzgar pusulasında yer alan rüzgarın esme yönüne göre dereceleri ve rüzgar isimleri ise Çizelge 3.3'te verilmiştir [72].

Çizelge 3.3 : Rüzgarların esme yönüne göre dereceleri ve isimleri.

YÖN	DERECE (°)	ÖZEL ADI
Kuzey (N)	0	Yıldız
Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE)	22.5	Yıldız Poyraz
Kuzey-Doğu (NE)	45	Poyraz
Doğu-Kuzey-Doğu (ENE)	67.5	Gündoğusu Poyraz
Doğu (E)	90	Gündoğusu
Doğu-Güney-Doğu (ESE)	112.5	Gündoğusu Kesişleme
Güney-Doğu (SE)	135	Kesişleme
Güney-Güney-Doğu (SSE)	157.5	Kible Kesişleme
Güney (S)	180	Kible
Güney-Güney-Batı (SSW)	202.5	Kible Lodos
Güney-Batı (SW)	225	Lodos
Batı-Güney-Batı (WSW)	247.5	Günbatısı Lodos
Batı (W)	270	Günbatısı
Batı-Kuzey-Batı (WNW)	292.5	Günbatısı Karayel
Kuzey-Batı (NW)	315	Karayel
Kuzey-Kuzey-Batı (NNW)	337.5	Yıldız Karayel

Bilinen rüzgarlar haricinde coğrafik koşullara bağlı oluşan; çölde esen Samyeli, denize yakın bölgelerde esen İmbat ve Meltem, kuzey yönünden esen Bora ve Etezyen rüzgarları gibi rüzgarlarda bulunmaktadır [76].

3.2 Rüzgar Teknolojileri

İnsanoğlunun rüzgar enerjisinin potansiyelini fark edip, günlük işlerinde kullanması tarihte çok eski zamanlara kadar dayanmaktadır. Yaklaşık 5500 yıl önce insanların gemileri hareket ettirmek amacıyla yelken vasıtasıyla rüzgarın gücünden faydalandığı tarihi belgelerde yer almıştır. İran'da, milattan sonra 7. yüzyılda, ilk yel değirmenlerinden su pompalamak ve tahıl öğütmek amacıyla yararlanılmıştır. Çok pervaneli yel değirmenleri tasarımları ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmıştır. Yel değirmenlerinin en modern biçimi olarak kabul edilen ve 23 metre rotor çapı ve 89 Watt elektrik üretme kapasitesine sahip olan, ilk rüzgar türbini Danimarka'da 1897 yılında Paul La Cour tarafından tasarlanmıştır [53,74]. Daha sonra bu fikirden yola çıkan araştırmacılar birçok rüzgar türbini geliştirmiş ve türbin teknolojisinin gelişimine katkı sağlamışlardır. Bu süreçte öne çıkan kişilerden birisi olan Johannes Juul tarafından ilk defa alternatif akımla çalışan ve 2 ya da 3 kanatlı rüzgar türbinleri üretilerek türbin gelişimine büyük katkı sağlamıştır. 1956 yılında Danimarka da kurulan 24 metre pervane çaplı ve 200 kW kurulu güce sahip, Gedser rüzgar türbini günümüz modern rüzgar türbinlerinin yapı taşını oluşturmuştur. Stall kontrol mekanizmasına göre çalışan bu türbin; asenkron jeneratör, elektromekanik dönüş ve aerodinamik fren sistemine sahiptir [39,74,77].

1960'lı yılların ortalarına kadar yapılan çalışmalarla rüzgar türbinleri etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmış, fosil yakıt fiyatlarının düşmesiyle bu gelişim yavaşlamıştır. 1973'te ortaya çıkan petrol krizi ve takip eden yıllarda artan çevreye duyulan sorumluluklar temiz enerji kaynaklarının aranmasına sebep olmuştur. Bu arayış sonucu endüstriyel ve teknolojik gelişmeler, devlet teşvikleri ve resmi araştırma ve geliştirme çalışmalarının yardımıyla 1980–1981 yıllarında 55 kW kapasiteli türbinlerin üretimine başlanmış ve rüzgar enerjisi endüstrisi daha çok yaygınlaşmıştır. Bu yıllar arasında Dünya Meteoroloji Organizasyonu'nun yürüttüğü bazı deneylerin sonucunda rüzgar çiftlikleri kurulmaya başlanmıştır [39,74].

Rüzgar enerjisi teknolojileri 1995 yılından sonra hızla artmış, kW mertebesindeki rüzgar türbinleri bu tarihten sonra hızla MW'lar seviyesine çıkmıştır. Günümüzde rüzgar türbin santralleri, ulusal şebeke hattı ile uyumlu türbin grupları içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir. Gelişmiş rüzgar türbinleri yatay eksenli, iki ya da üç kanatlı olup tek bir türbinin gücü çoğunlukla 250 kW'ın üzerindedir [44,74,77].

Türbin kule yükseklikleri günümüzde 100 metre ve üzerinde olup; rotor çapları da 120 metre ve üzerine ulaşmıştır. Rüzgar enerjisi potansiyeli açısından karalardan daha efektif olduğu belirlenen denizlerde offshore rüzgar türbini santralleri kurulmaya başlanmıştır. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği, 1991 yılında Danimarka'nın Lolland adası civarında kurulan, 11 adet 450 kW'lık rüzgar türbini ile yaklaşık 5 MW kapasiteye sahip olan Vindeby rüzgar çiftliğidir [44,74,78].

3.2.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri teknolojilerinin geçmişten günümüze yaşadığı gelişmelerin sonucu olarak ortaya farklı rüzgar türbin tipleri çıkmış ve ihtiyaca göre farklı boyutlarda rüzgar türbinleri üretilmiştir. Bu çeşitlilik rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması ihtiyacını doğurmuştur [39,44,79]. Rüzgar türbinlerini; rüzgarı alış yönlerine göre, güç kontrol sistemlerine göre, kullanım yerlerine göre vb. birçok şekilde sınıflandırmak mümkün olsa da en çok tercih edilen ve kullanılan sınıflandırma çeşidi rotor eksenine (dönme eksenine) göre sınıflandırmadır [74,75,80].

Rotor eksenine göre sınıflandırılan rüzgar türbinleri; rotorun dönme hızlarına, pervane çapı ve kurulu güçlerine, pervane ve kanat sayılarına, şebekeye bağlantı durumlarına göre alt sınıflara ayrılabilir. Bu sınıflandırmaya göre rüzgar türbinlerini; yatay, dikey ve eğik eksenli olmak üzere üç sınıfta inceleyebiliriz [39,44,79].

Dikey rüzgar türbinleri daha çok deneysel nitelikte olup, ekonomik amaçlı uygulamaları çok azdır. Günümüzde ticari amaçlı enerji üretiminde sıklıkla tercih edilen sistemler yatay eksenli türbin sistemleridir [39,79,80].

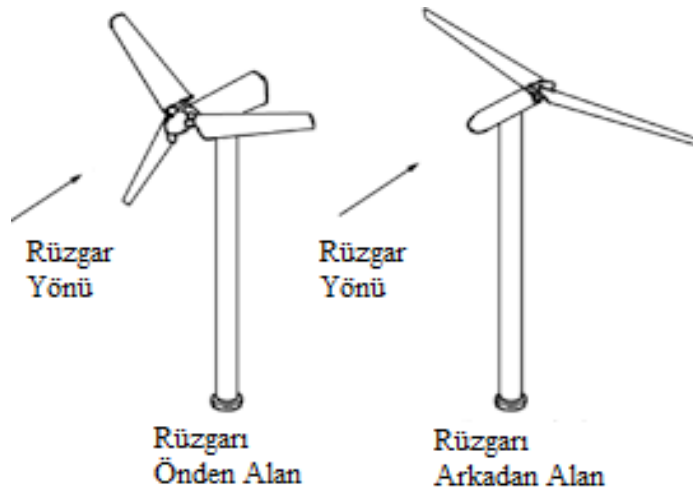
3.2.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatları ise rüzgar yönüne dik gelecek şekilde açarlar. Günümüzde ticari amaçlı kullanılan türbinler genellikle yatay eksenli türbinlerdir. Bu türbinlerde rotor elemanı, rüzgarı en uygun konumda alacak biçimde, rotasyonel bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Rotoru yere göre yatay ekseninde çalışmaktadır ve rüzgardan verimi en iyi şekilde alabilmesi için kanatları rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu türbinler kendi içinde de rüzgarı alış yönüne ve kanat sayısına göre sınıflandırılabilirler [39,79,80].

Rüzgarı Alış Yönüne Göre

Rüzgarı alış yönüne göre rüzgar türbinleri kendi içinde rüzgarı önden alan ve rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Rotor yüzü rüzgara doğru yönlendirilen rüzgar türbinleri rüzgarı önden alan rüzgar türbinleri olarak adlandırılırlar. Bu türbin çeşidinin kullanımı çok yaygındır. Bu türbinlerin üstünlüğü kuleden kaynaklı oluşacak gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır. Bunun yanında kulenin ön tarafında az da olsa rüzgar gölgenmesi oluşmaktadır. Kule her ne kadar düz ve yuvarlak bir yapıda olsa dahi, kanat kule hizasından geçerken türbinin ürettiği güç biraz azalmaktadır [39,74,81]. Bundan dolayı rotor kanatları sert yapılmalıdır ve bununla birlikte kanatların kuleden biraz mesafeli konumlandırılması gerekmektedir. Rotoru rüzgar yönüne karşı döndürebilmek için yaw mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır [80,81].

Rotorları kulenin arkasına konulan türbinleri ise rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinleri olarak adlandırılır. Bu sistemin, türbinin rüzgara dönmek için yaw mekanizmasına ihtiyaç duymaması önemli bir artıdır. Makine yatağı olan nacelle ve rotorun uygun tasarımıyla makine yatağının (nasele) rüzgarı pasif olarak izlemesi sağlanır. Kanatlar esnek özelliğe sahiptir. Bu da sistemin ağırlık ve makinenin güç sistemi açısından önemli bir avantaj sağlar [74,81]. Böylece bu türbinler, rüzgarı önden alan türbinlere göre daha hafif yapılırlar ve böylece kule yükü azalmış olur. Ancak, bu türbinlerde rotor kanatlarının kule hizasından geçerken oluşturduğu güç dalgalanması, rüzgarı önden alan türbinlere oranla daha çok zarar verir [80,81]. Rüzgarı alış biçimlerine göre rüzgar türbinleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir [81].



Şekil 3.1 : Rüzgarı alış biçimlerine göre rüzgar türbinleri.

Kanat Sayısına Göre

Bu sınıflandırmada tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı rüzgar türbinleri yer almaktadır. Bu türbinlerden çok kanatlı olanlar yavaş hızlarda çalışırken diğer türbinler yüksek hızlarda çalışmaktadır.

Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin yapılmasındaki temel amaç, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması sebebiyle makine ağırlığını dolayısıyla rotorun dönüş momentini azaltmaktır. İlave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için bu türbinlerin rotorlarında hub tek menteşe ile sabitleştirilip, karşı ağırlıklarla dengelenmelidir [81]. Bu türbinlerin ticari dezavantajının en önemli sebebi, 120 m/s dolayındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Üç kanatlı rüzgar türbinlerine göre, kanat uç hızı iki kat daha yüksek olup; daha fazla gürültülü çalışmaktadırlar [44,81].

Çift kanatlı rüzgar türbinlerinin üretimindeki temel amaç üç kanatlı rüzgar türbinlerine göre rotor maliyetini azaltmaktır. 10 metre ve 100 metre rotor çaplı olmak üzere üretimi yapılmıştır. Genellikle Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmıştır. Rotor balansı, tek kanatlı rüzgar türbinlerinin rotor balansına göre daha düzgündür. Kanat uç hızları, üç kanatlı rüzgar türbinlerine göre daha yüksektir [80,82].

İki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik etkiler çeşitli ilave ekipmanlar gerektirir ve bu da maliyet artışına sebep olmaktadır. Kanat uç hızının yüksek olması gürültülü çalışmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu türbinler, düşük rüzgar hızlarında (3 m/s) devreye girememektedir. Günümüzde çift kanatlı rüzgar türbinleri tercih edilmemektedir [44,80].

Üç kanatlı rüzgar türbinleri ise günümüzde en çok kullanılan türbin modeli olarak göze çarpmaktadır. Bu türbinlerin tercih edilmesindeki ana sebep, dönme momentlerinin diğer türbin modellerine göre daha düzgün olmasıdır. Üç kanatlı rüzgar türbinlerinde, türbin üzerinde depolanan yükler salınım yapan atalet momentine neden olmaz ve bu türbinler her hızda sabit atalet momentine sahiptir. Türbin sahip olduğu sabit atalet momenti sayesinde göbek içinde titreşimi engelleyici pahalı parçalara ihtiyaç duymamaktadır [80,81].

Tek ve iki kanatlı rüzgar türbinlerine nazaran gürültü oranı düşüktür. Bu türbinlerin küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılması güç problemlerine sebep olmaktadır. Bu sorunu önlemek için dişliler yardımıyla rotor devir sayısı artırılır ve “cut in” adı verilen hız değerine ulaşıncaya kadar jeneratör elemanı boşa çalıştırılır [81,82].

Üç kanatlı rüzgar türbinleri; günümüzde dünyanın her tarafında yaygın olarak kullanılan türbinlerdir. Elektrik üretimi amaçlı üretimlerinden dolayı ticari sınıfta yer almaktadır. Şekil 3.2’de üç kanatlı modern bir rüzgar türbini gösterilmektedir [81].



Şekil 3.2 : Üç kanatlı yatay eksenli bir rüzgar türbini.

Tek, çift ve üç kanatlı rüzgar türbinlerinin dışında çok kanatlı rüzgar türbinleri olarak adlandırılan türbin tipleri de mevcuttur. Bu türbinler; 1870’li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri’nde üretilmeye başlanmış olup bugünkü modern rüzgar türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleridir. Düşük hızda çalışan bu türbinler uzun süre su pompalamada kullanılmış, pompalama işlemi için gerekli olan momenti karşılayabilmesi için de çok kanatlı olarak üretilmiştir [82]. Türbinlerin bazı modellerinde kanat genişlikleri göbek kısmında uçlara gidildikçe artar, kuyruğa yerleştirilen kanat dümen vazifesini yerine getirir. Dişli kutusu kullanılarak devir sayısı arttırılmaktadır [82,83]. Bu türbinler 2-3 m/s gibi düşük rüzgar hız değerlerinde otomatikman çalışmaya başlar. Genellikle su pompalama işi için ideal olan bu türbinlerin, elektrik üretimi için verimleri düşüktür [39,83].

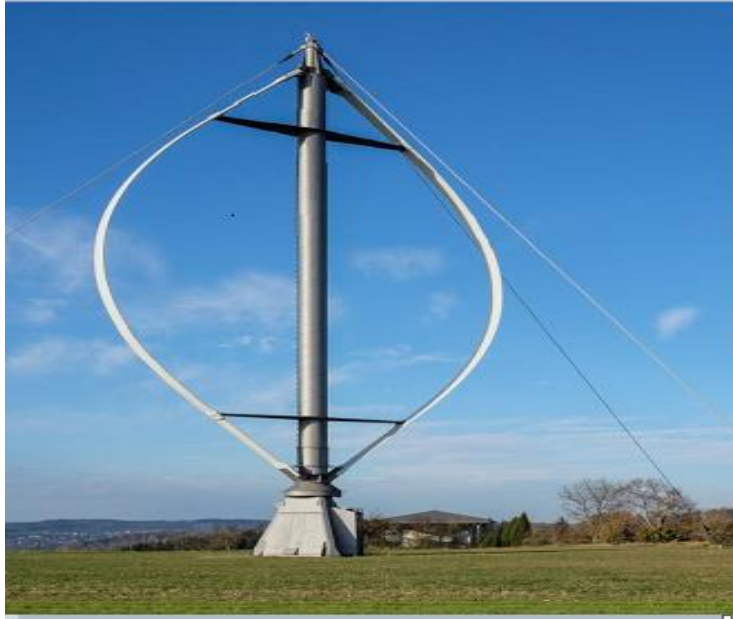
3.2.1.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Bu tip rüzgar türbinlerinde, türbin şaftı dikey yapıdadır ve rüzgarın esiş yönüne dik bir açıdadır. Düşeyde yer alan kanatlar, rüzgarı bütün yönlerden alabildikleri için yön değiştirme ve bunun için gerekli sistemlere ihtiyaç duymazlar. Bu türbinlerin çeşitlerine bakıldığında, sürüklenme ve kaldırma kuvveti ile dönen model Darrieus tip, sadece sürüklenme etkisi ile dönen model Savonius tip rüzgar türbini olarak adlandırılır [74,81]. Verimlilikleri yaklaşık olarak %35 olup, ilk harekete geçişleri güvenilir değildir. Kule ihtiyacı olmayan bu türbinlerde, jeneratör ve dişli kutusu gibi sistemler yer seviyesinde konumlandırılırlar. Bu sayede bu sistemlerin bakımları daha kolay gerçekleştirilir. Kule olmadığı için yükseklikleri düşüktür. Bu sebeple düşük rüzgar hızlarında çalışırlar ve yaw mekanizması kullanımına gerek yoktur. Düşük hızlarda güç katsayısı da düşük olduğundan su pompalama gibi basit işlerde kullanılırlar ve ticari kullanımları azdır. Bununla birlikte yeni tasarım çalışmalarıyla güç katsayıları arttırılmaya çalışılarak elektrik üretiminde de kullanılmaları amaçlanmaktadır [80,81]. Yatay eksenli türbinlerine oranla, dönüş hızlarının düşük olması ve daha sessiz çalıştıkları düşünüldüğünde şehirlerde kullanımlarının güvenli olduğu söylenebilir. Yatay eksenli türbinlerine göre az ekipman ihtiyacı ve kule masrafının olmaması ilk yatırım ve bakım maliyetleri konusunda bir avantaj sağlamaktadır. İlk hareket motoruna ihtiyaç duyarlar. Türbini ayakta tutabilmek için germe telleriyle yere sabitlenirler ve alan kaplamaktadırlar. Türbin mili yatakları ile ilgili işlemlerde, makine tamamen yere yatırılmalıdır [81-83]. Dikey eksenli rüzgar türbin çeşitlerinin en çok bilinenleri Darrieus ve Savonius modelleridir.

Darrieus Tip Rüzgar Türbinleri

Darrieus tip rüzgar türbini Fransız mühendis Georges Jeans Mary Darrieus tarafından 1931 yılında icat edilmiştir. Kendisi bu türbinlerin kanat şeklini bir kablonun döndürülmesi olayına benzeterek tanımlamıştır [74,81]. 1970-1980'lerde Kuzey Amerika'da kanat dizaynları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Dönme hareketi; kanatların konkav ve konveks yüzeyleri arasındaki çekiş kuvveti farkı ile oluşur. Türbinler genellikle iki ya da üç kanatlı üretilmektedir. İki kanatlı türbin modelinin üç kanatlı türbin modeline göre; malzeme ve kurulum giderlerinin daha düşük olması ve yüksek hızlarda çalışabilmesi gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır [80,81]. Kanatların aerodinamik yapısı sayesinde yüksek performanslıdır. İlk harekette tahrik motoruna gereksinim duymaktadır.

Ticari olarak kullanılan modellerinde 250 KW ve üzeri güç üretilmektedir [81-83]. Darrieus tip rüzgar türbinlerinin bir diğer önemli modeli de H-Darrieus tipi rüzgar türbinleridir. Daha karmaşık olan bu türbin modeli Darrieus rüzgar türbinlerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu türbin modelini Darrieus tip rüzgar türbinlerinden ayıran temel özellikler; aerodinamik profili düz olması ve türbin kanatlarına açısız kontrol uygulanarak, yüksek rüzgar hızlarında kanat açısı değişimi ve kanatların sabit hızda tutulması sağlanmasıdır [80-82]. Darrieus tip dikey eksenli bir rüzgar türbini Şekil 3.3'te gösterilmiştir [81].



Şekil 3.3 : Darrieus tip dikey eksenli rüzgar türbini.

Savonius Tip Rüzgar Türbinleri

Rüzgarın sürekleme kuvvetiyle çalışan savonius tip rüzgar türbinlerini, Finlandiya'lı mühendis Sigurd J. Savonius 1925 yılında keşfetmiştir. Rotor, dikey konumda olup; bir silindirin ortadan ikiye kesilmesi ve merkezleri birbirine göre simetrik şekilde kaydırılması sonucu elde edilir ve "S" şeklindedir [74,81]. Belli bir hızla gelen rüzgar rotora çarpar, bunun sonucunda yarım daire silindirin iç kısmında pozitif, diğer yarım daire silindirin dış kısmında negatif bir moment oluşur. İç kısımdaki moment niceliği dış kısımdaki moment niceliğinden daha büyüktür ve oluşan fark rotorun dönmesini sağlar [74,80,81]. Diğer bir ifade ile; yarı silindire (kanatlara) çarpan rüzgarın iç tarafı dönük olan kanada uyguladığı basınç geri dönen kanattaki basınca yani kuvvete göre daha büyüktür. Türbin rüzgarın estiği yön fark etmeksizin dönmeye ve güç üretmeye başlamaktadır [81,82].

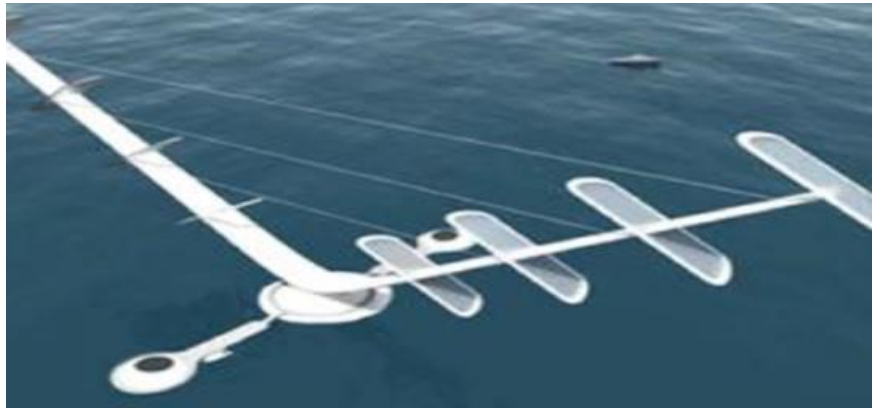
Bu türbinlerin yapımının ucuz ve kolay olması, ilk hareket esnasında tahrik motoruna ihtiyaç duymaması, rüzgar yönünden bağımsız olması, düşük rüzgar hızında ve sessiz çalışması pozitif yanlarıdır. Aerodinamik performansları düşüktür, ancak bu negatif yönü geliştirmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca yatay eksenli rüzgar türbinlerine oranla güç katsayıları da düşüktür. Genellikle su pompalama gibi işlemlerde kullanılırlar. Ancak; güç katsayısını arttırmak için yapılan çalışmalar sayesinde yeni tasarımlarla elektrik üretiminde faydalanılma yoluna gidilmiştir. Gün geçtikçe daha çeşitli model ve şekilleri üretilmektedir [79-83]. Dikey eksenli savonius türbin modellerinin bazıları Şekil 3.4'te gösterilmiştir [80,82].



Şekil 3.4 : Dikey eksenli savonius türbin modelleri örnekleri.

3.2.1.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

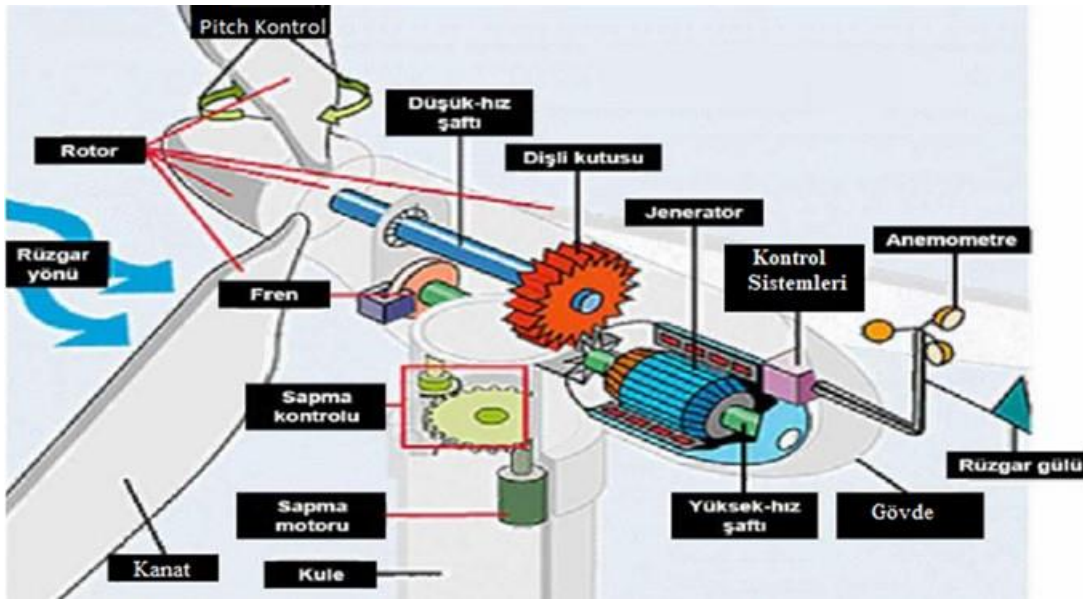
Eğik eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenleri dikeyle rüzgarın esme yönünde bir açısal hareket yaparlar. Ayrıca bu türbinlerin dönme eksenleriyle rüzgar türbin kanatları arasında belirli bir açı mevcuttur [80,81]. Eğik eksenli rüzgar türbinlerinin henüz geniş bir uygulama alanı yoktur. Eğik eksenli bir rüzgar türbini modeli Şekil 3.5'te gösterilmiştir [80,82].



Şekil 3.5 : Eğik eksenli bir rüzgar türbini.

3.3 Rüzgar Türbini Parçaları

Rüzgar türbinleri, rüzgarın hava akımlarının sahip olduğu kinetik enerjisini ilk olarak mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu dönüşüm süreci kısaca özetlenecek olursa; rüzgarın yer değişiminden dolayı oluşan kinetik enerjisi türbin rotorunda mekanik enerjiye dönüştürülür. Türbin kanat şaftının devir hareketi dişli kutusu vasıtasıyla hız kazandırılarak gövdede bulunan jeneratör elemanına aktarılır. Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi aküler aracılığıyla depolanabilir veya şalt sahası elemanları aracılığıyla doğrudan tüketicilere ulaştırılır. Modern bir rüzgar türbininin ana parçaları; gövde, kanatlar, göbek (hub), kule, düşük hız mili, yüksek hız mili, dişli kutusu, jeneratör, sapma mekanizması, pitch mekanizması, frenleme sistemleri, kontrol sistemleri ve anemometre ve rüzgar vanasından oluşmaktadır. Modern bir rüzgar türbininin ana parçaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir [53,72,81].



Şekil 3.6 : Modern bir rüzgar türbininin ana parçaları.

3.3.1 Gövde (Kanopi,Nasel)

Rüzgar türbininin; ana şaft yatağı, ana şaft, dişli kutusu, fren diski, hidrolik sistem, elektronik sistem, soğutma sistemi, jeneratör, yaw dişlisi ve yatağı gibi ana parça ve ekipmanların bulunduğu kule üzerindeki kafa kısmına gövde adı verilmektedir. Tamamen kapalı bir yapıya sahip olan gövdenin temel görevi ana ekipmanları korumak ve havanın akışını aerodinamik olarak kolaylaştırmaktır. Günümüzde gövde kısmına geçiş türbin kulesindeki asansörler yardımıyla sağlanmaktadır [44].

3.3.2 Rotor ve Rotor Kanatları

Pervane göbeği ve pervane mili ve pervane kanatlarının birleştiği sisteme rotor veya türbin adı verilmektedir. Rotor, kanatlardan gelen rüzgarı yakalayıp, şaft vasıtasıyla dişli kutusuna oradan da jeneratöre gönderen dolayısıyla rüzgarın kinetik enerjisinin sırasıyla mekanik enerjiye ve elektrik enerjisine çevrildiği sistemler bütünüdür en dış kısmı olarak tanımlanmaktadır [44]. Rüzgar rotor kanatlarının çalışması, Bernoulli prensibine dayanmaktadır. Bu prensibe göre rüzgar estiği zaman aşağı konumda kalan rotor kanadının alt ucunda düşük basınçlı bir hava akımı oluşturmaktadır. Düşük basınçlı hava akımı rotor kanadının üst kısmını kendine doğru çekmekte ve böylece rotorun dönüşü gerçekleşmektedir. Buna kaldırma kuvveti denilmektedir. Kaldırma kuvvetinin türbin rotor kanatlarına önden gelen rüzgar kuvvetinden daha fazla olması gerekmektedir. Bu durum da sürüklenme kuvvetini oluşturmaktadır. Kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinin etkisiyle, rotorun bir pervane gibi dönmesi sağlanmaktadır [81,84,85].

Rüzgardan elde edilecek enerjiyi, kanadın yapısı ve aerodinamiği önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle kanat geometrisinin optimize edilmesi gerekmektedir. Kanatlara çok yüksek rüzgar hızının yanında yıldırımlarda büyük zararlar vermektedir. Bu nedenle türbinin kendisi ve kanatların korunması için her kanat iletim sistemiyle donatılıp, topraklaması sağlanır. Bir kanatın kalite kriterlerini; aşırı rüzgar hızlarında ani yavaşlama veya duruş karakteristiği, pürüzsüzlük, düşük gürültü karakteristiği, yüksek kaldırma ve sürüklenme kuvveti belirlemektedir [84,86].

3.3.3 Göbek (Hub)

Rüzgar türbininin en önemli parçalarından olan kanatların türbin rotoruna bağlantısı göbek kısmı tarafından sağlanmaktadır. Rüzgar türbininin düşük hızlı mili (şaftı) ile bağlı durumdadır. Türbin göbeği metal yorulmasına karşı dayanıklı olmalıdır.

Modern rüzgar türbinlerinin rotor göbekleri (hub) yer seviyesinden 60-100 metre yükseklikte bir kule üzerinde bulunur. Bir rüzgar türbininden elde edilecek enerji miktarı temel olarak türbin göbek yüksekliğindeki rüzgar hız değerlerinin değişimine bağlı olmaktadır. Türbin göbek yüksekliğinin artırılması sonucu rüzgar hızının artacağı gerçeği göz önüne alındığında, göbek yüksekliğinin artırılması ile mevcut rüzgar gücünden maksimum seviyede yararlanılacaktır [44,84,87].

3.3.4 Düşük Hız Mili (Şaftı)

Düşük hız mili (şaftı) rüzgar türbinini oluşturan ana millerden bir tanesidir. Bu şaft rotordan elde edilen rüzgar gücünü dişli kutusuna iletmektedir [44]. Bu şaftın temel görevleri; rüzgar türbinini rotor hub yüksekliğinden dişli kutusuna bağlamak ve aerodinamik frenleri işletebilecek olan hidrolik sistemleri ilgili borulara bağlamaktır. Genellikle 30-60 devir/dakika hız ile dönmektedir [84,87,88].

3.3.5 Dişli Kutusu

Dişli kutusu; düşük hız şaftı ile jeneratör arasında yer alan ve düşük hız şaftı ile yüksek hız şaftı arasındaki mekanik bağlantıyı sağlayan rüzgar türbinlerinin temel elemanlarından birisidir [84,87]. Dişli kutusunun vazifesi düşük hız, yüksek döndürme kuvvetine (tork) sahip rüzgar türbini pervanesinin dönüşünü; yüksek hız, düşük döndürme kuvvetiyle çalışan jeneratörün kullanabileceği bir devir sayısına çevirmektir. Bir başka deyişle dişli kutusunun temel görevi; yüksek hız şaftının, düşük hız şaftından 50 kat fazla döndürerek, elektrik enerjisi üretimi için uygun koşulların oluşumunu sağlamaktır [84,85]. Genellikle tek bir dişli oranı kullanılmaktadır. 600 KW-750 KW nominal güce sahip bir rüzgar türbininde dişli kutusu oranı 1:50 iken; 1,5 MW nominal güce sahip rüzgar türbininde yaklaşık 1:98 civarında ve 3 MW nominal güce sahip rüzgar türbininde ise yaklaşık 1:108 civarındadır [44,84,87].

3.3.6 Yüksek Hız Mili (Şaftı)

Yüksek hız mili (şaftı); jeneratörün ana mili olarak bilinirler ve dişli kutusu tarafından tahrik edilirler. Yaklaşık 1.500 devir/dakika ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır. Adından da anlaşıldığı gibi düşük hız milinden daha hızlı dönerler [85,87]. Acil durumlarda kullanılmak üzere bir şaft üzerinde mekanik disk freni entegredir. Yani bünyesinde hem aerodinamik hem de mekanik fren sistemlerini barındırmaktadır. Aerodinamik frenlerin yetersiz ve arızalı olduğu zamanlarda veya bakım, onarım gibi durumlarda mekanik fren devreye girer [44,84].

3.3.7 Fren

Rüzgar türbinlerinin devir sayılarının sabit tutulması gerektiğinde veya jeneratörün aşırı ısınması, şebekeden ani kopma gibi istenmeyen durumlarda ve bakım, tamirat gerektiren durumlarda türbinin durdurması gerekebilir.

Bunların yanında fırtına gibi yüksek rüzgar hızlarının olduğu durumlarda rüzgara karşı kanatın küçük bir yüzeyini göstermek veya acilen türbini tamamen durdurmak gerekebilir. Bu tip durumlarda kullanılmak üzere aerodinamik fren ve mekanik fren sistemleri geliştirilmiştir. Aerodinamik fren sistemleri kanat ucunun eksenleri etrafında belli bir açıda dönmesi mantığı ile çalışmaktadır [9]. Mekanik fren sistemi rüzgar türbininin ikincil acil emniyet sistemi olup; aerodinamik fren sisteminin yedeği gibi kullanılmaktadır. Mekanik fren, dişli kutusunun jeneratöre bağlanan yüksek hızlı şaftına sabitlenmiştir [44,84,87].

3.3.8 Jeneratör

Jeneratör; rüzgar türbinlerinde rotorda üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek amacıyla kullanılan ekipmandır. Jeneratörün çalışması, rüzgar kanatlarının dönmesi ile tahrik edilen yüksek hız milinin devir sayısı ile sağlanmaktadır [44]. Rüzgar türbinlerinde genel olarak doğru akım jeneratörleri, senkron ve asenkron jeneratörler kullanılmaktadır. Doğru akım jeneratörleri düşük güçlü rüzgar enerji santrallerinde, şebekeden bağımsız sistemlerde akülere enerji depolamada kullanılmaktadır. Bu tip jeneratörlerde, doğru akım çeşitli güç elektroniği elemanları ile alternatif akıma dönüştürülmektedir. Ancak günümüzde doğru akım jeneratörleri, düşük güvenilirlik ve sürekli bakım gerektirmesi, diğer tür jeneratörlere göre daha pahalı olması gibi dezavantajlarından dolayı yerlerini senkron ve asenkron jeneratörlere bırakmıştır [81,84,89].

Orta ve büyük güçlü sistemler için daha çok senkron ve asenkron jeneratörler tercih edilmektedir. Senkron jeneratör, bağlandığı şebeke ile aynı frekansta çalışır, verimi yüksektir ve düşük dönme hızında elektrik üretebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı sabit hızlı sistemlere daha uygundur. Senkron jeneratörlerin elektrik iletim açısından reaktif güç gereksinimi yoktur. Bu durum nitelikli güç aktarılmasını sağlamaktadır [81,87,89].

Üç fazlı asenkron jeneratörler veya indüksiyon jeneratörler alternatif akım üretmek için rüzgar türbinlerinde kullanılırlar. Bu jeneratörlerin maliyetleri düşüktür ve güvenilirlerdir. Asenkron jeneratörler şebeke frekansından yüksek frekansta çalışır. Değişken hızlı alternatörden sabit çıkış gerilimi ve frekans elde etmek için, aynı zamanda akülerdeki doğru akımı alternatif akıma çevirmekte kullanılan, eviricilerden (inverter) yararlanılmaktadır [72,81,89].

3.3.9 Yaw Mekanizması (Sapma Mekanizması)

Rüzgarın kinetik enerjisinden maksimum enerji çıkışı elde edebilmek için yatay eksenli rüzgar türbinlerinde rotor sürekli rüzgar akışı yönüne doğru olmalıdır. Rüzgar yönü, türbinin rotor göbek yüksekliğinde bulunan rüzgar gülünden gelen yön bilgileri ile tespit edilir. Türbinin konum bilgisi ile rüzgar gülünden elde edilen yön bilgileri karşılaştırılarak, türbin rotoru ve nasele istenilen açıda döndürülmesi yaw mekanizması adı verilen sistem aracılığıyla sağlanmaktadır [87,90]. Bu mekanizma, elektronik kontrolör tarafından yaw konumunun saniyede birkaç kez kontrol edilmesi prensibine dayalı olarak yönetilmektedir. Kuleye bağlı olan naseli döndürebilmek için elektrik motorları kullanılmaktadır [39,81,90].

3.3.10 Hatve Mekanizması (Pitch Kontrol Sistemi)

Rüzgar türbinleri; elektrik enerjisini en ucuza mal edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sebepten dolayı rüzgar türbinleri yaklaşık 15 m/s rüzgar hızında maksimum çıkış verebilecek şekilde dizayn edilir. Bu hız değerinin üstünde dizayn etmek mantıklı değildir çünkü daha yüksek hızlar pek sık meydana gelmez [84,87,90]. Bir rüzgar türbinini aşırı uç kuvvetleri önlemek zorundadır. Aksi takdirde türbinin yanması veya türbinin iç yapısındaki elektriksel donanımın zarar görmesi sebebiyle işlevsiz hale gelmesi söz konusu olabilir. Bu tip olumsuzluklardan korunmak için kapatma mekanizmalarına başvurulur. Bu kapatma mekanizmalarından birisi olan hatve mekanizması, kanatlarının açılma konumlarını değiştirmek için kullanılırlar [87,90]. Kanatların açılma konumlarının değiştirilmesi ile rüzgardan elde edilecek optimum güç çıktısı değerini ayarlamak, tüm rüzgar hızlarında aktif gücün kontrolünü sağlamak, istenildiğinde hızın sabit şekilde tutulmasını sağlamak, düşük rüzgar hızlarında da türbinin güç çıktısı verebilmesi için yüksek kalkış momenti sağlanması amaçlanmaktadır [81,90]. Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte sıkça başvurulan bir yöntem haline gelen elektriksel frenlemede rüzgar türbininin hızı otomatik olarak denetlenmektedir [84,90].

3.3.11 Elektronik Kontrol Sistemi

Bu sistem, rüzgarın hız ve yön verilerinin kullanarak türbinin yönünü ile kanat açılarının değiştirilmesi, dişli kutusu ve jeneratörün aşırı ısınması durumunda ilgili operatöre sinyal gönderilmesi, yüksek hızlarda türbinin otomatik kapatılması gibi işlemleri kontrol eden birimdir.

Bunun yanında rüzgar türbininin çalışması esnasında nasele içinde bulunan ana ekipmanlardan toplanan verileri depolayarak türbin hakkında çeşitli istatistik bilgilerin eldesini sağlamaktadır [81,90]. Elektronik kontrol sistemi, 3-5 m/s hızlarda türbini harekete geçirmek için veya 25 m/s rüzgar hızında türbini ve etrafındakileri korumak için türbini durdurma işlemini anemometreden gelen elektronik sinyalleri kullanarak yapar [84,87,90].

3.3.12 Hidrolik Sistem

Hidrolik sistem, türbinin belli bir rüzgar hızından sonra ve gerekli durumlarda durdurulması gerektiğinde kullanılan aerodinamik ve mekanik frenler için gerekli yağ basıncını sağlamaktadır. Ayrıca hidrolik motorların yağ basıncı da bu sistemler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sistemlerde yağ pompası kullanılmaktadır [44,87].

3.3.13 Soğutma Sistemi

Türbinin içerisindeki jeneratör, dişli kutusu, eviricilerin birbirlerinden bağımsız soğutma sistemleri bulunmaktadır. Bu ana parçaların ısınması sonucu oluşan fazla ısıyı gidermek amacıyla soğutma sistemleri devreye sokulmaktadır. Ekipmanların sıcaklıkları kontrol sistemi yardımıyla izlenir ve soğutma sistemleri cihazların en ideal çalışma sıcaklığını göz önünde bulundurarak devreye girmektedirler. Türbinlerde soğutma genelde hava yardımıyla olup, verimlilik avantajı bulunan su soğutmalı jeneratörlerde bulunmaktadır. Ancak bunun dezavantajı da naselde radyatör bulundurma zorunluluğudur [44,90].

3.3.14 Kule

Rüzgar türbinlerinde kule gövde ve pervanenin (rotor) taşındığı kısımdır. Rüzgar hızının yükseklikle doğru orantılı olması ve günümüzde gelişen teknoloji kule yüksekliklerinin arttırmasına sebep olmuştur. Günümüz rüzgar türbinlerinin kulelerinin yapısı tubular şeklinde yapılmaktadır. Bu yapı kulenin temeldeki çapı büyük, nasele yaklaştıkça kule çapı küçülmektedir [81,84,87]. Kule uzunluklarının artmasıyla beraber, malzeme mukavemetlerinin de artırılması gerekliliği, türbinlerin maliyet miktarını önemli ölçüde etkileyen bir başka girdidir [81,91,92]. Nasele ulaşmak için kule içinden merdiven veya günümüzde daha çok asansör kullanılmakta, güç kabloları da kule içerisinden indirilmektedir.

3.3.15 Anemometre ve Rüzgar Vanası

Anemometreler, rüzgar hızını elektriksel sinyale dönüştüren sensörlerdir. Rüzgar hızı ölçümlerinde çoğunlukla kepçe tip (kupa, cup) anemometreler kullanılmaktadır. Bu anemometreler, düşey bir eksene sahiptir ve rüzgarı yakalayan 3 adet kupası bulunmaktadır. Kupaların dakikadaki dönme sayılarının elektronik olarak işlenmesi vasıtasıyla rüzgar ölçümünü yaparlar. [81,90,93]. Genelde naselin üst kısmında bulunurlar ve rüzgar hızı ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Ölçülen rüzgar hızları ve yönleri data loggera aktarılarak depolanmaktadır. Rüzgar vanası ise rüzgar yönünü belirleyip, elektronik kontrol sistemine ileterek yaw mekanizması yardımıyla türbini rüzgara karşı çevirmektedir [82,84,93].

3.4 Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgarın türbine girmeden önceki enerji niceliği ile çıktıktan sonraki enerji niceliği arasındaki fark türbin tarafından soğrulan enerji miktarıdır. Rüzgar içinde bulunduğu hava akımlarının değişiminden dolayı oluşan doğal bir kinetik enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin bilinen fizik kanunları ve gelişen teknolojik fırsatlar neticesinde faydalı enerjiye dönüştürülen miktarına rüzgar enerjisi teknik potansiyeli adı verilmektedir [50]. Rüzgar enerji santrallerinin projelendirmelerinin yapılması amacıyla, rüzgar türbinlerinin kurulacağı alanlarda, rüzgar enerji potansiyelinin saptanması gerekmektedir.

Bir bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin sağlıklı olarak saptanması için; rüzgar hızı, rüzgar yönü ve rüzgar oluşumunu etkileyen meteorolojik parametrelerin standartlara uygun olarak ölçülmesi gerekmektedir [81,87,90].

Bir bölgenin rüzgar potansiyelinin saptanabilmesi için en az bir sene sürecinde sahaya ait rüzgar dataları ölçülüp kaydedilmelidir. Özellikle yıllık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü, rüzgar türbini yüksekliği ve türbinin dikileceği yönün belirlenmesi açısından çok önemli iki parametredir [81,84,87,90].

Rüzgar verilerinin analizindeki amaç, incelenen bölgeye ait rüzgar hızı, yönü ve frekansını istatistiksel analizler ve değerlendirmeler sonucunda belirleyebilmektir. Rüzgara ait hız ve frekansın dağılımı doğru tahmin edilebildiğinde, bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli de belirlenmektedir. Bir yıldan daha fazla ölçüm almak doğru bir değerlendirme açısından daha sağlıklı sonuçlar vermektedir [81,90].

Rüzgar hız verilerinin ölçüm sıklığı alınacak değerlerin doğruluğu açısından önemlidir. Rüzgar hız verilerinin doğruluğu, seçilecek türbin sayısını ve gücünü, üretilecek enerji miktarını, dolayısıyla yatırımın ekonomikliğini ve planlamasını doğrudan etkilemektedir [81,94].

Potansiyelin belirlenmesinde türbinin süpürme alanı, bu alandaki rüzgar gücü, havanın yoğunluğu ve hızı bilinmelidir. Potansiyeli belirlemek için gereken verilerin en temel olanı rüzgar hızıdır. Hareket halindeki hava kinetik enerjiye sahip olduğundan, rüzgarın enerjisini hesaplamada kinetik enerji formülünden faydalanılır. Türbine giren havanın taşıdığı kinetik enerjinin bulunması Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$E_k = \frac{1}{2} m_h V_r^2 \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de E_k sembolü, türbine giren havanın kinetik enerjisini (J), m_h sembolü, türbin içerisindeki havanın kütesini (kg), V_r değeri ise türbin içerisindeki rüzgar hızını (m/s) belirtmektedir. Türbine giren havanın kütesinin hesaplanması Denklem 3.1a'da verilmiştir.

$$m_h = \rho_h V_h \quad (3.1a)$$

Denklem 3.1a'da ρ_h sembolü, türbine giren havanın yoğunluğunu (kg/m^3), V_h sembolü türbine giren havanın hacmini (m^3) belirtmektedir. Türbine giren havanın yoğunluğunun hesaplanması Denklem 3.1b'de verilmiştir.

$$\rho_h = \frac{P_h}{RT_h} \quad (3.1b)$$

Denklem 3.1b'de P_h sembolü, türbine giren havanın ortalama basınç değerini (Pa), R sembolü türbine giren havanın gaz sabitini (J/kgK), T_h sembolü ise türbine giren havanın ortalama sıcaklık değerini (K) belirtmektedir. Türbine giren havanın hacminin hesaplanması Denklem 3.1c'de verilmiştir.

$$V_h = V_r A t \quad (3.1c)$$

Denklem 3.1c'de A sembolü, türbin rotorunun süpürme alanını (m^2), t sembolü ise türbine giren havanın esme süresini (s) belirtmektedir. Denklem 3.1-b ve Denklem 3.1-a, Denklem 3.1'de yerine konulduğunda, rüzgarın kinetik enerjisi Denklem 3.2'de gösterilen bağıntı ile tanımlanmış olacaktır.

$$E = \frac{1}{2} \rho_h A V_r^3 t \quad (3.2)$$

Birim zamandaki enerji miktarı, türbinin sahip olduğu anlık güç miktarını göstermektedir. Rüzgar türbinin sahip olduğu anlık güç miktarının bulunması Denklem 3.3'te verilmiştir.

$$P_r = \frac{1}{2} \rho_h A V_r^3 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te P_r sembolü rüzgar türbininin sahip olduğu anlık güç miktarını (W) belirtmektedir.

Rüzgar türbin sistemleri en ideal olduğu durumlarda dahi rüzgar enerjisinden elde edilebilecek güç miktarının bir kıstası vardır. Bu kıstasa Betz limiti denmektedir. Betz limiti, literatürde rüzgar türbini güç katsayısı olarak da geçmektedir. Betz yasasına göre; rüzgardan elde edilebilecek maksimum verim değeri yaklaşık 0.593 olmaktadır [81,94]. Günümüzde, rüzgar türbinleri için güç katsayısı değeri yaklaşık 0.35–0.40 aralığında değişmektedir. Bir rüzgar türbininin üreteceği teorik gücün hesaplanması Denklem 3.4'te verilmiştir.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho_h A V_r^3 C_p \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te P_t sembolü rüzgar türbininin üreteceği teorik güç miktarını (W), C_p sembolü ise güç katsayısı değerini belirtmektedir. Birim alana düşen güç miktarı, türbinin sahip olduğu güç yoğunluğunu göstermektedir. Rüzgar türbinin sahip olduğu güç yoğunluğunun bulunması Denklem 3.5'te verilmiştir.

$$P_y = \frac{1}{2} \rho_h V_r^3 C_p \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te P_y sembolü rüzgar türbininin sahip olduğu güç yoğunluğunu (W/m²) belirtmektedir.

Birim alana düşen enerji miktarı, türbinin sahip olduğu enerji yoğunluğunu göstermektedir. Toplam enerji yoğunluğunu bulabilmek için, ölçüm yapılan bölgenin bütün hız frekans esme saatleri ile bulunmak istenen bütün hız aralıklarının güç yoğunluğu değerlerinin çarpılması gerekmektedir. Rüzgar türbinin sahip olduğu toplam enerji yoğunluğunun bulunması Denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\Sigma E_y = \Sigma P_y f = \Sigma \left(\frac{1}{2} \rho_h V_r^3 C_p f \right) \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'da ΣE_y sembolü, rüzgar türbinin üretebileceği toplam enerji yoğunluğu miktarını (Wh/m²_{yıl}), f sembolü ise yıllık esme saat sayısını (saat/yıl) belirtmektedir.

Bir rüzgar enerjisi santralının belirli bir zaman dilimi içerisinde ürettiği enerji miktarının, tam kapasitede üretebileceği enerjiye oranı kapasite faktörü olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar türbininin kapasite faktörü değerinin bulunması Denklem 3.7’de verilmiştir.

$$C_f = \frac{\Sigma E_y}{P_n T} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de C_f sembolü; rüzgar türbininin kapasite faktörünü, P_n sembolü; rüzgar türbinin nominal gücünü, T sembolü ise rüzgar türbinin çalışma saatini belirtmektedir.

3.5 Rüzgar Enerji Potansiyelini Etkileyen Faktörler

Bir bölgede rüzgar enerjisinin potansiyelinin belirlenmesinde faydalanılan niceliklerden birisi olan ortalama güç yoğunluğu değeri rüzgar hızının kübüyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için gereken verilerin en temel olanı rüzgar hızıdır. Rüzgar hızının yükseklik ve arazi yapısı ile doğrudan ilişkisi vardır. Arazi yapısının rüzgar üzerinde pürüzlülük, orografik (tünel, tepe etkisi) ve perdeleme etkisi olmak üzere üç önemli etkisi vardır.

3.5.1 Yükseklik

Yükseklik rüzgarın hızını etkileyen bir faktördür. Genellikle rüzgar hızı ölçümleri 10 metre referans yükseklikte ölçülmektedir. Toprak seviyesindeki engeller rüzgar akışını dağıttığı için, rüzgar hızı yükseklikle artmaktadır. Rüzgar türbinleri için 100 metre ve üstündeki yükseklikler; daha yüksek ve kararlı rüzgar hızları, düşük türbülans gibi olumlu etkilerden dolayı en ideal koşulları oluşturmaktadır [94,95]. Bilindiği gibi, yıllık enerji üretimini belirleyen ana faktörler rüzgar potansiyeli, türbin hub yüksekliği, türbin güç eğrisi, türbin pervane çapı, türbin yerleşiminin optimum yapılması olarak sayılabilir. Türbin hub yüksekliğinin artması ile ortalama rüzgar hızının ve üretilebilecek enerji miktarının arttığı gözlemlenmiştir [81,94,95].

Rüzgar enerjisinde kule yükseklikleri de göz önüne alındığında 100 metre civarı rüzgarlar önem arz etmekte ve bu rüzgarlar yüzey koşullarından etkilenmektedir. Rüzgar hızı yükseklikle orantılı olarak logaritmik şeklinde artmakta ve belli bir yükseklikten itibaren sabitlenmektedir [81,90,94,95].

3.5.2 Pürüzlülük (Yüzey Pürüzlülüğü)

Rüzgar türbinlerinden elde edilebilecek elektrik enerjisinin hassas olarak belirlenmesi için, meteorolojik ve topoğrafik yapı, arazi pürüzlülüğü gibi bölgenin coğrafi verilerinin çok iyi analiz edilmesi gerekir. Yüzey pürüzlülüğü, bir bölgenin bitki örtüsü, doğal arazi yapıları, yapılaşma gibi pürüzlülük elemanlarının boyutları ve bölge üzerindeki dağılımlarına bağlıdır [94,96]. Yüzey pürüzlülüğü, rüzgar hızı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğundan; rüzgar potansiyeli çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça havanın sürtünme kuvvetinin artmasından dolayı rüzgar hızının azalacağı kabul edilir. Rüzgar yere yakın noktalarda yavaş hareket etmektedir. Yüzey şekillerine göre pürüzlülük sınıfları ve pürüzlülük uzunluk değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir [81,96,97].

Çizelge 3.4 : Yüzey şekillerine göre pürüzlülük sınıfları ve uzunluk değerleri.

Pürüzlülük Sınıfı	Pürüzlülük Uzunluğu Z_0 (m)	Enerji Göstergesi (%)	Ortam Yüzeyi
0	0.0002	100	Su yüzeyleri
0.5	0.0024	73	Açık Araziler (Beton, havaalanlarındaki beton yollar, otoban, çayır ekili alanlar vb.)
1	0.03	52	Uzak aralıklı yapılara sahip çitsiz ve engelsiz açık tarımsal araziler (Çok hafif engebeli)
1.5	0.055	45	Birkaç binalı ve 1250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler
2	0.1	39	Birkaç binalı ve 500 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler
2.5	0.2	31	Pek çok bina, çalı ve bitkiye sahip ya da 250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler
3	0.4	24	Köyler, küçük şehirler, çok ya da yüksek çitli, tarımsal araziler, ormanlar, çok yoğun ve pürüzlü bölgeler
3.5	0.8	18	Yüksek yapılara sahip büyük şehirler
4	1.6	13	Yüksek binalara ve gökdelen yapılarına sahip büyük şehirler

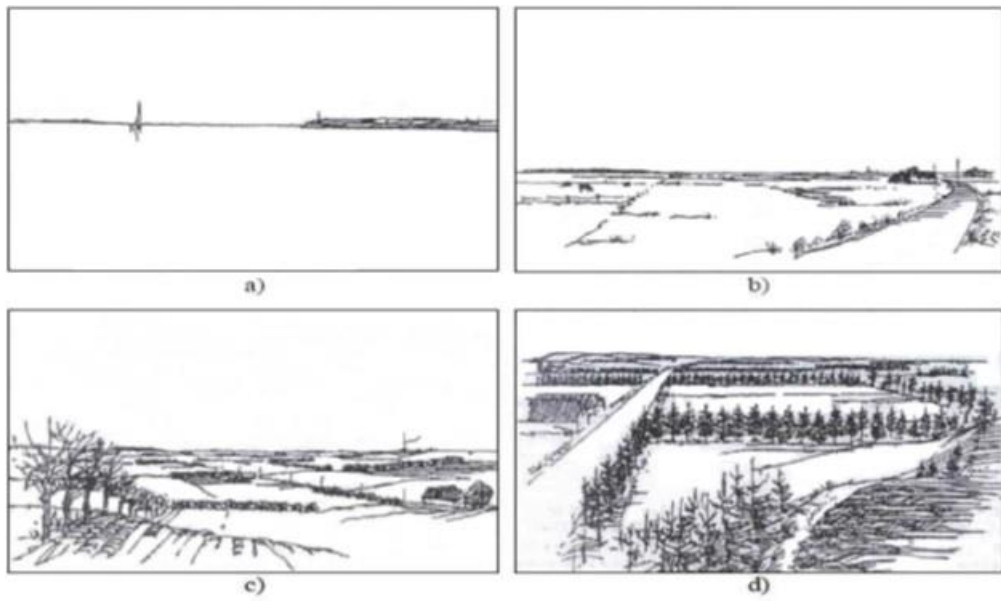
Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi; düz zeminler, havaalanı, deniz yüzeyi gibi ortamlar rüzgar hızı üzerindeki etkisi daha az olurken, büyük ağaçlı ormanlar, tepeler ve büyük binalar gibi pürüzlülüğün fazla olduğu ortamların rüzgar hızı üzerinde ciddi bir etkisi olmaktadır. Pürüzlülük uzunluğunun (Z_0) Çizelge 3.4'te belirtilen pürüzlülük yüzeyleri ile ilişkisi, Denklem 3.8'de verilmiştir.

$$Z_0 = 0.5 \frac{hS}{A_h} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'de h sembolü; pürüzlülük elemanının yükseklik değerini, S sembolü; pürüzlülük elemanının rüzgara karşı gelen dikey kesit alanını, A_h sembolü ise pürüzlülük elemanının bölge üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanını belirtmektedir.

Bir bölgenin ekonomik rüzgar koşulları irdelendiğinde pürüzlülük sınıfı veya pürüzlülük uzunluğu referans olarak alınmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü dört sınıfta (0,1,2,3) ele alınmakta olup, son zamanlarda artan yeni yapılaşma ile büyük şehirler ve yüksek binaları bir arada barındıran bölgeler için pürüzlülük sınıfı 4 olan yeni bir derecelendirme tanımlanmıştır [81,96,97].

Rüzgar enerji potansiyeli açısından, 0 derece pürüzlülük sınıfına sahip alan en uygunken; 4 derece pürüzlülük sınıfına sahip alan en uygunsuz alan olarak kabul edilebilir. Örnek bölgelerin pürüzlülük derecelerine göre sınıflandırılması Şekil 3.7'de gösterilmiştir [81,96,97].



Şekil 3.7 : Bölgelerin pürüzlülük derecelerine göre sınıflandırılması.

Bu sınıflandırmalardan; derecesi 0 olan bölge (a); su yüzeyleri, göller, deniz, pürüzsüz kum yüzeyler olarak tanımlanır. Bu sınıfta kurulabilecek rüzgar türbinlerine off shore rüzgar türbinleri ve deniz kıyısına kurulan türbinler örnek gösterilebilir. Derecesi 1 olan bölge (b); basit şekiller, ağaç, çalılık gibi düz alanlar ile yumuşak engebeli alanlardan oluşur. Derecesi 2 olan bölge (c); arazi yapısı düz veya dalgalı olabilir, aynı zamanda arazi üzerinde çok sayıda yapı ve ağaç gözlenebilir. Fakat bu rüzgar kırıcılar; birbirinden ortalama 1000 m uzaklıkta, açık arazi diyebileceğimiz bir şekilde, dağınık olarak bulunurlar. Derecesi 3 olan bölge (d); çok sayıda rüzgar kırıcı engel bulunduğ; ormanlar, çiftlikler, şehirler bulunmaktadır [81,95-97]. Özetle; bir rüzgar türbininden maksimum enerji çıkışına ulaşabilmek için zemin koşullarının uygunluğu ciddi bir kriterdir.

3.5.3 Türbülans

Rüzgar türbinlerinin verimliliğini olumsuz etkileyen parametrelerin başında gelen türbülans; ani oluşan düzensiz hava hareketleri olarak tanımlanmaktadır. Türbülans yoğunluğunun seviyesi yüksek olduğunda enerji üretim verimliliği azalmaktadır [96].

Bunun yanında bu durum rüzgar türbini üzerine etki eden kuvvetlerin şiddetini ve malzeme yıpranma hızını arttırmakta ve rüzgar türbinlerinin ömürünün kısalmasına sebep olmaktadır. Rüzgar türbinleri kurulurken özellikle yüksek türbülansın olmadığı, bozulmuş rüzgar akışlarının bulunmadığı, hava yoğunluğunun düşük olmadığı ve hâkim rüzgarın dik olarak geldiği yerler tercih edilmelidir [95,97]. Bu yüzden, yüksek ve kararlı rüzgar hızlarının yanı sıra, ormanlık alanlar sık binalar gibi pürüzlülük etkisinin fazla olduğu alanlardan kaçınma ve düşük türbülans gibi olumlu koşullara ulaşmak için rüzgar türbinlerinde 100 metre ve üstü yükseklikler en ideal koşulları sağlamaktadır [87,95,97].

Türbülans şiddetini belirlemek için, ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızlarının dalgalanmaları olarak tanımlanan standart sapması belirlenmelidir. Bir bölgedeki rüzgar verilerinin standart sapmasının küçük olması rüzgar rejiminin düzenli olduğunu gösterir ve standart sapmanın 0-3 m/s arasında olması istenir [96,97]. Türbülans yoğunluğu; standart sapmanın ortalama rüzgar hızına bölünmesi ile elde edilen birimsiz bir niceliktir.

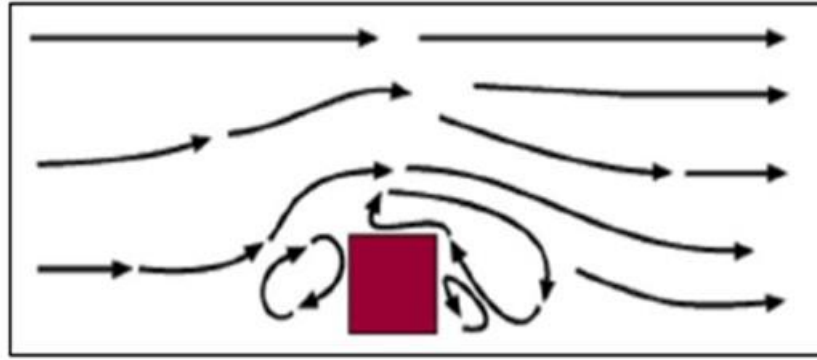
Rüzgar türbinleri için türbülans yoğunluğu değeri; 0-0.1 aralığında ise düşük türbülanslı bölge, 0.1-0.25 aralığında ise orta türbülanslı bölge, 0.25 değerinden büyük ise yüksek türbülanslı bölge olarak adlandırılmaktadır [95,97]. Türbülans yoğunluğu değerinin 0.25 değerinden fazla olduğu alanlara rüzgar türbini sistemleri yerleştirmekten sakınılmalıdır [95-97].

3.5.4 Rüzgar Engelleri (Perdeleme Etkisi)

Rüzgar enerjisi elde edilmesi istenen bölge üzerindeki engeller rüzgar hızını önemli düzeyde düşürebilir. Rüzgar hızındaki bu azalmaya perdeleme denmektedir. Ayrıca engeller türbülansa da sebep olurlar ve oluşan türbülans engelin arka kısımlarında, engelin ön kısımlarına göre daha belirgindir. Bu engelleri; bitki örtüsü, insanlar tarafından yapılan yapılar, arazi yapıları gibi doğal engeller oluşturmaktadır. Doğal engeller, insan yapımı blok engellere göre havanın geçişine izin vermeye daha müsaittir [96,97].

Engelin perdeleme etkisi bazı faktörlere bağlıdır. Bunlar; engele olan uzaklık, engelin yüksekliği, hesaplanan noktanın yüksekliği, engelin uzunluğu ve geçirgenliği olarak sıralanabilir [95-97].

Engelden uzaklaştıkça, engelin geçirgenliği ve hesaplama noktasının yüksekliği arttıkça perdeleme azalırken; engelin yüksekliği ve uzunluğu arttıkça perdeleme etkisi de artmaktadır [87,95,97]. Türbinler yapı engellerinin 10 katı mesafede kurulması gerekli gibi oranlar veriliyor ise de yapının arka kısımlarında oluşacak tesir alanının yapının formuna ve rüzgara göre yerleşimine de bağlı olduğundan kabul edilen bu mesafelerde genelleme yapılamayacağı söylenebilir. Şekil 3.4'te bir engel etrafında rüzgarın akışı görülmektedir [96,97].



Şekil 3.8 : Bir engel etrafında rüzgar akışı

Rüzgar hızları çevre alanlara göre tepelerde daha yüksektir. Ayrıca tepelerde engellerden etkilenmede daha az olmaktadır. Engelsiz ve rüzgar hızının yüksek olduğu tepe noktalar rüzgar türbinlerinin kurulması için uygun yerlerdir [95-97].

3.5.5 Tünel Etkisi

Dağlar ve yüksek binalar arasından geçen rüzgarın hızında değişimler olmaktadır. Bu oluşumlardan geçen hava akımlarının sıkışması sonucu rüzgarın hızında meydana gelen artışa tünel etkisi denmektedir [96,97].

Rüzgar türbinlerini tünel etkisini dikkate alarak arazi içerisinde uygun ve düzgün alanlara konumlandırılması, rüzgar enerjisini daha verimli kullanmayı ve enerji üretimi açısından avantaj sağlamayı mümkün kılmaktadır. Ancak; olumlu bir tünel etkisi sağlamak için türbin yumuşak engellerin arasına yerleştirilmeli ve arazinin yapısı pürüzlü ve engebeli olmamalıdır [81,94,97].

Bu koşullara dikkat edilmediği taktirde; sert, pürüzlü ve engebeli bir arazi düzenli olmayan tünel etkisi oluşturacak ve bu da daha çok türbülansa sebep olacaktır. Oluşan türbülans, türbinde yıpranma, yorulma gibi hasarlara neden olarak türbinin ömrünü azaltacak ve enerji üretiminde dezavantaja sebep olacaktır [81,84,87,97].

3.5.6 Tepe Etkisi

Rüzgar hızları çevre alanlara göre tepelerde daha yüksektir. Ayrıca tepelerde engellerden etkilenmede daha az olmaktadır. Engelsiz ve rüzgar hızının yüksek olduğu tepe noktalar rüzgar türbinlerinin kurulması için uygun yerlerdir. Tepelik bölgelerdeki yüksek basınç bölgeleri hava akımını yükselterek rüzgarın tepeye varmadan sıkışmaya başlamasına sebep olur. Daha sonra hava akımı tepenin diğer yamacında oluşan düşük basınç bölgesine doğru genişler hareket eder. Bu olaya tepe etkisi denmektedir [81,97].

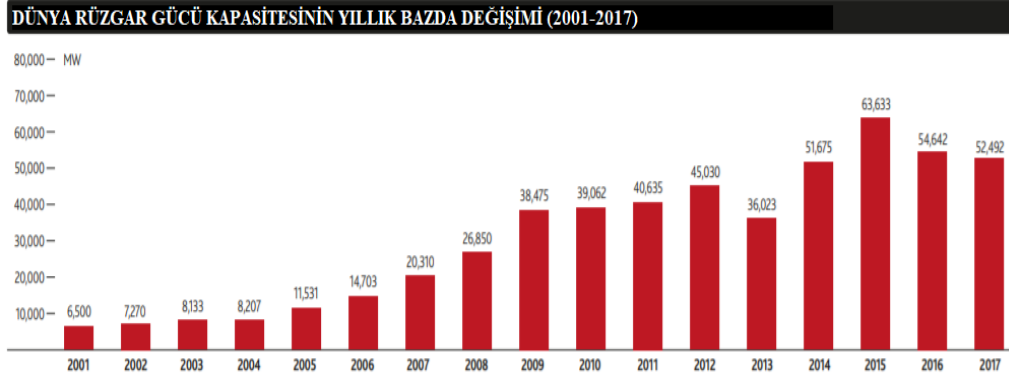
Burada dikkat edilmesi gereken tepelerin özellikleridir. Denize paralel, orta eğimli, hakim rüzgar yönüne dik ve özellikle de engellerin olmadığı çıplak bir yapıya sahip tepeler rüzgar hızının yüksek olmasından dolayı enerji üretimine son derece uygunken, sarp (dik) veya engebeli tepeler ise türbülansa sebep olacağından rüzgar enerji üretimi uygun değildir [94,96-97].

Zirvede rüzgar hızı, tepenin eğimi, uzunluğuna ve dağ grubunun genişliğine bağlı olarak artmaktadır. Tepenin hakim rüzgar yönüne sahip ön cephesi türbinler için uygunken, tepenin arka cephesi türbülans nedeniyle uygun değildir [94,97]. Tepeler, platolar ve uçurumlar bir rüzgar türbini için yüksek rüzgar hızı bulunabilecek en ideal yerlerdir [81,96-97].

3.6 Dünya’da Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

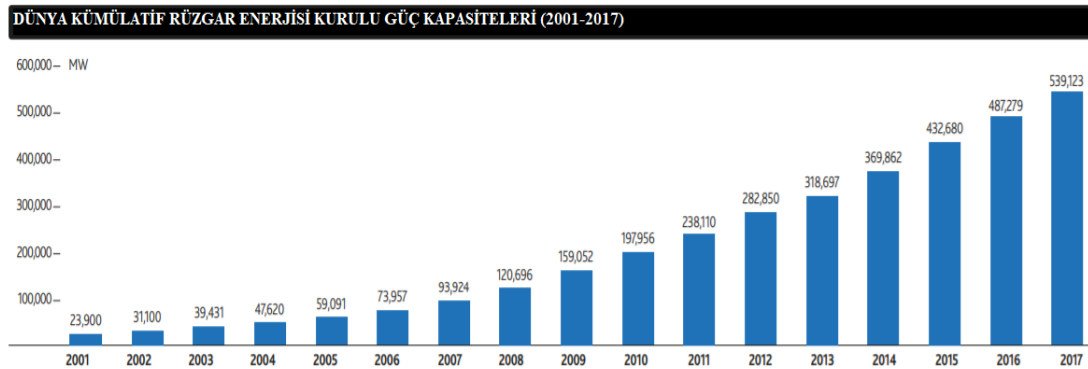
Birçok ülke rüzgar enerjisi potansiyelinden faydalanmak için önemli teknolojik yatırım ve araştırmalar yapmaktadır. Dünyamızın doğal rüzgar enerjisi potansiyeli 189,000 TWh/yıl, teknik rüzgar enerjisi potansiyelinin 53,000 TWh/yıl olduğu tahmin edilmektedir [41]. 2018 yılı sonu itibariyle dünyada rüzgar enerji sistemlerinin kapasitesi yaklaşık 539 GW’dır. Global ölçekte üretilen yenilenebilir enerjinin %24.55’i rüzgar enerji sistemlerinden sağlanmıştır [49].

Dünya toplam rüzgar kurulu gücünün yıllar bazında kapasite artışları incelendiğinde; 2001 yılında 6.500 GW, 2007 yılında 20.310 GW ve 2017 yılında ise 52.492 GW olmuştur. Dünya’da rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllar bazında değişimi Şekil 3.9’da gösterilmiştir [98].



Şekil 3.9 : Dünya’da rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllar bazında değişimi.

Şekil 3.9 incelendiğinde; 2006 yılına kadar belli bir oranda artan rüzgar enerjisi kurulu gücü 2006-2010 yılları arasında büyük bir atılım sağlamıştır. Bu atılımın sağlanmasında, global düzeyde yasal olarak yapılan değişiklikler ve düzenlemeler sonucu; fiyat desteği, arazi kullanımı için devlet desteği ve alım garantisi gibi teşvikler etkili olmuştur [44]. Dünya kümülatif rüzgar kurulu gücü 2001 yılında 23.900 GW iken, 2007 yılında 93.924 GW ve 2017 yılında ise 539.123 GW olmuştur. Dünya’da rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi Şekil 3.10’da gösterilmiştir [98].



Şekil 3.10 : Dünya’da rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi.

Şekil 3.10’dan görüleceği üzere; dünya kümülatif rüzgar enerji kurulu gücünde her yıl belli oranlarda artışlar mevcuttur. 2007-2017 yıllarını kapsayan son 10 yıllık periyotta 445.2 GW kurulu kapasite artışı meydana gelmiştir. Bu bağlamda global düzeyde rüzgar enerjisinden elektrik üretimine özellikle son yıllarda büyük önem verildiği ve yatırımların yoğunlaştığı görülmektedir.

2007-2017 yılları arasındaki dünyada rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde son 10 yıllık periyot göz önüne alındığında; Çin 158.3612 GW kurulu kapasite artışı ile lider durumdadır. Çin Halk Cumhuriyeti'ni 71.027 GW kurulu kapasite artışı ile ABD izlemektedir. 2007-2017 yılları arasındaki en fazla rüzgar enerjisi kurulu güç kapasitesi artışını gerçekleştiren ilk 10 ülke Çizelge 3.5'te verilmiştir [50].

Çizelge 3.5 : Kurulu güç kapasitesi artışını gerçekleştiren ilk 10 ülke (2007-2017).

Ülke	Kurulu Güç Artışı (GW)
Çin Halk Cumhuriyeti	158.361
ABD	71.027
Almanya	33.535
Hindistan	25.003
Birleşik Krallık	19.835
Brezilya	12.047
Fransa	11.289
Kanada	10.563
İspanya	8.280
İtalya	7.035

Dünya'da 2007-2017 yılları arasında rüzgar enerjisi kapasitesi toplam 421.069 GW artmıştır. Bu kapasite artışında Çin Halk Cumhuriyeti %37.60'lık oran ile, ABD %16.86'lık oranla, Almanya ise %7.96'lık oranla başı çekmiştir. Bu on yıllık süreçte; diğer devletlerin katkısı ise %37.57 olmuştur [50].

GWEC ve Greenpeace Örgütü'nün 2012 yılında yayınladığı rapora göre; 2020 yılına kadar rüzgar enerjisinden global düzeyde üretilecek olan elektriğin %12'sini karşılamaya yönelik bir fizibilite çalışması planlanmaktadır. 2020 yılına kadar olan zaman aralığında, 1200 GW düzeyinde bir rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi oluşturularak, iklim değişikliğine neden olan 10 milyar 700 milyon ton karbondioksit gazının çevreye salınımı engellenecektir [73].

3.7 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizde yapılan yıllık rüzgar enerjisinden elektrik üretimi teknik hesaplarına göre; doğal potansiyeli 400,000 TWh, teknik potansiyeli 290,000 TWh, ekonomik potansiyeli ise 50 TWh olarak bulunmuştur [51].

Son yıllarda izlenen enerji politikalarının başını çeken rüzgar enerjisi, ülkemizin coğrafik koşulları göz önüne alındığında çok önemli bir potansiyele sahiptir.

Ülkemiz rüzgar potansiyeli açısından, Avrupa coğrafyasında en iyi potansiyele sahip ülkeler arasındadır. Ancak rüzgar enerji potansiyelinden faydalanma oranları göz önüne alındığında henüz arzu edilen seviyelere ulaşamamıştır [99].

Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından ülkemizin coğrafi bölgelerinin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunlukları kapsamlı bir çalışma sonucunda ortaya konulmuştur. Ülkemizde rüzgar enerjisi potansiyelinin ortaya konulması açısından yapılan bu çalışma önem arz etmektedir. Türkiye'nin coğrafi bölgelerinin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunlukları Çizelge 3.6'da verilmiştir [100].

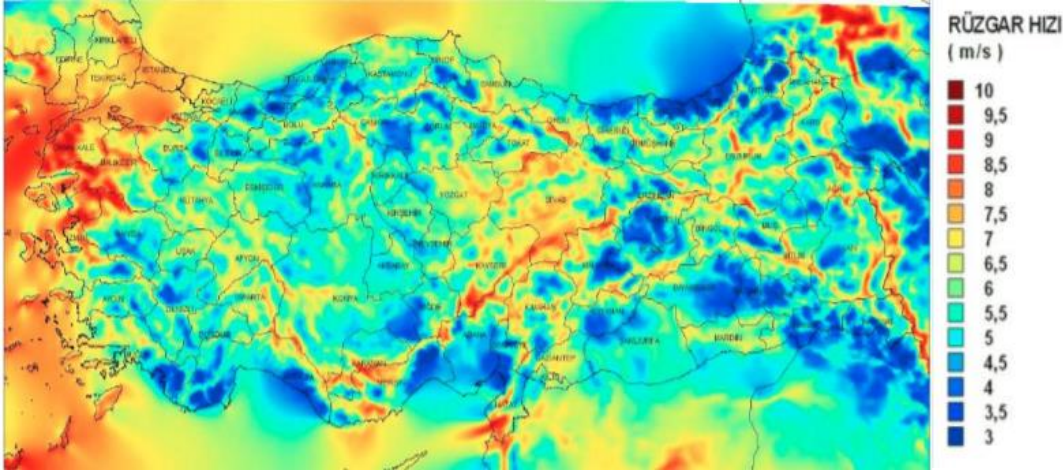
Çizelge 3.6 : Bölgelere göre ortalama rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunlukları.

Bölge	Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu (W/m²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Marmara Bölgesi	51.91	3.29
Ege Bölgesi	23.47	2.65
Akdeniz Bölgesi	21.36	2.45
İç Anadolu Bölgesi	20.14	2.46
Karadeniz Bölgesi	21.31	2.38
G.Doğu Anadolu Bölgesi	29.33	2.69
Doğu Anadolu Bölgesi	13.19	2.12
Ortalama	25.82	2.58

Çizelge 3.6 incelendiğinde; ülkemizin ortalama rüzgar güç yoğunluğu olarak Marmara, Güneydoğu Anadolu, Ege Bölgeleri'nin en yüksek yoğunluk değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Ülkemizin ortalama rüzgar hızı açısından aynı bölgelerin en iyi hız değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından, bir paket program vasıtasıyla saat bazında rüzgar verileri, saha pürüzlülük bilgileri, yakın çevre engel bilgileri, bölgenin coğrafik ve topoğrafik yapısı ve paket program içerisinde bulunan alt modeller değerlendirilerek, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) geliştirilmiştir.

Bu atlas yardımıyla; 200 metre x 200 metre çözünürlüğünde belirli yüksekliklerdeki günlük, aylık, mevsimlik ve yıl bazında rüzgar hız ortalamaları, rüzgar güç yoğunluğu, çalışma yapılması planlanan sahaların kapasite faktörü dağılımı gibi bilgiler incelenebilmektedir. Ülkemizin 100 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızı haritası Şekil 3.11'de görülmektedir [100].



Şekil 3.11 : Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı haritası (100 m yükseklik için).

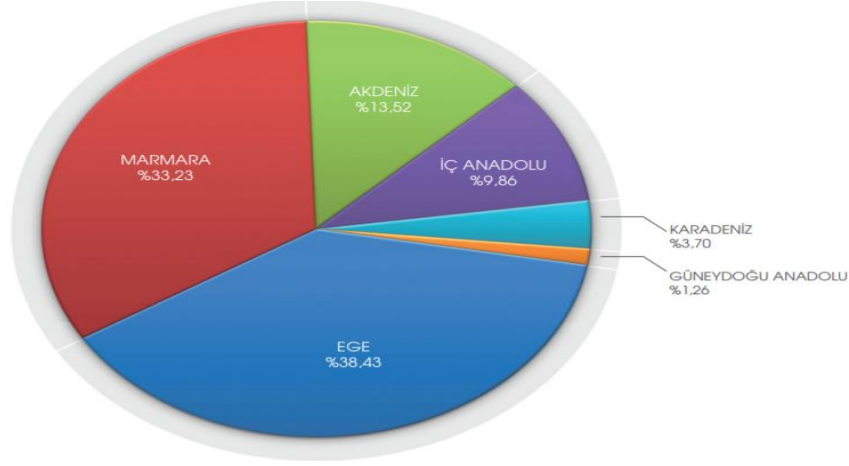
Şekil 3.11 incelendiğinde; ülkemizin özellikle Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesinin denize yakın olan kıyı kesimlerinde, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin ise yükseltisi ve açıklığı fazla olan kesimlerinde ortalama 4.5-10 m/s rüzgar hızları ile önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir [99].

Ülkemizde rüzgar enerji santrallerinin kapasitesi yıldan yıla artış trendinde olup, 2008 yılında kurulu gücümüz 0.363 GW iken, 2019 yılı Ocak ayı sonu itibariyle 7.369 GW olarak gerçekleşmiştir [101]. Ülkemizde rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir [101].



Şekil 3.12 : Ülkemizde rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi.

Ülkemizde, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin diğer iç bölgelere nazaran rüzgar potansiyeli yüksek olmasına rağmen bu bölgelerimizde arzu edilen kurulu güce henüz ulaşamamıştır [102]. Ocak 2018 tarihi itibariyle; ülkemizde bölgesel bazda işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin dağılımı Şekil 3.13'te görülmektedir [101].



Şekil 3.13 : Bölgesel bazda işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin dağılımı.

Ocak 2018 tarihi itibariyle; ülkemizde bölgesel bazda işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin dağılımına baktığımızda; %38.43'lük oranla Ege Bölgesi ilk sırayı almaktadır. Bu bölgemizi %33.23'lük oranla Marmara Bölgesi'nin izlediği görülmektedir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin ise dağılımdaki oranı sadece %1.26 olmuştur [102].

2008-2018 yılları arasında rüzgar enerji santrallerinin kapasite artışı 7 GW'tan fazladır. Ocak 2018 tarihi itibariyle inşaa halindeki santrallerin toplam kapasitesi 0.606 GW ve lisanslı olan rüzgar enerji santrallerinin toplam kapasitesi ise 2.239 GW'tır [101]. Bu gelişme trendiyle rüzgar enerjisi, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde, kurulu kapasite artışı bakımından en hızlı gelişen enerji kaynaklarından birisi olmuştur [40].

Ülkemizde rüzgar enerjisi sektörünün gelişmesi geleceğe dönük enerji plan ve stratejilerimiz açısından kritik önem arz etmektedir. Gerek yüzölçümünün büyüklüğü, gerek kıyı şeridinin uzunluğu bu inancı güçlendirmektedir. Rüzgar enerjisi, uzun dönemlere yayılan ilk yatırım geri ödeme süreleri olmayan, politik ve ekonomik açılarından diğer devletlere olan bağılılığı azaltan, yerli ve sürdürülebilir bir kaynak türü olmaktadır [71]. Rüzgar enerjisi bu özelliklerinden dolayı ülkemiz için her geçen gün daha iktisadi ve cazip hale gelmektedir.

Belli referans yüksekliklerde rüzgar güç yoğunluğu ve rüzgar hızı değerlerinin analizleri, bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiki olarak elektrik enerjisi üretimi açısından uygun olup olmadığı hakkında karar verilmesine yardımcı olmaktadır [94-96]. Kırklareli ili için 50 metre referans yükseklikteki kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali kapasitesi Çizelge 3.7’de verilmiştir [100,102].

Çizelge 3.7 : Kurulabilecek rüzgar santrali güç kapasitesi (50 m yükseklik için).

Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu (W/m²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km²)	Toplam Kurulabilecek Kapasite (GW)
300-400	6.8-7.5	572.66	2.863
400-500	7.5- 8.1	43.22	0.216
500-600	8.1-8.6	0	
600-800	8.6-9.5	0	
>800	>9.5	0	
TOPLAM		615.87	3.079

Ülkemizde işletmede olan, lisans ve ön lisans izinleri aşamalarında olan rüzgar enerjisi santralleri her geçen gün artmaktadır. 2019 yılı Ocak ayı itibariyle; Kırklareli ilinde işletmedeki rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesi 199.60 MW’tır. Bu kurulu güç miktarı ile ülkemizin işletmede olan rüzgar enerjisi santralleri arasında %2.71’lik payı karşılamaktadır.

Kırklareli ilinde lisanslı rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesi 155 MW’tır. Bu kapasite miktarı ile; İstanbul, Çanakkale, Kocaeli illerinin ardından ülkemizin lisanslı rüzgar enerjisi santralleri arasında dördüncü sırada yer almaktadır.

Kırklareli ilinde ön lisanslı rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesi 545 MW’tır. Bu kapasite miktarının büyük kısmını YEKA projesi kapsamında kurulacak olan 400 MW’lık güç oluşturmaktadır. Kırklareli ili; ön lisanslı rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü bakımından ilk sırada yer almaktadır [101].

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü Yerleşim Alanı

Kırklareli ili; ülkemizin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi'nin Trakya kesiminde yer almaktadır. Dünya üzerindeki konumu $41^{\circ}44'-42^{\circ}00'$ Kuzey Paralelleri ile, $26^{\circ}53'-41^{\circ}44'$ Doğu Meridyenleri arasında kalmaktadır [103]. Kırklareli ilinde karasal geçiş iklimi hakimdir. Kırklareli ilinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 13.3°C 'dir. Kırklareli ili için ortalama rüzgar hızı değerleri $4.5-8\text{ m/s}$ aralığındadır. Kırklareli ilinde hakim rüzgar yönleri Kuzey ve Kuzeydoğu'dur [100,104].

Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüs alanı, deniz seviyesinden 261 metre yükseklikte bulunmaktadır. $41^{\circ}47'$ kuzey enlemi ile $27^{\circ}10'$ doğu boylamı koordinatlarına sahip kampüs alanında kurulan rüzgar istasyonundan alınan veriler kullanılmaktadır. Kampüs alanındaki ölçüm alınan bölge Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Kampüs alanındaki ölçüm alınan bölge.

4.2 Materyal

Bu çalışmada rüzgar hızı verileri; kampüs içerisinde en uygun yer olarak belirlenen 25 metre uzunluğundaki aydınlatma direğine monte edilen rüzgar ölçüm istasyonundan elde edilmiştir. Kurulumu ve ayarlamaları tamamlanan rüzgar ölçüm istasyonundan, 03 Eylül 2018 tarihi itibarıyla, 5 dakika aralıklarla fiziki parametreler alınmaya başlanmıştır. Ölçümü yapılan fiziki parametrelerin arasında; iç ve dış sıcaklık, iç ve dış nem, rüzgar hızı ve yönü, barometrik basınç, yağış miktarı, çiylenme sıcaklıkları, ultraviyole endeksi, solar radyasyon değerleri ve birçok farklı indeks bulunmaktadır. Rüzgar ölçüm istasyonu Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Kampüs alanına yerleştirilen rüzgar ölçüm istasyonu.

Rüzgar ölçüm istasyonu aracılığıyla belirli periyotlar arasında ölçülen veriler istasyondan kablosuz olarak veri akışı kontrolünü sağlayan konsol yardımıyla takip edilebilmekte ve ölçüm istasyonundan elde edilen tüm veriler, konsol içerisinde gömülü olarak bulunan data logger’a kaydedilmektedir. Kampüs alanına yerleştirilen rüzgar ölçüm istasyonu konsolu Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Rüzgar ölçüm istasyonu konsolu.

4.2.1 Rüzgar Ölçüm İstasyonu

Rüzgar ölçüm istasyonunun temel ekipmanları arasında; anemometre ve rüzgar vanası (rüzgar hız ve yön sensörü), basınç sensörü, sıcaklık ve nem sensörü, solar radyasyon ve ultraviyole ölçüm sensörü, yağış sensörü, basınç sensörü ve bütün sensörlerin çalışmasını sağlayan güneş paneli bulunmaktadır. Ölçüm istasyonu gün ışığının olmadığı saatlerde konsol içerisinde bulunan lityum piller aracılığıyla verilerin kaydına devam etmektedir. İstasyon üzerinde bulunan sensörlerin tamamı dış çevre etkilerine karşı koruma sağlayan bir yapı içerisine monte edilmiştir.

4.2.1.1 Anemometre ve Rüzgar Vanası (Rüzgar hız ve yön sensörleri)

Anemometre; en genel tanımıyla rüzgar hızını ölçen cihazdır. Bu cihazlar rüzgar hızını elektriksel sinyale dönüştürme prensibiyle çalışır. Tez kapsamında kupa tipi (cup) anemometre kullanılmıştır. Kupa tipi anemometreler, dakikadaki devir sayılarıyla rüzgar hızını hesaplamaktadırlar. Anemometreye çarpan rüzgarın türbülans oluşturmaması için gövdenin küçük ve simetrik bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Tezde kullanılan anemometre 1-80 m/s arasında rüzgar hız değerlerini ölçebilmektedir [105]. Yön sensörleri; temel olarak rüzgarın hangi yönden estiğinin tespitinde kullanılırlar. Yön sensörlerinden alınan veriler sonucunda; ölçülen rüzgar hızının hangi yönden geldiği, hakim rüzgar yönü ve farklı yönlerden esen rüzgarlar ile bu rüzgarların hangi sıklıkla estiği belirlenmektedir. Tezde kullanılan yön sensörünün ölçüm aralığı 0°- 360°, çözünürlük değeri 1° ve ölçüm doğruluğu ise $\pm 5^\circ$ olarak belirtilmiştir [105].

4.2.1.2 Basınç Sensörü

Basınç sensörleri, bir referans yüzeyi ile atmosfer arasında yer alan hava akışkanının birim alana etkiyen kuvvetini yani barometrik basıncını ölçen cihazlardır [44]. Tez çalışması kapsamında kullanılan basınç sensörünün ölçüm aralığı 540-1100 milibar, çözünürlük değeri 0.1 milibar ve ölçüm doğruluğu ise ± 1 milibar olarak belirtilmiştir [105].

4.2.1.3 Sıcaklık ve Nem Sensörü

Sıcaklık sensörü; iç ve dış çevre sıcaklığını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu sensörler hava sirkülasyonunu sağlayacak ve güneş radyasyonundan direkt etkilenmeyecek şekilde yerleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan sıcaklık sensörünün iç ortam için; ölçüm aralığı 0-60°C, çözünürlük değeri 0.1°C ve ölçüm doğruluğu ise $\pm 0.5^\circ\text{C}$ olarak belirtilmiştir [105]. Sıcaklık sensörünün dış ortam için katalog değerleri ise; ölçüm aralığı (-40) ile 65°C, çözünürlük değeri 0.1°C ve ölçüm doğruluğu ise $\pm 0.5^\circ\text{C}$ olarak belirtilmiştir [105].

Nem sensörü ise; referans bir sıcaklıkta bulunan hava akışkanının içerdiği nem miktarının, aynı sıcaklıktaki maksimum nem miktarına oranını ölçmektedir [44]. Tez çalışması kapsamında kullanılan nem sensörünün iç ve dış çevre için; ölçüm aralığı %1-100, çözünürlük değeri %1 ve ölçüm doğruluğu ise %3 olarak belirtilmiştir [105].

4.2.1.4 Ultraviole (UV) ve Solar Radyasyon Sensörleri

Ultraviole (UV) sensörü, UV indeksini, UV doz oranını, günlük ve toplam UV doz miktarını ölçmektedir. UV İndeksi'ni 0'dan 16'ya kadar uzanan bir ölçek üzerinde sınıflandırmaktadır [105].

Solar Radyasyon sensörü, birim alana düşen güç miktarının ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu sensör vasıtasıyla; solar radyasyon yoğunluğu, sıcaklık, nem yüzdesi, güneşlenme süresi ve rüzgar indekslerinin değerleri hesaplanabilir. Tez çalışması kapsamında kullanılan solar radyasyon sensörünün ölçüm aralığı 0-1800 W/m², çözünürlük değeri 5 W/m² ve ölçüm doğruluğu ise $\pm 5\%$ W/m² olarak belirtilmiştir [105].

4.2.1.5 Data logger

Data logger (veri kaydedici); ölçüm direği üzerindeki hız sensörü, yön sensörü, sıcaklık ve nem sensörü, basınç sensörü gibi algılayıcılardan gelen verilerin elektronik olarak depolandığı cihazdır. Data logger, ölçüm istasyonu ile kablosuz bağlantıyı sağlayan konsol üzerinde gömülü halde bulunmaktadır. Cihazların özelliklerine göre belli aralıklarla ölçüm yapıp bu verileri istatistiksel olarak değerlendirerek 1 dakikadan 120 dakika aralıklara kadar kaydetmektedirler. Kaydedilen tüm veriler taşınabilir bir bilgisayara kablolu veya kablosuz olarak aktarılabilir. Tez çalışması kapsamında, 5 dakikalık düzenli aralıklarla yapılan ölçümler kaydedilmiştir.

4.3 Metot

Bu çalışmada, 2018 Eylül- 2019 Nisan ayları arasında Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü'nün rüzgar enerjisi potansiyeli, 5 dakika aralıklarla ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak veriler üzerinde çeşitli istatistiki dağılımlar uygulanması yöntemiyle analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli tahmininde Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımları kullanılmıştır. Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır. Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE), Ki-Kare Testi (χ^2) ve Korelasyon Katsayısı (R^2) yaklaşım metodları hangi dağılımın modellemede daha başarılı olduğu ve istatistiksel olarak uygun yaklaşıma sahip olduğunu belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Rüzgarın hız, frekans ve yön dağılımlarının oluşturulmasında WRPLOT programı kullanılmıştır. Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar hızlarının seçilecek olan türbinin göbek yüksekliğine taşınması için Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılmıştır. Bu bağıntıyla; rüzgar hızları 50, 80 ve 100 metre türbin göbek yüksekliğine taşınmıştır ve her bir dikkate alınan yükseklik değerleri için bölgenin aylara göre ortalama rüzgar hızı ve ortalama güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, istatistiki çalışmaları yapılan bölgeye 80 metre göbek (hub) yüksekliğine sahip bir rüzgar türbini kurulması planlanmış ve çalışılan bölge için enerji üretim hesaplamaları bu kabul üzerinden yapılmıştır.

4.3.1 İstatistiksel Analizler

Bölgesel rüzgar rejimlerinin önceden tahmin edilebilmesi için çeşitli istatistiksel yaklaşım metodları kullanılmaktadır. İstatistiksel dağılım metodları ile; bölgenin ortalama hız değerleri, standart sapma değerleri, enerji ve güç yoğunluğu değerleri tahminleri yapılabilmektedir. İki parametrelili Weibull dağılımı, bir parametrelili Rayleigh dağılımı ve iki parametrelili Gamma dağılımı dünyanın farklı bölgelerinin rüzgar dağılımlarını temsil etmek için sıklıkla tercih edilmektedir. Weibull ve Rayleigh yöntemlerinin kullanılma nedeni, rüzgar profiline çok iyi uymaları, dağılımlarının değişken bir forma sahip olmaları, parametrelerinin saptanmasındaki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin referans bir yükseklik için saptanmasının ardından farklı yükseklik değerleri için tahmini gibi etmenlerdir [106]. Gamma dağılımının tercih edilmesinin sebebi ise düşük rüzgar hızı profillerinde diğer dağılımlara göre modellemede daha başarılı olmasıdır [107-109].

4.3.1.1 Weibull ve Rayleigh Dağılımları

Weibull dağılımı, temelde şekil (k) ve ölçek (c) olmak üzere iki parametreden oluşan bir dağılımdır. İki parametrelili Weibull dağılımının k parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımı yüksek rüzgar profiline sahip bölgelerde literatürde en yaygın kullanılan dağılımlardır [1,3-5,7,16-17]. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull dağılımına göre daha az değişkendir, ancak parametrelerinin saptanması daha basittir. Yıllık ortalama rüzgar hızının 4.5 m/s'den fazla olduğu durumlarda, rüzgar hız profiline Rayleigh dağılım fonksiyonuna yaklaştığı bilinmektedir [110]. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ($f_w(v)$) Denklem 4.1'de verilmiştir.

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de; v sembolü, herhangi bir andaki hız değerini temsil etmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu, herhangi bir andaki hızın gözlenme olasılığını vermektedir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ($F_w(v)$) Denklem 4.2'de verilmiştir.

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (4.2)$$

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının belli bir hız değerinden küçük ya da eşit olma ihtimalini vermektedir. Rayleigh dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu ($f_r(v)$) Denklem 4.3'te verilmiştir.

$$f_r(v) = \left(\frac{2v}{c^2}\right) \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (4.3)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu ($F_r(v)$) Denklem 4.4'te verilmiştir.

$$F_r(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (4.4)$$

Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hız değeri ile fonksiyonun saptanabilmesidir. Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında moment ve MLE metodları kullanılmıştır [111-112].

Dağılımların ortalama rüzgar hızları (v_d) Denklem 4.5'te verilmiştir [111].

$$v_d = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te; Γ sembolü, gamma fonksiyonunu temsil etmektedir.

Dağılımların standart sapmalarının (σ_d) bulunuşu Denklem 4.6'da verilmiştir [111].

$$\sigma_d = \sqrt{c^2 [\Gamma(1 + \frac{2}{k}) \Gamma^2(1 + \frac{1}{k})]} \quad (4.6)$$

Yukarda ifade edilen formüllerde şekil parametresi 2 olarak alındığında Rayleigh dağılımı için tahminler ortaya konulmaktadır. Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu (P_m) Denklem 4.7'de verilmiştir.

$$P_m = \int_0^{\infty} P(v) f(v) dv \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'de; $P(v)$ sembolü, birim alandaki rüzgar güç değerini temsil etmektedir. $f(v)$ sembolü ise olasılık yoğunluk fonksiyonunu temsil etmektedir.

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu (P_w) Denklem 4.8'de verilmiştir.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma(1 + \frac{3}{k}) \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de; ρ sembolü, ölçüm yapılan havanın yoğunluk değerini temsil etmektedir.

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu (P_r) Denklem 4.9'da verilmiştir.

$$P_r = \frac{3}{k} \rho v_d^3 \quad (4.9)$$

4.3.1.2 Gamma Dağılımı

Gamma dağılımı, farklı disiplinlere entegrasyonunun önünü açan esnek yapısı sayesinde rastgele değişen rüzgar hızı verilerine de uygulanabilmektedir [12]. Bu durum coğrafi konum ve iklim rejimine göre rastgelelik gösteren rüzgar hızı verileri için de geçerlidir.

Gamma dağılımına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu ($f(x)$) Denklem 4.10'da verilmiştir.

$$f(x) = \frac{(x^{a-1}) \left(e^{-\frac{x}{b}} \right)}{b^a \Gamma(a)} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10'da; x herhangi bir andaki hız değerini, b ölçek parametresini, a şekil parametresini ve $\Gamma(a)$ ise gamma dağılımındaki şekil parametresi fonksiyonunu temsil etmektedir.

Gamma dağılım parametrelerinin bulunmasında moment ve MLE metodları kullanılmıştır [113]. Gamma dağılımının ortalama rüzgar hızı (V_g) Denklem 4.11’de verilmiştir.

$$V_g = ab \quad (4.11)$$

Gamma dağılımının ortalama güç yoğunluğu (P_g) Denklem 4.12’de verilmiştir [113].

$$P_g = \frac{1}{2}\rho(ab)^3 \quad (4.12)$$

4.4 Hata Analizleri

Hata analizleri; istatistiki dağılım metodlarının rüzgar hızı frekans değerlerinin tahmin kıstasıdır. İncelenen fonksiyonların uygun modelleme yaklaşımları ve tahmin başarısı çeşitli kriterlere bakarak belirlenebilir. Değerlendirme parametreleri ile ilgili detaylı bilgi literatürde bulunmaktadır [114-116]. Kök ortalama karesel hata (RMSE) kriterinin bulunması Denklem 4.13’te verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2\right]} \quad (4.13)$$

Ki-Kare (χ^2) kriterinin bulunması Denklem 4.14’te verilmiştir.

$$\chi^2 = \left[\frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2\right] \quad (4.14)$$

Denklem 4.14’te; n sembolü dağılımlardaki parametre sayısını ifade etmektedir.

Korelasyon katsayısı (R^2) kriterinin bulunması Denklem 4.15’te verilmiştir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - z_i)^2} \quad (4.15)$$

Yukarıdaki denklemlerde; y_i değeri i. gerçek veriyi, x_i değeri i. dağılımlardan tahmin edilen veriyi, z_i değeri y_i değerlerinin ortalamasını, n değeri gerçek veri adedini, N değeri ise gözlem sayısını vermektedir [114-116].

4.5 Rüzgar Hızlarının Teorik Olarak Yükseltilmesi

Bir yükseklikte ölçülen bir rüzgar hızından faydalanılarak farklı bir yükseklikte esen rüzgar hızını Hellman katsayısını kullanarak hesaplamak mümkündür.

Hellman katsayısı, referans yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının bölgede kurulması planlanan türbinlerin hub yüksekliğine ötelenmesinde sıklıkla tercih edilen bir katsayıdır. Bu katsayı ölçüm istasyonu etrafındaki yüzey faktörleri ile bağıntılı olarak değişmektedir. [81,94-97].

Bir yükseklikte ölçülen bir rüzgar hızından faydalanılarak farklı bir yükseklikte esen rüzgar hızının hellman katsayısı yardımıyla bulunması Denklem 4.16'da verilmiştir.

$$V = V_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^\mu \quad (4.16)$$

Denklem 4.16'da V sembolü, hesaplanmak istenen yükseklikteki rüzgar hızını (m/s), V_{ref} ölçüm direğinin kurulduğu referans yükseklikteki rüzgar hızını (m/s), h sembolü, hesaplanmak istenen noktanın yerden yüksekliğini (m), h_{ref} sembolü, ölçüm direğinin kurulduğu referans yüksekliği (m), μ sembolü ise Hellmann katsayısını belirtmektedir.

Hellmann katsayısı değeri, yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişmektedir. Hellmann katsayısının bulunması Denklem 4.16a'da verilmiştir.

$$Z_0 = 15,25 \exp \left(\frac{-1}{\mu} \right) \quad (4.16a)$$

Denklem 4.16a'da z_0 sembolü, pürüzlülük uzunluğunu (m) belirtmektedir.

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Referans Yükseklikteki (25 metre) Rüzgar Profiline Değerlendirilmesi

Rüzgar ölçüm verileri, Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü içerisinde en uygun yer olarak belirlenen 25 metre uzunluğundaki aydınlatma direğine monte edilen rüzgar ölçüm istasyonundan elde edilmiştir.

Kurulumu ve ayarlamaları tamamlanan rüzgar ölçüm istasyonundan, 04 Eylül 2018–03 Mayıs 2019 tarihlerini kapsayan süreçte, fiziki parametreler 5 dakika aralıklarla alınmaya başlanmıştır. Eylül ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Eylül ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

Şekil 5.1 incelendiğinde; Eylül ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 5 m/s olduğu görülmektedir. 30/09/2018 tarihinde 12.55 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Eylül ayı için; hakim rüzgar yönünün 1758 adet esme değeri ile Kuzey-doğu (NE), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönünde 16.1 m/s’dir.

Ekim ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Ekim ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

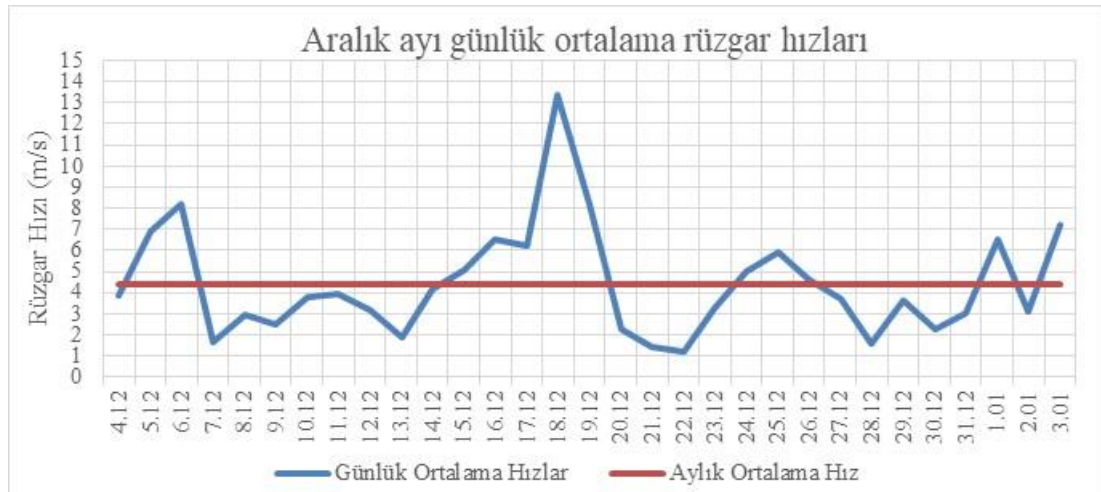
Şekil 5.2 incelendiğinde; Ekim ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 4.81 m/s olduğu görülmektedir. 11/10/2018 tarihinde 8.36 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Ekim ayı için; hakim rüzgar yönünün 1961 adet esme değeri ile Kuzey-doğu (NE), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönünde 14.3 m/s’dir. Kasım ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Kasım ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

Şekil 5.3 incelendiğinde; Kasım ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 5.90 m/s olduğu görülmektedir. 29/11/2018 tarihinde 14.17 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Kasım ayı için; hakim rüzgar yönünün 2472 adet esme değeri ile Kuzey-doğu (NE), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönünde 19.7 m/s’dir.

Aralık ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Aralık ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

Şekil 5.4 incelendiğinde; Aralık ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 4.42 m/s olduğu görülmektedir. 18/12/2018 tarihinde 13.34 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Aralık ayı için; hakim rüzgar yönünün 1328 adet esme değeri ile Kuzey (N), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey-Kuzey-Batı (NNW) yönünde 17.9 m/s'dir. Ocak ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Ocak ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

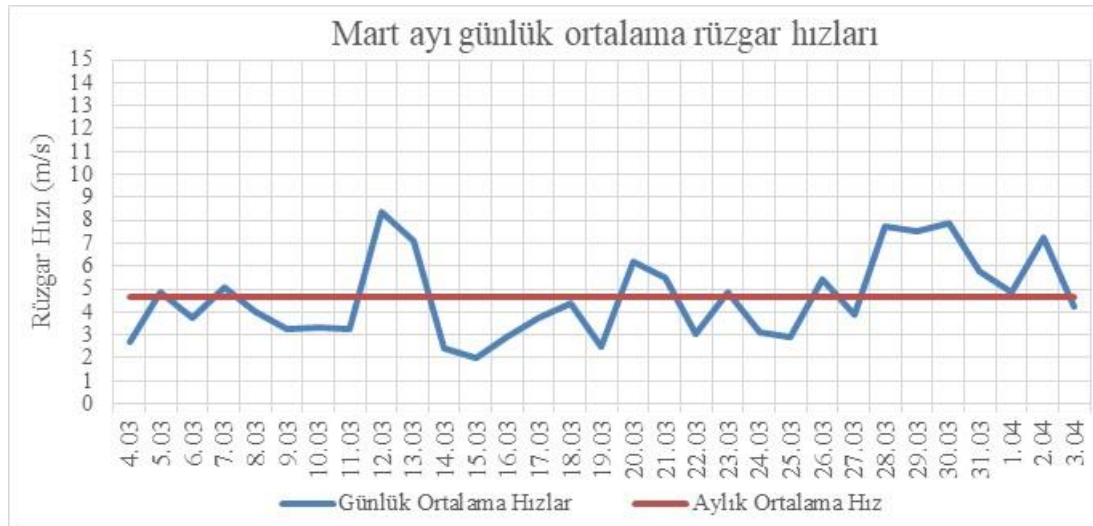
Şekil 5.5 incelendiğinde; Ocak ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 4.95 m/s olduğu görülmektedir. 25/01/2019 tarihinde 8.63 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Ocak ayı için; hakim rüzgar yönünün 2152 adet esme değeri ile Güney-Doğu (SE), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey-Kuzey-Batı (NNW) yönünde 15.6 m/s'dir.

Şubat ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Şubat ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

Şekil 5.6 incelendiğinde; Şubat ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 5.54 m/s olduğu görülmektedir. 23/02/2019 tarihinde 14.04 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Şubat ayı için; hakim rüzgar yönünün 1553 adet esme değeri ile Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Güney (S) yönünde 21.5 m/s'dir. Mart ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Mart ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

Şekil 5.7 incelendiğinde; Mart ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 4.64 m/s olduğu görülmektedir. 12/03/2019 tarihinde 8.35 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Mart ayı için; hakim rüzgar yönünün 1521 adet esme değeri ile Kuzey-doğu (NE), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönünde 17.1 m/s'dir.

Nisan ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Nisan ayına ait günlük ortalama rüzgar hız değerleri.

Şekil 5.8 incelendiğinde; Nisan ayına ait ortalama rüzgar hızı değerinin 3.97 m/s olduğu görülmektedir. 30/04/2019 tarihinde 6.56 m/s hız değeri, bu ay içerisinde ölçülen en yüksek günlük ortalama hız değeri olarak kaydedilmiştir. Nisan ayı için; hakim rüzgar yönünün 4289 adet esme değeri ile Kuzey (N), ölçülen anlık en yüksek hız değeri Kuzey (N) yönünde 15.2 m/s’dir.

Ölçüm istasyonundan elde edilen verilerin analizi sonucunda; her aya ait ortalama sıcaklık değerleri, ortalama basınç değerleri, hava yoğunluğu değerleri ve ortalama güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Hava yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında Denklem 3.1b’den, ortalama güç yoğunluğu değerinin bulunmasında ise Denklem 3.5’ten faydalanılmıştır. İncelenen aylara ait bu değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Referans yükseklikte aylara ait parametreler.

AYLAR	Ort. Sıcaklık (°C)	Ort. Basınç (milibar)	Ort. Hava Yoğunluğu (kg/m ³)	Ortalama Güç Yoğunluğu (W/m ²)
Eylül	19.61	1015.962	1.20916	75.5725
Ekim	15.18	1019.840	1.23242	68.5745
Kasım	8.4	1020.016	1.26232	129.6271
Aralık	4.26	1018.035	1.27867	55.2070
Ocak	4.77	1011.152	1.267695	76.8777
Şubat	4.99	1020.174	1.277994	108.6496
Mart	9.59	1017.640	1.254079	62.6395
Nisan	12.35	1014.058	1.237576	38.7180
ORTALAMA	9.89	1017.11	1.252489	76.98

Ölçüm istasyonundan elde edilen verilerin analizi sonucunda; incelenen aylar için rüzgar verilerinin, her bir rüzgar yönüne göre esme sayıları belirlenmiştir. Rüzgar yönlerine göre esme sayıları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Rüzgar yönlerine göre esme sayıları.

	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	TOPLAM
N	1381	977	1156	1328	671	1450	627	4289	11879
NNE	1377	1754	1419	849	281	1553	920	542	8695
NE	1758	1961	2472	1047	574	1234	1521	414	10981
ENE	795	744	926	414	233	265	1034	358	4769
E	372	333	437	360	253	223	503	340	2821
ESE	321	365	356	897	723	387	586	447	4082
SE	274	387	363	834	2152	377	884	669	5940
SSE	189	352	240	362	1423	304	773	436	4079
S	113	276	94	257	514	323	401	168	2146
SSW	192	370	237	218	380	337	488	243	2465
SW	169	196	195	242	312	203	330	124	1771
WSW	74	55	105	229	113	241	154	74	1045
W	98	130	90	152	96	238	109	52	965
WNW	231	118	64	269	84	139	80	79	1064
NW	516	252	91	529	421	286	179	176	2450
NNW	937	659	396	942	699	505	340	230	4708
TOPLAM	8797	8929	8641	8929	8929	8065	8929	8641	69860

Çizelge 5.2’den görüldüğü gibi; rüzgar verilerinin en sık esme miktarı, 11879 adet ile Kuzey (N) yönünde meydana gelmiştir. En az esme miktarı ise 1064 adet ile Batı-Kuzey-Batı (WNW) yönünde meydana gelmiştir.

Rüzgar türbininin yer seçiminde önemli bir faktör olan türbülans yoğunluğu; standart sapmanın ortalama rüzgar hızına bölünmesi ile elde edilen birimsiz bir niceliktir. İncelenen her ay için türbülans yoğunluğu değerleri Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Referans yükseklikte aylara ait türbülans yoğunluğu değerleri.

AYLAR	Standart Sapma (σ) (m/s)	Ortalama Hız (V) (m/s)	Türbülans Yoğunluğu
Eylül	3.0778	5.0058	0.6148
Ekim	2.5650	4.8119	0.5330
Kasım	3.9448	5.90128	0.6684
Aralık	3.2555	4.4217	0.7362
Ocak	2.8307	4.9582	0.5709
Şubat	4.1777	5.5400	0.7540
Mart	2.7226	4.6449	0.5861
Nisan	2.2004	3.9771	0.5532
ORTALAMA	3.0968	4.9076	0.6270

5.2 50 Metre Yükseklikteki Rüzgar Profiline Değerlendirilmesi

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar hızlarının seçilecek olan türbinin göbek yüksekliğine taşınması için Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılmıştır. Denklem 4.16 ve Denklem 4.16a'dan yararlanılarak rüzgar hızları 50 metre türbin göbek yüksekliğine taşınmıştır. Bölgenin topoğrafik şartları göz önüne alınarak ilgili yükseklik için Hellmann katsayısı 0.1893 olarak belirlenmiştir.

Hava yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında Denklem 3.1b'den, ortalama güç yoğunluğu değerinin bulunmasında ise Denklem 3.5'ten faydalanılmıştır. 50 metre yükseklikteki rüzgar profiline değerlendirilmesi için; ele alınan her aya ait rüzgar hızı verilerine Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımları uygulanmıştır. Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır.

Parametrelerin hesaplanmasıyla her aya ait; şekil ve ölçek parametresi, gerçek ve dağılımlara ait ortalama hız değerleri, gerçek ve dağılımlara ait ortalama güç yoğunluğu değerleri, gerçek ve dağılımlara ait standart sapma değerleri elde edilmiştir.

Bir bölgedeki rüzgar verilerinin standart sapmasının düşük olması rüzgar rejiminin kararlı olduğunu gösterir ve standart sapmanın 0-3 m/s arasında olması istenir.

Daha sonra dağılımların rüzgar hız profillerini modellemede başarı oranlarını ve istatistiksel olarak uygun yaklaşıma sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla Kök ortalama karesel hata (RMSE), Ki-Kare (χ^2) ve Korelasyon katsayısı (R^2) hata analizleri yapılmıştır.

RMSE, χ^2 kriterleri en küçük değerlerine göre en iyi tahmini vermektedir. R^2 kriteri ise bir modelin tahmin gücünün ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değişmektedir. R^2 kriterinin 1'e yaklaşması modelin tahmin gücünün arttığının göstergesidir.

Eylül ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi "k", ölçek parametresi "c (m/s)", ortalama hız değeri " V_m (m/s)", dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri " V_d (m/s)", standart sapma değeri " σ_m (m/s)", dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri " σ_D (m/s)", ortalama güç yoğunluğu " P_m (W/m^2)" ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu " P_d (W/m^2)" değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Eylül ayı için hesaplanan parametrelerin değerleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Eylül ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.6715	6.3893	5.707727	5.707727	3.509423	3.509423	112.4636	262.8362
Rayleigh Moment	2	6.4404	5.707727	5.707727	3.509423	2.983561	112.4636	214.7881
Gamma Moment	2.6454	2.1575	5.707727	5.707727	3.509423	3.509223	112.4636	112.2333
Weibull MLE	1.7143	6.4238	5.707727	5.728467	3.509423	3.442086	112.4636	257.5761
Rayleigh MLE	2	6.7002	5.707727	5.937906	3.509423	3.103881	112.4636	241.8321
Gamma MLE	2.6043	2.1915	5.707727	5.707728	3.509423	3.536809	112.4636	112.2012

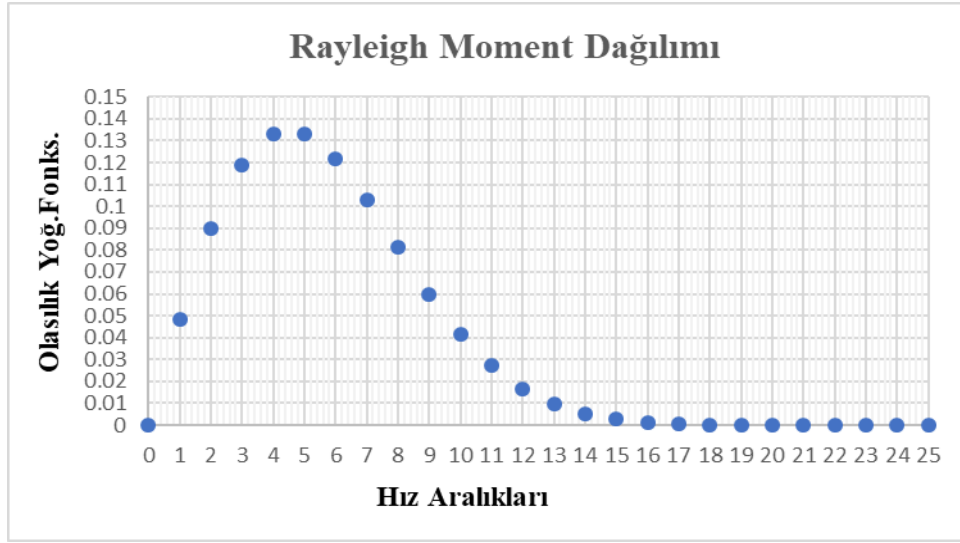
Çizelge 5.4 incelendiğinde; Eylül ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %14.98 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %4.03 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 4.674 m/s olduğu analiz edilmiştir. Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000265	0.000106	0.000185	0.000229	0.000109	0.000197
RMSE	0.015629	0.009881	0.013084	0.014525	0.010024	0.013498
R^2	0.890759	0.956333	0.923437	0.905649	0.955061	0.918523

Çizelge 5.5'e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Eylül ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 214.7881 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.20963 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Eylül ayı için seçilen Rayleigh Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Eylül ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Ekim ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Ekim ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.9570	6.1882	5.486686	5.486686	2.924654	2.924654	99.1018	193.4891
Rayleigh Moment	2	6.1910	5.486686	5.486685	2.924654	2.868017	99.1018	189.2700
Gamma Moment	3.5198	1.5588	5.486686	5.486686	2.924654	2.924490	99.1018	99.13168
Weibull MLE	1.9442	6.1802	5.486686	5.480506	2.924654	2.938609	99.1018	194.1447
Rayleigh MLE	2	6.2174	5.486686	5.510049	2.924654	2.880230	99.1018	191.6981
Gamma MLE	2.8666	1.9139	5.486686	5.486684	2.924654	3.240601	99.1018	99.00968

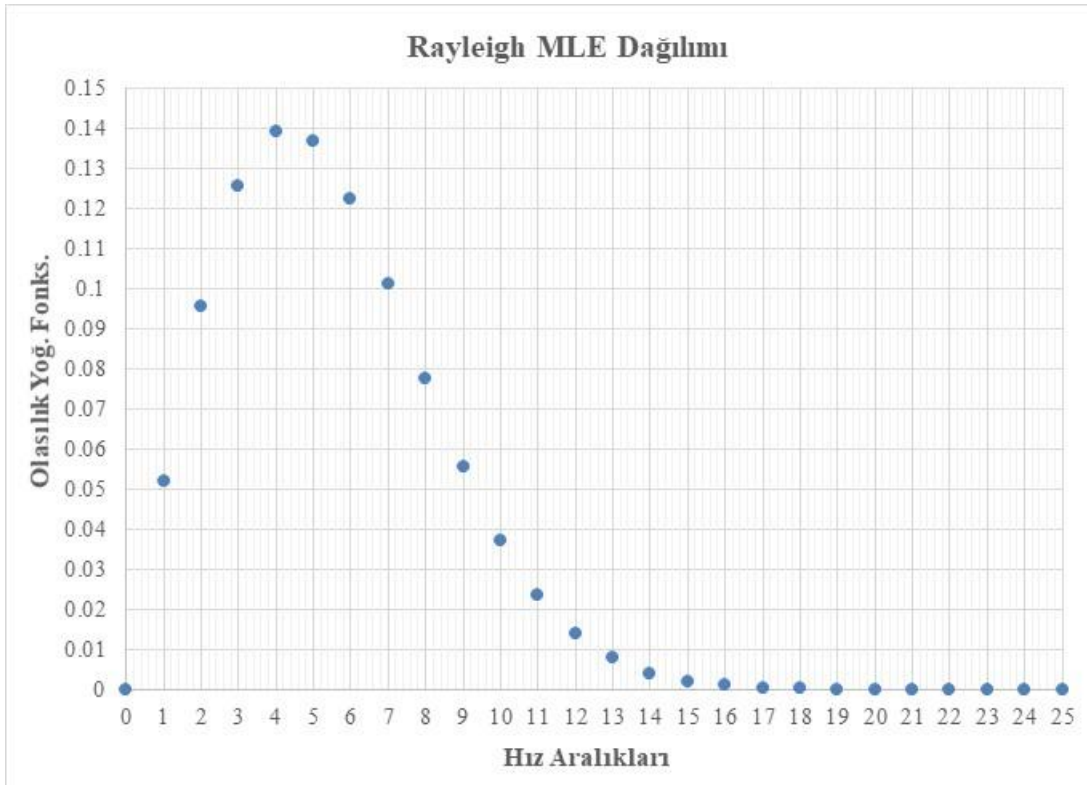
Çizelge 5.6 için; Ekim ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %1.93 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %0.42 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull MLE yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.587 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0001587	0.0001432	0.0002671	0.000166	0.0001359	0.0003445
RMSE	0.0121045	0.0114964	0.0157011	0.0123771	0.0112008	0.0178325
R^2	0.9375673	0.9436832	0.8949549	0.9347238	0.9465421	0.8644998

Çizelge 5.7’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Ekim ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $191.698 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.230064 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Ekim ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Ekim ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Kasım ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Kasım ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.5256	7.4684	6.728705	6.728705	4.497911	4.497910	182.7872	464.867
Rayleigh Moment	2	7.5925	6.728705	6.728705	4.497911	3.517250	182.7872	348.9581
Gamma Moment	2.2381	3.0063	6.728705	6.728707	4.497911	4.497652	182.7872	181.5279
Weibull MLE	1.5453	7.4925	6.728705	6.740920	4.497911	4.453255	182.7872	461.1411
Rayleigh MLE	2	8.0934	6.728705	7.172656	4.497911	3.749313	182.7872	422.3029
Gamma MLE	2.0770	3.2395	6.728705	6.728706	4.497911	4.668853	182.7872	180.9815

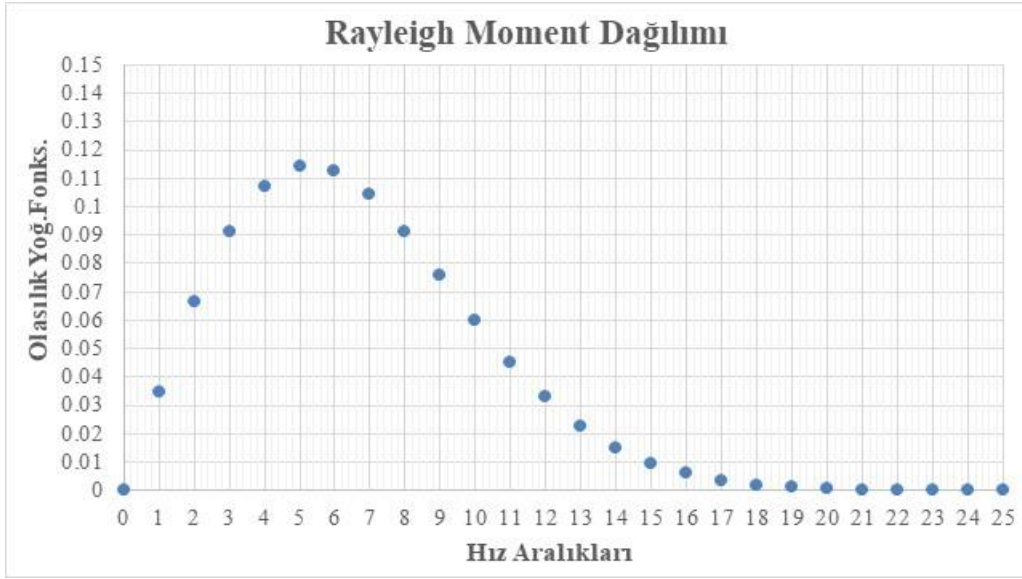
Çizelge 5.8 incelendiğinde; Kasım ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %21.80 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %6.59 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 6.157 m/s olduğu analiz edilmiştir. Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0002724	0.0001641	0.0002295	0.0002591	0.0002006	0.0002717
RMSE	0.0158579	0.0123061	0.0145547	0.0154647	0.0136074	0.0158366
R^2	0.8388528	0.9029549	0.8642497	0.8467441	0.8813454	0.839285

Çizelge 5.9’a göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Kasım ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $348.958 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.259247 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Kasım ayı için seçilen Rayleigh Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Kasım ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Aralık ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10 : Aralık ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.3744	5.5152	5.041749	5.041750	3.712054	3.712055	76.8944	236.272
Rayleigh Moment	2	5.6890	5.041749	5.041750	3.712054	2.635439	76.8944	146.857
Gamma Moment	1.8449	2.7327	5.041749	5.041749	3.712054	3.711846	76.8944	75.4455
Weibull MLE	1.3950	5.5429	5.041749	5.054812	3.712054	3.670396	76.8944	232.9699
Rayleigh MLE	2	6.2607	5.041749	5.548449	3.712054	2.900303	76.8944	199.8726
Gamma MLE	1.7570	2.8694	5.041749	5.041750	3.712054	3.803562	76.8944	75.15105

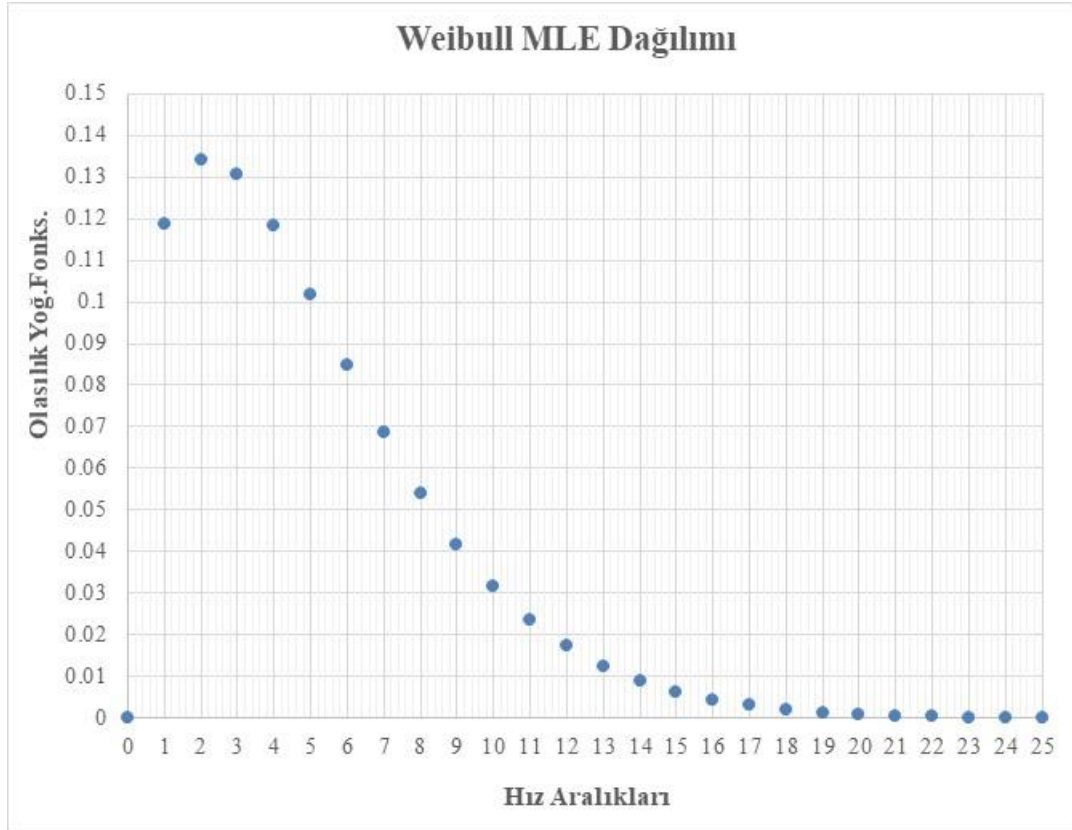
Çizelge 5.10’a göre; Aralık ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %29 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %10.05 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull Moment yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 1.4822 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0003629	0.0004416	0.0003458	0.0003232	0.0004594	0.0003555
RMSE	0.0183034	0.020189	0.0178651	0.0172727	0.0205937	0.018115
R^2	0.8546338	0.8231394	0.8615119	0.8705449	0.8159789	0.85761

Çizelge 5.11’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Weibull MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Aralık ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $232.9699 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.27555 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Aralık ayı için seçilen Weibull MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Aralık ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Ocak ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12 : Ocak ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.8137	6.3595	5.653446	5.653445	3.227656	3.227655	108.4154	229.8694
Rayleigh Moment	2	6.3792	5.653446	5.653446	3.227656	2.955187	108.4154	207.0570
Gamma Moment	3.0683	1.8425	5.653446	5.653445	3.227656	3.227475	108.4154	108.3839
Weibull MLE	1.8072	6.3546	5.653446	5.650017	3.227656	3.236318	108.4154	230.4058
Rayleigh MLE	2	6.5098	5.653446	5.769198	3.227656	3.015693	108.4154	220.0363
Gamma MLE	2.5996	2.1746	5.653446	5.653446	3.227656	3.506327	108.4154	108.1564

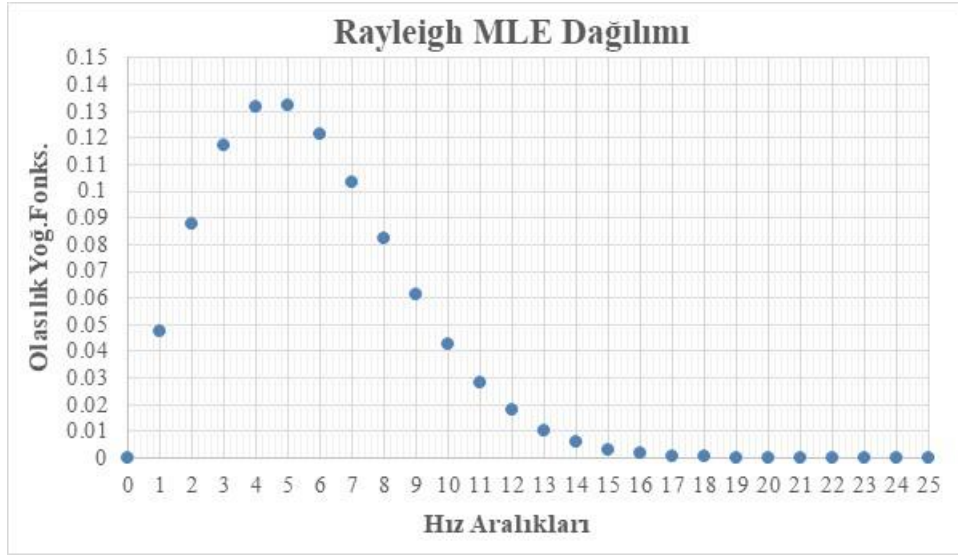
Çizelge 5.12 incelendiğinde; Ocak ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %8.44 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %2.04 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull MLE yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.13 m/s olduğu analiz edilmiştir. Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.13’te verilmiştir.

Çizelge 5.13 : Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0001758	0.0000973	0.0002277	0.0001805	0.0000766	0.0003174
RMSE	0.0127398	0.0094810	0.0145009	0.0129086	0.0084121	0.0171188
R^2	0.9254108	0.9586900	0.9033649	0.9234218	0.9674795	0.8653225

Çizelge 5.13’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Ocak ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 220.0363 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.264602 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Ocak ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Ocak ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Şubat ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.14’te verilmiştir.

Çizelge 5.14 : Şubat ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.3397	6.8791	6.316836	6.3168355	4.763509	4.763507	151.2342	447.5699
Rayleigh Moment	2	7.1277	6.316836	6.316835	4.763509	3.301956	151.2342	288.8061
Gamma Moment	1.7587	3.5917	6.316836	6.316833	4.763509	4.76321	151.2342	148.3464
Weibull MLE	1.3301	6.8762	6.316836	6.322464	4.763509	4.799835	151.2342	451.4555
Rayleigh MLE	2	7.9114	6.316836	7.011316	4.763509	3.664978	151.2342	394.6128
Gamma MLE	1.5786	4.0015	6.316836	6.316835	4.763509	5.027614	151.2342	146.9711

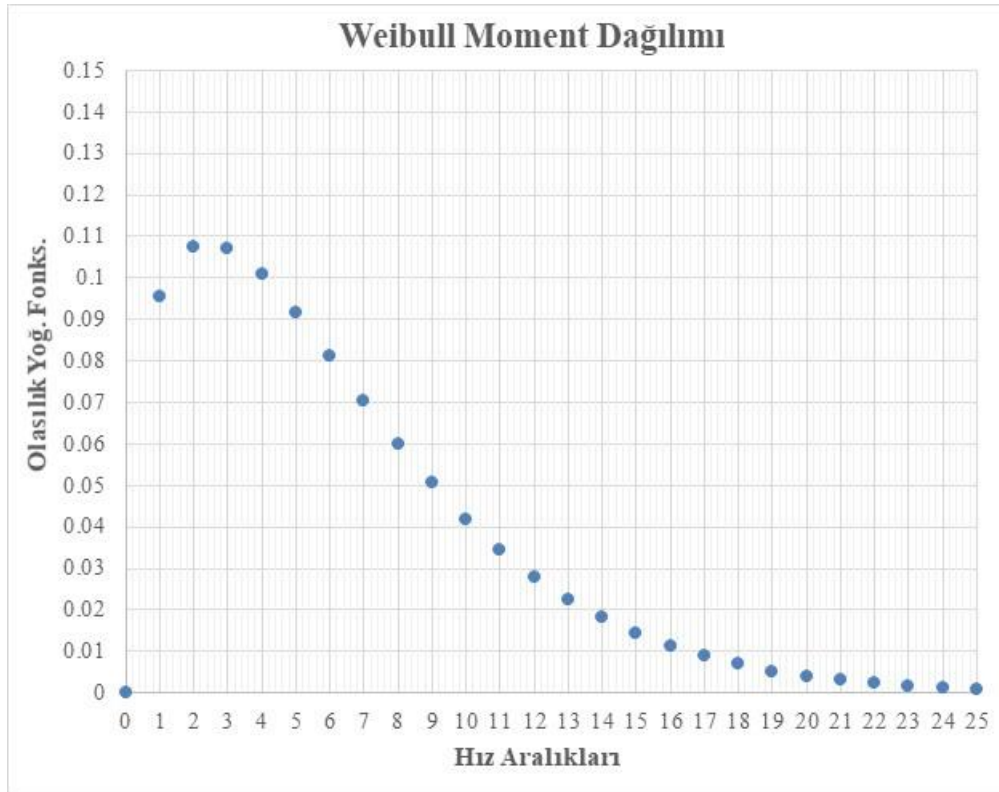
Çizelge 5.14 incelendiğinde; Şubat ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 30.68 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 10.99 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull MLE yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 1.4822 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15 : Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0002016	0.0004991	0.0002215	0.0002248	0.0005086	0.0002355
RMSE	0.013641	0.0214649	0.0143	0.0144052	0.0216684	0.0147446
R^2	0.872993	0.6854414	0.860391	0.8583293	0.6794477	0.8516113

Çizelge 5.15 incelendiğinde; her üç hata analizinin sonucunda da, Weibull Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Şubat ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 447.570 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.2749 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Şubat ayı için seçilen Weibull Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.14’te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : Şubat ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Mart ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16 : Mart ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.7618	5.9489	5.296225	5.296225	3.104373	3.104374	89.1354	195.5327
Rayleigh Moment	2	5.9761	5.296225	5.296225	3.104373	2.768459	89.1354	170.2360
Gamma Moment	2.9109	1.8194	5.296225	5.296226	3.104373	3.104200	89.1354	89.0644
Weibull MLE	1.7706	5.9565	5.296225	5.301559	3.104373	3.093431	89.1354	194.964
Rayleigh MLE	2	6.1388	5.296225	5.440455	3.104373	2.843852	89.1354	184.5261
Gamma MLE	2.5696	2.0610	5.296225	5.296224	3.104373	3.303917	89.1354	88.87844

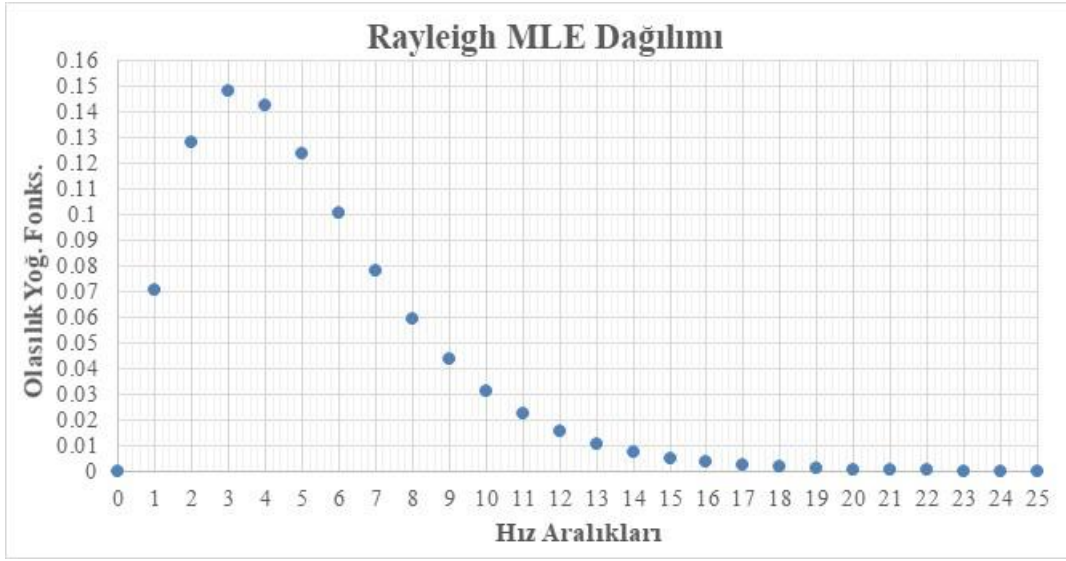
Çizelge 5.16 incelendiğinde; Mart ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 10.82 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 2.72 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 4.6748 m/s olduğu analiz edilmiştir. Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17 : Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000172	0.000088	0.000170	0.000165	0.000065	0.000244
RMSE	0.012606	0.009033	0.012547	0.012366	0.007784	0.015037
R^2	0.932051	0.965113	0.932685	0.934617	0.974097	0.903313

Çizelge 5.17’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Mart ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 184.526 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.251007 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Mart ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : Mart ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

Nisan ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 : Nisan ayı dağılımlara ait parametreler (50 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.8778	5.1083	4.534754	4.534754	2.508953	2.508953	55.9515	114.1347
Rayleigh Moment	2	5.1169	4.534754	4.534754	2.508953	2.370421	55.9515	106.8596
Gamma Moment	3.2671	1.3879	4.534754	4.534755	2.508953	2.508808	55.9515	55.95959
Weibull MLE	1.8828	5.1105	4.534754	4.536291	2.508953	2.503873	55.9515	113.9250
Rayleigh MLE	2	5.1824	4.534754	4.592855	2.508953	2.400791	55.9515	111.0199
Gamma MLE	2.8717	1.5790	4.534754	4.534755	2.508953	2.675962	55.9515	55.86874

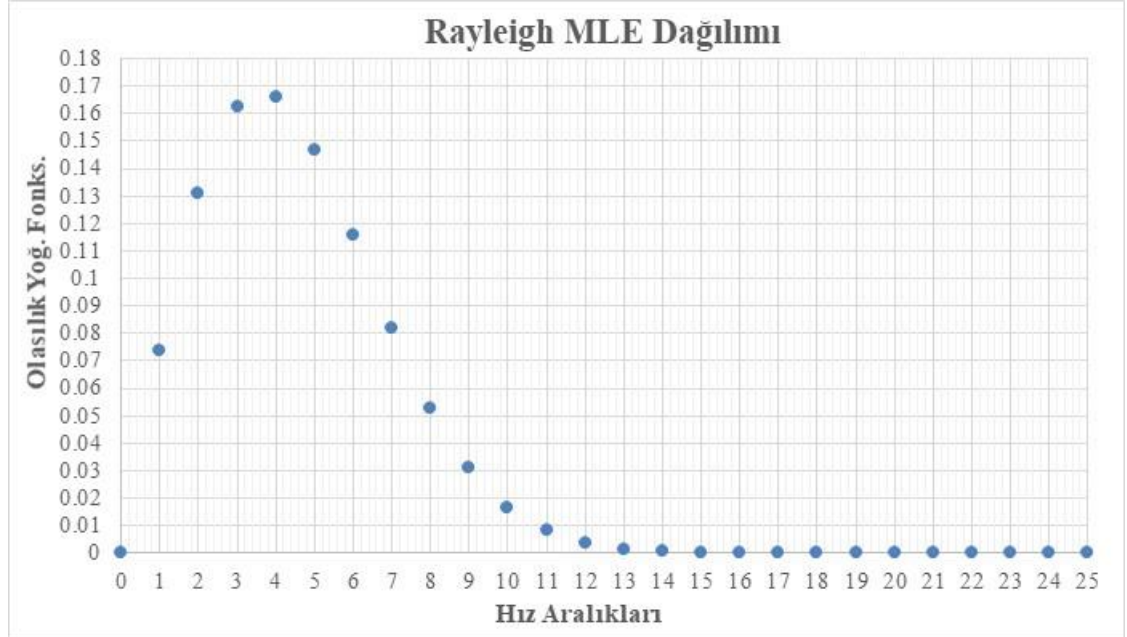
Çizelge 5.18 incelendiğinde; Nisan ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %5.52 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %1.28 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull Moment yönteminde elde edilir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 4.1047 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19 : Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları (50 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0003096	0.0002252	0.0003924	0.0003048	0.000199	0.000495
RMSE	0.0169054	0.0144179	0.0190318	0.0167735	0.013547	0.0213768
R^2	0.9108567	0.9351601	0.8870216	0.9122427	0.942759	0.8574652

Çizelge 5.19’a göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Nisan ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $111.0199 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.234557 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Nisan ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.16 : Nisan ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (50 metre).

50 metre yükseklikte esen rüzgar veri profillerinin analizi sonucunda; en fazla güç yoğunluğu değeri $447.5699 W/m^2$ değeri ile Şubat ayında, en az güç yoğunluğu ise $111.0199 W/m^2$ değeri ile Nisan ayında elde edilmiştir. Ele alınan 8 ay için ortalama güç yoğunluğu değeri ise $243.945 W/m^2$ olarak hesaplanmıştır.

50 metre yükseklikte esen rüzgar profillerinin ele alınan her ay için ortalama güç yoğunluğu değerleri ve uyum iyiliği testleri sonucunda uyduğu dağılım ve dağılım metodları Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20 : Aylara göre ortalama güç yoğunluğu ve dağılımlar (50 metre).

	Ort. Güç Yoğunluğu (W/m^2)	Dağılım ve Metodu
Eylül	214.788	Rayleigh Moment
Ekim	191.698	Rayleigh MLE
Kasım	348.958	Rayleigh Moment
Aralık	232.969	Weibull MLE
Ocak	220.036	Rayleigh MLE
Şubat	447.569	Weibull Moment
Mart	184.526	Rayleigh MLE
Nisan	111.019	Rayleigh MLE
ORTALAMA	243.945	

5.3 80 Metre Yükseklikteki Rüzgar Profiline Değerlendirilmesi

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar hızlarının seçilecek olan türbinin göbek yüksekliğine taşınması için Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılmıştır. Denklem 4.16 ve Denklem 4.16a’dan yararlanılarak rüzgar hızları 80 metre türbin göbek yüksekliğine taşınmıştır. Hava yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında Denklem 3.1b’den, ortalama güç yoğunluğu değerinin bulunmasında ise Denklem 3.5’ten faydalanılmıştır.

80 metre yükseklikteki rüzgar profiline değerlendirilmesi için; ele alınan her aya ait rüzgar hızı verilerine Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımları uygulanmıştır. Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır. Daha sonra dağılımlara RMSE, χ^2 ve R^2 hata analizi testleri uygulanmıştır.

Eylül ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri dağılımların parametrelerinin hesaplanmasıyla ayrı ayrı bulunmuştur.

Eylül ayı için hesaplanan parametrelerin değerleri Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21 : Eylül ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.6715	6.9838	6.238829	6.238829	3.835973	3.835973906	146.0208	339.8939
Rayleigh Moment	2	7.0397	6.238829	6.238829	3.835973	3.261180	146.0208	278.8577
Gamma Moment	2.6454	2.3582	6.238829	6.238830	3.835973	3.835756	146.0208	145.7103
Weibull MLE	1.7143	7.0216	6.238829	6.2614986	3.835973	3.762371	146.0208	333.4993
Rayleigh MLE	2	7.3236	6.238829	6.4904255	3.835973	3.39269	146.0208	313.9383
Gamma MLE	2.6043	2.3955	6.238829	6.238830	3.835973	3.865908	146.0208	145.3510

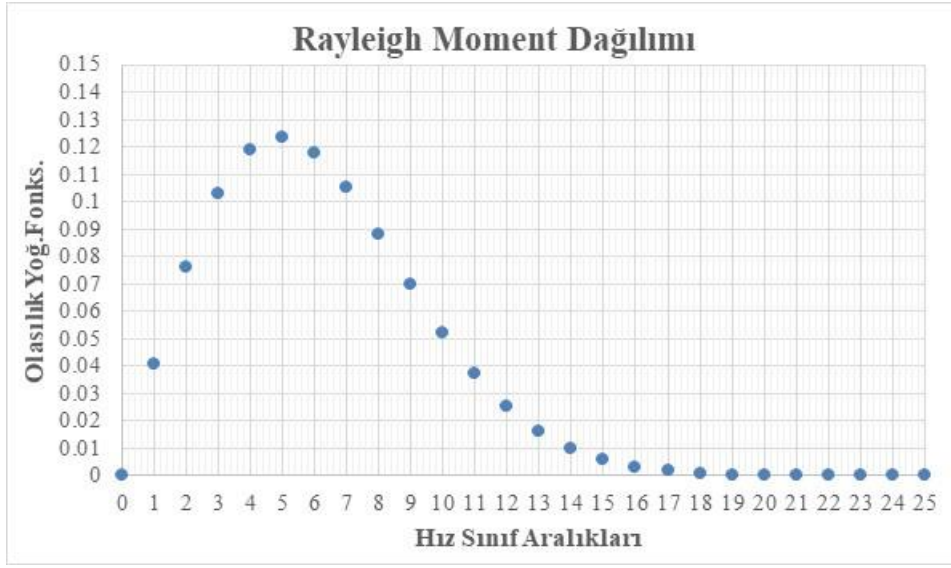
Çizelge 5.21 incelendiğinde; Eylül ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 14.95 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 4.01 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.1098 m/s olduğu analiz edilmiştir. Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22 : Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.00038078	0.000307	0.00031635	0.00035829	0.00031798	0.00032284
RMSE	0.01874815	0.016827	0.01708855	0.01818586	0.01713246	0.01726279
R^2	0.82925696	0.86245	0.85814773	0.83934526	0.85741779	0.85524028

Çizelge 5.22’ye göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Eylül ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 278.8577 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.20264 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Eylül ayı için seçilen Rayleigh Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 : Eylül ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Ekim ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.23’de verilmiştir.

Çizelge 5.23 : Ekim ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.9570	6.7640	5.997220	5.997220	3.196792	3.196792	132.274	258.242
Rayleigh Moment	2	6.7671	5.997220	5.997220	3.196792	3.134886	132.274	252.618
Gamma Moment	3.5198	1.7038	5.997220	5.997221	3.196792	3.196613	132.274	132.295
Weibull MLE	1.9442	6.7553	5.997220	5.990465	3.196792	3.212046	132.274	259.114
Rayleigh MLE	2	6.7959	5.997220	6.022757	3.196792	3.148235	132.274	255.858
Gamma MLE	2.8666	2.0920	5.997220	5.997219	3.196792	3.542138	132.274	132.149

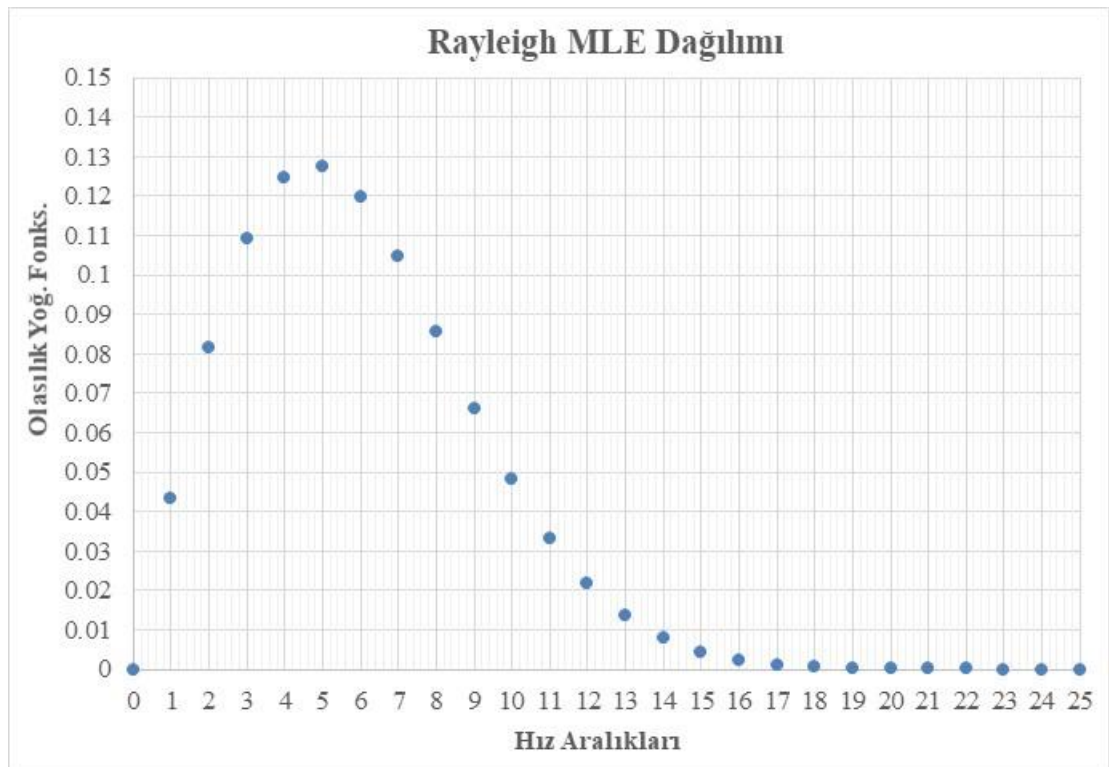
Çizelge 5.23 için; Ekim ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 1.9 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 0.39 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull MLE yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 6.1069 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24 : Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000297	0.000290	0.000415	0.000301	0.000285	0.000431
RMSE	0.016560	0.016381	0.019571	0.016669	0.016229	0.019952
R^2	0.871908	0.874661	0.821084	0.870217	0.876984	0.814053

Çizelge 5.24'e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Ekim ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $255.858 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.22647 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Ekim ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : Ekim ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Kasım ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.25’te verilmiştir.

Çizelge 5.25 : Kasım ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.5256	8.1633	7.354809	7.354809	4.916441	4.916439	249.764	612.7618
Rayleigh Moment	2	8.2990	7.354809	7.354809	4.916441	3.844529	249.764	476.0645
Gamma Moment	2.2381	3.2860	7.354809	7.354810	4.916441	4.916156	249.764	247.5757
Weibull MLE	1.5453	8.1897	7.354809	7.368161	4.916441	4.867629	249.764	609.4135
Rayleigh MLE	2	8.8465	7.354809	7.840069	4.916441	4.098186	249.764	574.7788
Gamma MLE	2.0770	3.5410	7.354809	7.354811	4.916441	5.103288	249.764	246.7820

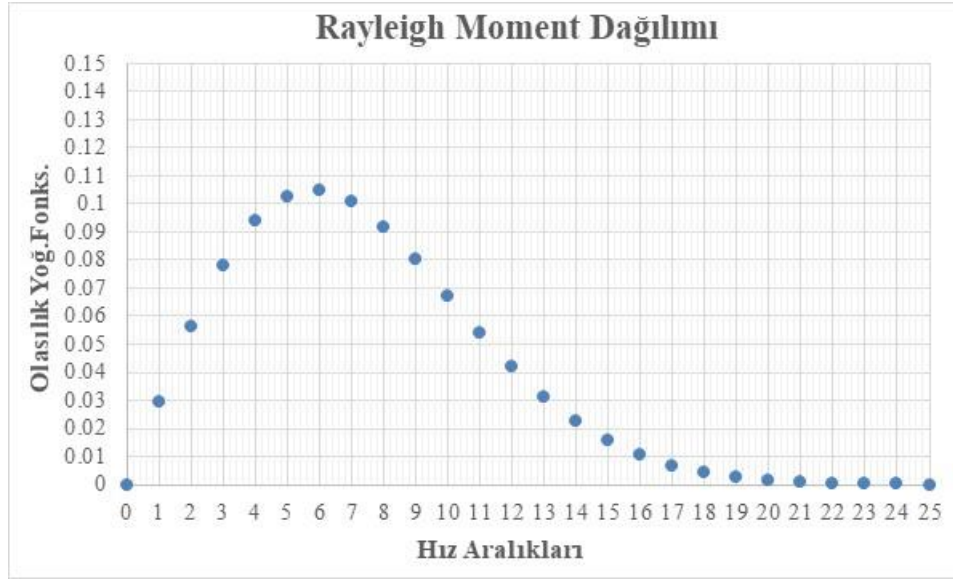
Çizelge 5.25 incelendiğinde; Kasım ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 21.76 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 6.56 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 6.73 m/s olduğu analiz edilmiştir. Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.26’da verilmiştir.

Çizelge 5.26 : Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.00036991	0.000339	0.00033958	0.00036114	0.00038035	0.0003652
RMSE	0.01847861	0.017682	0.01770477	0.01825813	0.01873753	0.01836056
R²	0.7602072	0.780427	0.7799216	0.7658954	0.7534402	0.7633161

Çizelge 5.26’ya göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Kasım ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 476.064 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.255583 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Kasım ayı için seçilen Rayleigh Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.19 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 : Kasım ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Aralık ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.27’de verilmiştir.

Çizelge 5.27 : Aralık ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.3744	6.0284	5.510883	5.510883	4.057460	4.057461	106.4305	321.9336
Rayleigh Moment	2	6.2183	5.510883	5.510883	4.057460	2.880666	106.4305	203.2667
Gamma Moment	1.8449	2.9870	5.510883	5.510883	4.057460	4.057233	106.4305	104.6372
Weibull MLE	1.3950	6.0587	5.510883	5.525161	4.057460	4.011925	106.4305	318.0501
Rayleigh MLE	2	6.8433	5.510883	6.064730	4.057460	3.170175	106.4305	270.90785
Gamma MLE	1.7570	3.1364	5.510883	5.510883	4.057460	4.157482	106.4305	104.2571

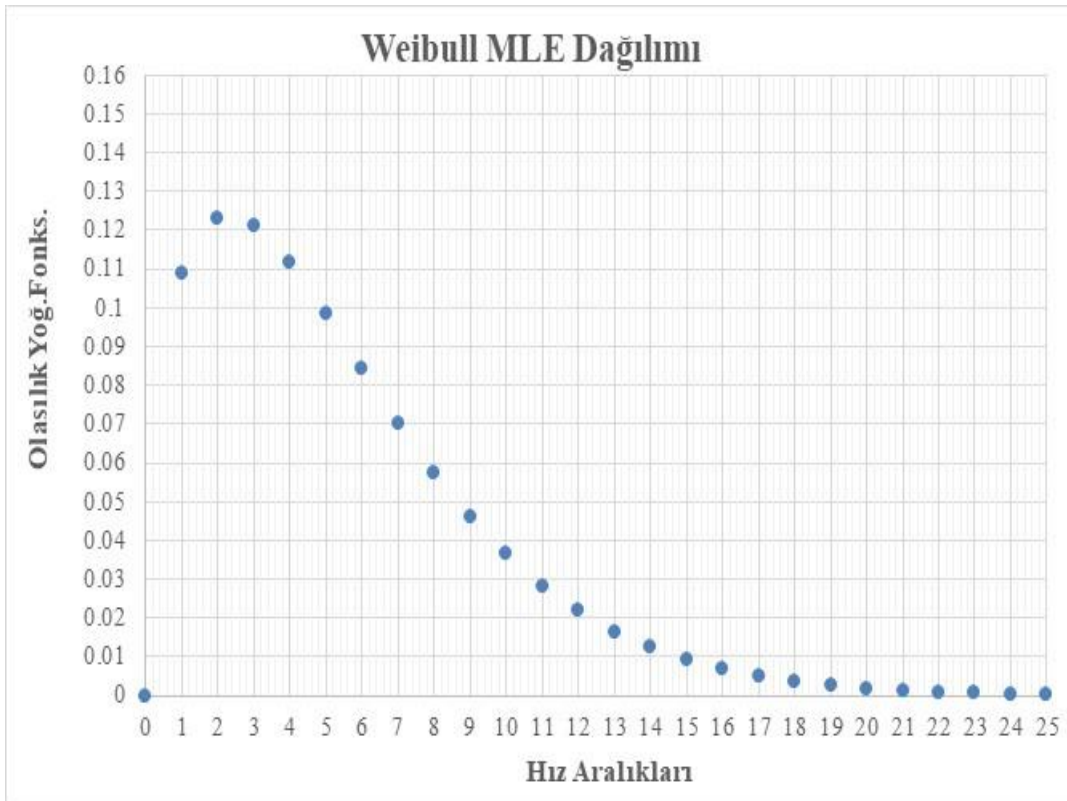
Çizelge 5.27’ye göre; Aralık ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 29 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 10.03 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull Moment yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 1.6201 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.28 : Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.0004724	0.0007326	0.0004634	0.00043	0.0007655	0.0004474
RMSE	0.0208831	0.0260047	0.020683	0.019916	0.026583	0.0203213
R^2	0.8008741	0.6912243	0.8046724	0.818896	0.6773399	0.8114431

Çizelge 5.28’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Weibull MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Aralık ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $318.0501 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.27184 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Aralık ayı için seçilen Weibull MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 : Aralık ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Ocak ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.29’da verilmiştir.

Çizelge 5.29 : Ocak ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.8137	6.9513	6.179497	6.179497	3.527989	3.527988	148.7673	315.1782
Rayleigh Moment	2	6.9728	6.179497	6.179497	3.527989	3.230166	148.7673	284.10721
Gamma Moment	3.0683	2.0139	6.179497	6.179496	3.527989	3.527790	148.7673	148.70175
Weibull MLE	1.8072	6.9459	6.179497	6.175749	3.527989	3.537456	148.7673	315.8957
Rayleigh MLE	2	7.1155	6.179497	6.306020	3.527989	3.296303	148.7673	301.9065
Gamma MLE	2.5996	2.3770	6.179497	6.179496	3.527989	3.832588	148.7673	148.41040

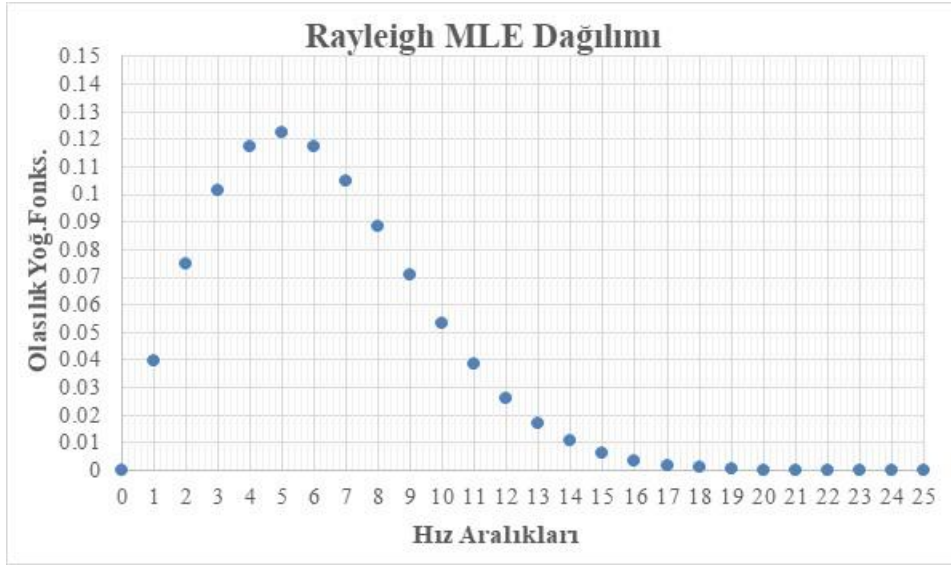
Çizelge 5.29 incelendiğinde; Ocak ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %8.42 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %2.05 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull MLE yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.60 m/s olduğu analiz edilmiştir. Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.30’da verilmiştir.

Çizelge 5.30 : Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000284	0.000244	0.000342	0.000287	0.000231	0.000387
RMSE	0.016202	0.015006	0.017761	0.016287	0.014594	0.018892
R^2	0.867765	0.886571	0.841101	0.866386	0.89271	0.82021

Çizelge 5.30’a göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Ocak ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 301.906 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.260893 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Ocak ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 : Ocak ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Şubat ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.31 : Şubat ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.3397	7.5192	6.904615	6.904615	5.206752	5.206750	209.2195	614.6472
Rayleigh Moment	2	7.7910	6.904615	6.904616	5.206752	3.609203	209.2195	399.5235
Gamma Moment	1.7587	3.9259	6.904615	6.904613	5.206752	5.206428	209.2195	205.5826
Weibull MLE	1.3301	7.5160	6.904615	6.910767	5.206752	5.246458	209.2195	619.7970
Rayleigh MLE	2	8.6475	6.904615	7.663717	5.206752	4.006002	209.2195	545.7810
Gamma MLE	1.5786	4.3738	6.904615	6.904614	5.206752	5.495432	209.2195	203.8137

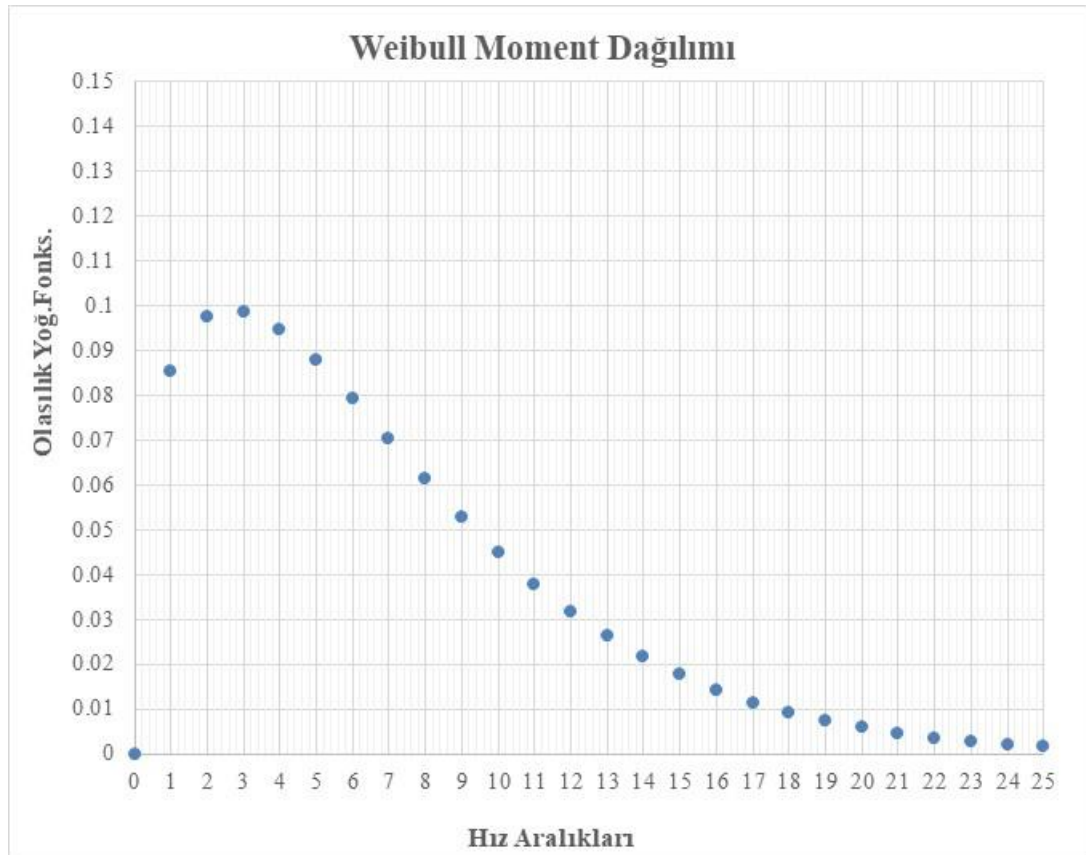
Çizelge 5.31 incelendiğinde; Şubat ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 30.63 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 10.97 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull MLE yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 1.62 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.32’de verilmiştir.

Çizelge 5.32 : Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000276	0.000649	0.000284	0.000287	0.00066	0.000286
RMSE	0.015997	0.024547	0.01624	0.016328	0.024763	0.016303
R^2	0.810505	0.553801	0.804706	0.80258	0.545904	0.80318

Çizelge 5.32 incelendiğinde; her üç hata analizinin sonucunda da Weibull Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Şubat ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $614.647 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.2711 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Şubat ayı için seçilen Weibull Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 : Şubat ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Mart ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.33’de verilmiştir.

Çizelge 5.33 : Mart ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.7618	6.5025	5.789037	5.789037	3.393234	3.393235	120.9982	265.2853
Rayleigh Moment	2	6.5322	5.789037	5.789037	3.393234	3.026064	120.9982	231.0868
Gamma Moment	2.9109	1.9887	5.789037	5.789036	3.393234	3.393044	120.9982	120.9075
Weibull MLE	1.7706	6.5108	5.789037	5.794868	3.393234	3.381274	120.9982	264.5285
Rayleigh MLE	2	6.7101	5.789037	5.946689	3.393234	3.108472	120.9982	250.482
Gamma MLE	2.5696	2.2528	5.789037	5.789037	3.393234	3.611346	120.9982	120.6866

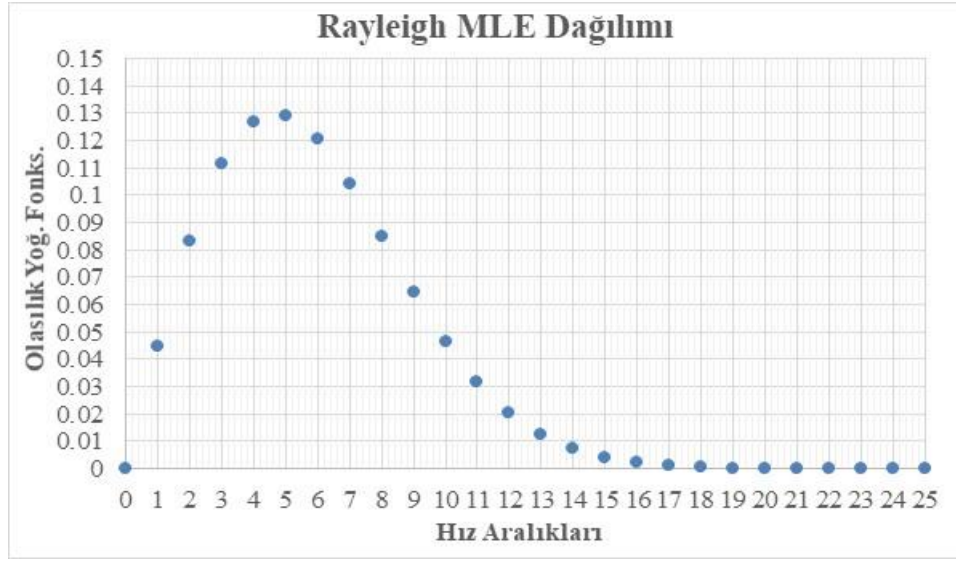
Çizelge 5.33 incelendiğinde; Mart ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 10.8 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 2.71 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.11 m/s olduğu analiz edilmiştir. Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.34’de verilmiştir.

Çizelge 5.34 : Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000246	0.000227	0.000249	0.000242	0.000215	0.00028
RMSE	0.01506	0.014489	0.015147	0.014955	0.014081	0.016069
R^2	0.891969	0.900011	0.890719	0.893475	0.905563	0.877006

Çizelge 5.34’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Mart ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $250.482 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.247354 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Mart ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : Mart ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

Nisan ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.35’te verilmiştir.

Çizelge 5.35 : Nisan ayı dağılımlara ait parametreler (80 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.8778	5.5836	4.95671	4.95671	2.74241	2.74241	74.9521	152.8934
Rayleigh Moment	2	5.5930	4.95671	4.95671	2.74241	2.59098	74.9521	143.1481
Gamma Moment	3.2671	1.5171	4.95671	4.95671	2.74241	2.74225	74.9521	74.9624
Weibull MLE	1.8828	5.5860	4.95671	4.95839	2.74241	2.73685	74.9521	152.6125
Rayleigh MLE	2	5.6647	4.95671	5.02021	2.74241	2.62418	74.9521	148.7211
Gamma MLE	2.8717	1.7260	4.95671	4.95671	2.74241	2.92495	74.9521	74.86757

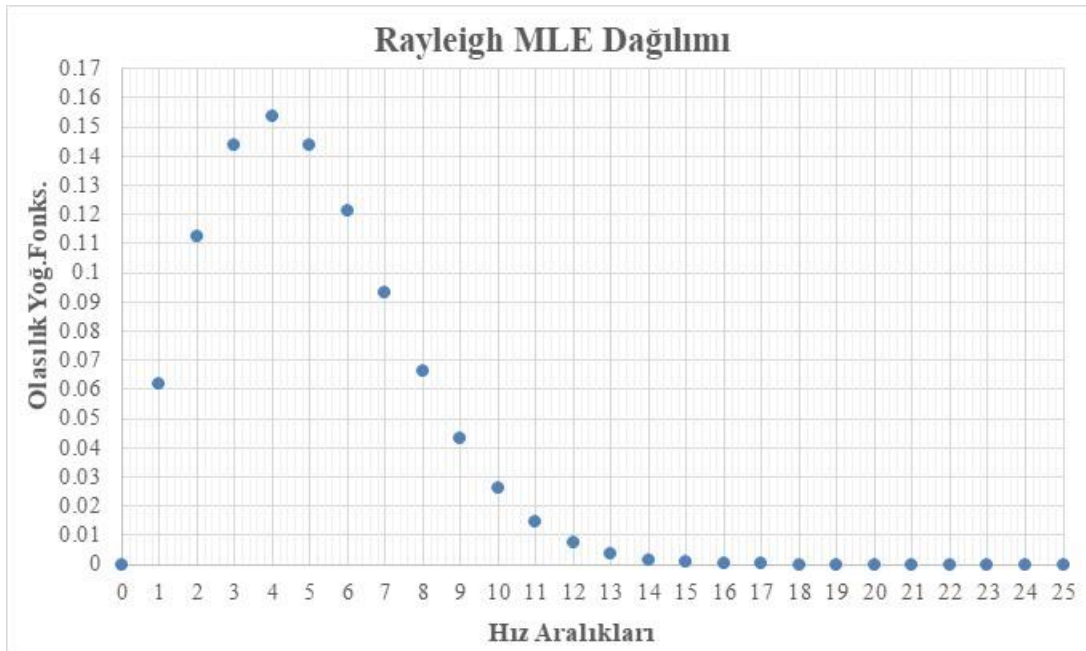
Çizelge 5.35 incelendiğinde; Nisan ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 5.5 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 1.26 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull Moment yönteminde elde edilir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 4.48 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.36’da verilmiştir.

Çizelge 5.36 : Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları (80 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.00036	0.0003197	0.0004049	0.0003573	0.000304	0.0004565
RMSE	0.0182288	0.0171799	0.0193324	0.0181597	0.016742	0.0205276
R^2	0.8862488	0.8989627	0.8720587	0.8871097	0.904054	0.8557507

Çizelge 5.36’ya göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Nisan ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $148.721 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.23093 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Nisan ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.24’te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : Nisan ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (80 metre).

80 metre yükseklikte esen rüzgar veri profillerinin analizi sonucunda; en fazla güç yoğunluğu değeri $614.647 W/m^2$ değeri ile Şubat ayında, en az güç yoğunluğu ise $148.721 W/m^2$ değeri ile Nisan ayında elde edilmiştir. Ele alınan 8 ay için ortalama güç yoğunluğu değeri ise $330.573 W/m^2$ olarak hesaplanmıştır.

80 metre yükseklikte esen rüzgar profillerinin ele alınan her ay için ortalama güç yoğunluğu değerleri ve uyum iyiliği testleri sonucunda uyduğu dağılım ve dağılım metodları Çizelge 5.37’de verilmiştir.

Çizelge 5.37 : Aylara göre ortalama güç yoğunluğu ve dağılımlar (80 metre).

	Ort. Güç Yoğunluğu (W/m^2)	Dağılım ve Metodu
Eylül	278.857	Rayleigh Moment
Ekim	255.858	Rayleigh MLE
Kasım	476.064	Rayleigh Moment
Aralık	318.050	Weibull MLE
Ocak	301.906	Rayleigh MLE
Şubat	614.647	Weibull Moment
Mart	250.482	Rayleigh MLE
Nisan	148.721	Rayleigh MLE
ORTALAMA	330.573	

5.4 100 Metre Yükseklikteki Rüzgar Profilinin Değerlendirilmesi

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar hızlarının seçilecek olan türbinin göbek yüksekliğine taşınması için Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılmıştır. Denklem 4.16 ve Denklem 4.16a’dan yararlanılarak rüzgar hızları 100 metre türbin göbek yüksekliğine taşınmıştır.

Ortalama güç yoğunluğu değerinin bulunmasında ise Denklem 3.5’ten faydalanılmıştır. 100 metre yükseklikteki rüzgar profilinin değerlendirilmesi için; ele alınan her aya ait rüzgar hızı verilerine Weibull, Rayleigh ve Gamma dağılımları uygulanmıştır. Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır. Daha sonra dağılımlara RMSE, χ^2 ve R^2 hata analizi testleri uygulanmıştır.

Eylül ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri dağılımların parametrelerinin hesaplanmasıyla ayrı ayrı bulunmuştur.

Eylül ayı için hesaplanan parametrelerin değerleri Çizelge 5.38’de verilmiştir.

Çizelge 5.38 : Eylül ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.6715	7.2851	6.508009	6.508008	4.001480	4.001480	165.4222	383.6533
Rayleigh Moment	2	7.3435	6.508009	6.508009	4.001480	3.401887	165.4222	315.8697
Gamma Moment	2.6454	2.4600	6.508009	6.508010	4.001480	4.001253	165.4222	165.0338
Weibull MLE	1.7143	7.3245	6.508009	6.531657	4.001480	3.924702	165.4222	376.7918
Rayleigh MLE	2	7.6396	6.508009	6.770460	4.001480	3.539076	165.4222	355.5567
Gamma MLE	2.6043	2.4988	6.508009	6.508010	4.001480	4.032706	165.4222	164.9887

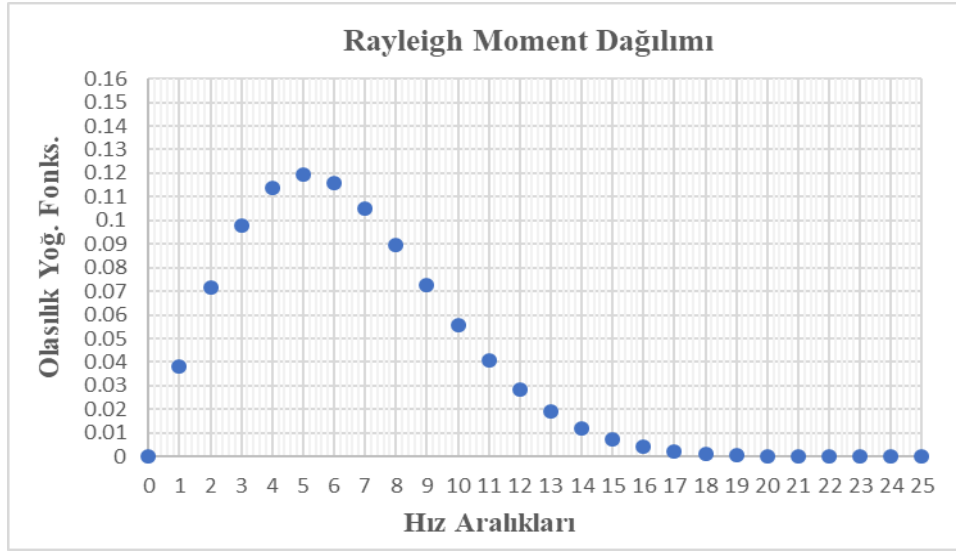
Çizelge 5.38 incelendiğinde; Eylül ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 14.98 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 4.03 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.33 m/s olduğu analiz edilmiştir. Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.39’da verilmiştir.

Çizelge 5.39 : Eylül ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000402	0.000345	0.000353	0.000382	0.000354	0.000359
RMSE	0.019257	0.017833	0.018062	0.01878	0.018068	0.018194
R^2	0.807166	0.83462	0.830347	0.816602	0.830238	0.827865

Çizelge 5.39’a göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Eylül ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 315.869 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.200271 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Eylül ayı için seçilen Rayleigh Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25 : Eylül ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Ekim ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.40'ta verilmiştir.

Çizelge 5.40 : Ekim ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.9570	7.0558	6.255976	6.255976	3.334721	3.334721	149.8517	292.5286
Rayleigh Moment	2	7.0591	6.255976	6.255976	3.334721	3.270143	149.8517	286.17212
Gamma Moment	3.5198	1.7736	6.255976	6.242742	3.334721	3.327480	149.8517	148.91227
Weibull MLE	1.9442	7.0468	6.255976	6.248929	3.334721	3.350633	149.8517	293.51149
Rayleigh MLE	2	7.0891	6.255976	6.2826151	3.334721	3.284068	149.8517	289.84093
Gamma MLE	2.8666	2.1823	6.255976	6.2559743	3.334721	3.694967	149.8517	146.74913

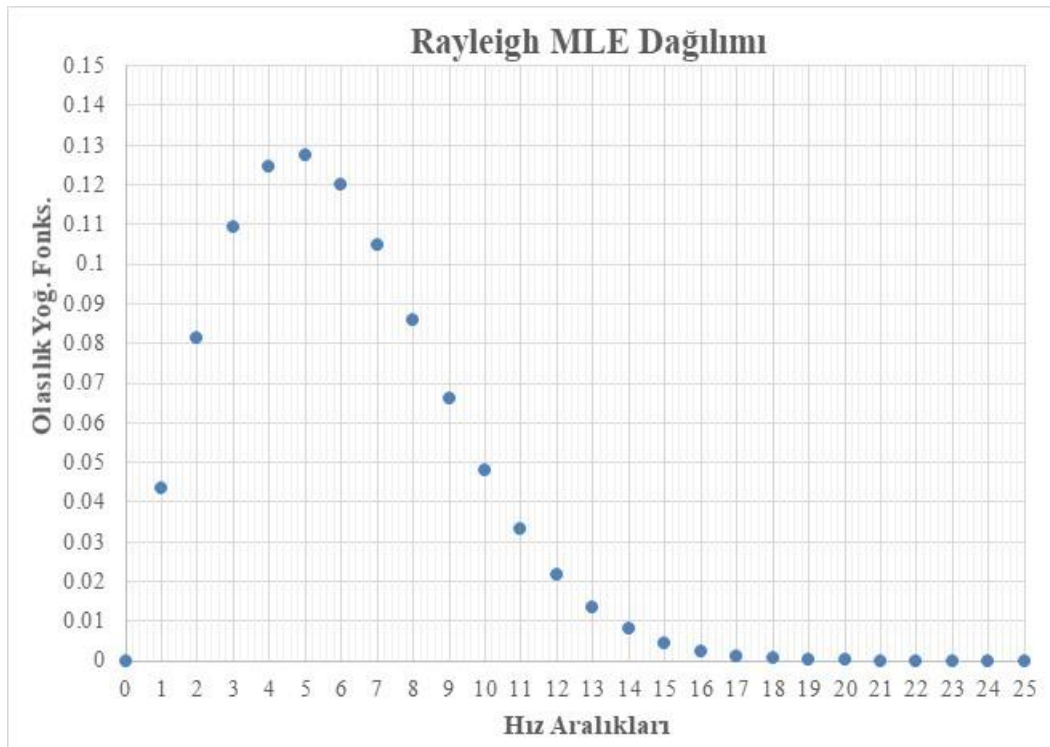
Çizelge 5.40 için; Ekim ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %1.93 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %0.42 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull MLE yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 6.37 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.41’de verilmiştir.

Çizelge 5.41 : Ekim ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000323	0.000318	0.000457	0.000327	0.000313	0.00046
RMSE	0.01727	0.01714	0.02055	0.017361	0.016995	0.020602
R^2	0.85066	0.852894	0.788544	0.849082	0.855372	0.787467

Çizelge 5.41’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Ekim ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $289.840 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.224071 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Ekim ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.26’da gösterilmiştir.



Şekil 5.26 : Ekim ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Kasım ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.42’de verilmiştir.

Çizelge 5.42 : Kasım ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.5256	8.5155	7.672139	7.672139	5.128565	5.128564	282.9559	692.8636
Rayleigh Moment	2	8.6570	7.672139	7.672140	5.128565	4.010405	282.9559	539.2612
Gamma Moment	2.2381	3.4278	7.672139	7.672139	5.128565	5.128268	282.9559	280.5188
Weibull MLE	1.5453	8.5430	7.672139	7.686067	5.128565	5.077648	282.9559	689.1590
Rayleigh MLE	2	9.2282	7.672139	8.178336	5.128565	4.275006	282.9559	650.9752
Gamma MLE	2.0770	3.6938	7.672139	7.672141	5.128565	5.323475	282.9559	279.6495

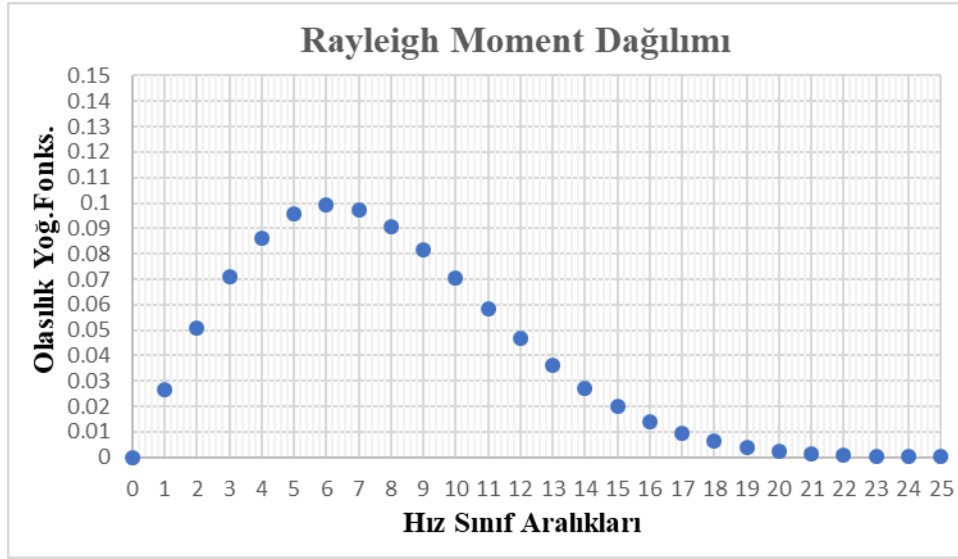
Çizelge 5.42 incelendiğinde; Kasım ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 21.8 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 6.59 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 6.37 m/s olduğu analiz edilmiştir. Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.43’de verilmiştir.

Çizelge 5.43 : Kasım ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000407	0.000389	0.000392	0.0004	0.000426	0.000409
RMSE	0.019413	0.01898	0.01904	0.019236	0.01986	0.019454
R^2	0.720509	0.732819	0.731145	0.725583	0.70749	0.719312

Çizelge 5.43’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Kasım ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 539.261 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.253139 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Kasım ayı için seçilen Rayleigh Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.27 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.27 : Kasım ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Aralık ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.44’de verilmiştir.

Çizelge 5.44 : Aralık ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.3744	6.2885	5.748655	5.748655	4.232522	4.232524	120.5743	360.7410
Rayleigh Moment	2	6.4866	5.748655	5.748655	4.232522	3.004955	120.5743	230.2779
Gamma Moment	1.8449	3.1159	5.748655	5.748653	4.232522	4.232284	120.5743	118.6171
Weibull MLE	1.3950	6.3201	5.748655	5.763549	4.232522	4.185023	120.5743	356.7972
Rayleigh MLE	2	7.1385	5.748655	6.326399	4.232522	3.306955	120.5743	306.8886
Gamma MLE	1.7570	3.2717	5.748655	5.748655	4.232522	4.336860	120.5743	111.7382

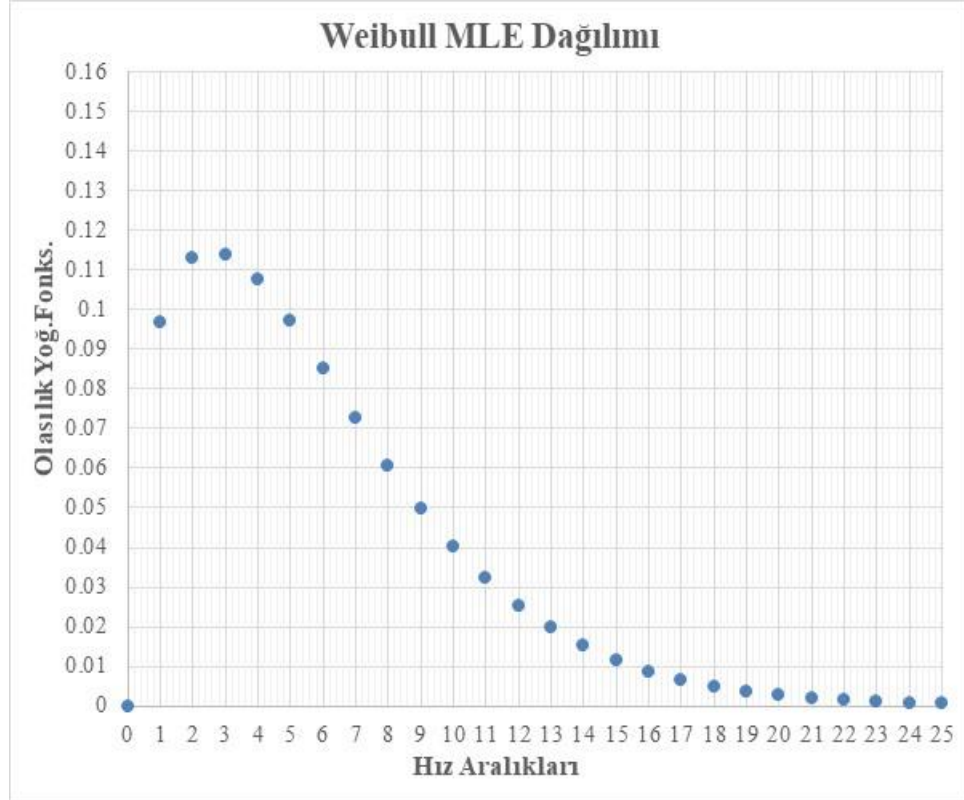
Çizelge 5.44’e göre; Aralık ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %29.01 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %10.05 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull Moment yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 1.69 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.45’de verilmiştir.

Çizelge 5.45 : Aralık ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000531	0.000846	0.00051	0.000499	0.000869	0.000525
RMSE	0.022141	0.027943	0.021701	0.021469	0.028326	0.022012
R^2	0.766195	0.627582	0.775379	0.780162	0.61732	0.768896

Çizelge 5.45’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Weibull MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Aralık ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $356.797 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.2693364 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Aralık ayı için seçilen Weibull MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 : Aralık ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Ocak ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.46’da verilmiştir.

Çizelge 5.46 : Ocak ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.8137	7.2512	6.446117	6.446117	3.680207	3.680206	168.5348	356.7247
Rayleigh Moment	2	7.2736	6.446117	6.446117	3.680207	3.369535	168.5348	321.8253
Gamma Moment	3.0683	2.1008	6.446117	6.446117	3.680207	3.680001	168.5348	168.4328
Weibull MLE	1.8072	7.2456	6.446117	6.442208	3.680207	3.690083	168.5348	357.5167
Rayleigh MLE	2	7.4225	6.446117	6.578099	3.680207	3.438525	168.5348	341.9701
Gamma MLE	2.5996	2.4795	6.446117	6.446118	3.680207	3.997950	168.5348	168.0984

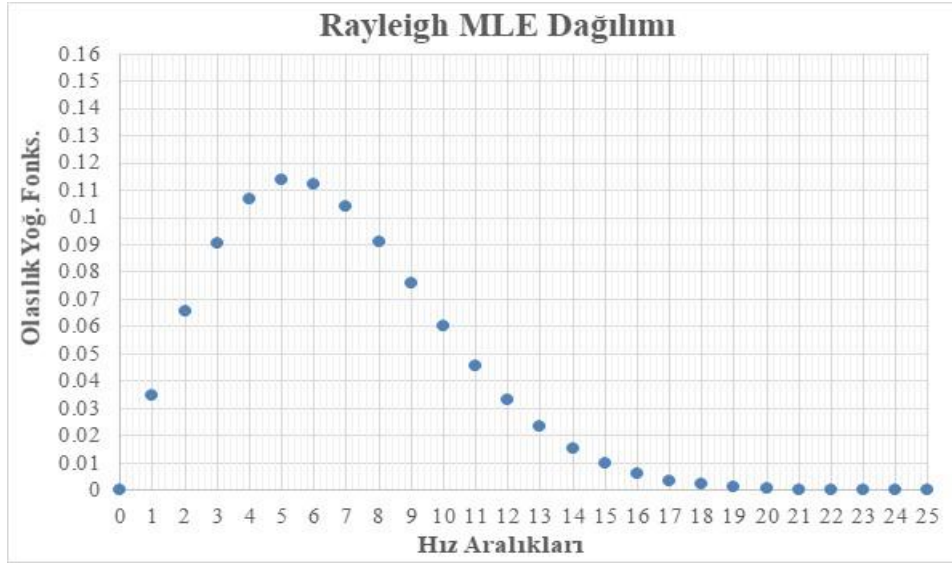
Çizelge 5.46 incelendiğinde; Ocak ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 8.44 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 2.04 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull MLE yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.85 m/s olduğu analiz edilmiştir. Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.47’de verilmiştir.

Çizelge 5.47 : Ocak ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000355	0.000323	0.000421	0.000357	0.00031	0.000456
RMSE	0.018095	0.017271	0.019715	0.018161	0.016916	0.020521
R^2	0.826938	0.842347	0.794555	0.825676	0.848755	0.777428

Çizelge 5.47’ye göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Ocak ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 341.970 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.25842 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Ocak ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.29’da gösterilmiştir.



Şekil 5.29 : Ocak ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Şubat ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m²)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m²)” değerleri Çizelge 5.48’de verilmiştir.

Çizelge 5.48 : Şubat ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.3397	7.8437	7.202521	7.202521	5.431402	5.431400	237.0243	706.6850
Rayleigh Moment	2	8.1217	7.202521	7.197722	5.431402	3.762416	237.0243	451.7457
Gamma Moment	1.7587	4.0952	7.202521	7.202519	5.431402	5.431064	237.0243	233.3014
Weibull MLE	1.3301	7.8403	7.202521	7.2089390	5.431402	5.472821	237.0243	713.0468
Rayleigh MLE	2	9.0206	7.202521	7.994375	5.431402	4.178845	237.0243	618.5884
Gamma MLE	1.5786	4.5625	7.202521	7.202520	5.431402	5.732537	237.0243	231.4252

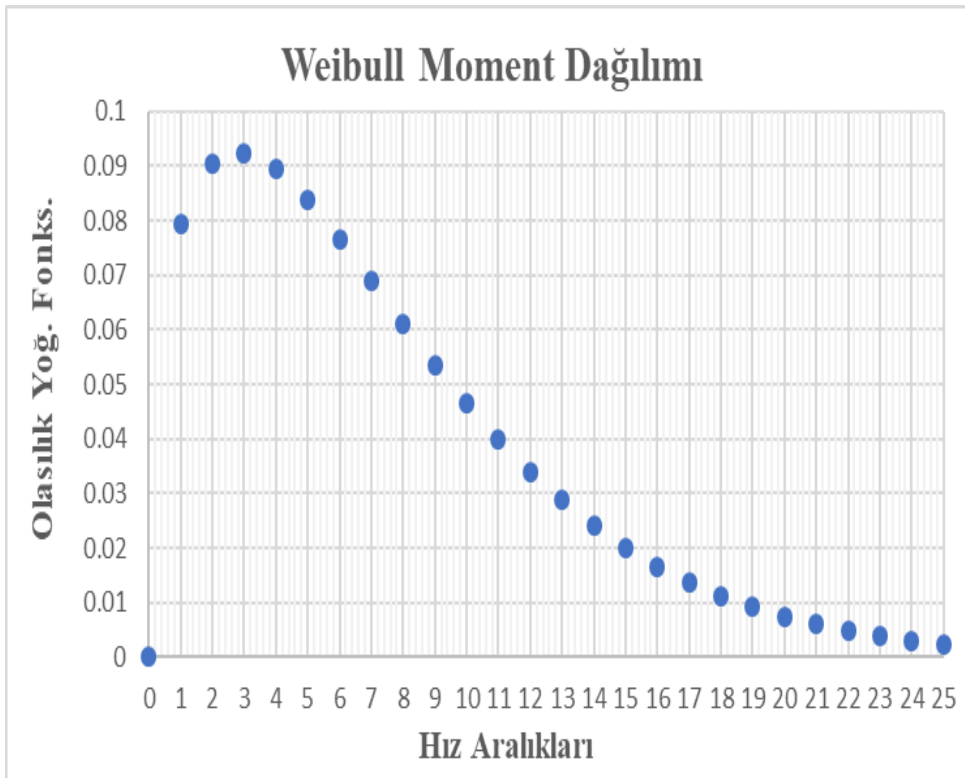
Çizelge 5.48 incelendiğinde; Şubat ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 30.72 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 10.99 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull MLE yönteminde elde edilmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 1.6901 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.49’da verilmiştir.

Çizelge 5.49 : Şubat ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000328	0.000677	0.00033	0.000329	0.00068	0.000308
RMSE	0.0175	0.025136	0.01753	0.017511	0.025195	0.018152
R^2	0.763653	0.512364	0.76283	0.763352	0.510093	0.762664

Çizelge 5.49 incelendiğinde; her üç hata analizinin sonucunda da Weibull Moment yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Şubat ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $706.685 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.26873 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Şubat ayı için seçilen Weibull Moment yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.30’da gösterilmiştir.



Şekil 5.30 : Şubat ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Mart ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.50’de verilmiştir.

Çizelge 5.50 : Mart ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.7618	6.7830	6.038810	6.038811	3.539639	3.539640	137.0770	300.3403
Rayleigh Moment	2	6.8140	6.038810	6.038810	3.539639	3.156626	137.0770	261.7886
Gamma Moment	2.9109	2.0745	6.038810	6.038810	3.539639	3.539440	137.0770	136.9667
Weibull MLE	1.7706	6.7917	6.038810	6.04489	3.539639	3.527162	137.0770	299.4997
Rayleigh MLE	2	6.9996	6.038810	6.203264	3.539639	3.242590	137.0770	283.7548
Gamma MLE	2.5696	2.3500	6.038810	6.038810	3.539639	3.767160	137.0770	136.7247

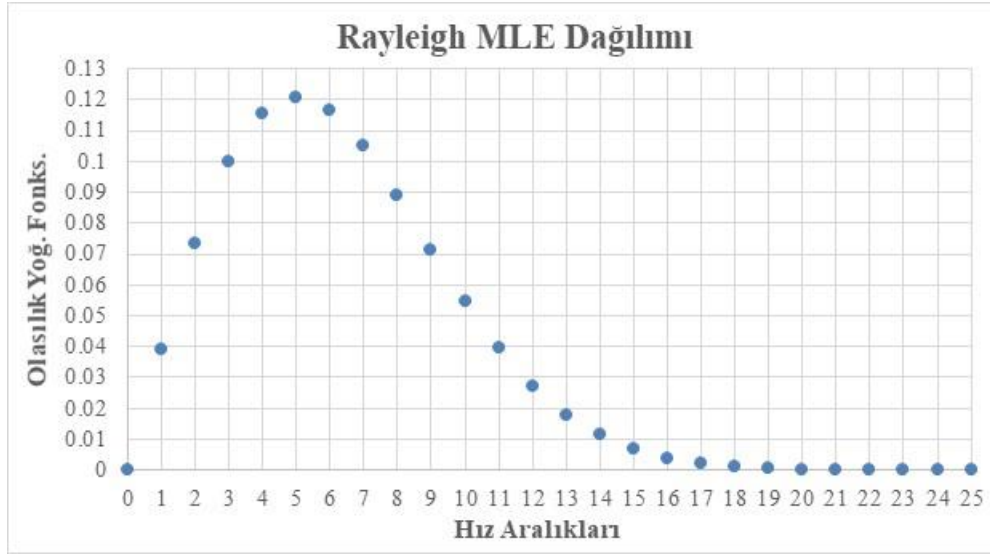
Çizelge 5.50 incelendiğinde; Mart ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin % 10.82 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin % 2.72 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu değerinin Weibull Moment yönteminde elde edilebileceği görülmektedir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 5.33 m/s olduğu analiz edilmiştir. Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.51’de verilmiştir.

Çizelge 5.51 : Mart ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000355	0.000345	0.000378	0.000352	0.000331	0.000399
RMSE	0.018109	0.017834	0.01867	0.018033	0.017489	0.019203
R^2	0.839215	0.844064	0.829113	0.840574	0.850049	0.819211

Çizelge 5.51’e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Mart ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri 283.754 W/m^2 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri 1.244917 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Mart ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.31’de gösterilmiştir.



Şekil 5.31 : Mart ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

Nisan ayı için; hesaplanan dağılımlara ait şekil parametresi “k”, ölçek parametresi “c (m/s)”, ortalama hız değeri “ V_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama hız değeri “ V_d (m/s)”, standart sapma değeri “ σ_m (m/s)”, dağılımlardan elde edilen ortalama standart sapma değeri “ σ_D (m/s)”, ortalama güç yoğunluğu “ P_m (W/m^2)” ve dağılımlardan elde edilen ortalama güç yoğunluğu “ P_d (W/m^2)” değerleri Çizelge 5.52’de verilmiştir.

Çizelge 5.52 : Nisan ayı dağılımlara ait parametreler (100 metre).

	k	c	V_m	V_d	σ_m	σ_D	P_m	P_d
Weibull Moment	1.8778	5.8248	5.170765	5.170765	2.860844	2.860844	84.9207	173.2273
Rayleigh Moment	2	5.8345	5.170765	5.170765	2.860844	2.702879	84.9207	162.1865
Gamma Moment	3.2671	1.5826	5.170765	5.170767	2.860844	2.860679	84.9207	84.93125
Weibull MLE	1.8827	5.8273	5.170765	5.172511	2.860844	2.855071	84.9207	172.9103
Rayleigh MLE	2	5.9089	5.170765	5.236713	2.860844	2.737351	84.9207	168.4715
Gamma MLE	2.8715	1.8006	5.170765	5.170767	2.860844	3.051381	84.9207	84.83481

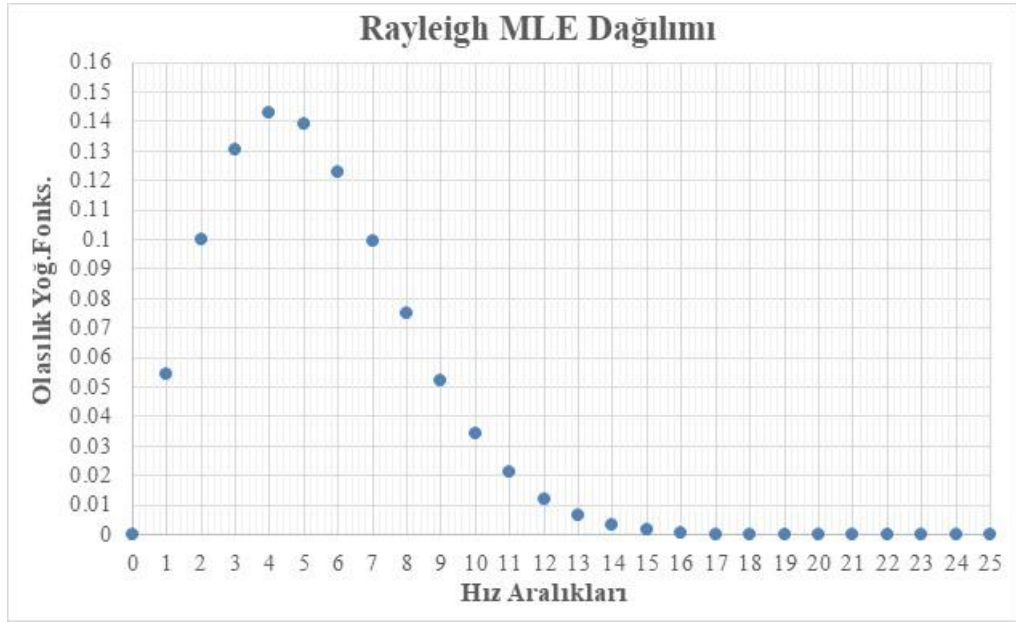
Çizelge 5.52 incelendiğinde; Nisan ayı için dağılımların tahminlerinde; en küçük standart sapma değerinin %5.52 değişim oranı ile Rayleigh Moment yönteminde, en yüksek hız değerinin %1.275 değişim oranı ile Rayleigh MLE yönteminde ve en fazla ortalama güç yoğunluğu Weibull Moment yönteminde elde edilir. Ayrıca bu ay için en sık esen hız değerinin 4.68 m/s olduğu analiz edilmiştir.

Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları Çizelge 5.53'te verilmiştir.

Çizelge 5.53 : Nisan ayı için hata analizlerinin sonuçları (100 metre).

	Weibull Moment	Rayleigh Moment	Gamma Moment	Weibull MLE	Rayleigh MLE	Gamma MLE
χ^2	0.000482	0.00045	0.000554	0.000479	0.000434	0.000588
RMSE	0.021086	0.020381	0.022619	0.021035	0.020024	0.023296
R^2	0.842127	0.852509	0.818332	0.842881	0.857619	0.807293

Çizelge 5.53'e göre; her üç hata analizinin sonucunda da Rayleigh MLE yönteminin daha uygun yaklaşım getirdiği belirlenerek; Nisan ayı için bölgenin güç yoğunluğu değeri $168.471 W/m^2$ olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca bu ay için bölgenin hava yoğunluğu değeri $1.228511 kg/m^3$ olarak hesaplanmıştır. Nisan ayı için seçilen Rayleigh MLE yönteminin her bir hız sınıf aralığı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının oluşturulması Şekil 5.32'de gösterilmiştir.



Şekil 5.32 : Nisan ayı olasılık yoğunluk fonksiyonu (100 metre).

100 metre yükseklikte esen rüzgar veri profillerinin analizi sonucunda; en fazla güç yoğunluğu değeri $706.684 W/m^2$ değeri ile Şubat ayında, en az güç yoğunluğu ise $168.471 W/m^2$ değeri ile Nisan ayında elde edilmiştir. Ele alınan 8 ay için ortalama güç yoğunluğu değeri ise $375.331 W/m^2$ olarak hesaplanmıştır.

100 metre yükseklikte esen rüzgar profillerinin ele alınan her ay için ortalama güç yoğunluğu değerleri ve uyum iyiliği testleri sonucunda uyduğu dağılım ve dağılım metodları Çizelge 5.54’de verilmiştir.

Çizelge 5.54 : Aylara göre ortalama güç yoğunluğu ve dağılımlar (100 metre).

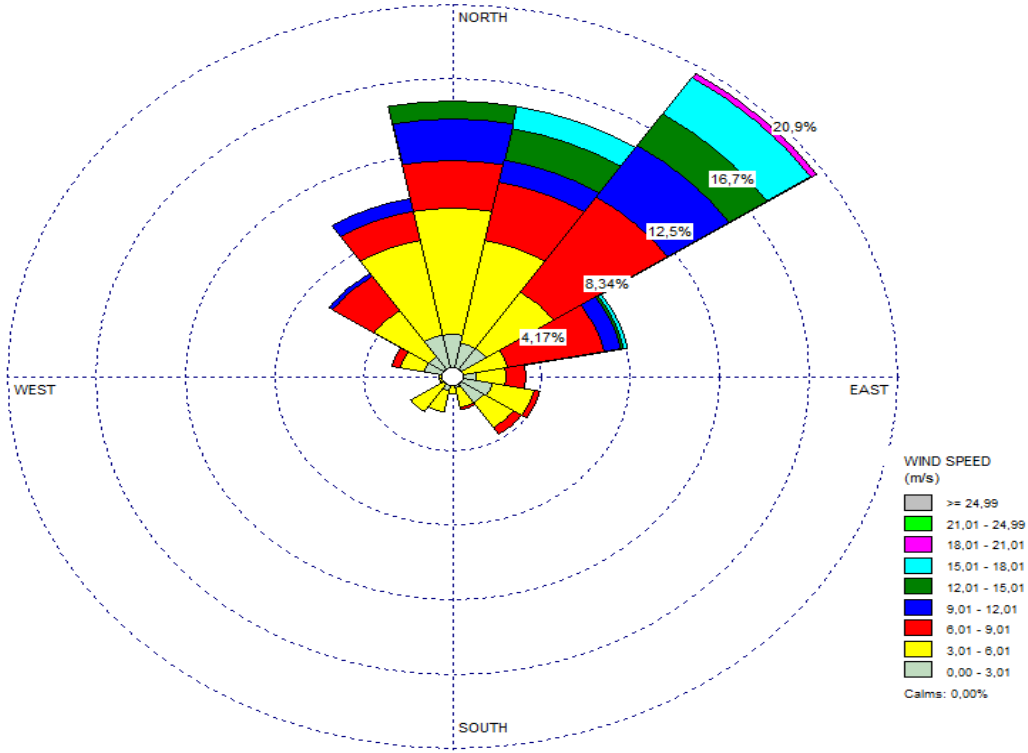
	Ort. Güç Yoğunluğu (W/m^2)	Dağılım ve Metodu
Eylül	315.869	Rayleigh Moment
Ekim	289.840	Rayleigh MLE
Kasım	539.261	Rayleigh Moment
Aralık	356.797	Weibull MLE
Ocak	341.970	Rayleigh MLE
Şubat	706.684	Weibull Moment
Mart	283.754	Rayleigh MLE
Nisan	168.471	Rayleigh MLE
ORTALAMA	375.331	

5.5 Bölgenin Rüzgar Yön ve Hız Frekanslarının Oluşturulması

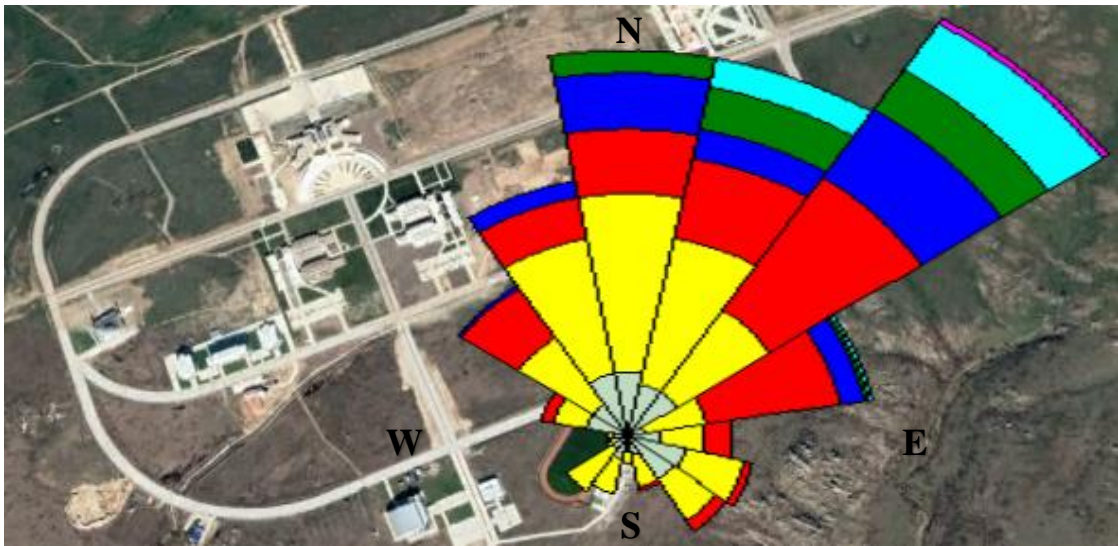
Tez çalışması kapsamında, istatistiki çalışmaları yapılan bölgeye 80 metre göbek (hub) yüksekliğine sahip bir rüzgar türbini kurulması planlanmaktadır. Bu bağlamda ilk olarak bölgenin 80 metre yükseklikteki rüzgar hız ve yön profilleri değerlendirilmelidir. Hellmann katsayısı aracılığıyla, rüzgar verileri 80 metre yüksekliğe taşınmıştır.

İncelenen aylara ait olmak üzere rüzgar verilerinin saatlik hız, frekans ve yön dağılımları WRPLOT programı yardımı ile oluşturulmuştur. Çalışmada ilk olarak rüzgar yön ve hız verileri programın analiz gerçekleştirdiği format biçimine dönüştürülmüştür. Rüzgar ölçüm istasyonundan her ay için 5’er dakikalık aralıklarla alınan rüzgar yön ve hız verileri saatlik esme sıklıklarına çevrilmiştir. Daha sonra kampüsün bulunduğu bölgenin özellikleri programa tanıtılmış ve coğrafi koordinat bilgileri girilmiştir. Coğrafi bilgilerin tanımlanmasıyla bölgenin aylara göre rüzgar gülleri ve uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada incelenen aylara ait olmak üzere her bir rüzgar yönü için; hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları ve frekans dağılımları, WRPLOT programı yardımı ile oluşturulmuştur. Rüzgar güllerinin grafik verilerinden yönlere göre esme sayılarının, görsellik olarak daha net görülebilmesi amacıyla sayısal olarak irdelenmesi WRPLOT programı ile mümkündür.

Eylül ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.33’de gösterilmiştir. Eylül ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.34’te gösterilmiştir.



Şekil 5.33 : Eylül ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.34 : Eylül ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.33 ve 5.34 incelendiğinde; Eylül ayı hakim rüzgar yönü kuzey-doğu (NE) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey-doğu (NE) yönünü, sırasıyla Kuzey (N) ve Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı (W) yönüdür.

Eylül ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.55’de verilmiştir.

Çizelge 5.55 : Eylül ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

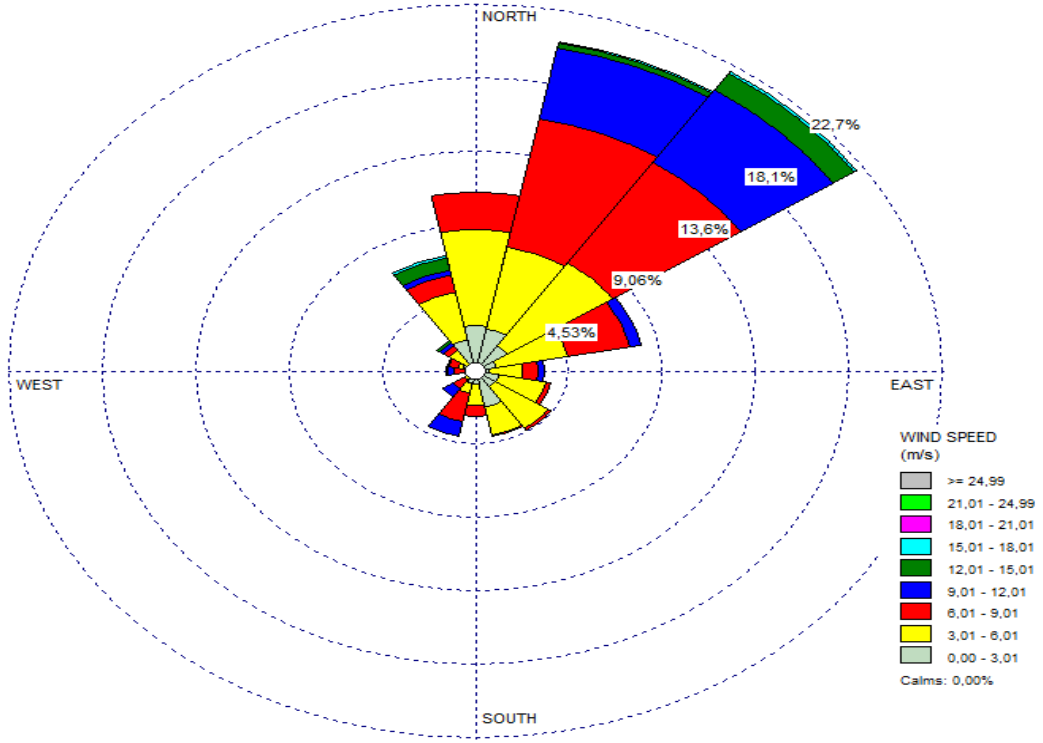
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	16	52	19	17	7	0	0	0	0	111
NNE	14	40	26	8	13	10	0	0	0	111
NE	13	25	49	23	16	19	2	0	0	147
ENE	4	15	31	8	1	1	0	0	0	60
E	8	10	6	1	0	0	0	0	0	25
ESE	13	14	3	0	0	0	0	0	0	30
SE	13	12	3	0	0	0	0	0	0	28
SSE	5	8	1	0	0	0	0	0	0	14
S	3	4	0	0	0	0	0	0	0	7
SSW	6	9	0	0	0	0	0	0	0	15
SW	4	12	1	0	0	0	0	0	0	17
WSW	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5
W	3	2	0	0	0	0	0	0	0	5
WNW	10	8	3	0	0	0	0	0	0	21
NW	10	22	17	1	0	0	0	0	0	50
NNW	16	40	12	5	0	0	0	0	0	73
Toplam	142	274	171	63	37	30	2	0	0	719

Eylül ayı için en sık esme yönü toplam 147 saat ile kuzey-doğu (NE) yönü olmuştur. Bu yönde 6-9 m/s hız aralığındaki veriler toplam 49 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey-doğu (NE) yönünü, 111’er saat ile Kuzey (N) ve Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönleri takip etmektedir. Eylül ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.56’da verilmiştir.

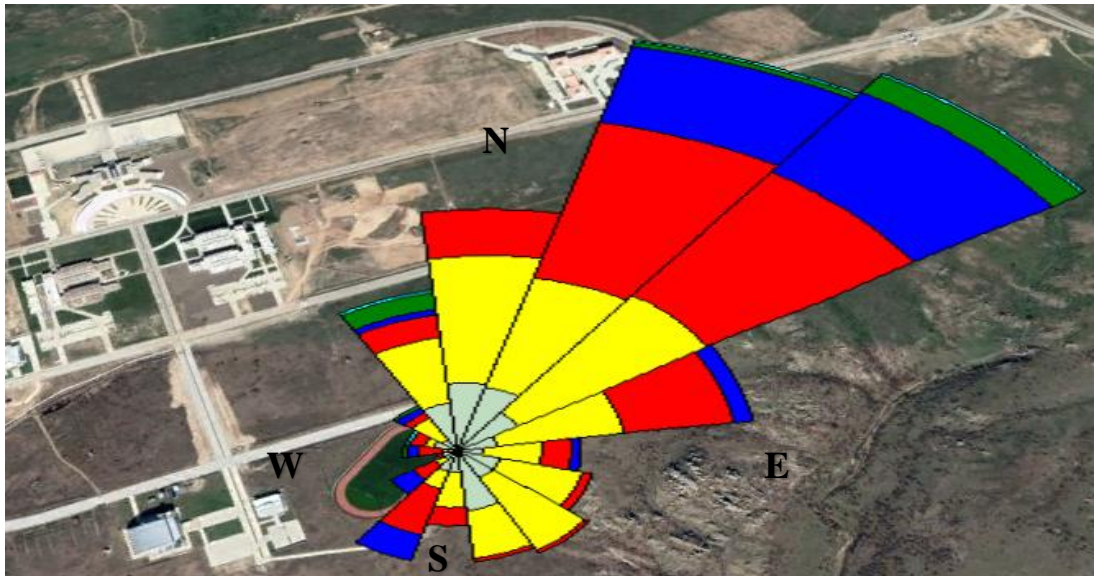
Çizelge 5.56 : Eylül ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.02222	0.07222	0.02639	0.02361	0.00972	0	0	0	0.15417
NNE	0.01944	0.05556	0.03611	0.01111	0.01806	0.01389	0	0	0.15417
NE	0.01806	0.03472	0.06806	0.03194	0.02222	0.02639	0.00278	0	0.20417
ENE	0.00556	0.02083	0.04306	0.01111	0.00139	0.00139	0	0	0.08333
E	0.01111	0.01389	0.00833	0.00139	0	0	0	0	0.03472
ESE	0.01806	0.01944	0.00417	0	0	0	0	0	0.04167
SE	0.01806	0.01667	0.00417	0	0	0	0	0	0.03889
SSE	0.00694	0.01111	0.00139	0	0	0	0	0	0.01944
S	0.00417	0.00556	0	0	0	0	0	0	0.00972
SSW	0.00833	0.0125	0	0	0	0	0	0	0.02083
SW	0.00556	0.01667	0.00139	0	0	0	0	0	0.02361
WSW	0.00556	0.00139	0	0	0	0	0	0	0.00694
W	0.00417	0.00278	0	0	0	0	0	0	0.00694
WNW	0.01389	0.01111	0.00417	0	0	0	0	0	0.02917
NW	0.01389	0.03056	0.02361	0.00139	0	0	0	0	0.06944
NNW	0.02222	0.05556	0.01667	0.00694	0	0	0	0	0.10139
Toplam	0.19722	0.38056	0.2375	0.0875	0.05139	0.04167	0.00278	0	0.99861

Ekim ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.35’de gösterilmiştir. Ekim ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.36’da gösterilmiştir.



Şekil 5.35 : Ekim ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.36 : Ekim ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.35 ve 5.36 incelendiğinde; Ekim ayı için hakim rüzgar yönü kuzey-doğu (NE) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey-doğu (NE) yönünü, sırasıyla Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) ve Kuzey (N) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı-Güney-Batı (WSW) yönüdür.

Ekim ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.57’de verilmiştir.

Çizelge 5.57 : Ekim ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

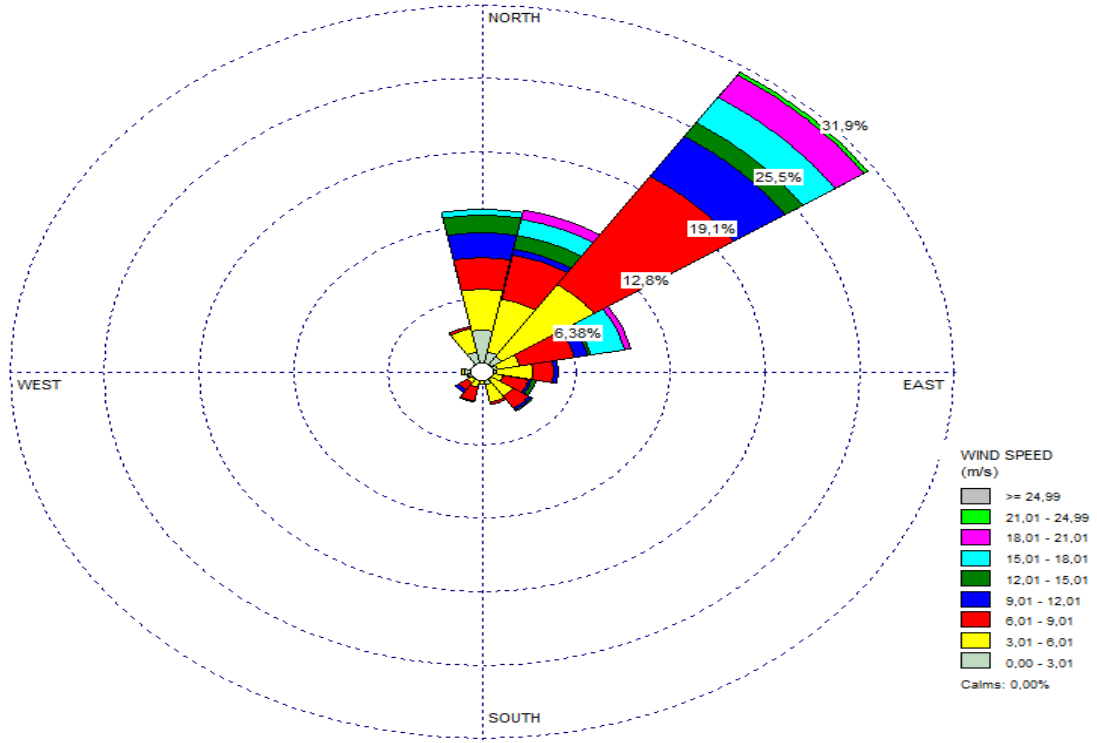
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	20	43	19	0	0	0	0	0	0	82
NNE	19	38	60	32	4	1	0	0	0	154
NE	14	44	55	42	9	1	0	0	0	165
ENE	8	24	24	5	0	0	0	0	0	61
E	5	12	6	2	0	0	0	0	0	25
ESE	9	17	2	0	0	0	0	0	0	28
SE	9	23	1	0	0	0	0	0	0	33
SSE	17	13	1	0	0	0	0	0	0	31
S	6	10	5	0	0	0	0	0	0	21
SSW	6	4	14	7	0	0	0	0	0	31
SW	3	2	5	5	0	0	0	0	0	15
WSW	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4
W	2	1	5	2	1	0	0	0	0	11
WNW	5	2	3	0	0	1	0	0	0	11
NW	4	8	2	2	1	0	0	0	0	17
NNW	15	22	8	2	6	1	0	0	0	54
Toplam	145	263	211	99	21	4	0	0	0	743

Ekim ayı için en sık esme yönü toplam 165 saat ile kuzey-doğu (NE) yönü olmuştur. Bu yönde 6-9 m/s hız aralığındaki veriler toplam 55 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey-doğu (NE) yönünü, 154 saat ile Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) ve 82 saat ile Kuzey (N) yönü takip etmektedir. Ekim ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.58’de verilmiştir.

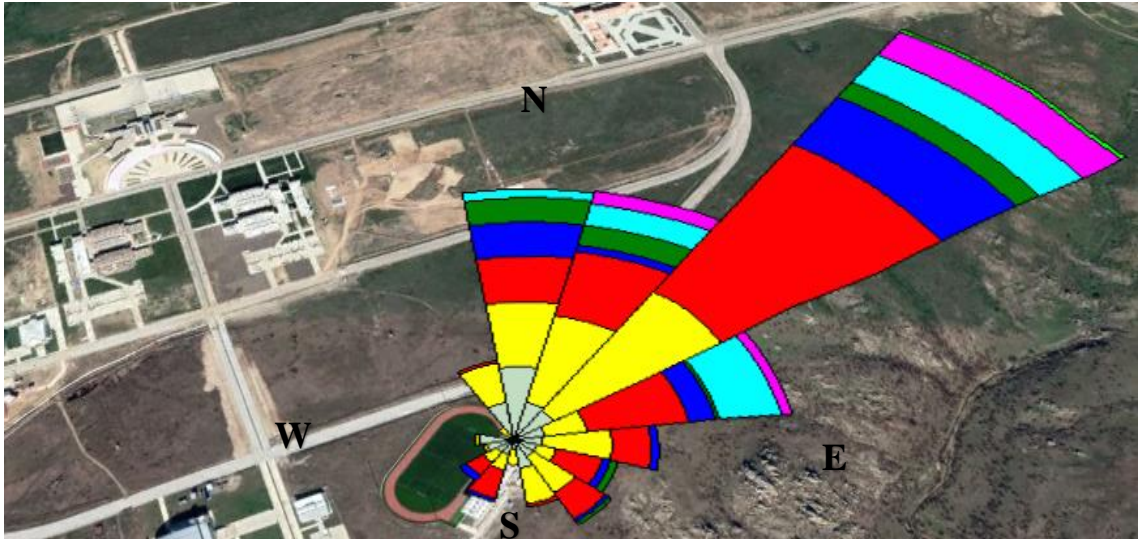
Çizelge 5.58 : Ekim ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.02688	0.0578	0.02554	0	0	0	0	0	0.11022
NNE	0.02554	0.05108	0.08065	0.04301	0.00538	0.00134	0	0	0.20699
NE	0.01882	0.05914	0.07392	0.05645	0.0121	0.00134	0	0	0.22177
ENE	0.01075	0.03226	0.03226	0.00672	0	0	0	0	0.08199
E	0.00672	0.01613	0.00806	0.00269	0	0	0	0	0.0336
ESE	0.0121	0.02285	0.00269	0	0	0	0	0	0.03763
SE	0.0121	0.03091	0.00134	0	0	0	0	0	0.04435
SSE	0.02285	0.01747	0.00134	0	0	0	0	0	0.04167
S	0.00806	0.01344	0.00672	0	0	0	0	0	0.02823
SSW	0.00806	0.00538	0.01882	0.00941	0	0	0	0	0.04167
SW	0.00403	0.00269	0.00672	0.00672	0	0	0	0	0.02016
WSW	0.00403	0	0.00134	0	0	0	0	0	0.00538
W	0.00269	0.00134	0.00672	0.00269	0.00134	0	0	0	0.01478
WNW	0.00672	0.00269	0.00403	0	0	0.00134	0	0	0.01478
NW	0.00538	0.01075	0.00269	0.00269	0.00134	0	0	0	0.02285
NNW	0.02016	0.02957	0.01075	0.00269	0.00806	0.00134	0	0	0.07258
Toplam	0.19489	0.35349	0.2836	0.13306	0.02823	0.00538	0	0	0.99866

Kasım ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.37’de gösterilmiştir. Kasım ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.38’de gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : Kasım ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.38 : Kasım ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.37 ve 5.38 incelendiğinde; Kasım ayı için hakim rüzgar yönü kuzey-doğu (NE) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey-doğu (NE) yönünü, sırasıyla Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) ve Kuzey (N) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı-Kuzey-Batı (WNW) yönüdür.

Kasım ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.59'da verilmiştir.

Çizelge 5.59 : Kasım ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

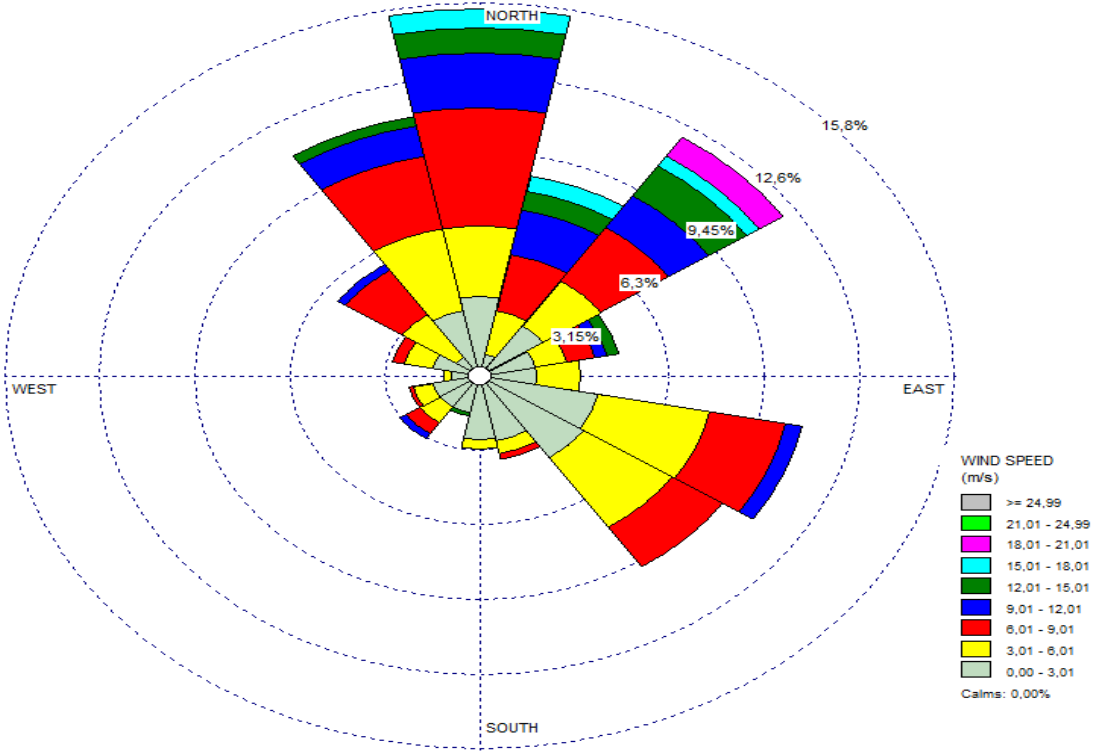
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	26	24	22	14	10	6	0	0	0	102
NNE	13	32	30	3	8	11	6	0	0	103
NE	12	54	79	31	10	18	17	4	0	225
ENE	8	9	29	7	1	16	4	0	0	74
E	7	18	10	1	1	0	0	0	0	37
ESE	6	4	13	2	2	0	0	0	0	27
SE	5	13	10	1	1	0	0	0	0	30
SSE	9	11	1	0	0	0	0	0	0	21
S	3	5	0	0	0	0	0	0	0	8
SSW	5	5	8	2	0	0	0	0	0	20
SW	5	4	5	2	0	0	0	0	0	16
WSW	7	1	0	0	0	0	0	0	0	8
W	9	1	0	0	0	0	0	0	0	10
WNW	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
NW	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
NNW	13	15	1	0	0	0	0	0	0	29
Toplam	132	201	208	63	33	51	27	4	0	719

Kasım ayı için en sık esme yönü toplam 225 saat ile kuzey-doğu (NE) yönü olmuştur. Bu yönde 6-9 m/s hız aralığındaki veriler toplam 79 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey-doğu (NE) yönünü, 103 saat ile Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) ve 102 saat ile Kuzey (N) yönü takip etmektedir. Kasım ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.60'da verilmiştir.

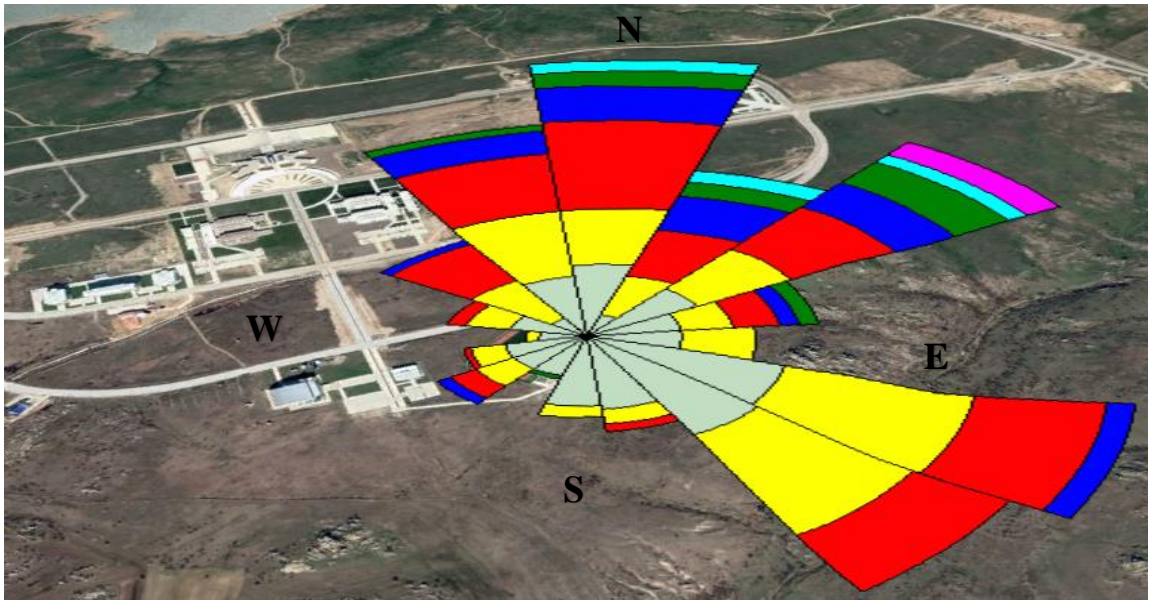
Çizelge 5.60 : Kasım ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.03611	0.03333	0.03056	0.01944	0.01389	0.00833	0	0	0.14167
NNE	0.01806	0.04444	0.04167	0.00417	0.01111	0.01528	0.00833	0	0.14306
NE	0.01667	0.075	0.10972	0.04306	0.01389	0.025	0.02361	0.00556	0.3125
ENE	0.01111	0.0125	0.04028	0.00972	0.00139	0.02222	0.00556	0	0.10278
E	0.00972	0.025	0.01389	0.00139	0.00139	0	0	0	0.05139
ESE	0.00833	0.00556	0.01806	0.00278	0.00278	0	0	0	0.0375
SE	0.00694	0.01806	0.01389	0.00139	0.00139	0	0	0	0.04167
SSE	0.0125	0.01528	0.00139	0	0	0	0	0	0.02917
S	0.00417	0.00694	0	0	0	0	0	0	0.01111
SSW	0.00694	0.00694	0.01111	0.00278	0	0	0	0	0.02778
SW	0.00694	0.00556	0.00694	0.00278	0	0	0	0	0.02222
WSW	0.00972	0.00139	0	0	0	0	0	0	0.01111
W	0.0125	0.00139	0	0	0	0	0	0	0.01389
WNW	0.00556	0	0	0	0	0	0	0	0.00556
NW	0	0.00694	0	0	0	0	0	0	0.00694
NNW	0.01806	0.02083	0.00139	0	0	0	0	0	0.04028
Toplam	0.18333	0.27917	0.28889	0.0875	0.04583	0.07083	0.0375	0.00556	0.99861

Aralık ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.39’da gösterilmiştir. Aralık ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.40’ta gösterilmiştir.



Şekil 5.39 : Aralık ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.40 : Aralık ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.39 ve 5.40 incelendiğinde; Aralık ayı için hakim rüzgar yönü Kuzey (N) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey (N) yönünü, sırasıyla Kuzey-Doğu (NE) ve Kuzey-Kuzey-Batı (NNW) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı (W) yönüdür.

Aralık ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.61’de verilmiştir.

Çizelge 5.61 : Aralık ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

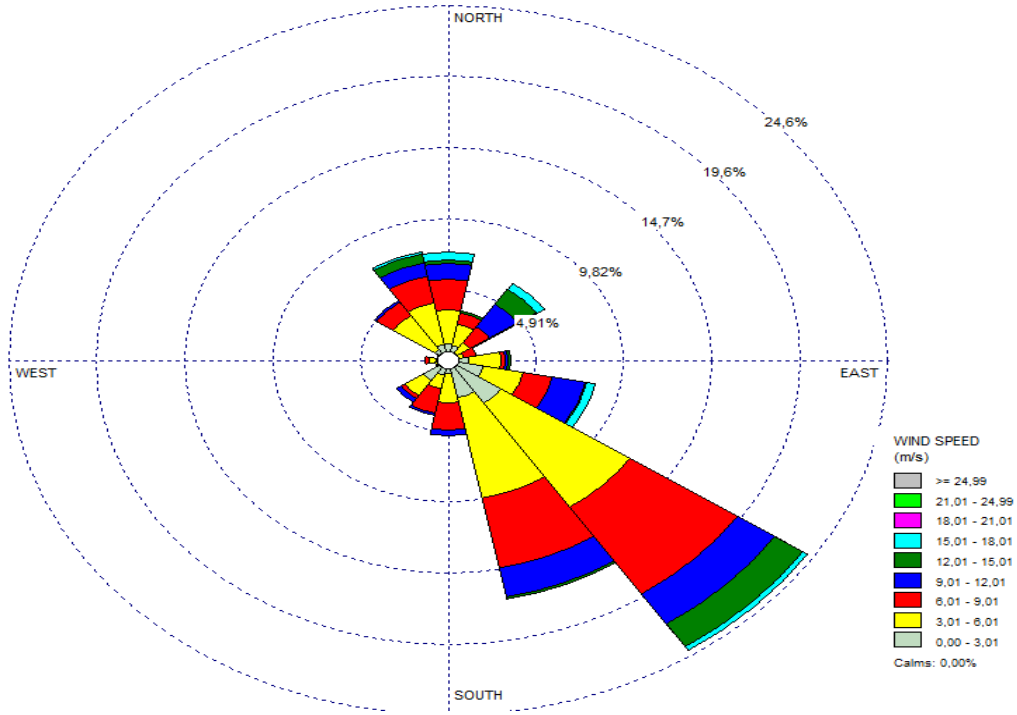
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	25	22	35	19	8	6	0	0	0	115
NNE	7	14	17	15	5	6	0	0	0	64
NE	19	16	20	12	12	4	7	0	0	90
ENE	14	8	7	3	3	0	0	0	0	35
E	14	11	0	0	0	0	0	0	0	25
ESE	28	29	19	5	0	0	0	0	0	81
SE	31	26	15	0	0	0	0	0	0	72
SSE	20	5	2	0	0	0	0	0	0	27
S	20	3	0	0	0	0	0	0	0	23
SSW	12	0	0	0	1	0	0	0	0	13
SW	11	7	4	1	1	0	0	0	0	24
WSW	12	5	1	0	0	0	0	0	0	18
W	7	2	0	0	0	0	0	0	0	9
WNW	11	8	3	0	0	0	0	0	0	22
NW	7	16	16	3	0	0	0	0	0	42
NNW	20	27	23	9	4	0	0	0	0	83
Toplam	258	199	162	67	34	16	7	0	0	743

Aralık ayı için en sık esme yönü toplam 115 saat ile Kuzey (N) yönü olmuştur. Bu yönde 6-9 m/s hız aralığındaki veriler toplam 35 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey (N) yönünü, 90 saat ile Kuzey-Doğu (NE) ve 83 saat ile Kuzey- Kuzey-Batı (NNW) yönü takip etmektedir. Aralık ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.62’da verilmiştir.

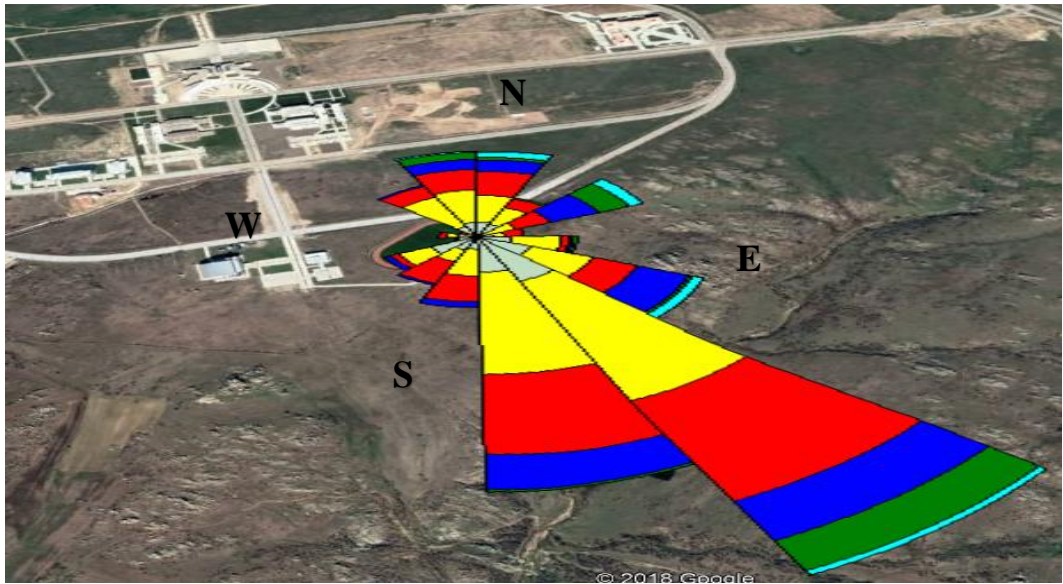
Çizelge 5.62 : Aralık ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.0336	0.02957	0.04704	0.02554	0.01075	0.00806	0	0	0.15457
NNE	0.00941	0.01882	0.02285	0.02016	0.00672	0.00806	0	0	0.08602
NE	0.02554	0.02151	0.02688	0.01613	0.01613	0.00538	0.00941	0	0.12097
ENE	0.01882	0.01075	0.00941	0.00403	0.00403	0	0	0	0.04704
E	0.01882	0.01478	0	0	0	0	0	0	0.0336
ESE	0.03763	0.03898	0.02554	0.00672	0	0	0	0	0.10887
SE	0.04167	0.03495	0.02016	0	0	0	0	0	0.09677
SSE	0.02688	0.00672	0.00269	0	0	0	0	0	0.03629
S	0.02688	0.00403	0	0	0	0	0	0	0.03091
SSW	0.01613	0	0	0	0.00134	0	0	0	0.01747
SW	0.01478	0.00941	0.00538	0.00134	0.00134	0	0	0	0.03226
WSW	0.01613	0.00672	0.00134	0	0	0	0	0	0.02419
W	0.00941	0.00269	0	0	0	0	0	0	0.0121
WNW	0.01478	0.01075	0.00403	0	0	0	0	0	0.02957
NW	0.00941	0.02151	0.02151	0.00403	0	0	0	0	0.05645
NNW	0.02688	0.03629	0.03091	0.0121	0.00538	0	0	0	0.11156
Toplam	0.34677	0.26747	0.21774	0.09005	0.0457	0.02151	0.00941	0	0.99866

Ocak ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.41’de gösterilmiştir. Ocak ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.42’de gösterilmiştir.



Şekil 5.41 : Ocak ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.42 : Ocak ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre)

Şekil 5.41 ve 5.42 incelendiğinde; Ocak ayı için hakim rüzgar yönü Güney-Doğu (SE) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Güney-Doğu (SE) yönünü, sırasıyla Güney-Güney-Doğu (SSE) ve Doğu-Güney-Doğu (ESE) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı-Kuzey-Batı (WNW) yönüdür.

Ocak ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.63’de verilmiştir.

Çizelge 5.63 : Ocak ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

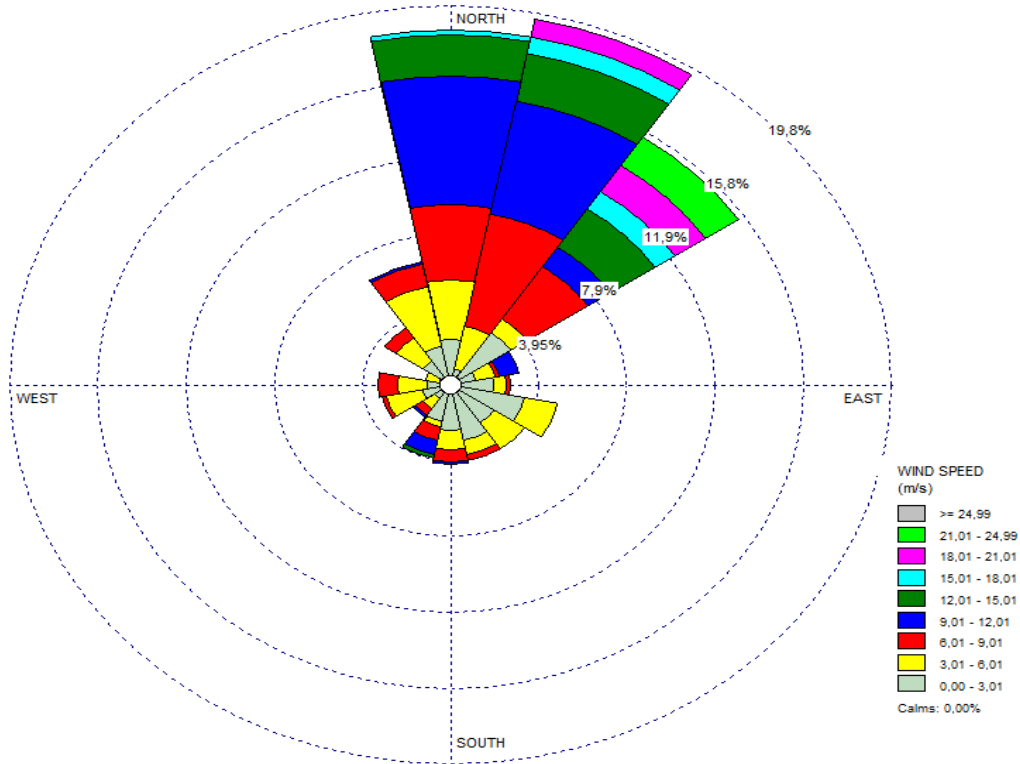
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	9	16	17	8	2	4	0	0	0	56
NNE	8	11	6	0	1	0	0	0	0	26
NE	1	9	10	14	10	4	0	0	0	48
ENE	4	2	6	0	0	0	0	0	0	12
E	9	13	2	1	1	0	0	0	0	26
ESE	15	16	12	15	1	3	0	0	0	62
SE	27	64	51	21	13	3	0	0	0	179
SSE	20	47	42	14	2	0	0	0	0	125
S	7	15	14	3	0	0	0	0	0	39
SSW	8	7	13	1	0	0	0	0	0	29
SW	13	9	2	2	0	0	0	0	0	26
WSW	5	1	0	0	0	0	0	0	0	6
W	5	3	2	0	0	0	0	0	0	10
WNW	0	3	2	0	0	0	0	0	0	5
NW	7	21	7	2	0	0	0	0	0	37
NNW	9	21	14	7	4	2	0	0	0	57
Toplam	147	258	200	88	34	16	0	0	0	743

Ocak ayı için en sık esme yönü toplam 179 saat ile Güney-Doğu (SE) yönü olmuştur. Bu yönde 3-6 m/s hız aralığındaki veriler toplam 64 saat ile en yüksek paya sahiptir. Güney-Doğu (SE) yönünü, 125 saat ile Güney-Güney-Doğu (SSE) ve 62 saat ile Doğu-Güney-Doğu (ESE) yönleri takip etmektedir. Ocak ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.64’te verilmiştir.

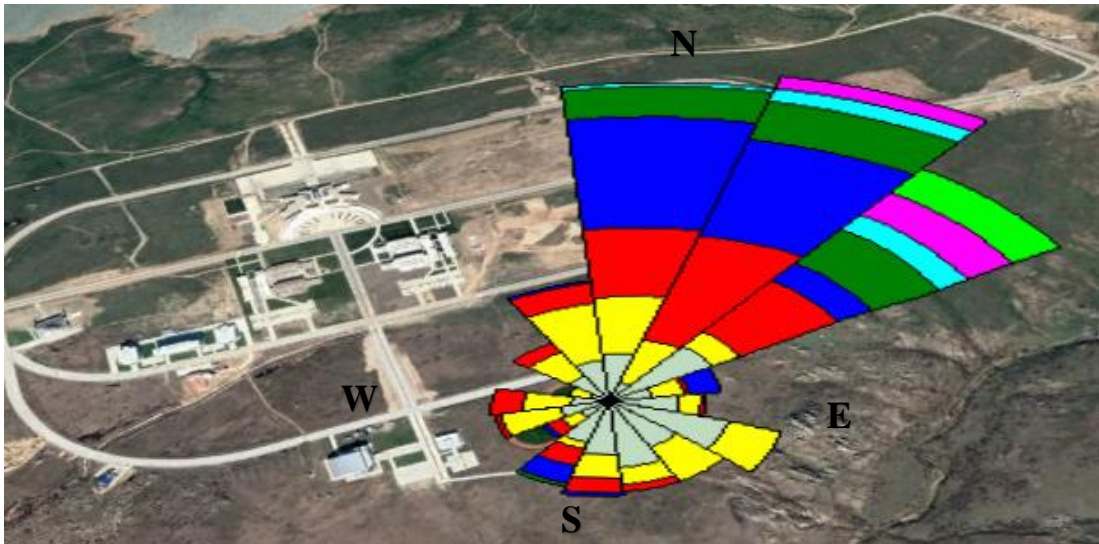
Çizelge 5.64 : Ocak ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.0121	0.02151	0.02285	0.01075	0.00269	0.00538	0	0	0.07527
NNE	0.01075	0.01478	0.00806	0	0.00134	0	0	0	0.03495
NE	0.00134	0.0121	0.01344	0.01882	0.01344	0.00538	0	0	0.06452
ENE	0.00538	0.00269	0.00806	0	0	0	0	0	0.01613
E	0.0121	0.01747	0.00269	0.00134	0.00134	0	0	0	0.03495
ESE	0.02016	0.02151	0.01613	0.02016	0.00134	0.00403	0	0	0.08333
SE	0.03629	0.08602	0.06855	0.02823	0.01747	0.00403	0	0	0.24059
SSE	0.02688	0.06317	0.05645	0.01882	0.00269	0	0	0	0.16801
S	0.00941	0.02016	0.01882	0.00403	0	0	0	0	0.05242
SSW	0.01075	0.00941	0.01747	0.00134	0	0	0	0	0.03898
SW	0.01747	0.0121	0.00269	0.00269	0	0	0	0	0.03495
WSW	0.00672	0.00134	0	0	0	0	0	0	0.00806
W	0.00672	0.00403	0.00269	0	0	0	0	0	0.01344
WNW	0	0.00403	0.00269	0	0	0	0	0	0.00672
NW	0.00941	0.02823	0.00941	0.00269	0	0	0	0	0.04973
NNW	0.0121	0.02823	0.01882	0.00941	0.00538	0.00269	0	0	0.07661
Toplam	0.19758	0.34677	0.26882	0.11828	0.0457	0.02151	0	0	0.99866

Şubat ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.43'te gösterilmiştir. Şubat ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.44'te gösterilmiştir.



Şekil 5.43 : Şubat ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.44 : Şubat ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.43 ve 5.44 incelendiğinde; Şubat ayı için hakim rüzgar yönü Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönünü, sırasıyla Kuzey (N) ve Kuzey-Doğu (NE) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı-Kuzey-Batı (WNW) yönüdür.

Şubat ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.65’de verilmiştir.

Çizelge 5.65 : Şubat ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

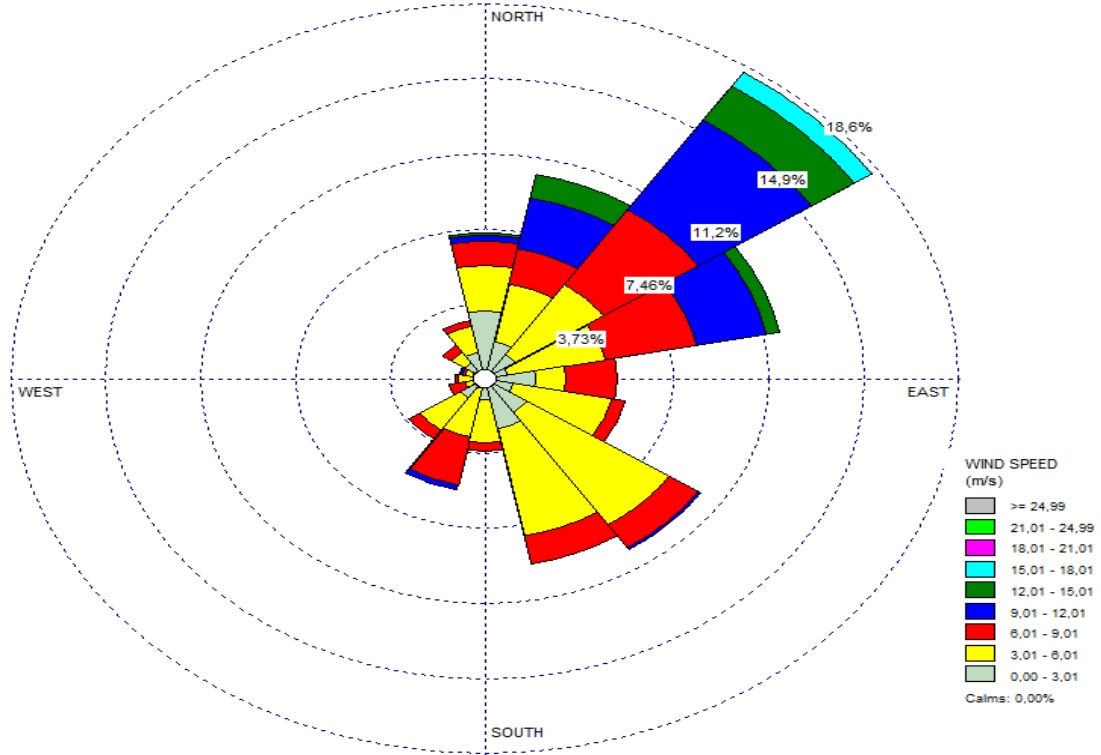
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	16	20	25	46	15	2	0	0	0	124
NNE	6	15	37	40	18	8	6	0	0	130
NE	22	6	21	9	15	7	11	13	0	104
ENE	8	6	1	6	0	0	0	0	0	21
E	13	4	1	0	0	0	0	0	0	18
ESE	23	10	0	0	0	0	0	0	0	33
SE	16	11	0	0	0	0	0	0	0	27
SSE	20	5	2	0	0	0	0	0	0	27
S	15	8	4	1	0	0	0	0	0	28
SSW	13	2	5	4	2	0	0	0	0	26
SW	6	4	3	1	0	0	0	0	0	14
WSW	9	10	2	0	0	0	0	0	0	21
W	7	9	6	0	0	0	0	0	0	22
WNW	4	4	0	0	0	0	0	0	0	8
NW	10	10	4	0	0	0	0	0	0	24
NNW	13	22	8	1	0	0	0	0	0	44
Toplam	201	146	119	108	50	17	17	13	0	671

Şubat ayı için en sık esme yönü toplam 130 saat ile Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönü olmuştur. Bu yönde 9-12 m/s hız aralığındaki veriler 40 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönünü, 124 saat ile Kuzey (N) ve 104 saat ile Kuzey-Doğu (NE) yönleri takip etmektedir. Şubat ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.66’da verilmiştir.

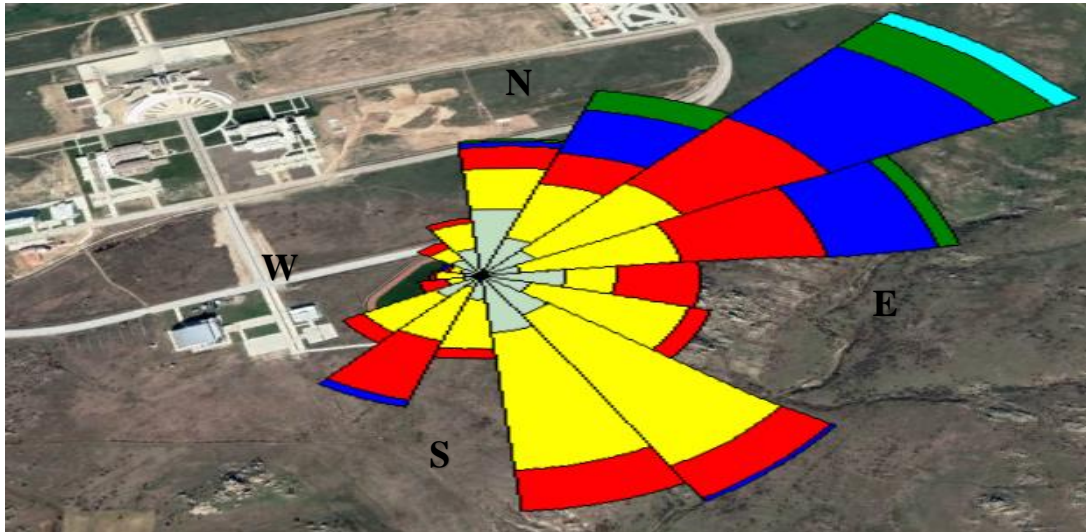
Çizelge 5.66 : Şubat ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.02381	0.02976	0.0372	0.06845	0.02232	0.00298	0	0	0.18452
NNE	0.00893	0.02232	0.05506	0.05952	0.02679	0.0119	0.00893	0	0.19345
NE	0.03274	0.00893	0.03125	0.01339	0.02232	0.01042	0.01637	0.01935	0.15476
ENE	0.0119	0.00893	0.00149	0.00893	0	0	0	0	0.03125
E	0.01935	0.00595	0.00149	0	0	0	0	0	0.02679
ESE	0.03423	0.01488	0	0	0	0	0	0	0.04911
SE	0.02381	0.01637	0	0	0	0	0	0	0.04018
SSE	0.02976	0.00744	0.00298	0	0	0	0	0	0.04018
S	0.02232	0.0119	0.00595	0.00149	0	0	0	0	0.04167
SSW	0.01935	0.00298	0.00744	0.00595	0.00298	0	0	0	0.03869
SW	0.00893	0.00595	0.00446	0.00149	0	0	0	0	0.02083
WSW	0.01339	0.01488	0.00298	0	0	0	0	0	0.03125
W	0.01042	0.01339	0.00893	0	0	0	0	0	0.03274
WNW	0.00595	0.00595	0	0	0	0	0	0	0.0119
NW	0.01488	0.01488	0.00595	0	0	0	0	0	0.03571
NNW	0.01935	0.03274	0.0119	0.00149	0	0	0	0	0.06548
Toplam	0.29911	0.21726	0.17708	0.16071	0.0744	0.0253	0.0253	0.01935	0.99851

Mart ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.45'te gösterilmiştir. Mart ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.46'da gösterilmiştir.



Şekil 5.45 : Mart ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.46 : Mart ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.45 ve 5.46 incelendiğinde; Mart ayı için hakim rüzgar yönü Kuzey-Doğu (NE) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey-Doğu (NE) yönünü, sırasıyla Doğu-Kuzey-Doğu (ENE) ve Kuzey- Kuzey-Doğu (NNE) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı-Kuzey-Batı (WNW) yönüdür.

Mart ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.67’de verilmiştir.

Çizelge 5.67 : Mart ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

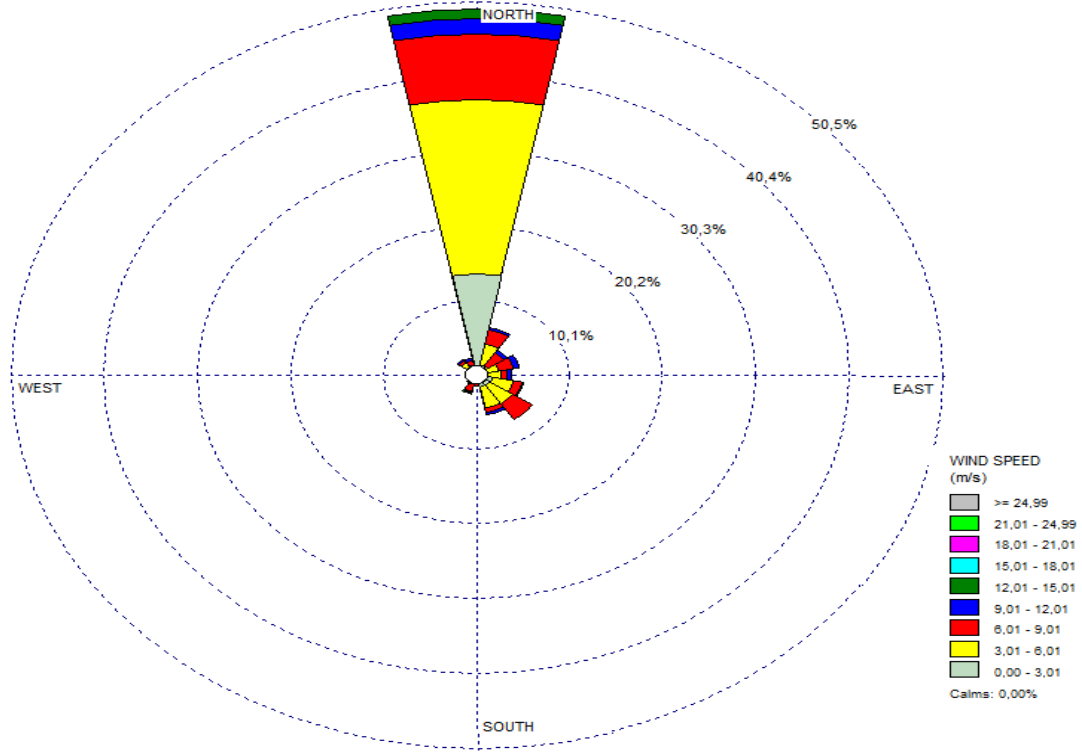
Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	25	16	10	2	1	0	0	0	0	54
NNE	13	22	14	18	10	0	0	0	0	77
NE	11	30	32	39	18	6	0	0	0	136
ENE	7	27	27	23	4	0	0	0	0	88
E	14	9	15	1	0	0	0	0	0	39
ESE	9	28	5	0	0	0	0	0	0	42
SE	15	49	11	1	0	0	0	0	0	76
SSE	17	41	12	0	0	0	0	0	0	70
S	8	16	3	0	0	0	0	0	0	27
SSW	4	18	16	4	0	0	0	0	0	42
SW	9	14	3	1	0	0	0	0	0	27
WSW	3	3	5	0	0	0	0	0	0	11
W	3	5	1	0	0	0	0	0	0	9
WNW	4	2	1	1	0	0	0	0	0	8
NW	7	5	3	0	0	0	0	0	0	15
NNW	10	10	2	0	0	0	0	0	0	22
Toplam	159	295	160	90	33	6	0	0	0	743

Mart ayı için en sık esme yönü toplam 136 saat ile Kuzey-Doğu (NE) yönü olmuştur. Bu yönde 9-12 m/s hız aralığındaki veriler toplam 39 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey-Doğu (NE) yönünü, 88 saat ile Doğu-Kuzey-Doğu (ENE) ve 77 saat ile Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönleri takip etmektedir. Mart ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.68’de verilmiştir.

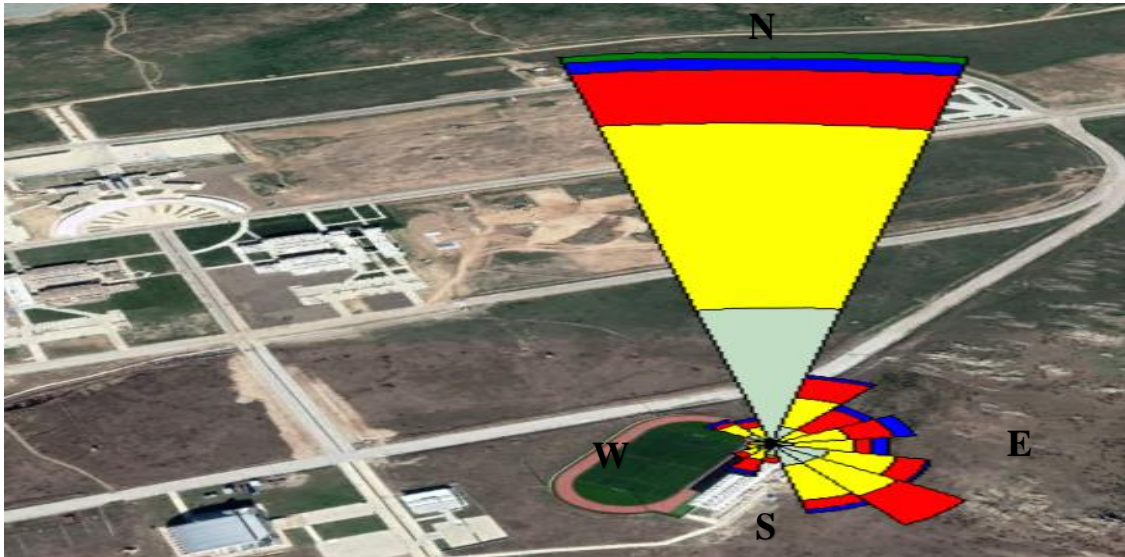
Çizelge 5.68 : Mart ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.0336	0.02151	0.01344	0.00269	0.00134	0	0	0	0.07258
NNE	0.01747	0.02957	0.01882	0.02419	0.01344	0	0	0	0.10349
NE	0.01478	0.04032	0.04301	0.05242	0.02419	0.00806	0	0	0.1828
ENE	0.00941	0.03629	0.03629	0.03091	0.00538	0	0	0	0.11828
E	0.01882	0.0121	0.02016	0.00134	0	0	0	0	0.05242
ESE	0.0121	0.03763	0.00672	0	0	0	0	0	0.05645
SE	0.02016	0.06586	0.01478	0.00134	0	0	0	0	0.10215
SSE	0.02285	0.05511	0.01613	0	0	0	0	0	0.09409
S	0.01075	0.02151	0.00403	0	0	0	0	0	0.03629
SSW	0.00538	0.02419	0.02151	0.00538	0	0	0	0	0.05645
SW	0.0121	0.01882	0.00403	0.00134	0	0	0	0	0.03629
WSW	0.00403	0.00403	0.00672	0	0	0	0	0	0.01478
W	0.00403	0.00672	0.00134	0	0	0	0	0	0.0121
WNW	0.00538	0.00269	0.00134	0.00134	0	0	0	0	0.01075
NW	0.00941	0.00672	0.00403	0	0	0	0	0	0.02016
NNW	0.01344	0.01344	0.00269	0	0	0	0	0	0.02957
Toplam	0.21371	0.39651	0.21505	0.12097	0.04435	0.00806	0	0	0.99866

Nisan ayına ait rüzgar gülü grafiği Şekil 5.47’de gösterilmiştir. Nisan ayına ait kampüs alanının uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi Şekil 5.48’de gösterilmiştir.



Şekil 5.47 : Nisan ayına ait rüzgar gülü (80 metre).



Şekil 5.48 : Nisan ayı kampüs alanının uydu haritası rüzgar krokisi (80 metre).

Şekil 5.47 ve 5.48 incelendiğinde; Nisan ayı için hakim rüzgar yönü Kuzey (N) olarak görülmektedir. Esme sıklığına göre Kuzey (N) yönünü, sırasıyla Güney-Doğu (SE) ve Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönleri takip etmektedir. İncelenen ay için en az esme sıklığına sahip yön ise Batı-Kuzey-Batı (WNW) yönüdür.

Nisan ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları Çizelge 5.69'da verilmiştir.

Çizelge 5.69 : Nisan ayı saatlik esme sayıları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	>25	Toplam
N	97	169	63	17	8	1	0	0	0	355
NNE	11	18	14	4	0	0	0	0	0	47
NE	2	9	15	4	0	0	0	0	0	30
ENE	4	15	10	6	0	0	0	0	0	35
E	5	14	5	4	0	0	0	0	0	28
ESE	14	14	9	1	0	0	0	0	0	38
SE	13	21	19	0	0	0	0	0	0	53
SSE	13	20	5	2	0	0	0	0	0	40
S	7	1	3	0	0	0	0	0	0	11
SSW	3	7	7	2	1	0	0	0	0	20
SW	4	4	3	0	0	0	0	0	0	11
WSW	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
W	1	4	0	0	0	0	0	0	0	5
WNW	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4
NW	7	8	2	2	0	0	0	0	0	19
NNW	3	8	4	2	0	0	0	0	0	17
Toplam	189	317	159	44	9	1	0	0	0	719

Nisan ayı için en sık esme yönü toplam 355 saat ile Kuzey (N) yönü olmuştur. Bu yönde 3-6 m/s hız aralığındaki veriler toplam 169 saat ile en yüksek paya sahiptir. Kuzey (N) yönünü, 53 saat ile Güney-Doğu (SE) ve 47 saat ile Kuzey-Kuzey-Doğu (NNE) yönleri takip etmektedir. Nisan ayı için; her bir rüzgar yönünün hız aralıklarına göre saatlik rüzgar frekans dağılımları Çizelge 5.70'de verilmiştir.

Çizelge 5.70 : Nisan ayı saatlik frekans dağılımları (80 metre).

Rüzgar Hızı/ Yönü	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-25	Toplam
N	0.13472	0.23472	0.0875	0.02361	0.01111	0.00139	0	0	0.49306
NNE	0.01528	0.025	0.01944	0.00556	0	0	0	0	0.06528
NE	0.00278	0.0125	0.02083	0.00556	0	0	0	0	0.04167
ENE	0.00556	0.02083	0.01389	0.00833	0	0	0	0	0.04861
E	0.00694	0.01944	0.00694	0.00556	0	0	0	0	0.03889
ESE	0.01944	0.01944	0.0125	0.00139	0	0	0	0	0.05278
SE	0.01806	0.02917	0.02639	0	0	0	0	0	0.07361
SSE	0.01806	0.02778	0.00694	0.00278	0	0	0	0	0.05556
S	0.00972	0.00139	0.00417	0	0	0	0	0	0.01528
SSW	0.00417	0.00972	0.00972	0.00278	0.00139	0	0	0	0.02778
SW	0.00556	0.00556	0.00417	0	0	0	0	0	0.01528
WSW	0.00417	0.00417	0	0	0	0	0	0	0.00833
W	0.00139	0.00556	0	0	0	0	0	0	0.00694
WNW	0.00278	0.00278	0	0	0	0	0	0	0.00556
NW	0.00972	0.01111	0.00278	0.00278	0	0	0	0	0.02639
NNW	0.00417	0.01111	0.00556	0.00278	0	0	0	0	0.02361
Toplam	0.2625	0.44028	0.22083	0.06111	0.0125	0.00139	0	0	0.99861

5.6 Rüzgar Türbinin Seçilmesi

Tez çalışması kapsamında, istatistiki çalışmaları yapılan bölgeye 80 metre göbek (hub) yüksekliğine sahip bir rüzgar türbini kurulması planlanmaktadır. Rüzgar türbini seçiminde, bölgenin hesaplanan ortalama güç yoğunluğu değeri, bölgenin ortalama hız değerleri ve hızların belli aralıklarda esme sayılarının analizi dikkate alınmaktadır.

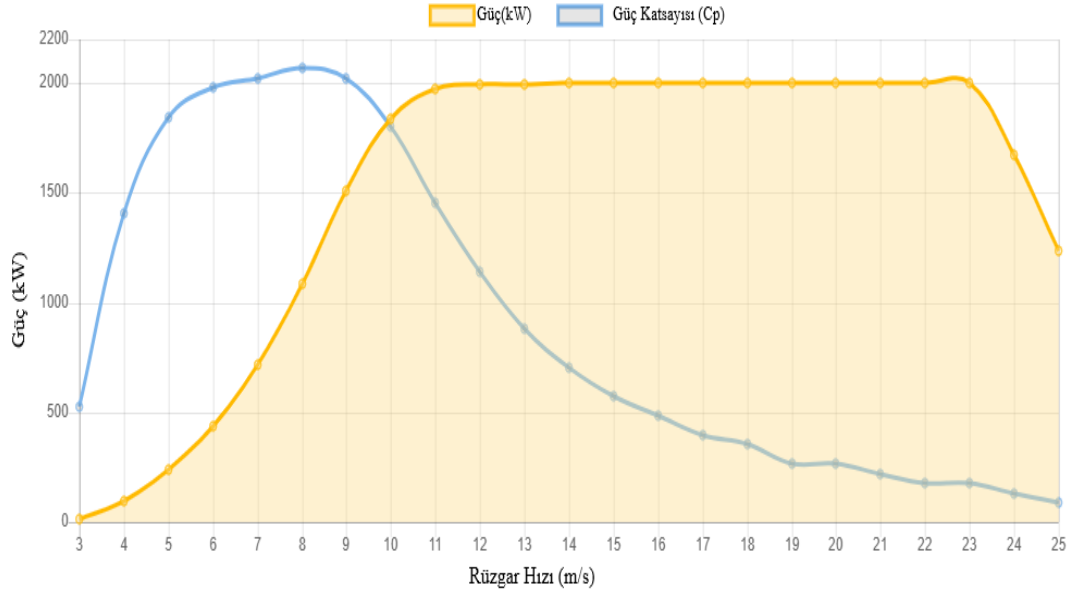
80 metre yükseklikler için incelenen aylara ait rüzgar hızlarının saatlik esiş adetleri, esme frekansları ve istatistiksel dağılımlarından elde edilebilecek rüzgar hız olasılık yoğunluklarının karşılaştırılması sonucunda analizi yapılan bölgenin en fazla enerji üretim yoğunluğunun 3-6 m/s aralığında olduğu bulunmuştur.

Piyasadaki 80 metre ve civarı hub yüksekliğine sahip türbin modellerinin incelenmesi sonucunda, en fazla enerji üretim yoğunluğunun bulunduğu hız aralıklarında yüksek çıkış gücüne sahip ve bölgenin ortalama güç yoğunluğu değerine yakın olan Gamesa G-97 türbin modelinin bölge için en uygun model olacağına karar verilmiştir. Bölge için seçilen rüzgar türbininin genel özellikleri Çizelge 5.71’de verilmiştir [117].

Çizelge 5.71 : Bölge için seçilen rüzgar türbininin genel özellikleri.

Türbin Modeli	Siemens Gamesa G97
Anma Gücü	2000 kW
Devreye Giriş Hızı	3 m/s
Maksimum Güç Üretim Hızı	11 m/s
Devreden Çıkış Hızı	25 m/s
Türbin Hub Yüksekliği	78 metre
Rotor Çapı	97 metre
Kanat Sayısı	3 adet
Kanat Süpürme Alanı	7,390 m ²
Ortalama Güç Yoğunluğu	270.6 W/m ²
Dişli Kutusu Oranı	1:107
Jeneratör Tipi	Çift Beslemeli Asenkron

Rüzgar türbininin üreteceği enerji miktarının hesaplanabilmesi için; her bir hız aralığına karşılık üretilen güç miktarı ve bu güce karşılık gelen güç katsayısı (C_p) değerinin bilinmesi gerekmektedir. Seçilen türbin modelinin güç eğrisi Şekil 5.49'da gösterilmiştir [118].



Şekil 5.49 : Seçilen türbin modelinin rüzgar hızına göre güç eğrisi.

Rüzgar türbininin ele alınan aylara göre bölgede üretebileceği elektrik enerjisi miktarının hesaplanmasında Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'dan faydalanılmıştır. Bu denklemlere göre; bölgede esen her bir rüzgar hızında türbinin üreteceği güç miktarı ile bu güce karşılık gelen güç katsayısı değeri çarpılır. Daha sonra bulunan düzeltilmiş güç değeri ile bölgenin incelenen ayda üretilen esme saati çarpılır ve türbinin aylık elektrik enerjisi üretim değeri hesaplanır.

Rüzgar türbinin ele alınan aylara göre ürettiği enerji miktarları Çizelge 5.72’de verilmiştir.

Çizelge 5.72 : Seçilen rüzgar türbinin aylara göre ürettiği enerji miktarları.

	Elektrik Enerjisi Üretim Miktarı (MWh)
Eylül	161.223
Ekim	185.729
Kasım	171.721
Aralık	145.861
Ocak	178.592
Şubat	160.186
Mart	165.954
Nisan	120.413
TOPLAM	1289.679

Çizelge 5.72’e göre; en yüksek elektrik enerjisi üretim miktarı Ekim ayında 185.729 MWh, en düşük elektrik enerjisi üretim miktarı ise Nisan ayında 120.413 MWh olarak hesaplanmıştır. Bölgeye uygulanan dağılım metodları ile incelenen 8 aylık sürecin sonunda yaklaşık olarak 1,290 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Seçilen rüzgar türbininin kapasite faktörü değerinin hesaplanmasında Denklem 3.7’den faydalanılmıştır. Türbinin kapasite faktörü % 11.1 olarak hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 2018 Eylül-2019 Nisan ayları arasında Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü'nün rüzgar enerjisi potansiyeli, kampüs içerisinde en uygun yer olarak belirlenen 25 metre uzunluğundaki aydınlatma direğine monte edilen rüzgar ölçüm istasyonundan 5 dakika aralıklarla ölçülen ham rüzgar hızı verileri baz alınıp, veriler üzerinde çeşitli istatistiki dağılımlar uygulanması yöntemiyle analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli tahmininde Weibull, Rayleigh ve Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonlarından faydalanılmıştır. Dağılımların parametreleri, Moment ve Maksimum Olabilirlik (MLE) yöntemleri ile hesaplanmıştır. Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE), Ki-Kare Testi (χ^2) ve Korelasyon Katsayısı (R^2) yaklaşım metodları, dağılımların rüzgar hız profillerini modellemede başarı oranlarını ve istatistiksel olarak uygun yaklaşıma sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla uygulanmıştır.

Rüzgarın saatlik hız, frekans ve yön dağılımlarının oluşturulmasında WRPLOT programı kullanılmıştır. Ayrıca bu program sayesinde bölgenin aylara göre rüzgar gülleri ve uydu haritası üzerindeki rüzgar krokisi elde edilmiş ve incelenen aylara ait olmak üzere her bir rüzgar yönü için; hız aralıklarına göre saatlik esme sayıları ve frekans dağılımları oluşturulmuştur.

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar hızlarının seçilecek olan türbinin göbek yüksekliğine taşınması için Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılmıştır. Bu bağıntıyla; rüzgar hızları 50, 80 ve 100 metre türbin göbek yüksekliğine taşınmış ve her bir dikkate alınan yükseklik değerleri için bölgenin aylara göre şekil (k) ve ölçek (c) parametresi, gerçek ve dağılımlardan elde edilen ortalama rüzgar hızı, gerçek ve dağılımlardan elde edilen standart sapma değerleri, gerçek ve dağılımlardan elde edilen güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında, istatistiki çalışmaları yapılan bölgeye 80 metre göbek (hub) yüksekliğine sahip bir rüzgar türbini kurulması planlanmış ve çalışılan bölge için enerji üretim hesaplamaları bu kabul üzerinden yapılmıştır.

Analizi yapılan bölgenin 25 metre yükseklikteki (ölçüm referans yüksekliği) rüzgar profili irdelenmiştir. İncelenen 8 aylık süreçte elde edilen çıkarımlar şu şekildedir;

- Toplam 69860 adet veri analiz edilmiştir. Bölgenin ortalama hız değeri 4.9076 m/s'dir. İncelenen süreçte en yüksek aylık ortalama hız değeri 5.90 m/s ile Kasım ayına aittir. Kasım ayını; 5.54 m/s ortalama hız değeri ile Şubat ayı ve 5 m/s ile Eylül ayı takip etmektedir. En düşük ortalama hız değeri ise 3.97 m/s ile Nisan ayına aittir. Bölgede en yüksek günlük ortalama hız değerine 14.17 m/s ile Kasım ayında ulaşılmıştır. Bölgenin ölçülen en yüksek anlık hız değerine ise Güney yönünde 21.5 m/s ile Şubat ayında ulaşılmıştır.
- WRPLOT programı sonuçlarına göre, bölgenin aylara göre hakim rüzgar yönü Kuzey ve Kuzey-Kuzey-Doğu aralığında değişmektedir. Bölgede en çok esen rüzgar yönü 11879 adet ile Kuzey yönüdür. Kuzey yönünü; 10981 adet esme ile Kuzey-Doğu yönü ve 8695 adet esme ile Kuzey-Kuzey-Doğu yönü takip etmektedir. En az esen rüzgar yönü ise 965 adet ile Batı yönüdür.
- Bölgenin aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 76.98 W/m²'dir. En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 129.6271 W/m² ile Kasım ayında gözlemlenmiştir. Kasım ayını; 351.815 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Şubat ayı ve 76.8777 W/m² ile Ocak ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 38.7180 W/m² ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin aylık ortalama standart sapma değeri 3.0968 m/s'dir. En yüksek ortalama standart sapma değeri 4.1777 m/s ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 3.9448 m/s ortalama standart sapma değeri ile Kasım ayı ve 3.2555 m/s ile Aralık ayı takip etmektedir. En düşük ortalama standart sapma değeri ise 2.20 m/s ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin aylık ortalama türbülans yoğunluğu 0.6270 değerindedir. En yüksek türbülans yoğunluğu 0.7540 değeri ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 0.7362 türbülans yoğunluğu değeri ile Aralık ayı ve 0.6684 türbülans yoğunluğu değeri ile Kasım ayı takip etmektedir. En düşük türbülans yoğunluğu 0.5330 değeri ile Ekim ayına aittir.
- Bölgenin ortalama sıcaklık değeri 9.89 °C, ortalama basınç değeri 1017.11 mbar, ortalama hava yoğunluğu değeri 1.2524 kg/m³ ve ortalama güç yoğunluğu ise 76.98 W/m² değerine sahiptir.

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar verileri Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılarak 50 metre yüksekliğe taşınmıştır. Bölgenin topoğrafik ve ortam pürüzlülük şartları göz önüne alınarak Hellmann katsayısı 0.1893 olarak belirlenmiştir. Analizi yapılan bölgenin 50 metre yükseklikteki rüzgar profili irdelenmiştir. Bölgenin 50 metre yükseklikteki rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında incelenen 8 aylık süreçte istatistiksel dağılımların uygulanmasıyla elde edilen tahminler şu şekildedir;

- Bölgenin ortalama hız değeri 5.5957 m/s'dir. İncelenen süreçte en yüksek aylık ortalama hız değeri 6.7287 m/s ile Kasım ayına aittir. Kasım ayını; 6.3168 m/s ortalama hız değeri ile Şubat ayı ve 5.7077 m/s ile Eylül ayı takip etmektedir. En düşük ortalama hız değeri ise 4.5347 m/s ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin aylık ortalama standart sapma değeri 3.5310 m/s'dir. En yüksek ortalama standart sapma değeri 4.7635 m/s ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 4.4979 m/s ortalama standart sapma değeri ile Kasım ayı ve 3.712054 m/s ile Aralık ayı takip etmektedir. En düşük ortalama standart sapma değeri ise 2.5089 m/s ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 109.498 W/m²'dir. En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 182.7872 W/m² ile Kasım ayında gözlemlenmiştir. Kasım ayını; 151.2342 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Şubat ayı ve 112.4636 W/m² ile Eylül ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 55.9516 W/m² ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin 50 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması ve dağılımlara hata analizlerinin uygulanması sonucunda ilgili yükseklikte ağırlıklı olarak MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına uygun olduğu tahmin edilmiştir. İncelenen 8 aydan 4'ünün MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına, 2'sinin Moment yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına, 1'inin MLE yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımına, 1'inin Moment yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımına uygunluk göstermektedir.
- Bölgenin 50 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda şekil parametresi 1.33-3.51 aralığında, ölçek parametresi ise 1.38-8.09 aralığında değişmektedir.
- Bölgenin 50 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda tahmin edilen aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 243.9458 W/m²'dir.

En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 447.569 W/m² ile Şubat ayında tahmin edilmiştir. Şubat ayını; 348.958 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Kasım ayı ve 232.9699 W/m² ile Aralık ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 111.0199 W/m² ile Nisan ayına aittir.

- Bölgenin 50 metre yükseklikteki ortalama sıcaklık değeri 9.753 °C, ortalama basınç değeri 1014.193 mbar, ortalama hava yoğunluğu 1.2499 kg/m³ değerine sahiptir.

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar verileri Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılarak 80 metre yüksekliğe taşınmıştır. Analizi yapılan bölgenin 80 metre yükseklikteki rüzgar profili irdelenmiştir. Bölgenin 80 metre yükseklikteki rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında incelenen 8 aylık süreçte istatistiksel dağılımların uygulanmasıyla elde edilen tahminler şu şekildedir;

- Bölgenin ortalama hız değeri 6.1164 m/s'dir. İncelenen süreçte en yüksek aylık ortalama hız değeri 7.3548 m/s ile Kasım ayına aittir. Kasım ayını; 6.9046 m/s ortalama hız değeri ile Şubat ayı ve 6.2388 m/s ile Eylül ayı takip etmektedir. En düşük ortalama hız değeri ise 4.9567 m/s ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin aylık ortalama standart sapma değeri 3.8596 m/s'dir. En düşük ortalama standart sapma değeri ise 2.7424 m/s ile Nisan ayına aittir. En yüksek ortalama standart sapma değeri 5.2067 m/s ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 4.9164 m/s ortalama standart sapma değeri ile Kasım ayı ve 4.0574 m/s ile Aralık ayı takip etmektedir.
- Bölgenin aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 148.5534 W/m²'dir. En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 249.764 W/m² ile Kasım ayında gözlemlenmiştir. Kasım ayını; 209.2195 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Şubat ayı ve 148.7674 W/m² ile Ocak ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 74.9521 W/m² ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin 80 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda elde edilen aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 330.573 W/m²'dir. En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 614.647 W/m² ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 476.0644 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Kasım ayı ve 318.050 W/m² ile Aralık ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 148.721 W/m² ile Nisan ayına aittir.

- Bölgenin 80 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması ve dağılımlara hata analizlerinin uygulanması sonucunda ilgili yükseklikte ağırlıklı olarak MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına uygun olduğu tahmin edilmiştir. İncelenen 8 aydan 4'ünün MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına, 2'sinin Moment yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına, 1'inin MLE yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımına, 1'i ise Moment yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımına uygunluk göstermektedir.
- Bölgenin 80 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda şekil parametresi 1.33-3.51 aralığında, ölçek parametresi ise 1.51-8.84 aralığında değişmektedir.
- Bölgenin 80 metre yükseklikteki ortalama sıcaklık değeri 9.603 °C, ortalama basınç değeri 1010.692 mbar, ortalama hava yoğunluğu 1.245851 kg/m³ değerine sahiptir.

Ölçüm alınan yükseklikteki rüzgar verileri Hellmann katsayısı bağıntısından faydalanılarak 100 metre yüksekliğe taşınmıştır. Analizi yapılan bölgenin 100 metre yükseklikteki rüzgar profili irdelenmiştir. Bölgenin 100 metre yükseklikteki rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında incelenen 8 aylık süreçte istatistiksel dağılımların uygulanmasıyla elde edilen tahminler şu şekildedir;

- Bölgenin ortalama hız değeri 6.3803 m/s'dir. İncelenen süreçte en yüksek aylık ortalama hız değeri 7.67421 m/s ile Kasım ayına aittir. Kasım ayını; 7.2025 m/s ortalama hız değeri ile Şubat ayı ve 6.5080 m/s ile Eylül ayı takip etmektedir. En düşük ortalama hız değeri ise 5.1707 m/s ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin aylık ortalama standart sapma değeri 4.026 m/s'dir. En düşük ortalama standart sapma değeri ise 2.8608 m/s ile Nisan ayına aittir. En yüksek ortalama standart sapma değeri 5.4314 m/s ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 5.1285 m/s ortalama standart sapma değeri ile Kasım ayı ve 4.2325 m/s ile Aralık ayı takip etmektedir.
- Bölgenin aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 168.2951 W/m²'dir. En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 282.9559 W/m² ile Kasım ayında gözlemlenmiştir. Kasım ayını; 237.0243 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Şubat ayı ve 168.5348 W/m² ile Ocak ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 84.9207 W/m² ile Nisan ayına aittir.

- Bölgenin 100 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması ve dağılımlara hata analizlerinin uygulanması sonucunda ilgili yükseklikte ağırlıklı olarak MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına uygun olduğu tahmin edilmiştir. İncelenen 8 aydan 4'ünün MLE yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına, 2'sinin Moment yöntemi ile elde edilen Rayleigh dağılımına, 1'inin MLE yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımına, 1'i ise Moment yöntemi ile elde edilen Weibull dağılımına uygunluk göstermektedir.
- Bölgenin 100 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda şekil parametresi 1.33-3.51 aralığında, ölçek parametresi ise 1.58-9.22 aralığında değişmektedir.
- Bölgenin 100 metre yükseklikteki hız profillerine istatistiksel dağılımların uygulanması sonucunda tahmin edilen aylık ortalama güç yoğunluğu değeri 375.3313 W/m²'dir. En yüksek ortalama güç yoğunluğu değeri 706.6849 W/m² ile Şubat ayında gözlemlenmiştir. Şubat ayını; 539.2612 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Kasım ayı ve 359.7972 W/m² ile Aralık ayı takip etmektedir. En düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise 168.4715 W/m² ile Nisan ayına aittir.
- Bölgenin 100 metre yükseklikteki ortalama sıcaklık değeri 9.504 °C, ortalama basınç değeri 1008.360 mbar, ortalama hava yoğunluğu 1.243424 kg/m³ değerine sahiptir.

80 metre yükseklikler için incelenen aylara ait rüzgar hızlarının saatlik esiş adetleri, esme frekansları ve istatistiksel dağılımlarından elde edilebilecek rüzgar hız olasılık yoğunluklarının karşılaştırılması sonucunda analizi yapılan bölgenin en fazla enerji üretim yoğunluğunun 3-6 m/s aralığında olduğu bulunmuştur.

Piyasadaki 80 metre ve civarı hub yüksekliğine sahip türbin modellerinin incelenmesi sonucunda, en fazla enerji üretim yoğunluğunun bulunduğu hız aralıklarında yüksek çıkış gücüne sahip ve bölgenin ortalama güç yoğunluğu değerine yakın olan Gamesa G-97 türbin modelinin bölge için en uygun model olacağına karar verilmiştir.

Seçilen rüzgar türbini ile incelenen 8 aylık sürecin sonunda yaklaşık olarak 1,290 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Türbinin ilgili aylar bazında kapasite faktörü değeri %11.10 olarak hesaplanmıştır.

Bölgenin farklı yükseklik değerlerinde iyi bir hız potansiyeline sahip olduğu, fakat ölçüm yapılan bölgedeki rüzgar verilerinin kararsız (süreksiz) olması sebebiyle enerji üretim verimliliğinin ve kapasite faktörünün düşük olduğu bulunmuştur. Bölgenin türbülans yoğunluğu değeri, türbin kurulumunun ekonomik bir değer taşımaması için gereken uygunluk kriterinin çok üstünde çıkmıştır. Bu durumun sebebi olarak, bölgenin coğrafik yapısı ve yüzey pürüzlülük faktörünün fazla olması gösterilebilir.

WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) gibi topoğrafik model, pürüzlülük değişim modeli ve engel perdeleme modellerini kullanarak ölçüm yapılan sahalardaki rüzgar verileri üzerinde etkili olan engellerin etki ve şartlarını yüksek bir doğruluk payı ile ortaya koyan programlar vasıtasıyla yer seçimi daha hassas kriterlere göre belirlenebilir ve enerji üretim yoğunluğu bu kriterlere göre hesaplanabilir.

Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü için şimdiye kadar rüzgar enerjisi potansiyelinin saptanmasına yönelik bir tez çalışması yapılmamıştır. Bu çalışma, Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsü'nün rüzgar enerjisi potansiyelinin saptanması kapsamında ilk çalışma olup, fizibilite niteliği de taşımaktadır.

Uygulama tezi kapsamında olan bu çalışma, ele alınan alanda farklı bölgelerde kullanılabilirliği sayesinde interaktif bir niteliktedir.

Rüzgar enerjisi, uzun dönemlere yayılan ilk yatırım geri ödeme süreleri olmayan, politik ve ekonomik açılarından diğer devletlere olan bağılılığı azaltan, yerli ve sürdürülebilir bir kaynak türü olmaktadır. Dolayısıyla ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen rüzgar enerjisi potansiyelin değerlendirilmesi çok büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kurban, M., Kantar Y., Hocaoğlu F.** (2006). Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Araştırılmasında Weibull Ve Rayleigh Dağılımlarının Kullanılması, Sakarya University Journal of Science, 10, 1, 14–21.
- [2] **Özgür, M.A.,** (2006). Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği, (Doktora Tezi), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [3] **Gökçek, M., Bayülken A., Bekdemir Ş.** (2007). Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey, Renewable Energy, 32, 10, 1739–1752.
- [4] **Bilgili, M., Şahin B., Şimşek E.** (2010). Türkiye'nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30, 1, 1–12.
- [5] **Talayoğlu, S.** (2010). Denizli İlinin Tavas İlçesine ait Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması ve Ekonomik Analiz, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Yalçın, Y.** (2010). İstanbul Terkos Bölgesi'nde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Gülersoy, T. ve Çetin, N. S.** (2010). Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması, Politeknik Dergisi, 13, 3, 209-213.
- [8] **Gürdal, T.** (2010). Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılama Olasılığının İrdelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [9] **Oral, F.** (2010). Sakarya-Esentepe Yöresi Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yeni Bir Yaklaşımla Belirlenmesi, (Doktora Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [10] **Taşkın, B.** (2013). Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralinin Fiziksel ve Ekonomik Analizi, (Yüksek Lisans Tezi), Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [11] **Yazar, A. H.** (2013). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünde Rüzgar Enerjisi Verimliliğinin İzlenmesi ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

- [12] **Mert, İ. Ve Karakuş, C.** (2015). Antakya Bölgesinde Rüzgar Gücü Yoğunluğu ve Rüzgar Hızı Dağılımı Parametrelerinin İstatiksel Analizi, Politeknik Dergisi, 18, 1, 35-42.
- [13] **Ammari, H. D., Saad A.R., Mohammad I. N.** (2015). Evaluation of wind energy potential and electricity generation at five locations in Jordan, Sustainable Cities and Society, 15, 135-143.
- [14] **Shu, Z.R., Li Q.S., Chan P.W.** (2015). Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong, Energy Conversion and Management, 101, 644-657.
- [15] **Belabes B., Youcefi A., Guerri O., Djamai M., Kaabeche A.** (2015). Evaluation of wind energy potential and estimation of cost using wind energy turbines for electricity generation in north of Algeria, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51, 1245-1255.
- [16] **Akkoyunlu, T.** (2015). Bodrum, Menteşe, Milas, Yatağan İlçelerinin Rüzgar Verilerinin Analiz Edilmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [17] **Kaplan, Y. A.** (2016). Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20, 1, 62–71.
- [18] **Emeksiz, C., Doğan Z., Gökrem L., Yavuz A. H.** (2016). Tokat Bölgesi Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Yöntemler ile İncelenmesi, Politeknik Dergisi, 19, 4, 481–489.
- [19] **Gökdemir, A.** (2017). Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Merkez Kampüsü Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [20] **Küçükcalay A. M.** (1997). Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2, 51-68.
- [21] **Hocaoğlu, F. O. ve Kurban, M.** (2005). Rüzgar Gücünden Elektrik Enerjisi Üretimi için Rüzgar Türbini Tasarımı, 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 17-18 Mayıs.
- [22] **Öztürk İ. ve Çelik A.** (2006). Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Kullanım Durumu ve Geleceğe Yönelik Beklentiler, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37, 2, 267-274.
- [23]<<https://epdf.tips/world-energy-investment-outlook-2003.html>>, Alındığı Tarih : 19.03.2019
- [24]<<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>>, Alındığı Tarih : 23.03.2019
- [25]<http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/imaaj/hp_dg_sektor_rpr_040515.pdf>, Alındığı Tarih : 23.03.2019
- [26]<http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/rapor/sektor_rapor_2017.pdf>, Alındığı Tarih : 23.03.2019

- [27]<<https://webstore.iea.org/download/summary/190?fileName=English-WEO-2018.pdf>> , Alındığı Tarih : 25.03.2019
- [28]<https://brusselsenergyclub.org/get_file/id/bp-energy-2035.-ocak-2014pdf.pdf>, Alındığı Tarih : 26.03.2019
- [29]<<https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>>, Alındığı Tarih : 26.03.2019
- [30]<https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf>, Alındığı Tarih : 01.06.2019
- [31] **Türkyılmaz, O.** (2015). Enerji Politikaları Artan Bağımlılık Çıkmazında, Ocak 2015 İtibariyle Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 200, 1-20.
- [32]<<https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>>, Alındığı Tarih: 05.04.2019
- [33]<https://www.eigm.gov.tr/file/?path=root%2f4%2fdocuments%2fenerji%20politikas%C4%B1%2fturkiye_ulusal_yenilenebilir_enerji_eylem_plani.pdf>, Alındığı Tarih : 07.04.2019
- [34]<<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.13594&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch>>, Alındığı Tarih: 08.04.2019
- [35] **Yılmaz, İ., İlbaş M., Su Ş.** (2003). Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri, Türkiye, 3-4 Ekim.
- [36]<<http://oilproduction.net/files/especial-BP/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>>, Alındığı Tarih : 09.04.2019
- [37]<<https://www.eia.gov/beta/international/>>, Alındığı Tarih : 10.04.2019
- [38] **Kaya, D.** (2006). Renewable energy policies in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 2, 152-163.
- [39] **Walker, F. J. ve Jenkins, N.** (1997). Wind Energy Technology, Wiley First edition, Canada.
- [40] **Koç E. ve Şenel M. C.** (2013). Dünyada ve Türkiyede Enerji Durumu Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makine Dergisi, 54, 639, 32-44.
- [41] **Tomabechi K.** (2010). Energy Resources in the Future, Energies, 3, 4, 686-695.
- [42] **Köse R.** (2004). An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Kütahya Turkey, Energy Conversion and Management, 45, 11-12, 1631-1641.
- [43] <<https://www.energy.eu/publications/a07.pdf>>, Alındığı Tarih:10.04.2019
- [44] **Durak, M. ve Özer, S.** (2008) “Rüzgar Enerjisi Teori ve Uygulama”, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Ankara, Türkiye.
- [45] **Öztürk, Z.** (2007). Tekirdağ Muratlı bölgesindeki rüzgar akış alan modellemesi, rüzgar enerjisi potansiyeli açısından fizibilite çalışması ve mevcut rüzgar türbinleri ile simülasyon, İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul.

- [46] **Karadağ, Ç., Gülsaç, I., Ersöz, A., Çalışkan, M.** (2009). Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *Bilim ve Teknik*, 498, 24-27.
- [47]<<https://www.sandia.gov/~jytsao/Solar%20FAQs.pdf>>, Alındığı Tarih : 15.04.2019
- [48]<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx>, Alındığı Tarih : 16.04.2019
- [49]<http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf>, Alındığı Tarih : 18.04.2019
- [50]<https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019%20/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf>, Alındığı Tarih: 21.04.2019
- [51] **Özdamar, A., Gürsel, K. T., Örer, G., Pekbey, Y.** (2004). Investigation of the Potential of Wind–Waves as a Renewable Energy Sources: by the Example of Cesme-Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 6, 581-592.
- [52]<<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>>, Alındığı Tarih: 23.04.2019
- [53] **Watt, F. ve Wilson, F.** (2001). Hava ve İklim, Nurol Matbaacılık, Ankara, Türkiye.
- [54]<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_yetistiriciligi.aspx>, Alındığı Tarih : 22.04.2019
- [55]<<https://www.bioenergyconsult.com/biomass-energy-sustainability/>>, Alındığı Tarih : 22.04.2019
- [56]<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_cevrim_tekno.aspx>, Alındığı Tarih : 22.04.2019
- [57] **Topal, M. ve Arslan E. I.** (2008). Biyokütle Enerjisi ve Türkiye, VII Ulusal Temiz enerji Sempozyumu, İstanbul, 17-21 Aralık.
- [58]<<https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/biyokutle>>, Alındığı Tarih : 24.04.2019
- [59] **Külekcı, Ö. C.** (2004). Investigation of the Potential of Wind–Waves as a Renewable Energy Sources: by the Example of Cesme-Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 6, 581-592.
- [60]<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/jeo_kullanım_alanlari.aspx>, Alındığı Tarih : 22.04.2019
- [61] **Anonim.** (2006). Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye Çevre Vakfı, Ankara, Türkiye.
- [62]<<http://geo-energy.org/potentialUse.aspx#now>>, Alındığı Tarih : 22.04.2019
- [63] **Köse, R.** (2005). Research on the Generation of Electricity From the Geothermal Resources in Simav Region, Turkey, *Renewable Energy*, 30, 1, 67-79.
- [64]<<https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/jeotermal>>, Alındığı Tarih : 25.04.2019
- [65]<<http://www.jeotermalderneği.org.tr/sayfalar-Turkiye-39-de-Jeotermal>>, Alındığı Tarih : 25.04.2019

- [66]<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx>,
Alındığı Tarih : 28.04.2019
- [67] **Rajput R. K.** (2006). Power System Engineering, Firewall Media, New Delhi, India.
- [68] **Çukurçayır, M. A. ve Sağır, H.** (2008). Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20, 257-278.
- [69] **Neale J.** (2009). Küresel Isınmayı Durduralım Dünyayı Değiştirelim, Yordam Kitap, İstanbul, Türkiye.
- [70] **Türkyılmaz, O.** (1998). 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD-T, 239.
- [71]<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx>,
Alındığı Tarih : 28.04.2019
- [72] **Yerebakan, M.** (2001). Rüzgar Enerjisi, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- [73]<https://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/11/GWEO_2012_lowRes.pdf>,
Alındığı Tarih : 30.04.2019
- [74] **Nelson V.** (2013). Wind Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press Second Edition, Florida, USA.
- [75] **Acaroğlu M.** (2007). Alternatif enerji kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım 2. Basım, Ankara, Türkiye.
- [76]<<http://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=mahalliruzgarisimleri>>,
Alındığı Tarih : 30.04.2019
- [77] **Çolak, İ. ve Demirtaş M.** (2008) Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye'deki Gelişimi, TUBAV Bilim Dergisi, 1, 2, 55-62.
- [78] **Öğüt, V.** (2014). Rüzgar Hızının Sinirsel Bulanık Yöntemle Tahmini, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [79] **Akpınar, E.K. ve Akpınar, S.** (2004). Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Ağın-Elazığ, Turkey, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 218, 8, 557-565.
- [80] **Nurbay, N. ve Çınar, A.** (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, 19-21 Ekim.
- [81] **Gipe P.** (2003). Wind Energy Basics, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, USA.
- [82] **Elibüyük, U. ve Üçgül İ.** (2014). Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri, Yekarum e-Dergi, 2, 3, 1-14.
- [83] **Köse F. ve Özgören M.** (2005). Rüzgar enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgar türbini, Mühendis ve Makina Dergisi, 46, 551, 20-30.

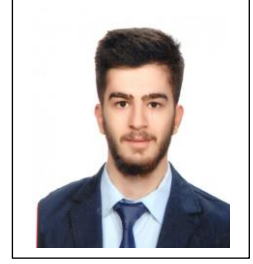
- [84] **Tong, W.** (2010). Wind Power Generation and Wind Turbine Design, WIT Press, Southampton, UK.
- [85]<http://ansys.deu.edu.tr/wp-content/uploads/cmdm/742/1450969066_ruzgar_turbini_kanat_tasarimi_ve_analizi.pdf>, Alındığı Tarih : 01.05.2019
- [86]<<http://www.ruzgarsempozyumu.org/wp-content/uploads/2014/08/0161.pdf>>, Alındığı Tarih : 01.05.2019
- [87] **Amano R. S. ve Sundén B.** (2014). Aerodynamics of Wind Turbines: Emerging Topics, WIT Press, Southampton, UK.
- [88]<http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=504>, Alındığı Tarih : 03.05.2019
- [89] **Uyar, M. ve Gençoğlu, M. T.** (2005). Değişken hızlı rüzgar türbinleri için generatör sistemleri, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, 19-21 Ekim.
- [90] **Hemami A.** (2012). Wind Turbine Technology, Cengage Learning, Boston, USA.
- [91] **El-Osta, W. ve Kalifa, Y.** (2002). Prospects of wind power plants in Libya: A case study, Renewable Energy, 28, 3, 363-371.
- [92] **Özerdem, B., Özer, S., Tosun, M.** (2006). Feasibility study of wind farms: A case study for İzmir, Turkey, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 94, 10, 725-743.
- [93]<http://www.emo.org.tr/ekler/457ed884716a0c9_ek.pdf>, Alındığı Tarih : 04.05.2019
- [94] **Mathew, S.** (2006). Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics, Springer, Berlin, Germany.
- [95] **Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers A. L.** (2002). Wind Energy Explained, John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- [96] **Janardan, S. R. ve Nelson V.** (1994). Wind Characteristics: An Analysis for the Generation of Wind Power, Alternative Energy Institute, Texas, USA.
- [97] **Lettau, H.,** (1969). Note On Aerodynamic Roughness- Parameter Estimation On The Basis Of Roughness-Element Description, Journal of Applied Meteorology, 8, 5, 828-832.
- [98]<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/1191-GWEC_Global_Wind_Report_April_2018.pdf>, Alındığı Tarih : 05.05.2019
- [99] **Çelik, A. N.** (2011). Review of Turkey's current energy status: A case study for wind energy potential of Çanakkale province, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 6, 2743-2749.
- [100]<http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html>, Alındığı Tarih : 02.05.2019
- [101]<http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/istatistik_raporu_ocak_2019.pdf>, Alındığı Tarih : 01.05.2019

- [102]<https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf>, Alındığı Tarih : 03.05.2019
- [103]<<http://kirklareli.bel.tr/kent-tarihi-ve-haritasi/>>, Alındığı Tarih : 28.04.2019
- [104] **Anonim.** Ergene Havzası Çevre Düzeni Planı (2002). Analitik Rapor, Trakya Üniversitesi.
- [105]<<http://www.davis-tr.com/Istasyonlar.html>>, Alındığı Tarih : 27.04.2019
- [106] **Jaramillo O. A ve Borja M. A.** (2004). Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case, *Renewable Energy*, 29, 10, 1613-1630.
- [107] **Sarkar, A., Singh, S., Mitra, D.** (2011). Wind climate modeling using Weibull and extreme value distribution, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3, 5, 100-106.
- [108] **Olaofe, Z. O. ve Folly, K. A.** (2012). Statistical Analysis of Wind Resources at Darling for Energy Production, *International Journal of Renewable Energy Research*, 2, 2, 250-261.
- [109] **Yong, H. O. U., Yidong, P. E., Johnson, A. L., Jing, S. H.** (2012). Empirical Analysis of Wind Power Potential at Multiple Heights for North Dakota Wind Observation Sites, *Energy Science & Technology*, 4, 1, 1-9.
- [110] **Cliff, W. C. (1977).** The Effect of generalized wind characteristics on annual power estimates from wind turbine generators, PNL-2436 Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington.
- [111] **Paulo, A. C. R., Ricardo C. S., Carla F. A., Maria E. V. S.** (2012). Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region of Brazil, *Applied Energy*, 89, 1, 75-84.
- [112] **Seguro, J. V. ve Lambert T. W.** (2000). Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85, 1, 395-400.
- [113] **Wilks, D. S.** (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Elsevier second edition, California, USA.
- [114] **Akpınar E. K. ve Akpınar S.** (2004). Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 45, 18-19, 2901-2914.
- [115] **Li M ve Li X.** (2005). Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region, Canada, *Energy Conversion and Management*, 46, 18-19, 3014-3033.
- [116] **Ülgen K., Genç A., Hepbaşlı A., Oturañç G.** (2004). Assessment of wind characteristics for energy generation, *Energy Sources*, 26, 13, 1227-1237.

[117]<<https://www.siemensgamesa.com/-/media/siemensgamesa/downloads/en/products-and-services/onshore/brochures/legacy-gamesa/siemens-gamesa-onshore-wind-turbine-g97-en.pdf>>,
Alındığı Tarih : 10.05.2019

[118]<<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/764-gamesa-g97>>,
Alındığı Tarih : 10.05.2019

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Bekir Adem ÇAKMAKÇI
Doğum Tarihi ve Yeri : 16/05/1991 ISPARTA
E-posta : bcakmakci@klu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Araştırma Görevlisi : Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü (Şubat 2017-Devam Ediyor)

DiĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Çakmakçı, B.A., Hüner E., Dindar T., Bektaş Y., (2018). Fotovoltaik Termal Sistemlerin Yararlı İş Potansiyeli, 2. Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, Antalya, 26-29 Nisan. (Özet Sunum)
- Çakmakçı, B.A., Hüner E., Dindar T., Bektaş Y., (2018). Fotovoltaik Termal Sistemlerin Yararlı İş Potansiyeli, Mesleki Bilimler Dergisi, 7, 2, 16-23.
- Çakmakçı, B.A., Hüner E., (2019). Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsünün Dönemsel Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Bulunması, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5, 1, 40-57.