

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



**RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN WASP PROGRAMI İLE
BELİRLENMESİ**

Fuat ÖZEK

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı

KASIM, 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN WASP PROGRAMI İLE
BELİRLENMESİ**

Tez Yazarı
Fuat ÖZEK

Danışman
Prof. Dr. Ebru AKPINAR

KASIM, 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin WAsP Programı ile Belirlenmesi
Yazarı: Fuat ÖZEK
İlk Teslim Tarihi: 29.8.2022
Savunma Tarihi: 15.11.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Ebru AKPINAR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Mehmet DAŞ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin WAsP Programı İle Belirlenmesi” Başlıklı Tez Çalışmasının içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

15/ 11/ 2022

Fuat ÖZEK



ÖNSÖZ

Tez çalışmamda, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı şekillendiren danışman hocam Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR’a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince göstermiş olduğu sabır ve desteklerden dolayı değerli abim Fahrettin ÖZEK’e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince göstermiş olduğu yardım ve desteklerden dolayı değerli arkadaşım Mahmut Nedim TANSU’ya teşekkür ederim.

Çalışmamda istatistiksel analizler için ihtiyaç duyduğum rüzgâr hızı verilerini temin etmemi sağlayan İzmir Meteoroloji Müdürlüğü’ne saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda altı ay boyunca öğrenci lisanslı olarak kullandığım WAsP paket programı için Danimarka Teknik Üniversitesine saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım ve tez çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fuat ÖZEK

ELAĞIÇ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. RÜZGÂR ENERJİSİ VE ÖZELLİKLERİ.....	4
3.1. Rüzgâr Enerjisi ve Kategorileri.....	4
3.2. Rüzgâr Enerjisi Avantajları.....	7
3.3. Rüzgâr Enerjisi Dezavantajları.....	7
3.4. Rüzgâr Enerjisi Kullanım Alanları.....	8
4. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ.....	9
4.1. Dünyada Rüzgâr Enerjisi.....	9
4.2. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi.....	12
4.3. İzmir’de Rüzgar Enerjisi.....	15
5. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	17
5.1. Rüzgâr Türbinleri ve Nitelikleri.....	17
5.1.1. Eksen Yapısına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	18
5.1.2. Kanatçık Sayısına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	20
5.2. Rüzgâr Türbini Unsurları.....	22
5.2.1. Rotor Kanatları.....	23
5.2.2. Yaw Mekanizması.....	23
5.2.3. Kule.....	23
6. MATERYAL VE METOT.....	24
6.1. Rüzgâr Verileri.....	24
6.2. Weibull Dağılım Metodu.....	24
6.3. WAsP ve WRPLOT Yazılımları.....	25
7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	27
7.1. İzmir Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi.....	27
7.2. İzmir Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları.....	28
7.3. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu.....	34
7.4. Rüzgâr Verilerinin Analizi.....	36
7.5. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü.....	41
7.6. Çeşme Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi.....	44
7.7. Çeşme Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları.....	45
7.8. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu.....	51
7.9. Rüzgâr Verilerinin Analizi.....	53
7.10. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü.....	58

7.11. Dikili Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi	61
7.12. Dikili Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları	62
7.13. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu	68
7.14. Rüzgâr Verilerinin Analizi	70
7.15. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü.....	75
7.16. Karaburun Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi	78
7.17. Karaburun Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları	79
7.18. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu	85
7.19. Rüzgâr Verilerinin Analizi	87
7.20. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü.....	92
7.21. Tire Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi.....	95
7.22. Tire Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları	96
7.23. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu	102
7.24. Rüzgâr Verilerinin Analizi	104
7.25. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü.....	109
7.26. Urla Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi	112
7.27. Urla Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları	113
7.28. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu	119
7.29. Rüzgâr Verilerinin Analizi	121
7.30. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü.....	126
8. SONUÇLAR.....	129
KAYNAKLAR.....	130
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin WAsP Programı ile Belirlenmesi

Fuat ÖZEK

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım 2022, Sayfa: xvi+132

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi son yıllarda hızla kullanılmaya başlanmıştır. Dünyada birçok ülke, hammadde maliyeti olmayan, yerli, sürekli ve temiz bir enerji kaynağı olması, dışa olan enerji bağımlılığının azaltılması, türbinlerin hızlı kurulumu gibi nedenlerle rüzgâr enerjisini diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha çok tercih etmektedir. Tezde öncelikle rüzgâr enerjisi hakkında temel bilgiler verilmiş ve rüzgâr enerjisinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Rüzgâr enerjisinin dünya üzerindeki ve ülkemizdeki durumu hakkında bilgiler verilmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin batısında bulunan İzmir ilinin rüzgâr karakteristikleri ve rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Bu amaçla, İzmir Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden, 2016- 2020 yılına ait rüzgâr verileri alınmış ve bu verilere dayanarak İzmir ilinin rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Rüzgâr Enerjisi, WAsP, Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İstatistiksel Olarak Belirlenmesi

ABSTRACT

Determination of Wind Potential and Analysis of Wind Energy with WAsP Program

Fuat ÖZEK

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
November 2022, Pages: xvi+132

The use of wind energy from renewable energy sources has been rapid in recent years increase. Many countries in the world, domestic, continuous, without cost of raw materials, being a clean energy source, reducing dependence on the outside, rapidly for reasons such as the realization of wind energy. In the seminar, basic information about wind energy was given and the advantages and disadvantages of wind energy were discussed. The current state of wind energy in the world and in Turkey has been revealed.

In this study, wind characteristics and wind energy potential of İzmir province in western Turkey were examined. For this purpose, wind energy data for 2016 - 2020 were obtained from İzmir State Meteorological Affairs General Directorate and based on this data, the wind energy potential of Izmir province was analyzed statistically.

Keywords: Renewable Energy, Wind Energy, WAsP, Statistical Determination of Wind Energy Potential

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Rüzgar Enerjisinin Değişimi.....	5
Şekil 3.2. Coriolis enerjisinin küresel rüzgârlara tesiri	6
Şekil 4.1. Toplam Rüzgâr Kurulum Potansiyeli Tarihi İlerlemesi	9
Şekil 4.2. 2030'a kadar kurulma ihtimali olan Küresel Rüzgâr Enerjisi Santrali (GW)	11
Şekil 4.3. Yeni Rüzgar Enerjisi Santralleri Kurulumları Kara (Onshore) ve Deniz Üstü (Offshore).	11
Şekil 4.4. Türkiye Rüzgar Atlası.....	12
Şekil 4.5. Türkiye’de RES kurulu gücü	14
Şekil 4.6. Türkiye Rüzgar Enerji Santrali Elektrik imalat oranları	15
Şekil 4.7. İzmir İli Rüzgar Enerjisi Potansiyel Haritası	16
Şekil 5.1. Rüzgâr gücünün kinetik enerjiden elektrik gücüne değişimi.	17
Şekil 5.2. Tribün değişkenleri.	18
Şekil 5.3. Yatay eksene sahip rüzgar türbini.....	19
Şekil 5.4. Düşey eksenli türbin.	20
Şekil 5.5. Kanat sayıları farklı rüzgâr türbinleri.....	21
Şekil 5.6. Rüzgâr türbini unsurları	22
Şekil 6.1. WAsP Yazılımı Weibull Ortalama Güç Hesaplama Ara Yüzü.....	26
Şekil 6.2. WRPLOT View Programının Ara Yüzü	26
Şekil 7.1. İzmir Bölge istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri	27
Şekil 7.2. İzmir Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	29
Şekil 7.3. İzmir bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	29
Şekil 7.4. İzmir bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	30
Şekil 7.5. İzmir bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	30
Şekil 7.6. İzmir bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	31
Şekil 7.7. İzmir bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	31
Şekil 7.8. İzmir bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	32
Şekil 7.9. İzmir bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	32
Şekil 7.10. İzmir bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	33
Şekil 7.11. İzmir bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	33
Şekil 7.12. İzmir Bölge İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri	34
Şekil 7.13. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)	36
Şekil 7.14. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları(2017)	37

Şekil 7.15.	İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)	38
Şekil 7.16.	İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)	39
Şekil 7.17.	İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)	40
Şekil 7.18.	İzmir Bölge istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü	41
Şekil 7.19.	İzmir Bölge istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü	41
Şekil 7.20.	İzmir Bölge istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü	42
Şekil 7.21.	İzmir Bölge istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü	42
Şekil 7.22.	İzmir Bölge istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü	43
Şekil 7.23.	Çeşme istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri	44
Şekil 7.24.	Çeşme Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	46
Şekil 7.25.	Çeşme bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	46
Şekil 7.26.	Çeşme bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	47
Şekil 7.27.	Çeşme bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	47
Şekil 7.28.	Çeşme bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	48
Şekil 7.29.	Çeşme bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	48
Şekil 7.30.	Çeşme bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	49
Şekil 7.31.	Çeşme bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	49
Şekil 7.32.	Çeşme bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	50
Şekil 7.33.	Çeşme bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	50
Şekil 7.34.	Çeşme İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri	51
Şekil 7.35.	Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016) ...	53
Şekil 7.36.	Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017) ...	54
Şekil 7.37.	Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018) ...	55
Şekil 7.38.	Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019) ...	56
Şekil 7.39.	Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020) ...	57
Şekil 7.40.	Çeşme istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü	58
Şekil 7.41.	Çeşme istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü	58
Şekil 7.42.	Çeşme istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü	59
Şekil 7.43.	Çeşme istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü	59
Şekil 7.44.	Çeşme istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü	60
Şekil 7.45.	Dikili istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değer	61
Şekil 7.46.	Dikili Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	63
Şekil 7.47.	Dikili bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	63
Şekil 7.48.	Dikili bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	64

Şekil 7.49.	Dikili bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	64
Şekil 7.50.	Dikili bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	65
Şekil 7.51.	Dikili bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	65
Şekil 7.52.	Dikili bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	66
Şekil 7.53.	Dikili bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	66
Şekil 7.54.	Dikili bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	67
Şekil 7.55.	Dikili bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	67
Şekil 7.56.	Dikili İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri	68
Şekil 7.57.	Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016).....	70
Şekil 7.58.	Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017).....	71
Şekil 7.59.	Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018).....	72
Şekil 7.60.	Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019).....	73
Şekil 7.61.	Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020).....	74
Şekil 7.62.	Dikili istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü	75
Şekil 7.63.	Dikili istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü	75
Şekil 7.64.	Dikili istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü	76
Şekil 7.65.	Dikili istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü	76
Şekil 7.66.	Dikili istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü	77
Şekil 7.67.	Karaburun istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değeri	78
Şekil 7.68.	Karaburun Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	80
Şekil 7.69.	Karaburun bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi ...	80
Şekil 7.70.	Karaburun bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	81
Şekil 7.71.	Karaburun bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi ...	81
Şekil 7.72.	Karaburun bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	82
Şekil 7.73.	Karaburun bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi ...	82
Şekil 7.74.	Karaburun bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	83
Şekil 7.75.	Karaburun bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi ...	83
Şekil 7.76.	Karaburun bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	84
Şekil 7.77.	Karaburun bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi ...	84
Şekil 7.78.	Karaburun İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri	85

Şekil 7.79.	Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)	87
Şekil 7.80.	Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)	88
Şekil 7.81.	Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)	89
Şekil 7.82.	Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)	90
Şekil 7.83.	Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)	91
Şekil 7.85.	Karaburun istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü	92
Şekil 7.86.	Karaburun istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü	93
Şekil 7.87.	Karaburun istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü	93
Şekil 7.88.	Karaburun istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü	94
Şekil 7.89.	Tire istasyonu 2016 yılı için ortalama yıllık rüzgâr hızı değeri	95
Şekil 7.90.	Tire Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	97
Şekil 7.91.	Tire bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	97
Şekil 7.92.	Tire bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	98
Şekil 7.93.	Tire bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	98
Şekil 7.94.	Tire bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	99
Şekil 7.95.	Tire bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	99
Şekil 7.96.	Tire bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	100
Şekil 7.97.	Tire bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	100
Şekil 7.98.	Tire bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	101
Şekil 7.99.	Tire bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	101
Şekil 7.100.	Tireİstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri.....	102
Şekil 7.101.	Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)	104
Şekil 7.102.	Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)	105
Şekil 7.103.	Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)	106
Şekil 7.104.	Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)	107
Şekil 7.105.	Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)	108
Şekil 7.106.	Tire istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü	109
Şekil 7.107.	Tire istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü	109
Şekil 7.108.	Tire istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü	110
Şekil 7.109.	Tire istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü	110

Şekil 7.110. Tire istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü	111
Şekil 7.111. Urla istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değeri	112
Şekil 7.112. Urla Bölgesi 2016 yılı için “olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	114
Şekil 7.113. Urla bölgesi 2016 yılı için “olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	114
Şekil 7.114. Urla bölgesi 2017 yılı için “olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	115
Şekil 7.115. Urla bölgesi 2017 yılı için “olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	115
Şekil 7.116. Urla bölgesi 2018 yılı için “olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	116
Şekil 7.117. Urla bölgesi 2018 yılı için “olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	116
Şekil 7.118. Urla bölgesi 2019 yılı için “olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	117
Şekil 7.119. Urla bölgesi 2019 yılı için “olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	117
Şekil 7.120. Urla bölgesi 2020 yılı için “olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	118
Şekil 7.121. Urla bölgesi 2020 yılı için “olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	118
Şekil 7.122. Urla İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri	119
Şekil 7.123. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)	121
Şekil 7.124. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)	122
Şekil 7.125. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)	123
Şekil 7.126. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)	124
Şekil 7.127. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)	125
Şekil 7.128. Urla istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü.....	126
Şekil 7.129. Urla istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü.....	126
Şekil 7.130. Urla istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü.....	127
Şekil 7.131. Urla istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü.....	127
Şekil 7.132. Urla istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü.....	128
Şekil 7.133. WAsP Climate Analyst programına aktarılabacak ham veri örneği.....	128
Şekil 7.134. WAsP Climate Analyst Programında veriler girildikten sonra sonuçların elde edilmesi	128

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1.	Ölçüm İstasyonunun Coğrafik Koordinatı	24
Tablo 7.1.	İzmir Bölge istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull değişkenleri	28
Tablo 7.2.	Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	35
Tablo 7.3.	Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	35
Tablo 7.4.	Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	35
Tablo 7.5.	Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi	36
Tablo 7.6.	Çeşme istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri.....	45
Tablo 7.7.	Bölgenin 2016-2017 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi ..	52
Tablo 7.8.	Bölgenin 2018-2019 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi ..	52
Tablo 7.9.	Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	52
Tablo 7.10.	Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi	53
Tablo 7.11.	Dikili istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri	62
Tablo 7.12.	Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	69
Tablo 7.13.	Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	69
Tablo 7.14.	Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	69
Tablo 7.15.	Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi	70
Tablo 7.16.	Karaburun istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri	79
Tablo 7.17.	Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	86
Tablo 7.18.	Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	86
Tablo 7.19.	Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	86
Tablo 7.20.	Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi	87
Tablo 7.21.	Tire istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri.....	96
Tablo 7.22.	Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	103
Tablo 7.23.	Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	103
Tablo 7.24.	Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	103

Tablo 7.25. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi	104
Tablo 7.26. Urla istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri	113
Tablo 7.27. Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	120
Tablo 7.28. Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	120
Tablo 7.29. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi	120
Tablo 7.30. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi	121



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

c	: Weibull Ölçek Katsayısı, m/s
h	: Yükseklik, m
k	: Weibull Şekil Katsayısı, (boyutsuz)
P	: Weibull Ortalama Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli W/m^2
v	: Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
V	: Rüzgâr Hızı (m/s)
λ	: Uç-Hız Oranı

Kısaltmalar

COP26	: 2021 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
F(v)	: Weibull Dağılım Fonksiyonu
GW	: Gigawatt
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
kW	: Kilowatt
LCOE	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
MW	: Megawatt
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
TÜREB	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
WAsP	: Wind Atlas Analysis and Application Program
WWEA	: Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, dünya sanayisinin ve ekonomisinin gelişmesi, insanlığın enerjiye olan talebini artırmıştır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil enerjilerin azalması, dünyanın dört bir yanındaki ülkeleri yenilenebilir enerjiye geçmeye teşvik etmiştir. Rüzgâr enerjisi diğer enerji kaynaklarına göre daha çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarının başında gelmektedir [1]. Rüzgârın iş yapabilme gücü eski çağlardan beri insanlığın ilgisini çekmiş, tahıl öğütme, su pompalama, yelkenli gemiyle ulaşım gibi yeniliklere günümüze kadar kaynaklık etmiştir [2].

Rüzgâr Enerjisi 1990'lı yıllardan günümüze kadar önemli bir yol kat etmiş, bu ilerlemeler neticesinde Amerika ve Avrupa'da kullanımı yaygınlaşmıştır. Araştırmalara göre mevcut politikanın devam etmesi halinde; rüzgâr enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisinin dünya elektrik üretimindeki payının hızla artması öngörülmektedir [3].

Rüzgâr, atmosferin ısınması ve soğuması sonucunda oluşan sıcaklık ve basınç farkından meydana gelmektedir. Rüzgâr; sürekliliği olan kararlı ve güvenilir bir kinetik enerjinin en uygun kaynaklarından biridir.

Rüzgârın ortaya çıkmasına neden olan atmosferin bürüt kinetik gücünün 190×10^9 kW olduğu bilinmektedir. 50° kuzey ve güney paralelleri arasında dünyanın 3×10^9 kW mevcut kinetik rüzgâr enerjisi potansiyelinin sadece %33'lük kısmının kullanılabileceği yönünde bir görüş vardır. Dünyanın alabildiği toplam güneş enerjisinin tahminen %2'sinin rüzgârdan kinetik enerjiye dönüştürüldüğü öngörülmektedir. Tahmin edilen bu miktarın dünyadaki toplam enerji tüketiminin 100'lerce katına denk geldiği dikkate alındığında rüzgâr enerjisinin değeri daha da anlaşılmaktadır [4].

Ülkemiz karasal rüzgâr enerjisi kaynakları bakımından zengindir. Rüzgâr enerjisi potansiyelimizin yüksek olduğu bölgeler Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz kıyılarıdır [5].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bugüne kadar pek çok kişi Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelini araştırmıştır [6, 7-15]. Bu çalışmalara örnek verecek olursak;

Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1993 yılında rüzgâr haritası çalışması başlatılmıştır. Bu çalışmalar için toplam 43 meteoroloji istasyonundan rüzgâr verileri alınmış ve WASP paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçülen 10 m yükseklikteki verilere göre yıllık ortalama rüzgâr hızının değerlendirilmesi neticesinde; Anamur, Samsun, Afyon, Malatya, Sarıyer, Antalya, Akhisar, Isparta illerinin ortalama rüzgâr hızı değerleri 2,7 ile 3,5 m/s arasında, Sinop, Çorlu, Bodrum, İnebolu, Bergama, Çanakkale illerinin ortalama rüzgâr hızı değerleri 3,5 ile 4 m/s arasında, Bandırma, Mardin ve Antakya illerinin ortalama rüzgâr değerleri ise 4 ile 6 m/s arasındadır. Bozcaada'da 6,2 m/s ile en yüksek hıza sahip olduğu tespit edilmiştir [6].

Çelik, WASP paket programı yardımıyla iki parametrelili Weibull dağılımını kullanarak Antakya ve İskenderun'un rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Adana, Yumurtalık, Antakya, Samandağ, İskenderun, Dörttyol ve Karataş meteoroloji istasyonundan saat başı alınan rüzgâr hızı ve yön verileri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda bölgeye yatırım yapmanın uygun olacağı söylenmiştir [7].

Tağıl, araştırmasında 1990 ile 1996 yılları arasında Sinop Hava İstasyonunda 10 m yükseklikten saat başı ölçülen rüzgâr hızı bilgilerini kullanmıştır. Günlük rüzgâr hızı datalarını belli başlı periyotlarda değerlendirdikten sonra rüzgâr haritalarına ait istatistiklerine ulaşmak için WASP (Rüzgâr Atlası Analizi ve Uygulama Programı) bilgisayar programını kullanmıştır. Çalışma alanında rüzgâr hızı değerlerine mevsimsel olarak bakıldığında kışın ve yazın yüksek, ilkbahar ve sonbaharda ise düşük olduğu belirlenmiştir [8].

Cerit ve diğ. [9] 1998 ve 1999 yılları arasında Isparta ilinde rüzgâr enerjisi üretim potansiyelini araştırmışlardır. Mart ayında istasyondan 10 m yükseklikte ölçülen değerlere bakıldığında maksimum rüzgâr hızı değeri 2,4 m/s, Kasım ayında ise 30 m yükseklikte ölçülen değerlere bakıldığında maksimum rüzgâr hızı 2,75 m/s olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerlere göre Isparta bölgesindeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin elektriğe döndürmek amacıyla üretilmesinin elverişli olduğu tespit edilmiştir.

Kavak Akpınar ve Akpınar, araştırmalarında 1988 ile 2002 seneleri içerisinde rüzgar hızı verilerini belli başlı periyotlarda değerlendirmiş ve buna bağlı olarak, Weibull ve Rayleigh istatistik simülasyon fonksiyonlarını kullanarak Elâzığ-Ağın bölgesi için rüzgâr enerjisinin mevcut sahip olduğu gücü incelemişlerdir. Rüzgâr enerjisinin potansiyelinin elektrik üretmek için uygun olmadığı ancak yapılan çalışma sonuçlarına göre pil şarj etme ve pompalama gibi elektrik dışı ve mekanik olmayan uygulamalar için elverişli olabileceği tespit edilmiştir. Yaptıkları

çalışma neticesinde Weibull dağılımının Rayleigh dağılımına göre daha faydalı sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [10].

Kavak Akpınar, araştırmasında 1988'den 2002'ye kadar Elâzığ, Keban, Maden ve Ağın bölgelerinin gün içinde belli başlı saatlerde ölçüm altına alınan rüzgâr hızı datalarını kullanmıştır. Weibull ve Rayleigh istatistik dağılıma işlevleri ile bu bölgelerin rüzgâr hızı değerlerini kullanarak enerji potansiyellerini incelemiştir. Ortalama rüzgâr hızı değerinin Elazığ'da 3,14 m/s, Maden'de 5,66 m/s, Keban'da 2,27 m/s ve Ağın'da 3,86 m/s olduğunu hesaplamıştır. Rüzgâr hızının yazın yüksek, kışın ve ilkbaharda düşük olduğunu tespit etmiştir. Weibull istatistik dağılım fonksiyonunun tüm istasyonlar için Rayleigh istatistik dağılım fonksiyonuna göre daha faydalı olduğunu gözlemlemiştir [11].

Kurban ve diğ. [12] araştırmalarında Ekim, Eylül, Ağustos ve Temmuz 2005' te 15 saniyelik zaman dilimlerinde ölçülen rüzgâr hızı değerleriyle Eskişehir'in rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmek için Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonlarını kullanmıştır. Bu dağılımların parametrelerini bulmak için maksimum olabilirlik yöntemini kullanmışlardır. Analiz sonucunda rüzgâr hızını Weibull dağılımının Rayleigh ile kıyaslandığında bu mevcut modelin diğer modelden iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Albostan ve diğ. [13] araştırmalarında İstanbul da bir Üniversitenin kampüsündeki rüzgâr ölçüm laboratuvarında otuz dakikalık zaman dilimlerinde elde edilen rüzgâr verilerini kullanarak 2008 yılı Şubat-Temmuz ayları için Weibull dağılımı ile kampüsün rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Araştırma neticesinde alanın rüzgâr enerjisi üretimi için uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Bilgili ve diğ. [14] araştırmalarında Söke, Foça, Akhisar, Gökçeada, Datça, Bababurnu, Gelibolu, Gelendost ve Belen ilçelerinin rüzgâr enerjisi yönünden durumlarının istatistiksel olarak analizini gerçekleştirmişlerdir. İlçelerin rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmek için Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanmışlardır. Weibull dağılımı, yapılan tüm analizlerde Rayleigh dağılımından daha faydalı sonuçlar vermektedir. Bu alanlarda rüzgâr enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğu ortaya çıkmış ve rüzgâr türbini yapımına uygun olduğu görülmüştür.

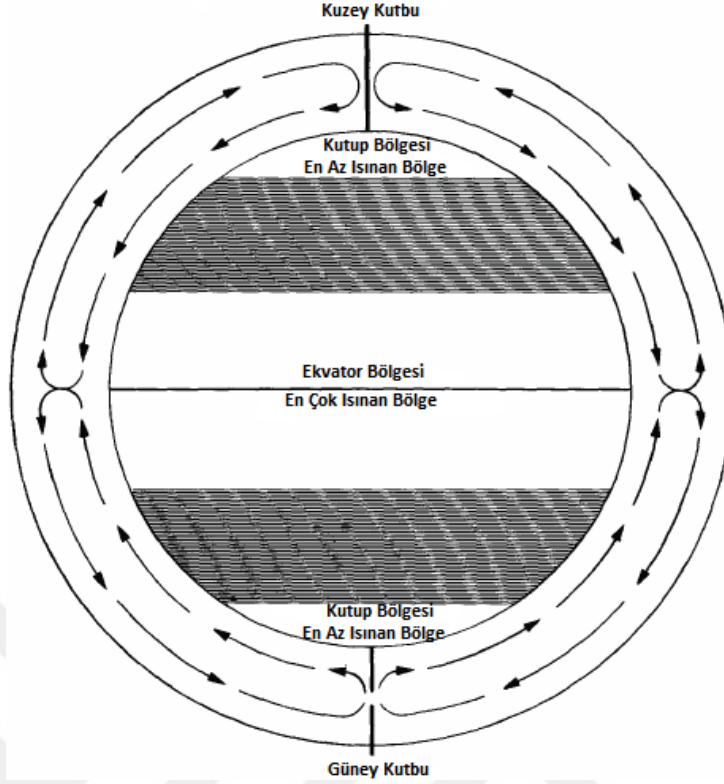
Kaplan, araştırmasında 2013 senesinde her saat başı alınan rüzgâr hızı verilerinden çıkarılan dayanağa göre Osmaniye ilçesinin rüzgâr gücünü istatistiki açıdan analizini yapmış ve mevcut ilçenin rüzgâr gücünü incelemek için Weibull ve Rayleigh dağılımlarını uygulamış bunun sonucunda da Weibull dağılımı kullanılarak ulaşılan sonuçların Rayleigh dağılımı kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğunu tespit etmiştir [15].

3. RÜZGÂR ENERJİSİ VE ÖZELLİKLERİ

Dünya üzerindeki farklı sıcaklık dağılımlarından dolayı yeryüzünün ısınması ve soğuması sonucunda meydana gelen kuvvetler etkisiyle oluşan hava hareketleri rüzgâr olarak adlandırılmaktadır. Rüzgârı meydana getiren hava akımının kinetik enerjisi ise rüzgâr enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Atmosferde, yer yüzeyindeki havayı hareket ettirerek rüzgârı oluşturan ve rüzgâr hızını etkileyen belirli kuvvetler vardır. Bunlar; sürtünme kuvveti, merkezkaç kuvveti, coriolis kuvveti ve basınç gradyan kuvvetidir. Havayı basıncın yüksek olduğu taraftan alçak olduğu tarafa doğru hareket ettirmeye çalışan kuvvet basınç gradyan kuvveti olarak adlandırılır. Coriolis kuvveti, dünyanın dönüşünün sapma kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr genellikle bir merkez etrafında hareket etmektedir. Bu hareket sonucunda dolaşımın merkezinden uzaklaşmak isteyen bir güçten etkilenmektedir. Bu kuvvet merkezkaç kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Sürtünme kuvveti ise rüzgâr hızını düşürmeye çalışan kuvvettir. Sürtünme kuvveti yere yakın yerlerde en fazladır ve türbülans ile taşınmaktadır. Rüzgâr sürtünmesi tarafından üretilen bu kuvvet, yerden 450 ile 600 m yükseklik arasında rüzgâr hızını düşürmektedir [16].

3.1. Rüzgâr Enerjisi ve Kategorileri

Kısaca rüzgârın tanımı devinim halinde olan hava şeklinde ifade edilebilir. Güneş, dünya genelindeki bütün yaşamın ve enerjinin doğrudan veya dolaylı kaynağı olduğu gibi, aynı zamanda rüzgârın meydana gelmesine de sebep olmaktadır. Dünyanın geometrik yapısı ve yörünge hareketleri nedeniyle güneş dünyamızın her bölgesini eşit bir şekilde ısıtamamaktadır. Bu olay sonucunda meydana gelen basınç ve sıcaklık farklılıkları rüzgâr oluşumunda en etkili sebep olarak karışımıza çıkmaktadır. Dünyadaki temel rüzgâr hareketini açıklarsak; ekvator ve çevresinde sıcaklığın yüksek olmasından dolayı ısınma yüksek, kutuplarda ise sıcaklık düşük olduğundan ısınma da düşüktür. Ekvatorda sıcaklık sonucu ısınmış olan en etkisiz hava, atmosferdeki yukarı tabakalarına yükselerek, kutup bölgesine doğru hareket eder ve soğumanın etkisi ile alçalmaktadır. Hava aynı zamanda dünyanın mevcut ekseninde tam bir tur dönmesinden etkilenerek de küresel bir sirkülasyon meydana getirir (Şekil 3.1) [16].

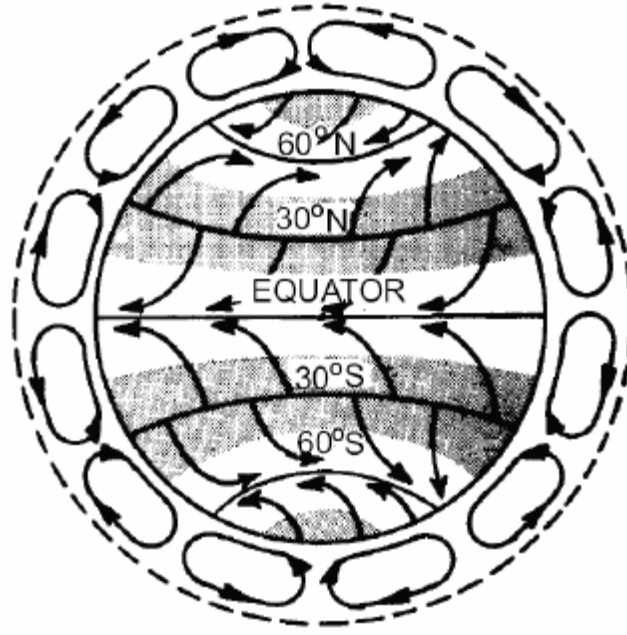


Şekil 3.1. Rüzgar Enerjisinin Değişimi[16].

Rüzgârın aksiyon mekanizmasına etki eden belli başlı sebepler şunlardır: basınç etkisi, coriolis etkisi, eylemsizlik etkisi ve sürtünme etkisi [17].

Basınç etkisi: Güneşin dünyayı eşit bir şekilde ısıtmamasından dolayı oluşur. Bazı alanlar diğerlerinden daha çok ısı aldığı için basınç farklılıkları meydana gelir. Belirli iki bölge arasındaki birim uzaklık başına denk gelen basınç farkı basınç gradyanı olarak adlandırılır. Rüzgâra etki eden kuvvetin büyüklüğü basınç gradyanına bağlıdır. Yani basınç gradyanı arttıkça rüzgâra etki eden kuvvet de artmaktadır. Bu yüzden basınç gradyanı ile rüzgâr hızı arasında doğru orantı vardır [18].

Coriolis etkisi: Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinden meydana gelir. Coriolis kuvveti, genellikle dikey bir düz çizgi izleyen hava parçacıklarının sapmasına neden olmakta ve yükselen rüzgârı iki yarım kürede yaklaşık 30° enlemden daha düşük bir seviyeye yönlendirmektedir. Bu etki kuzey ve güney yarım kürede biri diğerine doğru farklı yönlerde meydana gelmesi Şekil 3.2’de görüldüğü gibi olmaktadır.



Şekil 3.2. Coriolis enerjisinin küresel rüzgârlara tesiri [19]

Eylemsizlik etkeni: Rüzgârın makro ölçekteki dairesel hareketinin ürettiği bir etkileşimden meydana gelir.

“Sürtünme etkeni: Bu etken sayesinde hareket halindeki havanın dünyanın sürtünme direncine gösterilen dirençten kaynaklanır, bu da hava akışını yavaşlatıp, havanın yönüne tesir edebilmektedir. Türbülanslı rüzgâr akışı da bu etkiden kaynaklanmaktadır ve yerden yükseltinin artması ile temas etkisi azalacağı için atmosferik sınıra kadar adlandırılan çerçeveye etki etmektedir [17].

Tüm bu temel faktörlerin yanı sıra gece ve gündüz etkileri, nem oranı, kara-deniz etkileri ve arazi etkileri de rüzgârı şekillendirmektedir. Sonuç olarak küresel rüzgâr temel faktörlerden, yerel rüzgârlar ise diğer etkilerden meydana gelmektedir. Kutuplara yönelmiş olan kutup rüzgârları, 40° ile 60° enlemleri boyunca esen keskin batı rüzgârları ve kuzey yarımkürenin kuzeydoğusundan ve güney yarımkürenin güneydoğusundan esen sürekli kuru alize rüzgârları küresel rüzgârları meydana getirmektedir. Deniz, kara, dağ ve vadi rüzgârlarını kapsayan yerel rüzgârlar, musonlar, tropik ve fön rüzgârları, fırtınalar, kasırgalar günlük ve mevsimsel olabilmektedir [17].

3.2. Rüzgâr Enerjisi Avantajları

Rüzgâr enerjisi diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında birçok avantajı mevcuttur.

Bunlara örnek verecek olursak:

- ❖ Temizdir. Çevre kirliliğine olumsuz etkisi yoktur ve hava kirliliği sorunlarını düşürmektedir.
- ❖ Düşük fiyatlıdır ve yakıt fiyatı tehlikesi bulunmamaktadır.
- ❖ Kalıcı bir lokal enerji kaynağıdır. Dışa tabiiyeti bulunmamaktadır.
- ❖ Toprak dostudur. Rüzgâr santralinin kurulu olduğu bölgede ya da çevresinde tarım/endüstriyel faaliyetler uygulanabilmektedir.
- ❖ Uygulama esnekliği bulunmaktadır. Büyük çaplı ticari enerji santralleri veya evlere ait uygulamalar muhtemel olmaktadır.
- ❖ Kırsal bölgelerde elektrik şebekesini iyileştirmektedir. İş imkânlarını ve bölgesel olarak gelişmeyi sağlar.
- ❖ Uzun vadeli işyeri maliyeti, diğer bütün enerji kaynaklarına göre daha azdır. Düzenli periyodik bakımla birlikte 20 ile 30 yıl süresince kullanılabilir.
- ❖ Rüzgâr türbininin yeri tespit edildikten sonra, yapının başlamasından türbinin devreye alınmasına kadar geçen zaman yaklaşık olarak üç ay sürmektedir [20-21].

3.3. Rüzgâr Enerjisi Dezavantajları

Rüzgâr enerjisinin dezavantajları şunlardır:

- ❖ Rüzgâr enerjisi üretimi rüzgâra bağlı olduğu için, rüzgâr kesildiğinde ya da azaldığında enerji kaybı meydana gelmektedir.
- ❖ Türbin maliyeti yüksek olmakla birlikte zamanla azalan bir maliyet değeri ortaya çıkmaktadır.
- ❖ Büyük dönel bir mekanizma olmasından ötürü çevrede kanatlı hayvanların ölümlerine sebebiyet vermektedir.
- ❖ Rüzgâr türbinlerinin ürettiği sesin yoğunluğu etrafa gürültü şeklinde aksetmektedir.
- ❖ Rüzgâr türbinleri de ortaya çıkan elektromanyetik dalgalara tesir etmektedir [22].

3.4. Rüzgâr Enerjisi Kullanım Alanları

“Rüzgâr enerjisi birçok faaliyet alanında ilk tercih olarak seçilmektedir. Rüzgâr enerjisi yardımıyla birçok insan kendi başına elektriğini elde edebilmektedir. Bunun sonucunda insanlar ihtiyaçlarını ucuz olarak karşılayabilmektedirler. Rüzgâr enerjisinin bazı kullanım alanları şunlardır:

- ❖ Taşımacılık sektörü ve su pompalama alanları
- ❖ Su depolama alanları ve tahıl öğütme sistemleri
- ❖ Şarj sistemleri ve soğutma sistemleri
- ❖ Bahçe aydınlatması

Rüzgârdan elde edilen enerji, rüzgârın enerjisini güce çeviren bu türbinler sayesinde üretilmektedirler ve bu rüzgâr türbinleri sadece şehirlerde elektrik üretmekle kalmayıp aynı zamanda, ev tipi rüzgâr türbinleri evlerde kullanıldığı takdirde evin elektrik ihtiyacını da karşılayabilmektedir. Ayrıca sistem kurulumu kolay ve düşük maliyetlidir. Basit yerleşim düzenine sahip ev tipi türbinlerinin arızaları kolaylıkla giderilebilmektedir. Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik; kırsal alanlarda, orman ve dağlarda, adalarda, park ve bahçelerde, park deniz fenerlerinde, çiftliklerde kullanılmaktadır [23].”

4. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ

4.1. Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Küresel rüzgâr enerjisi endüstrisi yıllık bazda %53 büyüme oranıyla 2020 yılında geçmiş yıllara göre en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Hem proje aşamaları hem de malzeme temin süreci yönünden sıkıntılı bir yıl olan 2020 de kurulumu gerçekleştirilen 93 GW’tan fazla rüzgâr enerjisi santralleri sektörün kendi piyasası içinde sürdürülebilir ve gelişmekte olacağını ispatlamıştır. 2020 yılında kurulumu gerçekleştirilen 93 GW’lık rüzgâr enerjisi santralleriyle, dünya çapında katlanmış olarak rüzgâr enerjisi kurulu potansiyelini 743 GW’a yükseltmiştir. Bununla birlikte dünyamıza salınan karbondioksit gazı baz alındığında, her yıl 1,1 milyar ton karbondioksit gazının azalmasına karşılık geldiği görülmektedir. 2019 ile karşılaştırıldığında, kara rüzgâr gücünün yeni kurulu kapasitesi %59 (86,9 GW) artmıştır. Dünyada bu sektörde en büyük pazar payına sahip olan Çin ve ABD karadaki rüzgâr enerjisi üretim kapasitelerini %15 ve %76 arttırarak pazardaki paylarını büyütmüşlerdir. Şekil 4.1’de 2001’den 2020’ye kadar olan yıllık büyüme oranını gösterilmiştir [24].



Şekil 4.1. Toplam Rüzgâr Kurulum Potansiyeli Tarihi İlerlemesi[24].

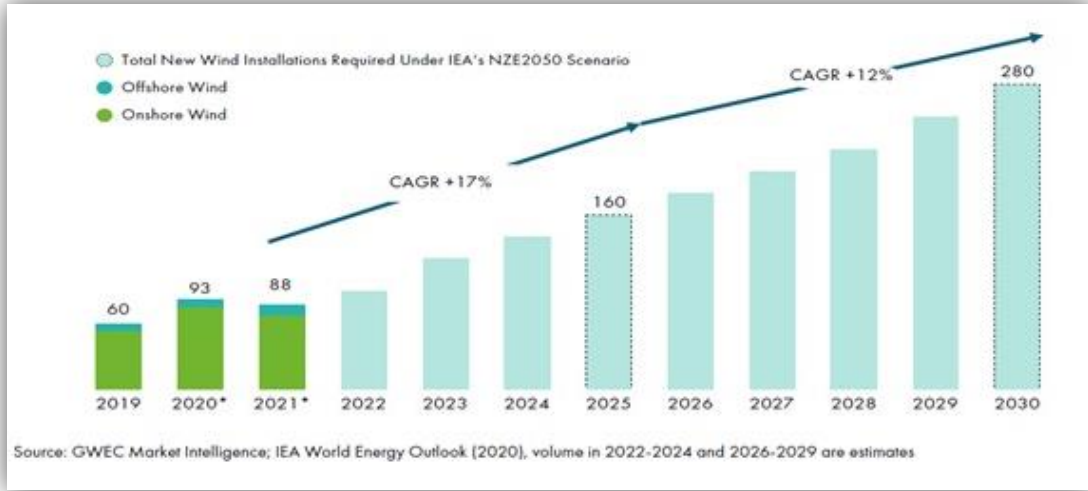
Son 10 yıllık süre göz önüne alındığında rüzgâr enerjisi küresel ölçekte yaklaşık olarak dört kat büyümüştür. Küresel bazda hem maliyet hem de dayanıklılık yönünden alternatif enerji kaynaklarına göre daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Bölgesel olarak, 2020 aynı süreçte Latin ve Kuzey Amerika, Asya Pasifik’teki kara kurulumları için de rekor bir yıldır. Bölgelere

bakıldığında, önceki yıla göre toplam 74 GW'lık yeni kara rüzgâr enerjisi santrali kurulumu gerçekleştirmiş ve bir önceki yıla göre ise %76'lık bir artış olduğu görülmüştür.

2020 yılında Almanya'daki kara rüzgâr santrallerinin kurulum kapasitesi incelendiğinde daha önceki yıllara göre çok düşük seviyede kalması nedeniyle, Avrupa'da yeni kurulan rüzgâr enerjisi santrallerinde büyüme oranı %0,6 da kalmıştır.

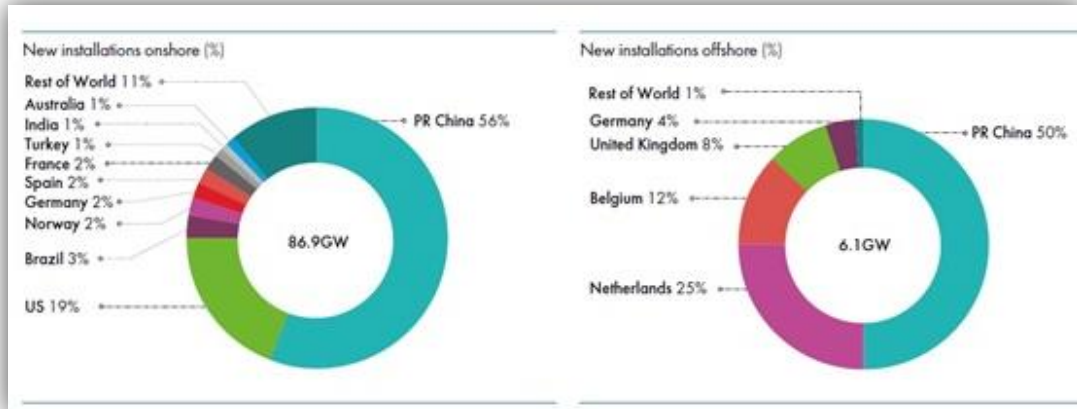
Afrika ve Orta Doğu'daki büyüyen pazarlar, kurulmuş olan 8,2 GW kara rüzgâr enerjisi santrali ile 2019'da ki kurulu kapasitesiyle neredeyse aynı seviyede kalmıştır [24].

Küresel bazda açık deniz pazarında kurulumu gerçekleştirilip işletmeye alınan 6,1 GW'lık rüzgâr enerjisi santralleri 2020 yılını geçmiş yıllara göre en iyi ikinci yıl yapmıştır. Çin, açık deniz rüzgâr enerjisi kurulumu pazarında rekor kırarak küresel bazda mevcut pazarın yarısına sahip olmuştur. Avrupa da açık deniz rüzgâr enerjisi santrali kurulumu bakımından bu sektördeki payını arttırmaktadır. Hollanda ilk sırayı alırken onu Belçika, Birleşik Krallık, Almanya ve Portekiz takip etmektedir. 2020 yılında Çin ve Avrupa ülkelerinin yatırım sahaları dışında kalan açık deniz rüzgâr sahalarına Güney Kore ve ABD tarafından yatırımlar yapılmıştır. Şu anda, toplam kurulu güç kapasitesi 35 GW'ı aşan, küresel kümülatif rüzgar enerjisi kurulu gücünün %4,8'ini oluşturan açık deniz rüzgar enerjisinin, teknolojik yenilik ve ölçek ekonomileri sayesinde 2020'de küresel olarak rekabet avantajı oluşturduğu görülmüştür. Rüzgâr gücü potansiyeli, yeşil sistemleştirmenin en belirgin elamanı ve evrensel enerji geçişlerini hareketlendirmede kayda değer bir misyonu üstlenecektir. Market Intelligence, gelecekteki beş yıllık süre zarfında toplam kara ve deniz de kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesinin 469 GW daha arttırılacağını öngörmektedir. Kurulması planlanan rüzgâr enerjisi politikasına göre, 2025 yılına kadar yeni kurulu kapasitenin yıllık ortalama 94 GW olacağı anlamına gelmektedir. COP26'dan sonra hükümetlerin rüzgâr enerjisi için hedeflerini büyük ölçüde yükseltmeleri beklenmektedir. Açık deniz rüzgâr enerjisi yatırımı, kısmen sektördeki projelerin daha uzun geliştirilme süresi ve pandeminin etkilerine karşı daha fazla direnç göstermesi nedeniyle 2020'de 2019'daki seviyesini aşarak 303 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Büyük türbinlerin maliyetinin düşürülmesi, kurulum/işletme-bakımda yenilik ve azaltılmış girişimci tehlikesi, kapasitesinin büyümesini daha da arttıracaktır. IRENA, 2030 yılına kadar anakara üzerindeki rüzgar enerjisinin dengeli olarak LCOE' sine kıyasla %25, açık deniz rüzgar gücünün LCOE' sinin ise 2018 yılına kıyasla %55 düşeceğini öngörmektedir. 2050 yılına kadar, net sıfıra ulaşmak için rüzgar enerjisinin yıllık kurulu kapasitesi önemli ölçüde çoğaltılmalıdır. Şekil 4.2 2030 yılına kadar olması beklenen rüzgar enerjisi kurulumlarını gösterilmektedir [24].



Şekil 4.2. 2030'a kadar kurulma ihtimali olan Küresel Rüzgâr Enerjisi Santrali (GW) [24].

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın Enerjiyle ilgili olarak düşündüğü Değişim Senaryosundaki kabule uygun olarak, Paris amacına ulaşması için yıllık rüzgar enerjisi kurulu kapasitesini kabataslak 180 GW'a çıkarması gerekmektedir. IEA açısından bu 2050 yılına gelinceye kadar, 2025 yılı için 160 GW'a ve 2030 yılı içinde 280 GW'a çıkarılması zorunludur. Bu değer 2020 yılındaki büyümenin 3 katına denk geldiği görülmektedir. Sıfır yarışında BM, temiz enerji alanında bir kırılma noktası belirleyerek, yani %30'u rüzgar ve güneşten gelen yenilenebilir enerjinin küresel enerji payının %60'ına ulaşmasını hedeflemişlerdir. IEA'nın yaptığı değerlendirmelere bakacak olursak, saf enerji ve yüksek verimli düzeninin temeline atılan senelik toplam global yatırımların 2020 senesinde 390 milyar Amerikan dolarını geçerek 2030 senesine gelindiğinde bu rakamın 1,6 trilyon Amerikan dolarını da geçmesi gerekmektedir [24]."



Şekil 4.3. Yeni Rüzgar Enerjisi Santralleri Kurulumları Kara (Onshore) ve Deniz Üstü (Offshore) [24].

Şekil 4.3 incelendiği vakit şu dikkati çekmektedir yeni rüzgar enerji tesisleri içerisinde Türkiye'nin Enerji potansiyeli ile dünya sırlamasında ilk 10 ülkesinden biridir. Türkiye'de 2019 yılında yeni kurulan rüzgar enerjisi kapasitesi 686 MW iken, 2020 yılındaki artış neredeyse iki katına çıkarak 1224 MW'a ulaşmıştır. 2020 yılına kadar Türkiye'nin toplam rüzgar enerjisi kapasitesinin 9280 MW'a yükseldiği görülmüştür [24].

4.2. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle rüzgar enerjisi açısından oldukça elverişlidir. Rüzgar enerjisi, özellikle denizde daha etkili ve güçlü bir enerji kaynağıdır. Bunun en önemli nedeni, yüzey pürüzlülüğünün arazinin yüzey pürüzlülüğünden daha az olmasıdır. Bunun yanı sıra Ülkemiz coğrafyasına bakıldığında topografik açıdan birçok alanda dağlık araziler olduğu görülmektedir. Bu engebelerin rüzgarın yönü ve gücü üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle deniz suyunda rüzgar yönünün değişmesine neden olacak bir engebe olmadığı için mevcut bölgelerdeki rüzgar hızları ve hızları karadakilere kıyaslandığında daha etkilidir. Bu coğrafi koşullar nedeniyle, kara rüzgar türbinlerinin yükseklik açısından avantajları dezavantaj olarak kabul edilmektedir [25].

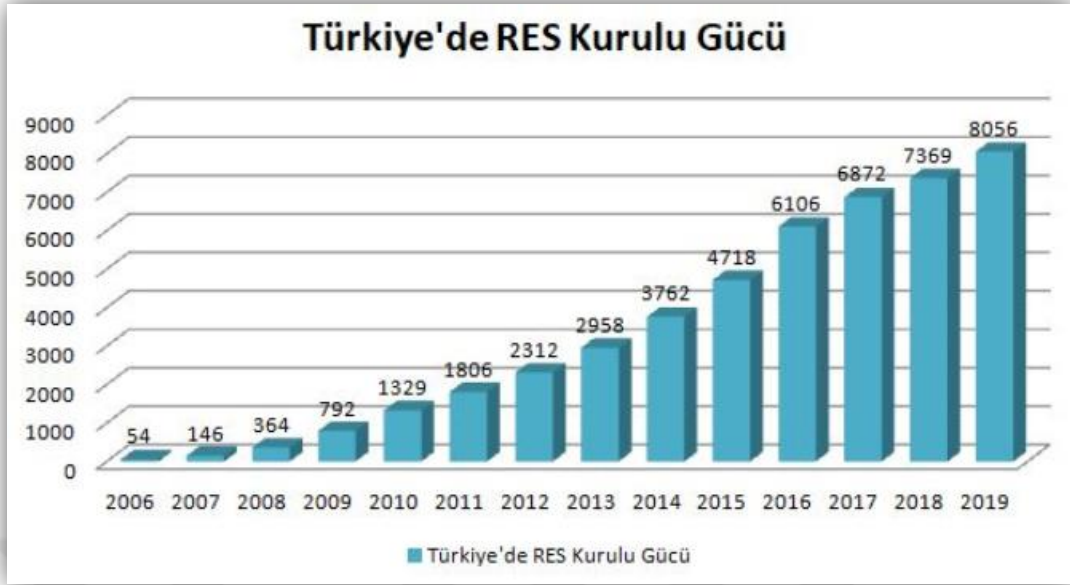


Şekil 4.4. Türkiye Rüzgar Atlası [25].

Şekil 4.4'ü incelediğimiz zaman dikkat çeken Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu güncel verilerden yararlanarak oluşturulan bu haritada mevcut rüzgar güçlerinin en az 3,5 m/s olarak belirtildiği görülmektedir. Gerçekten mevcut datalar ile oluşturulan bu hızlar pek çok rüzgar türbininden elde edilen en az tatbikat hızı şeklinde nitelendirilmektedir. Türkiye mevcut rüzgar haritasına bakıldığında Marmara bölgesinin en yüksek rüzgar gücü potansiyeline sahip olduğu gözükme ve bu bilhassa batıya doğru rüzgar gücünün bazen 5- 6 m/s' ye kadar çıktığını kırmızı renk ile vurgulanmaktadır. Enerjiyi elde etmek amacıyla düzenlenen yatırım kanallarının pek çoğu Balıkesir yakınlarındaki bu bölgede gerçekleşmektedir. Rüzgar enerjisi potansiyeli bu bölgeden sonra sırasıyla Ege Denizi'nin batı ve kuzeybatı bölgeleri, Karadeniz bölgesinin batı sahil bölgeleri ve Akdeniz bölgesinin güney bölgeleridir [25].”

Ülkemiz genelinde neredeyse tüm bölgelerinin rüzgar gücü potansiyelinin yatırım yapmaya oldukça müsait olduğu görülmektedir ve çok farklı ülkelerdeki iktisâdi durumu ve ilerleyen zaman diliminde karşılaşılması ihtimali olan enerji ile alakalı pek çok sorunlar dikkate alındığında ülkemiz çok şanslı bir konuma sahiptir. Teknolojinin ilerlemesi ve rüzgar türbinlerinin gelişmesi ile birçok ekonomik fayda sağlanabilmektedir. Rüzgar enerjisi temiz, sağlıklı, çevre dostu ve tükenmeyecek bir enerji kaynağı olmasından dolayı giderek daha fazla önem kazanmaktadır [25].

Zengin rüzgar enerjisi potansiyeline sahip bölgelerimiz Ege Denizi ve Marmara kıyılarıdır. Enerji sektöründe Türkiye rüzgar santrali olarak, son 14 yılda 51 MW kurulu gücünden 8056 MW kurulu güce ulaşmıştır. 3285 rüzgar türbini ve 198 santral ile Türkiye rüzgar enerjisinden yararlanmaya ve mevcut rüzgar gücü kapasitesini yükseltmeyi sürdürmektedir. Kendini hızla güncellemekte olan ve sürekli enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın geleceğinin şekillenmesini sağlamaktadır. Rüzgar enerjisi, sürekli olması ve tükenmeyecek olmasından dolayı en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Dünyada ve Türkiye’de rüzgar türbinlerinin kurulu gücü her geçen yıl artmakta, sürekli yeni santraller ve rüzgar türbinleri kurulmaktadır. 2030 yılına kadar RES’in kurulu gücünün bunun üç katı olacağı tahmin edilmektedir [26].



Şekil 4.5. Türkiye’de RES kurulu gücü[26].

Şekil 4.5’ ten anlaşılacağı gibi, rüzgar türbinleri 2006’dan 2019’a önemli ölçüde artmıştır. Artan ivme, gelecekte daha fazla gelişeceğimizi göstermektedir [26].

Türkiye’nin Temmuz 2020 Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporuna göre, Covid-19’un ortaya çıkmasına rağmen, Türkiye’nin rüzgar enerjisi kurulu gücü 2020’nin ilk yarısında 8288 MW’a yükselmiştir. Bu yılın ilk altı ayında toplam rüzgar enerjisi üretimi 11 milyon 506 bin 233 kW’a ulaşsa da bu miktar Türkiye’nin toplam elektrik üretiminin %8,52’sini karşılamıştır [27]. Şekil 4.6’da Türkiye’deki Rüzgar Enerji Santrallerinin 2020 yılı içerisinde elektrik üretimindeki payı gösterilmiştir.

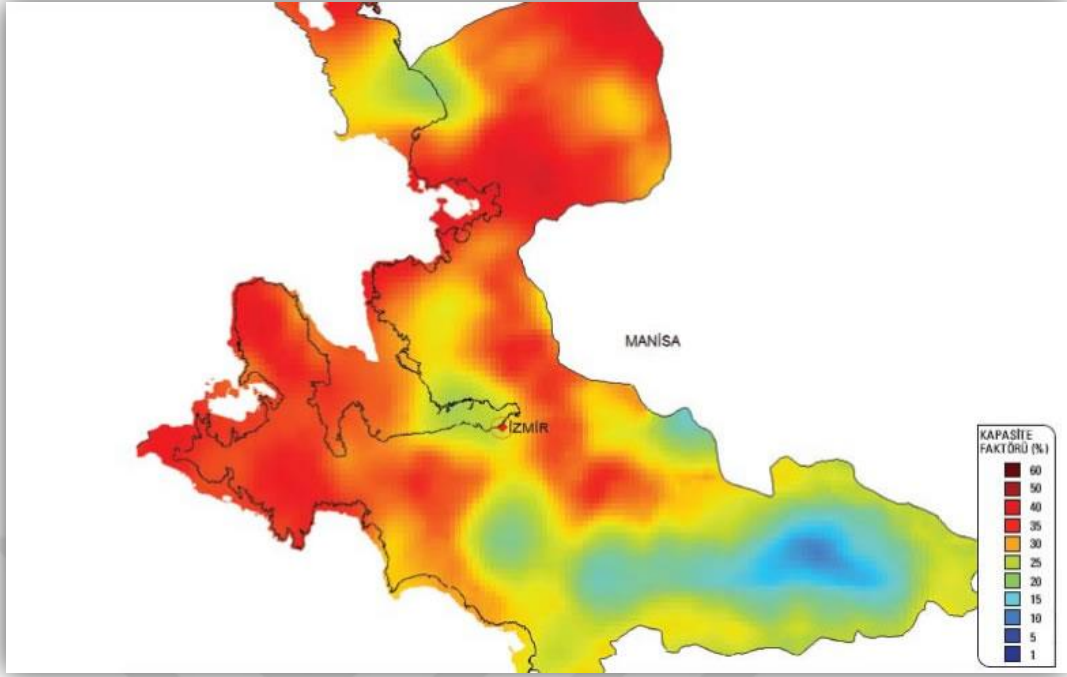


Şekil 4.6. Türkiye Rüzgar Enerji Santrali Elektrik imalat oranları[27].

4.3. İzmir’de Rüzgar Enerjisi

Ülkemiz rüzgar haritasında görüldüğü üzere Ege Bölgesi’nin rüzgar enerjisindeki potansiyeli verim olarak; en yüksek bölgelerin başlarında olduğu bilinmekte ve bunun yanı sıra bilhassa kıyı şeritleriyle kuzey batı bölgeleri rüzgar santrallerine yatırım yapmak için diğer bölgelere göre epeyce elverişlidir.

Şekil 4.7’ de İzmir iline ait rüzgar hızları gösterilmektedir. Resimde görüldüğü gibi İzmir’in bölgeleri rüzgar enerjisi potansiyeli yönünden iyi durumdadır ve bundan dolayı da hele ki kıyı bölgeler ile dağlık alanlara sahip bölgeler rüzgar enerjisi potansiyeline bakıldığında oldukça verimlidir.



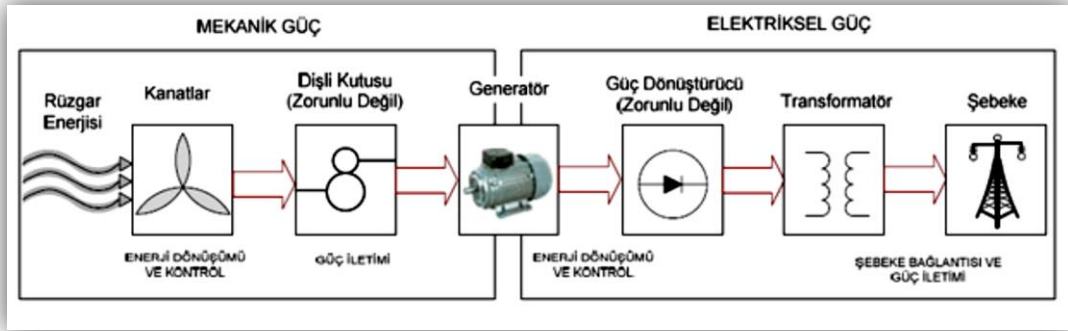
Şekil 4.7. İzmir İli Rüzgar Enerjisi Potansiyel Haritası[28].

Yenilenebilir enerjide lider bir şehir olan İzmir, Türkiye’de inşa edilen ilk rüzgar santraline sahip, yenilenebilir enerji kurulu gücü 1549 MW üst sınıra ulaşmış olup, önümüzdeki iki yıl içinde 2000 MW kurulu güce ulaşacaktır. Bu kurulu güç ile Türkiye’nin toplam RES kurulu gücünün %19,3’ünü oluşturmaktadır [28].

5. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE ÖZELLİKLERİ

5.1. Rüzgâr Türbinleri ve Nitelikleri

Mevcut Rüzgar türbini ile hâkim rüzgar yönündeki kinetik kuvveti türbine ait kanatlar vasıtasıyla hareket enerjisine, bu hareket enerjisini generatör yardımıyla elektrik enerjisine çevirmektedir. Rüzgar türbinleri genellikle kulelerden, generatörlerden, hız dönüştürücülerden (dişli kutuları), elektrik ve elektronik bileşenlerden ve kanatlardan meydana gelmektedir. Şekil 5.1’de verilen rüzgar gücünün kinetik enerjiden elektrik gücüne değişimi gösterilmektedir. Rüzgarın kinetik enerjisi ile kanatlarda meydana gelen bu hareket enerjisi rotora aktarılacak mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Rotor ile kazanılan bu mekanik enerji dişli kutusuna bağlı mil vasıtasıyla generatöre iletilmektedir. Generatör kendi içinde rotor-stator ikilisinden oluşmaktadır. Rotor harekete geçtiğinde ikaz trafosu tarafından statöre verilen ikaz akımıyla rotor-stator ikilisinin etrafında dönel bir manyetik alan oluşmaktadır. Meydana gelen bu dönel manyetik alan sayesinde üretilen elektrik enerjisi baralar yardımıyla oto trafolarla iletilmektedir. Oto trafolardaki primer ve sekonder sargılar vasıtasıyla gerilim yükselttilip enerji nakil hatlarıyla şalt sahasına iletilmektedir. İletilen bu elektrik enerjisi güç trafoları tarafından gerilimleri düşürülerek alıcılara gönderilmektedir [29].



Şekil 5.1. Rüzgâr gücünün kinetik enerjiden elektrik gücüne değişimi[29].

Rüzgar türbinlerinin çok değişik kategorilere sahiptir ve bazı değişkenlere göre (Kanat adeti, sistem periyodu, mil, rüzgar doğrultusu, güç vb.) Şekil 5.2’de görüldüğü gibi gruplandırmak mümkündür [30].



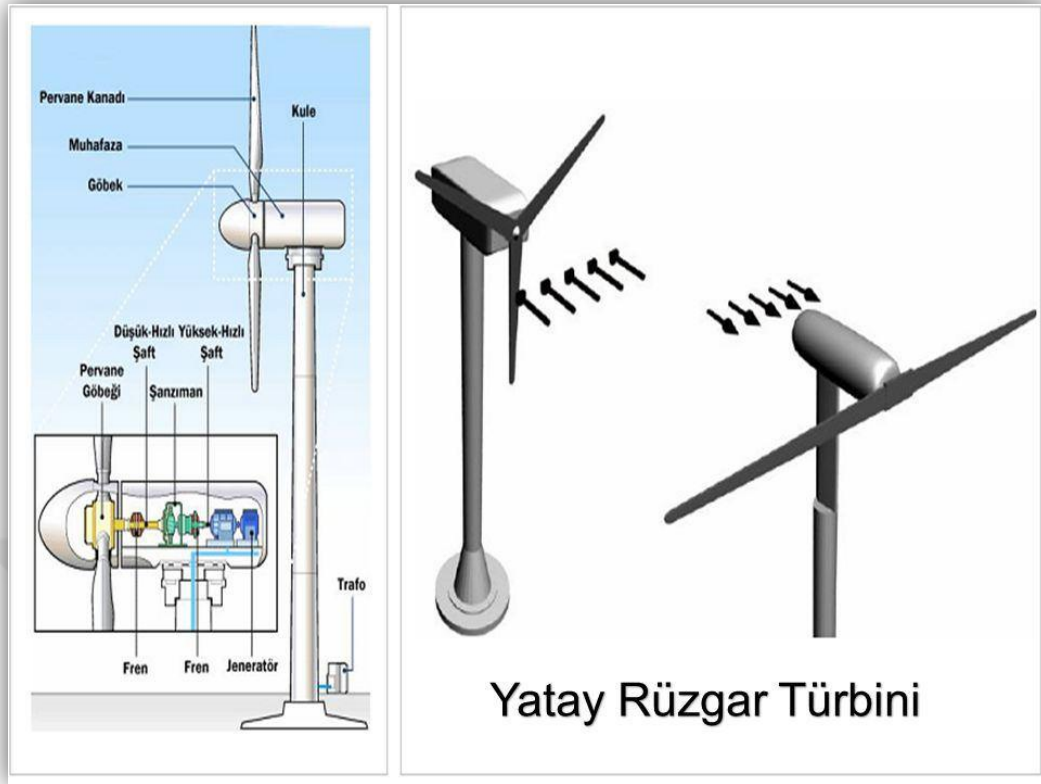
Şekil 5.2. Tribün değişkenleri[30].

5.1.1. Eksen Yapısına Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgar enerjisinin güce dönüştüren türbinlerin, dönüş ekseninde hareket etmesine uygun olarak eğik eksendeki rüzgar türbinleri, yatay eksendeki rüzgar türbinleri ve dikey eksendeki rüzgar enerjisine dönüştüren türbinler olmak üzere gruplandırılmak mümkündür.

Yatay Eksenli Türbinler

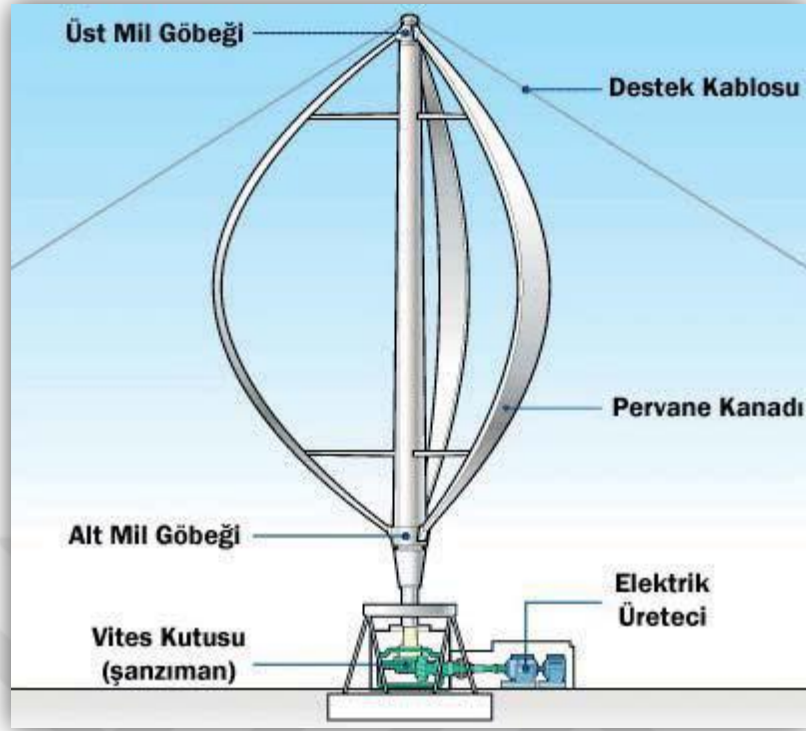
Bu tip türbinlerin enerji üretebilmesi için; dönüş eksenlerinin rüzgarın yönü ile paralel ve kanatların rüzgar yönüyle dik açı yapması gerekmektedir. Yatay eksenli türbinlerin dönüş eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatların rüzgar yönüyle dik açı yapabilmesi için rotorun kule üstünde çevrilmesi gerekmektedir. Günümüzde farklı ülkelerdeki çoğu enerji üretim uygulamaları, iki veya daha fazla kanat sayısına sahip rüzgâr türbinlerinden meydana gelmektedir. Şekil 5,3’ te görülen yatay eksene sahip rüzgar türbinine ait model şekil görülmektedir [31].



Şekil 5.3. Yatay eksene sahip rüzgar türbini[31].

Düşey Eksenli Türbinler

Dönüş eksenli rüzgârın geliş doğrultusuna dikey ve uzun olan bu türbinlere ait kanatlar da düşey yönde ve rüzgârları her açıdan alma avantajına sahip türbinlerdir. Giromill açısı değişebilir kanatlarla donatıldığından, kendi kendine çalışır duruma gelebilmektedir. Şekil 5.4'te rüzgar türbini örneği verilmiştir ve bu arada mevcut tüm aksamaları detaylı bir şekilde görülmektedir [32].



Şekil 5.4. Düşey eksenli türbin[32].

Eğik Eksenli Türbinler

Dönüş eksenleri hâkim rüzgar yönüne göre belirli bir açıyla yerleştirilen türbinlerdir. Bu tip türbinlerde kanatlar ile dönüş eksenleri arasındaki açı değeri belirlidir [31].

5.1.2. Kanatçık Sayısına Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinlerinde farklı sayılarda kanat bulunur ve bu kanatların miktarı dönüş hızıyla ters orantılıdır. Kanat sayısı düştükçe dönüş hızı yükselmekte, kanat sayısı arttıkça dönüş hızı azalmaktadır. Kanatçık ucu hızının orantı (λ); rüzgâr hızının kanatçık ucu hızına orantısı olarak tanımlanmaktadır. Eğer;

$\lambda = 1$ ile 5 arasında bir değer ise; çok kanatlı rotor,

$\lambda = 6$ ile 8 arasında bir değer ise; üç kanatlı rotor,

$\lambda = 9$ ile 15 arasında bir değer ise; çift kanatlı rotor,

$\lambda > 15$ ise kullanılan rotor tek kanatlı olmaktadır.

Şekil 5.5'te kanat sayıları birbirinden farklı rüzgâr türbinleri gösterilmektedir [33–34].



Şekil 5.5. Kanat sayıları farklı rüzgâr türbinleri[33–34].

Üç Kanatlı Rüzgâr Türbini

Günümüzde elektrik enerjisi üretimi için en çok tercih edilen rüzgar türbinlerine bakıldığında üç kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanıldığı görülmektedir. Üç kanatlı rüzgar türbinlerinin tercih edilmesinin sebebi, pervanenin atalet momentinin farklı hızlarda dahi sabit kalmasıdır. Üç veya daha fazla kanatlı bütün pervaneler sabit atalet momentine sahip olmasından dolayı daha avantajlıdır [33-34].

Çift Kanatlı Rüzgâr Türbini

Kanat sayısı iki olan türbin maliyeti kanat sayısı üç olan türbin maliyeti ile kıyaslandığında aynı olmasının nedeni; iki kanatlı rüzgar türbinlerinin hareketli etmenlerden dolayısıyla ilave teçhizatlara ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. İki kanatlı rüzgar türbininde kule yatay eksene göre bir eylemsizlik momentine sahiptir ve bu eylemsizlik momenti rüzgar türbini üzerinde ancak göbeğin döndürülmesiyle ortadan kaldırılabilir ek bir yük oluşturmaktadır. Salınlı göbeği kullanmanın nedeni, dönen pervanenin atalet momentindeki büyük

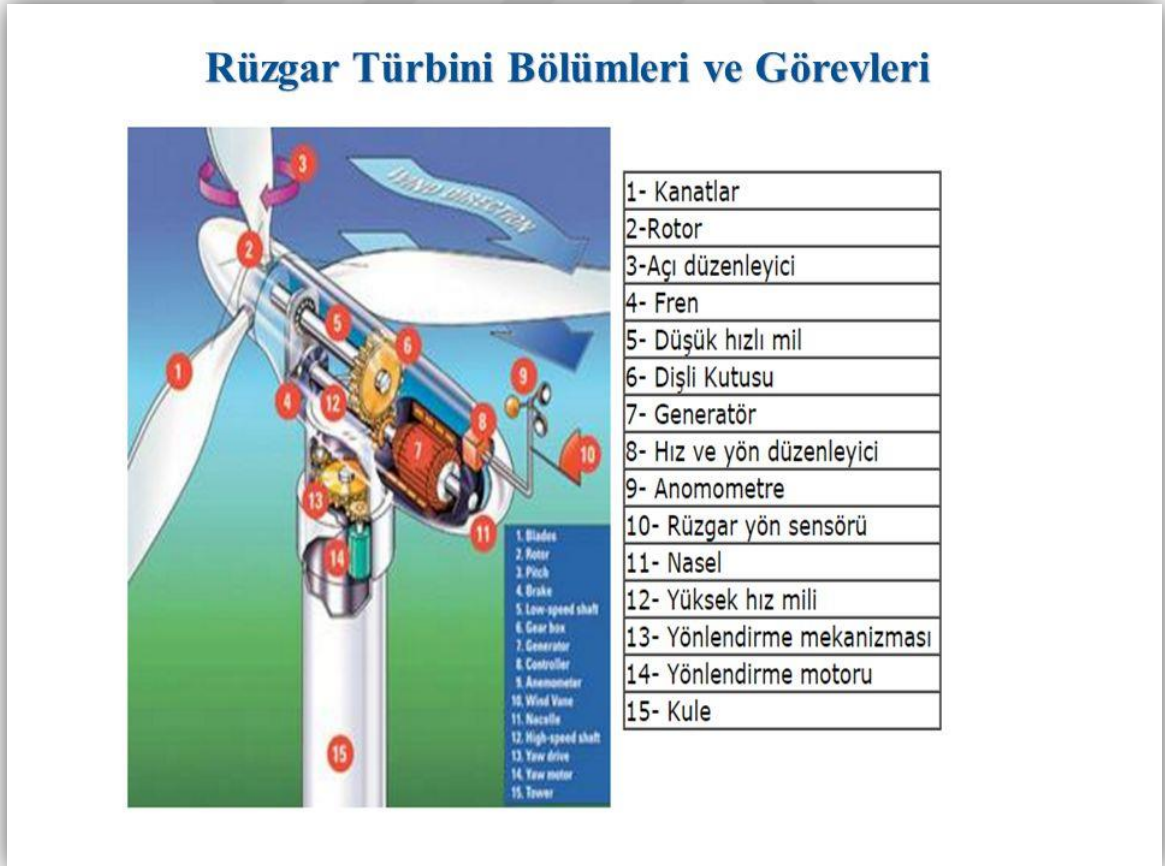
değişikliklerin etkisinden kaçınılmaktır. Bunun yanı sıra küçük rüzgar hızı söz konusu olduğu vakit (örnek verecek olursak 3 m/s) hava düzenleyici devir alamamaktadır [35].

Tek Kanatlı Rüzgâr Türbini

Bu tür rüzgar türbinlerini kullanmanın temel sebebi, pervaneye etki eden yüksek hızı azaltmaktır. Bu tip rüzgar türbinleri aerodinamik olarak kararsızdır, bu durumda bazı istenmeyen yüklere ve ek harekete neden olacaktır. Bu mekanizmayı kontrol altında tutmak için göbek tarafında ek bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer bir dezavantaj, yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir [35].

5.2. Rüzgâr Türbini Unsurları

Genel olarak rüzgar türbini; bir kule, bir jeneratör, bir regülatör (volan kutusu), elektrik ve elektronik bileşenlerle kanatların bir araya gelmesinden oluşmaktadır [36]. Rüzgâr türbini unsurları Şekil 5.6' da görülen bölümlerden ibarettir [37].



Şekil 5.6. Rüzgâr türbini unsurları[37].

5.2.1. Rotor Kanatları

Günümüzde rüzgar türbin kanatları genellikle, mukavemet değerleri yüksek fiberglas malzemelerden üretilmektedir. Bununla birlikte karbon fiber malzemelerin de kullanıldığı görülmektedir. Fakat bu malzemelerin üretim maliyetleri yüksek olduğundan türbin kanatları için uygun değildir. Ağaç, ağaç-epoksi karışımları veya benzeri farklı karışımlar kullanılmamaktadır. Alüminyum ve çelik kanatlar güçlü ve dayanıklı olmalarına rağmen ağırlıklarından dolayı dezavantajlıdır. Bu tür malzemelerde karşılaşılan bir diğer problem de metal yorgunluğunun oluşmasıdır. Bu tür kanatların kullanım alanı sadece küçük rüzgar türbinleri olmaktadır [36].

5.2.2. Yaw Mekanizması

Rüzgarın estiği yöne uygun olan değişiklikler gereğince rotorun devamlı olarak rüzgara doğru durmasını sağlayan sistemdir. Bir rüzgar türbininde rüzgarın doğrultusu rotora 90 derecelik açı ile geliyorsa buna YAW hatası denmekte ve bu sebeple rotor enerjiyi daha iyi bir şekilde kullanabilmektedir. Bu, başlama potansiyelinin kontrol edilmesiyle tespit edilmekte ve öteki taraftan da YAW sistemi rotoru bu bulunduğu noktadan çıkartarak onu rüzgârın estiği yöne doğru yönlendirmekte ve bu şekilde uygun verim alınmaktadır [36].

5.2.3. Kule

Kule, rotoru rüzgar türbininde taşımaktadır. Kule çoğunlukla çelik borudan, kafes yapıdan ya da betondan yapılmaktadır. Tüp kule en çok seçilen kule şeklidir. Kafes kule, çelik profillerin birbirine kaynaklanmasıyla meydana gelmektedir. En önemli avantajı düşük maliyetlidir.

Birçok küçük türbin, halatlarla desteklenen direk kuleleri kullanılarak inşa edilmektedir. Hafifliği ve düşük maliyeti büyük avantaj sağlamaktadır, dezavantajı ise yerinde kurulumun zor olmasıdır [38].

6. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, İzmir Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden, 2016-2020 yılları için 10 m uzunluğundaki mesafeden elde edilen rüzgâr dataları bölgeye hakim altı değişik terminal (İzmir Bölge ve Çeşme, Dikili, Karaburun, Tire, Urla ilçeleri) için İzmir Meteoroloji Müdürlüğünden alınmıştır. Bu elde edilen datalar Weibull dağılım yöntemi ve WASP rüzgâr analiz programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda bölgelerin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

6.1. Rüzgâr Verileri

Bu araştırmada kullanılan rüzgâr hızı ve rüzgar yön verileri İzmir Bölge, Çeşme, Dikili, Karaburun, Tire ve Urla gözlem istasyonlarının 10 m yükseklikten yaptığı ölçüm sonucunda elde edilen değerler üzerinden alınmıştır. Gözlem istasyonlarının konum ve koordinat bilgileri Tablo 6.1'de gösterilmiştir. Rüzgâr verileri 2016- 2020 yıllarına ait rüzgâr hızlarını ve rüzgâr yönlerini içermektedir.

Tablo 6.1. Ölçüm İstasyonunun Coğrafik Koordinatı

İstasyon	Enlem	Boylam	Yükseklik
İzmir Bölge	38,23°	27,04°	29 m
Çeşme	38,3036°	26,3724°	5 m
Dikili	39,0737°	26,888°	3 m
Karaburun	38,6401°	26,5081°	132 m
Tire	38,133°	27,8165°	70 m
Urla	38,3628°	26,8322°	60 m

6.2. Weibull Dağılım Metodu

Belirli bir alanın rüzgar profilini belirlemek için çeşitli istatistiksel dağılımlar uygulanmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan dağılımlar Weibull, Log-Normal, Logistic, Gamma vb. olasılık yoğunluk fonksiyonlarıdır. Rüzgar potansiyelini saptamak için kullanılmakta olan WASP rüzgar analiz programı Weibull tabanlı çalıştığından, bu çalışmada rüzgar hızı için de uyumlu olan Weibull dağılım yöntemi kullanılmıştır.

Weibull, rüzgar verilerinin istatistiksel analizinde en yaygın olarak kullanılan ve iki parametrelili bir dağılım gösteren yöntemdir. Bu yöntemle birlikte şekil (k) ve ölçek (c) parametreleri yardımıyla rüzgar hızı frekansının saptanmasında hassas bir tahmin yapmak

mümkündür. Herhangi bir hızda rüzgarın frekansını gösteren fonksiyonun genel ifadesi Eş.6.1’de gösterilmektedir [39-40].

$$f(v) = \frac{k}{c} \times \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left\{ -\left(\frac{v}{c}\right)^k \right\}, (k > 0, v > 0, c > 1) \quad (6.1)$$

Burada v ortalama rüzgâr hızıdır, şekil değişkeni (k) rüzgâr sıklığını belirten bir parametredir. Bir bölgede rüzgar hızı fazla değişmiyorsa, yani rüzgar hızı yaklaşık olarak sabit bir hızda esiyorsa, k değişkeni büyük olduğu anlamına gelmektedir. Ölçek değişkeni (c), bağıl kümülatif rüzgar hızı frekansını belirtmektedir. Başka bir ifadeyle, c değişkeni ortalama hıza göre farklılık gösterir. Ortalama hız değeri yüksekse, c değişkeni de yüksek olacaktır [41-42].

6.3. WAsP ve WRPLOT Yazılımları

WAsP paket programı; Danimarka Teknik Üniversitesine bağlı Riso Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilen bir rüzgâr analiz ve uygulama programıdır [44].

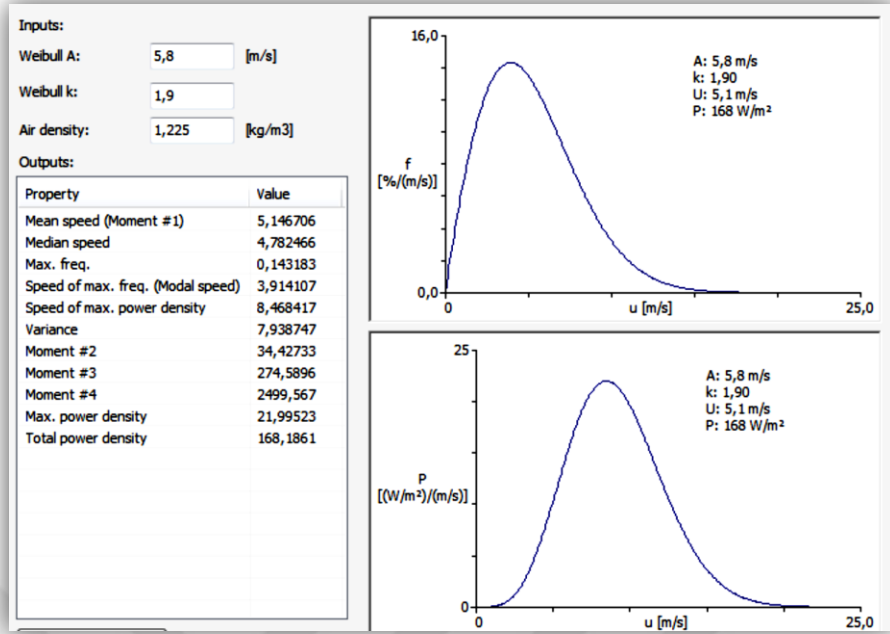
WAsP yazılımı, rüzgar hızı verilerinin iki parametrelili Weibull dağılımına uyan bir dağılım gösterdiğini varsayarak veri analizi gerçekleştirmektedir. Saatlik ortalama rüzgar verileri, bölgesel pürüzlülük, yakındaki engeller ve bölgenin topografyası gibi dört farklı girdi bilgisini alt modelde değerlendirerek bölgesel rüzgar atlası istatistiklerinin hesabını yapmaktadır. Arazi, pürüzlülük değişiklikleri ve engel koruma modelleri kullanılarak, yüzey yapısının ölçüm istasyonundaki rüzgar verileri üzerindeki etkisi düzeltilir ve bu şekilde ölçülen alanın bir rüzgar atlası meydana getirilir [45-46].

WAsP programı bir paket program olmakla beraber, yukarıda verilen bilgilerin kullanılmasında bir takım alt modellerden yararlanmaktadır. Programda yapılan işlemler [47];

- ❖ Kurulması planlanan rüzgâr kırsal alan mevcut enerjinin imalatının hesap edilmesi,
- ❖ Rüzgâr atlası verilerinin oluşturulması,
- ❖ Zamana göre sıralanmış veri analizi,
- ❖ Rüzgâr rejiminin belirlenmesi,
- ❖ Rüzgâr gücü potansiyelinin belirlenmesi, olarak özetlenebilir.

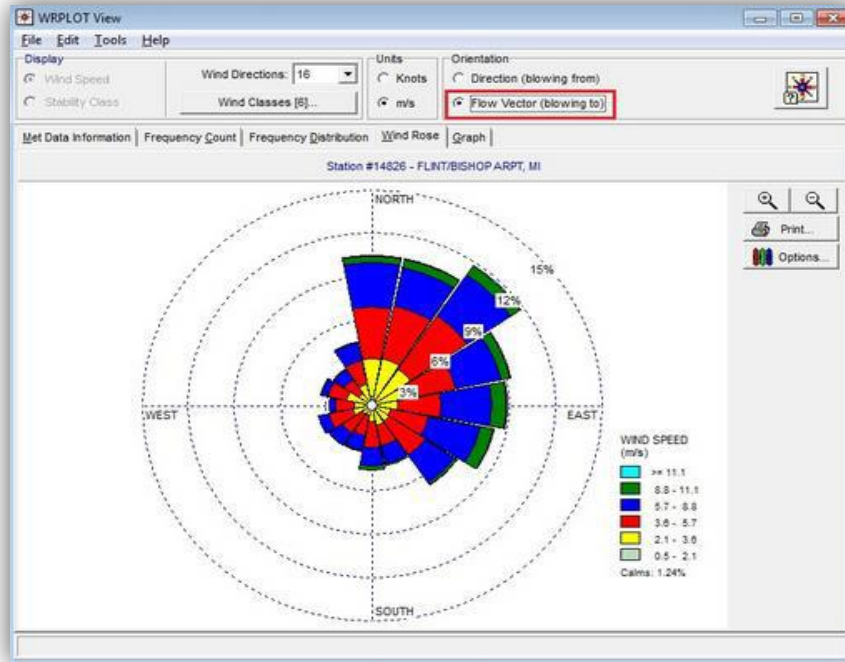
WAsP yazılımının rüzgar enerjisi analizinde önemli rolü bulunmaktadır. Yazılım, bölgenin ortalama rüzgar gücü potansiyelini ve maksimum enerjiye sahip rüzgar hızını hesaplamak için kullanılmıştır. Şekil 6.1’de WAsP yazılımının Weibull ortalama güç belirleme ara yüzü verilmiştir.

WAsP programı ile ilgili örnek anlatım Ek-1’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6.1. WAsP Yazılımı Weibull Ortalama Güç Hesaplama Ara Yüzü[47].

WRPLOT View (Wind Rose Plots for Meteorological Data) hakim rüzgar yönünü belirlemek ve grafikleri oluşturmak için kullanılmıştır. Şekil 6.2’de programın ara yüzü verilmiştir.



Şekil 6.2. WRPLOT View Programının Ara Yüzü[47].

7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

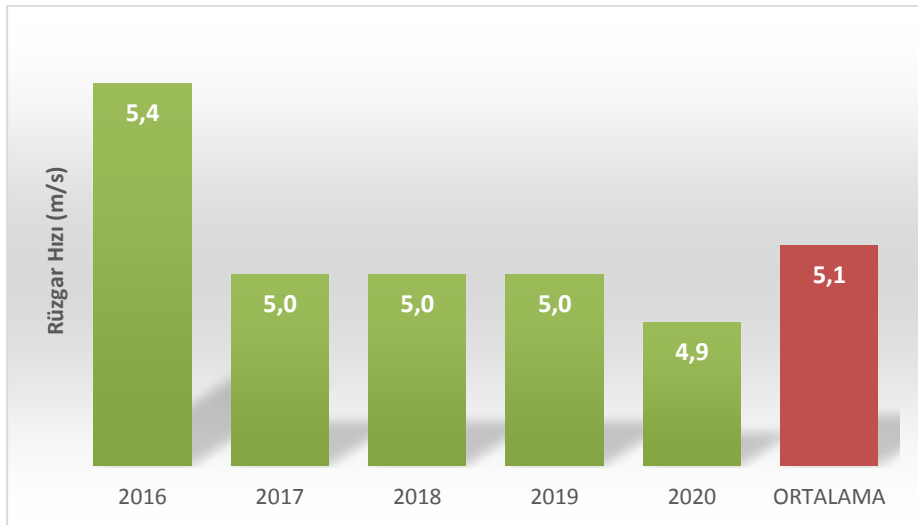
Bu araştırmanın amacı, İzmir ili ve seçilen ilçelerin rüzgâr karakteristiklerinin incelenmesi ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin tespit edilmesidir. Bu amaçla, bölgelerin yıllık yaklaşık rüzgar hızı değeri, weibul güç yoğunluğu, ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli ve hakim rüzgar yönü ortaya konulmuştur. Saatlik rüzgâr verileri 2016- 2020 yılları için İzmir Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

7.1. İzmir Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, 2016- 2020 yıllarına ait İzmir Bölge istasyonundan alınan rüzgar hızları ve rüzgar yönleri kullanılmıştır. Eldeki rüzgar hızı ve rüzgara ait yönlerin bilgileri MS Office Excel uygulamasından geçirilerek revize edilmiş ve txt dosyasına dönüştürülmüştür. Bu dönüştürülen txt dosyasındaki bilgiler, WASP programının içeriğindeki WASP Climate Analyst alt programına yüklenerek bölgenin rüzgar güç yoğunlukları, Weibull dağılımına ulaşılmıştır. Tüm bu verilerin WASP programı yardımıyla analizinin çözülmesinin yanı sıra, MS Office Excel programı kullanılarak bu bilgilerin belli periyotlardaki günlük, aylık ve yıllık olarak ortalamaları da hesaplanmıştır.

Bölgedeki istasyondan ölçülen saatlik verilerin MS Office Excel’de düzeltilmesi sonrasında ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2016 – 2020 yıllarına ait ortalama yıllık rüzgar hızı değerleri Şekil 7.1’de verilmiştir. Bu değerlere göre İzmir Bölge istasyonu için ortalama rüzgar hızı değerleri; 2016 yılında 5,4 m/s 2017 yılında 5,0 m/s 2018 yılında 5,0 m/s 2019 yılında 5,0 m/s ve 2020 yılında 4,9 m/s olarak bulunmuştur. 2016 – 2020 yılları arasında ortalama yıllık rüzgar hızı değeri 5,1 m/s bulunmuştur.



Şekil 7.1. İzmir Bölge istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri

7.2. İzmir Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları

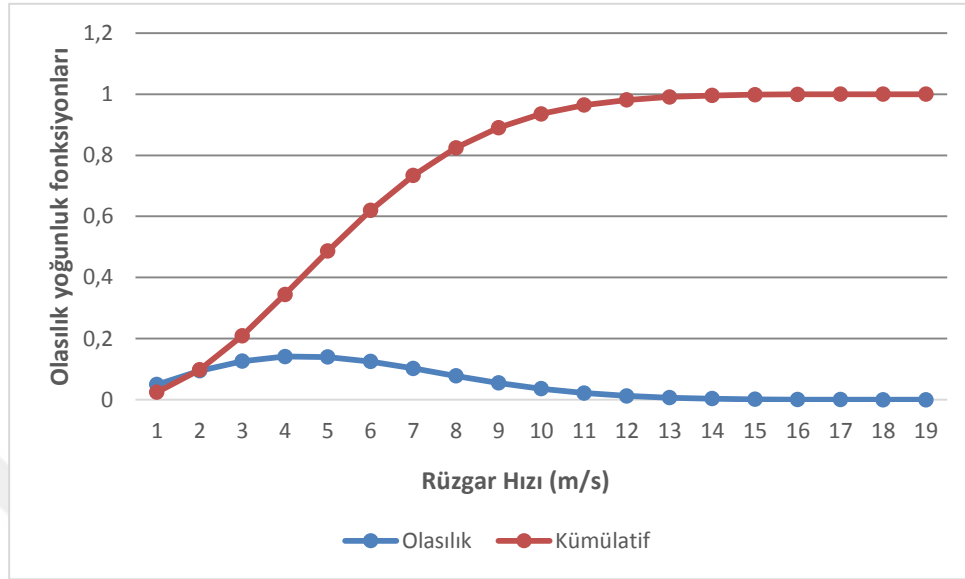
İzmir Bölge istasyondan alınan rüzgar verileri kullanılarak, 2016- 2020 yılları için hesaplanan Weibull parametreleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 incelendiğinde 2016 – 2020 yılları için ortalama Weibull şekil değişkeni (k) değeri 2,04 ile 2,18 arasında, Weibull ölçek değişkeni (c) değeri 5,5 ile 6,1 arasında değişim göstermiştir.

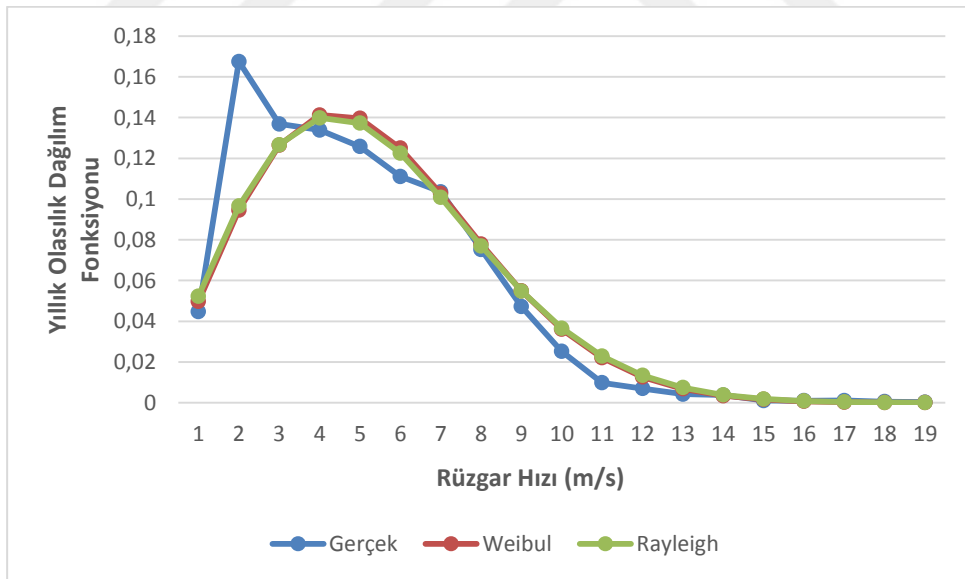
Tablo 7.1. İzmir Bölge istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull değişkenleri

2020	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,6	7,1	6,2	4	5,5	3,9	4,6	5,1	6	5,7	5	5	5,5
k	2	3,11	2,57	2,49	2,46	1,33	1,22	1,42	2,46	2,58	2,23	1,88	2,12
2019	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,9	7,5	6,3	4,4	5,5	4,6	5,6	5,9	6,0	5,4	5,0	4,8	5,6
k	2,14	2,90	2,48	2,53	2,29	1,51	1,73	1,91	2,52	2,55	2,29	1,79	2,12
2018	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,4	6,7	5,4	4,2	5,6	4,5	5,2	6,4	6,1	5,7	5,1	5,0	5,5
k	1,79	2,50	2,09	2,41	2,21	1,43	1,39	2,00	2,79	2,55	2,16	1,70	2,04
2017	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,3	7,0	6,1	4,2	5,4	5,0	4,6	5,7	5,8	5,7	5,3	4,8	5,6
k	2,08	3,08	2,53	2,30	2,22	1,69	1,39	2,03	2,43	2,62	2,39	1,79	2,18
2016	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,8	7,4	6,5	4,6	6,3	5,9	5,6	6,4	5,9	5,7	5,5	5,9	6,1
k	2,09	3,23	2,44	2,04	2,00	1,57	1,46	2,32	2,31	2,66	2,21	2,10	2,04

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



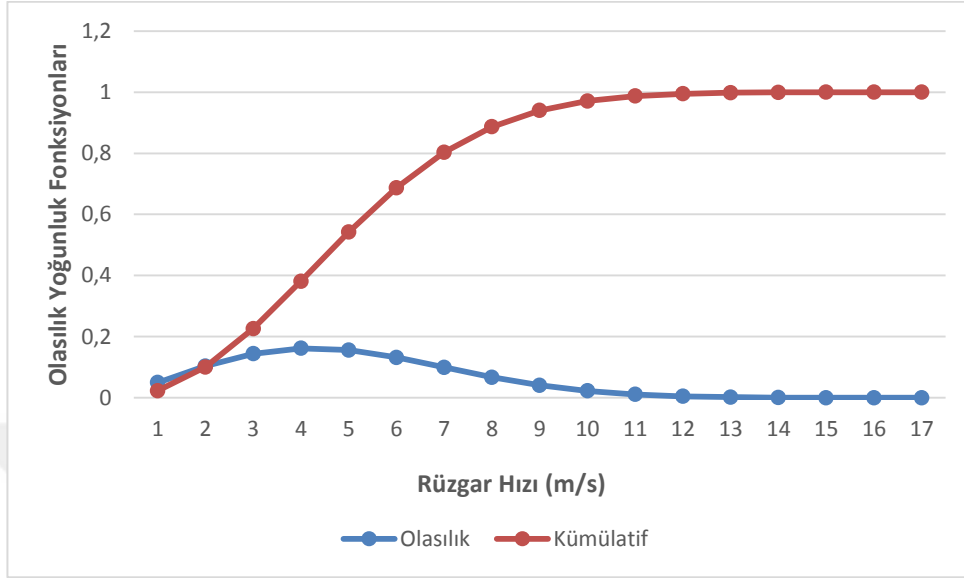
Şekil 7.2. İzmir Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi



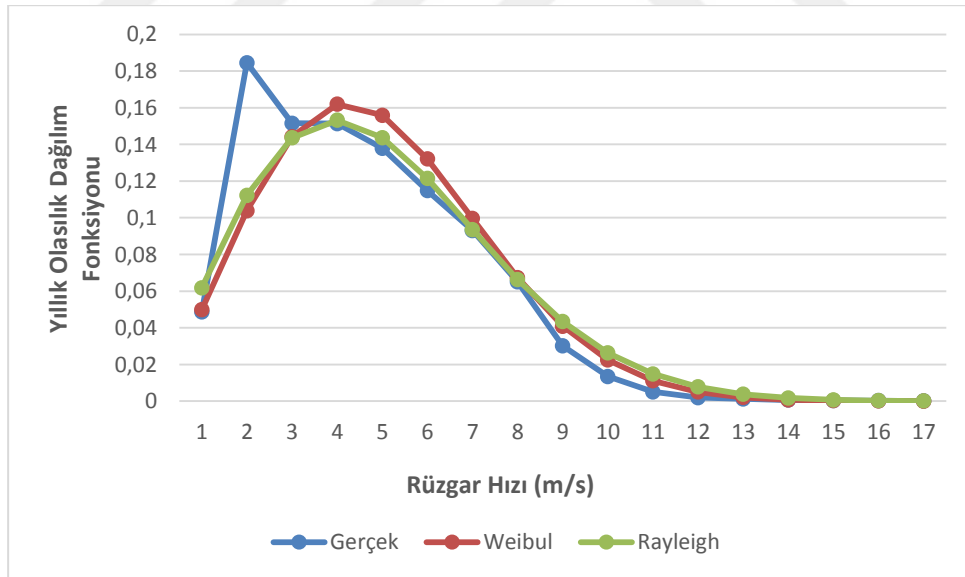
Şekil 7.3. İzmir bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.3'te İzmir ili 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişiminin gösterildiği grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımıyla Rayleigh dağılımlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.4’de gösterilmiştir.



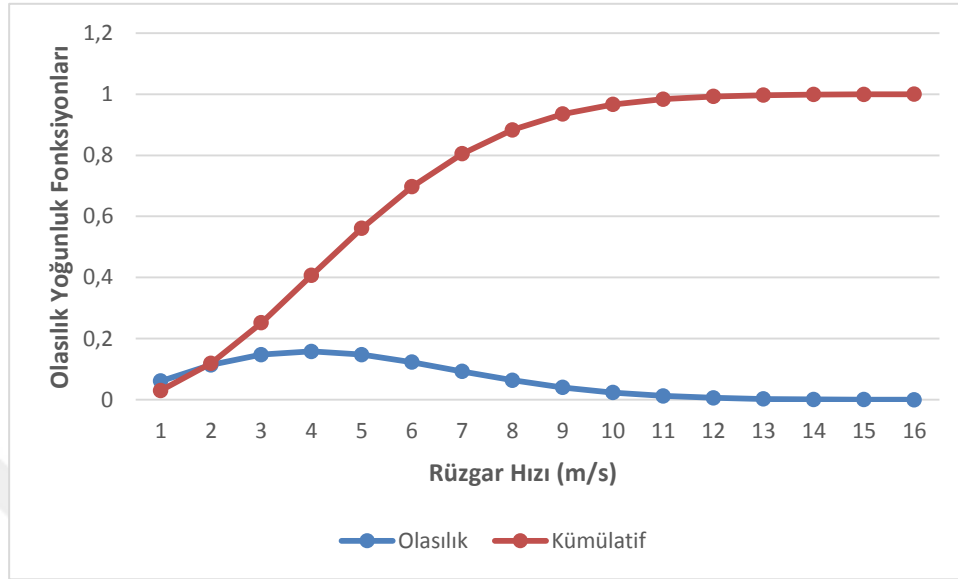
Şekil 7.4. İzmir bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi



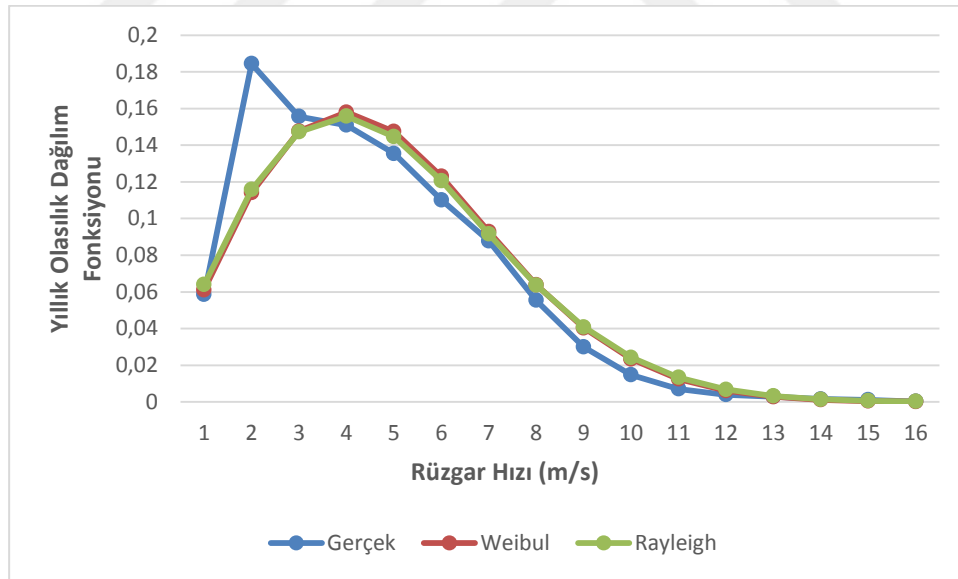
Şekil 7.5. İzmir bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.5’te İzmir ili 2017 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişiminin gösterildiği grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımıyla Rayleigh dağılımlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.6’da gösterilmiştir.



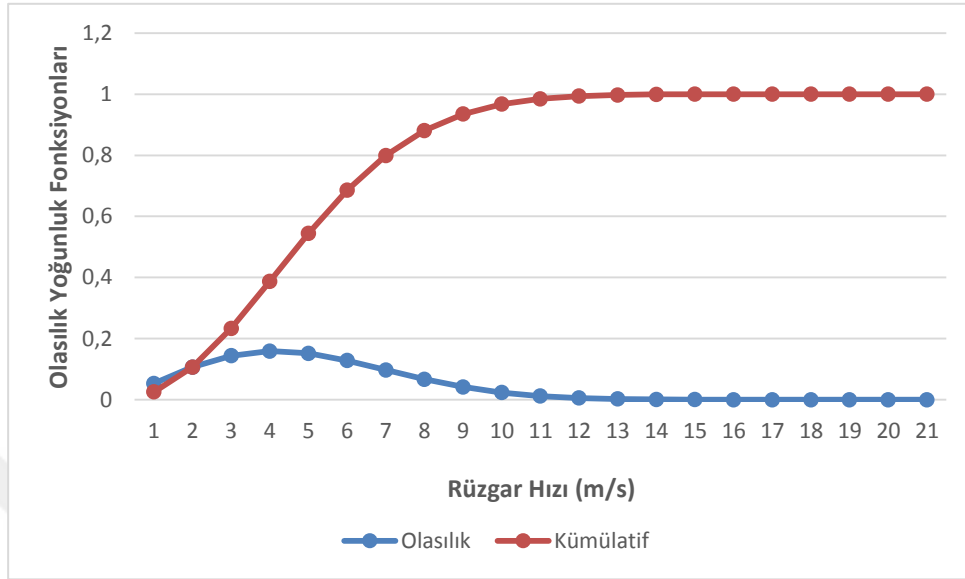
Şekil 7.6. İzmir bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi



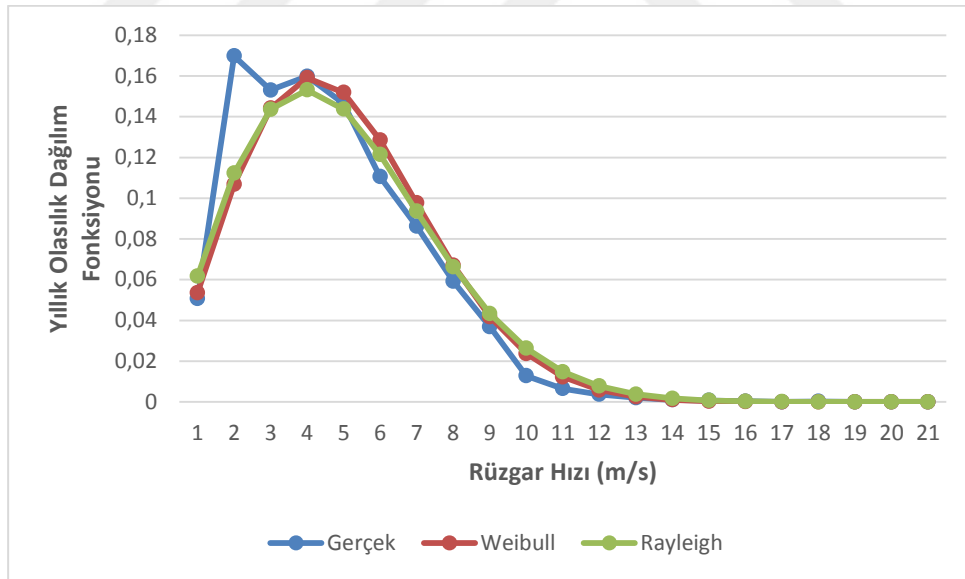
Şekil 7.7. İzmir bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.7’de İzmir ili 2018 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişiminin gösterildiği grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımıyla Rayleigh dağılımlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



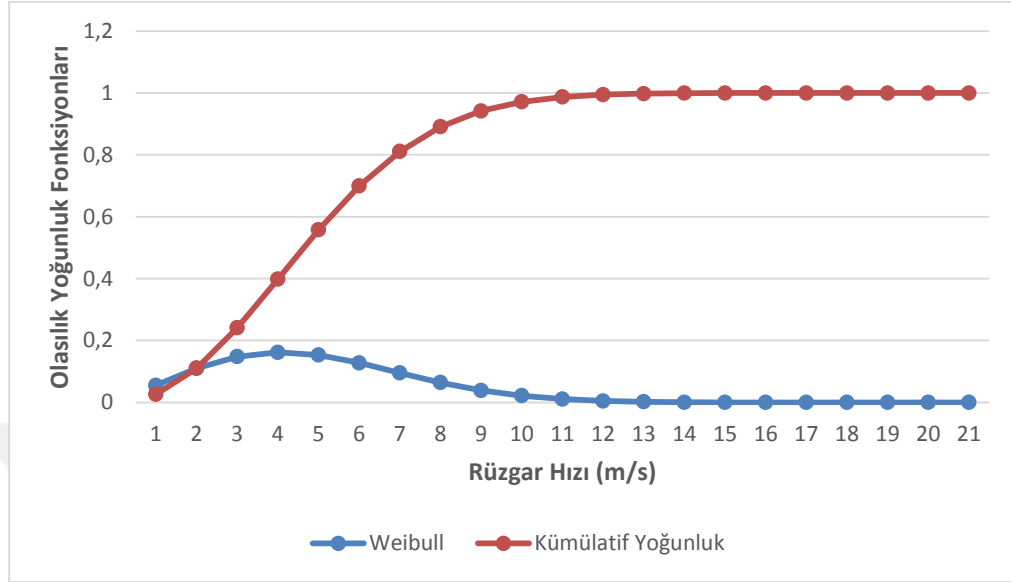
Şekil 7.8. İzmir bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi



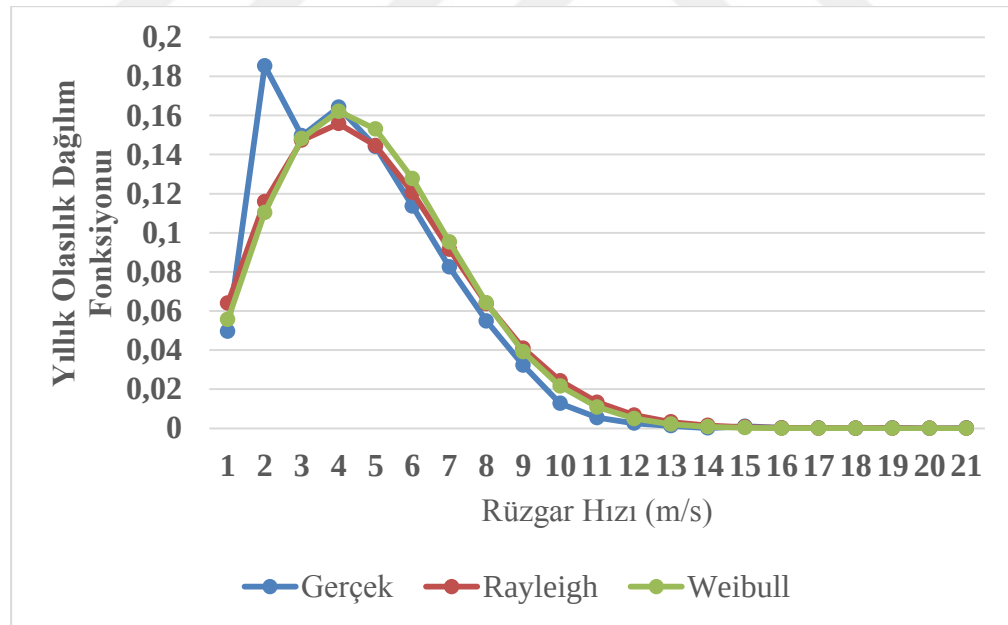
Şekil 7.9. İzmir bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.9’da İzmir ili 2019 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişiminin gösterildiği grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımıyla Rayleigh dağılımlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.10’da gösterilmiştir.



Şekil 7.10. İzmir bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

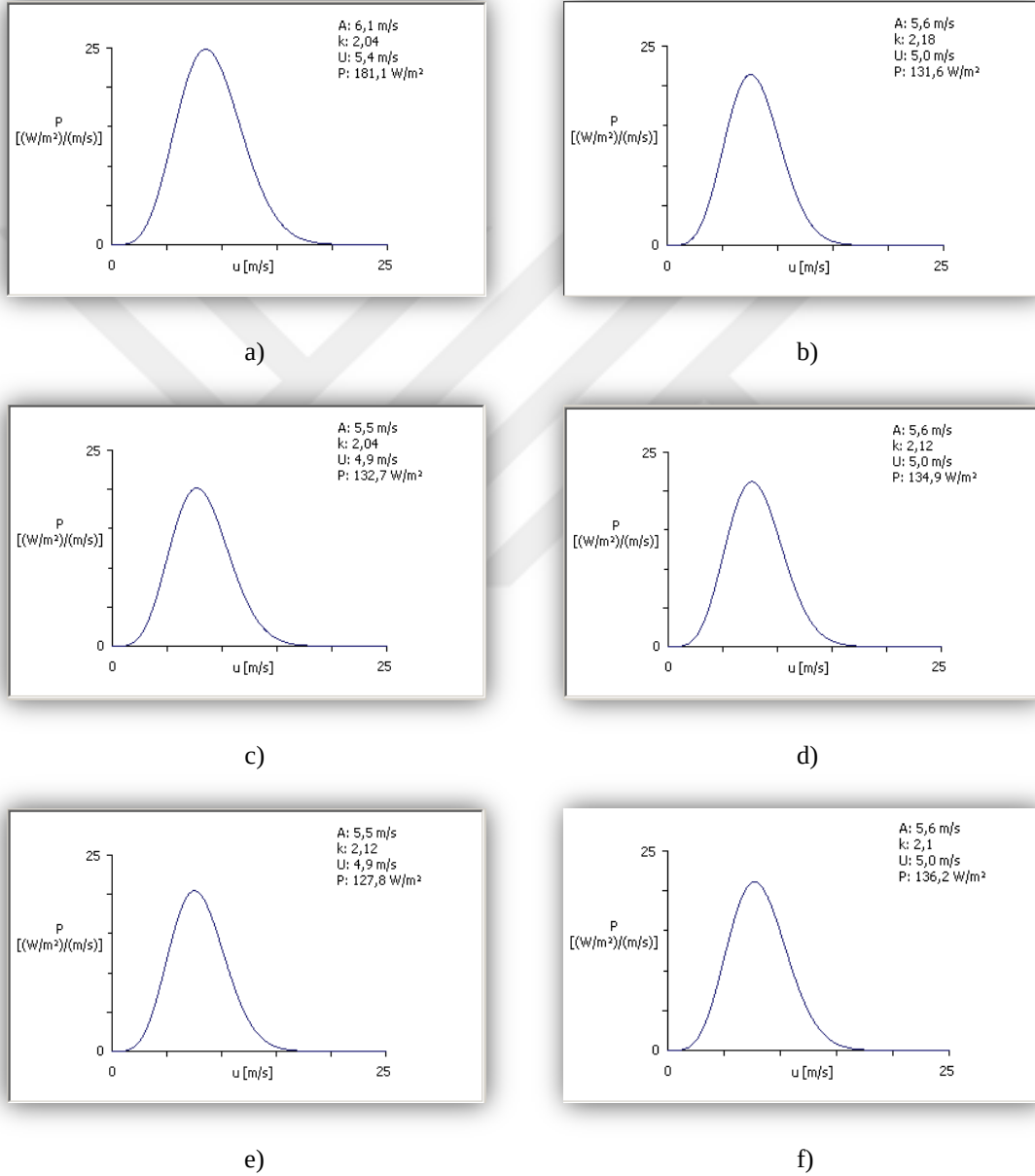


Şekil 7.11. İzmir bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım denklemlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.11’de İzmir ili 2020 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişiminin gösterildiği grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımıyla Rayleigh dağılımlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

7.3. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu

İzmir Bölge istasyonuna ait Weibull ortalama güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak 2016- 2020 yıllarına göre grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 7.12’de verilmiştir. Grafik WAsP programı yardımı ile daha önceden hesaplanan k ve c parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.12. İzmir Bölge İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri a) 2016 b) 2017 c) 2018 d) 2019 e) 2020 f) 2016-2020 yılları için ortalaması

Tablo 7.2, Tablo7.3, Tablo 7.4 ve Tablo 7.5’te aylık bazda birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu gerçek değerleri ve Weibull dağılımı değerleri verilmiştir. Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek verilere yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 7.2. Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2016/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2017 / Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	151	152	Ocak	114	116,5
Şubat	238	241,2	Şubat	204	207,8
Mart	187	188,4	Mart	155	152
Nisan	80	183	Nisan	53	53,1
Mayıs	205	203,6	Mayıs	118	116,1
Haziran	238	232,1	Haziran	129	125,7
Temmuz	231	226,4	Temmuz	143	138,7
Ağustos	186	186,6	Ağustos	149	148,5
Eylül	148	146,7	Eylül	131	134,2
Ekim	121	120,3	Ekim	124	121,4
Kasım	125	123,2	Kasım	103	103,6
Aralık	159	159,2	Aralık	104	102,7
Ortalama	172,4	167,5	Ortalama	127,25	126,7

Tablo 7.3. Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2018/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2019 / Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	149	146,2	Ocak	160	156,4
Şubat	202	203	Şubat	259	262,3
Mart	120	122,6	Mart	171	169,6
Nisan	53	51,3	Nisan	55	57
Mayıs	127	130	Mayıs	120	119,6
Haziran	123	122,4	Haziran	117	117,8
Temmuz	206	200,3	Temmuz	167	170,8
Ağustos	211	213,4	Ağustos	176	176
Eylül	144	143,8	Eylül	142	145
Ekim	122	123,4	Ekim	106	104,9
Kasım	101	100,2	Kasım	91	89,9
Aralık	126	124,6	Aralık	102	102,7
Ortalama	140,3	140,1	Ortalama	138,8	139,3

Tablo 7.4. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	145	143
Şubat	218	216,1
Mart	156	158
Nisan	42	4,3
Mayıs	112	91,4
Haziran	93	93,2
Temmuz	186	189,4
Ağustos	179	180,7
Eylül	145	147,3
Ekim	120	122,5
Kasım	91	91,8
Aralık	111	109,1
Ortalama	133,16	132,15

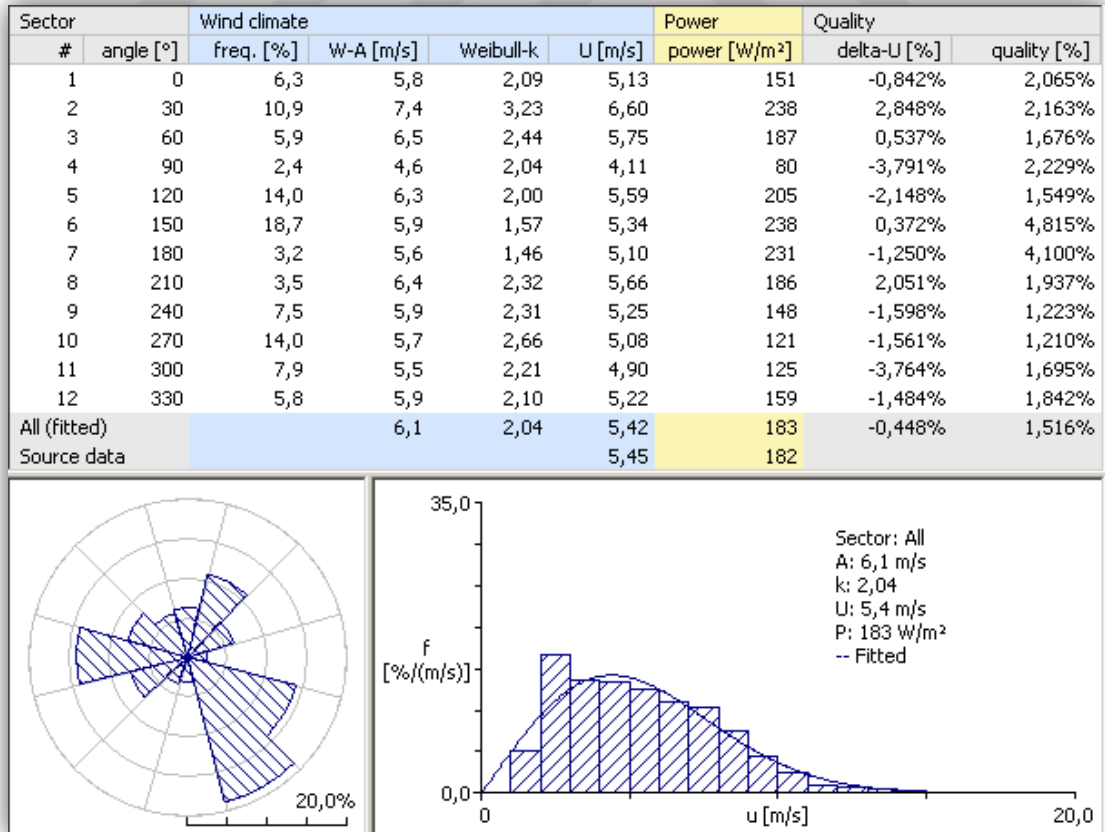
Tablo 7.5. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi

Yıllar	Gerçek Veriler	Weibull
2016	172,4	167,5
2017	127,25	126,7
2018	140,3	140,1
2019	138,8	139,3
2020	133,16	132,15
Ortalama	142,38	141,15

7.4. Rüzgâr Verilerinin Analizi

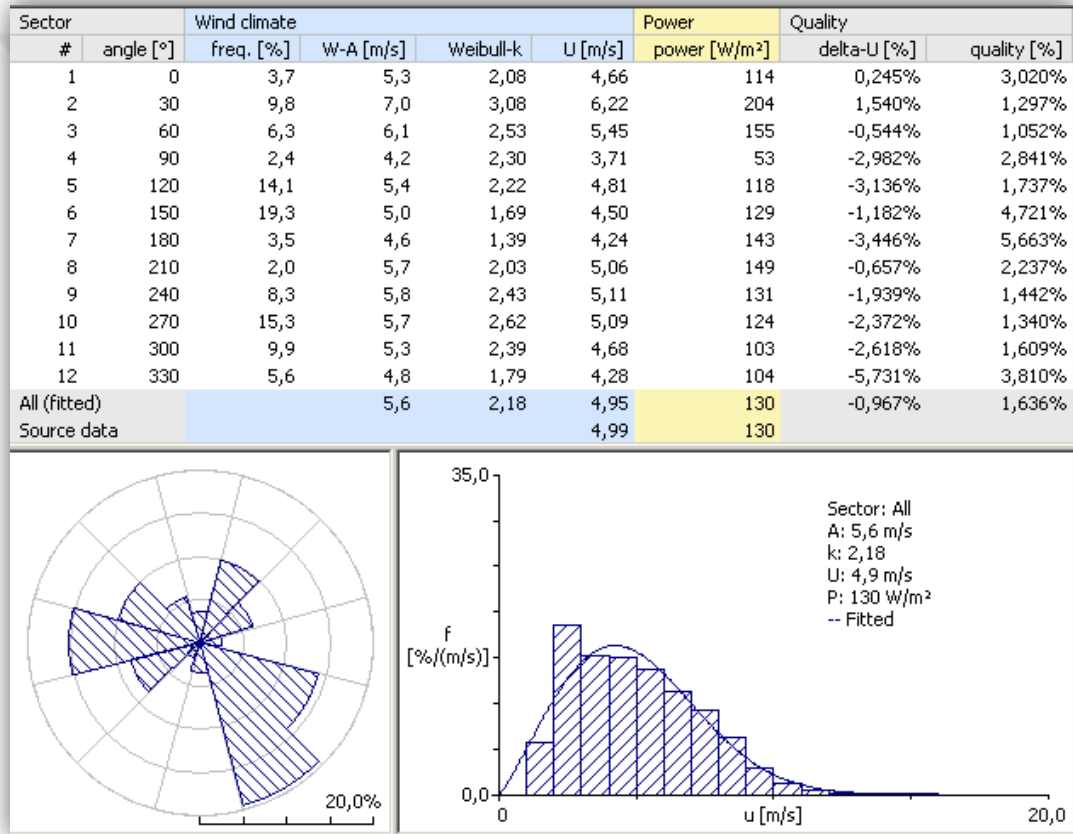
2016 – 2020 yılları için WAsP programında rüzgar verilerinin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15, Şekil 7.16 ve Şekil 7.17’de verilmiştir.

Şekil 7.13 2016 yılı analiz sonuçlarına göre İzmir’de hakim rüzgar yönü 6. Sektör (150°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 6 (150°) %18,7 Sektör 10 (270°) %14, Sektör 5 (120°) %14’tür. Tüm bu sektörlere alakalı ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları sırasıyla verecek olursak; 5,34 m/s ve 238 W/m^2 , 5,08 m/s ve 121 W/m^2 , 5,59 m/s ve 205 W/m^2 ’dir ve bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 5,45 m/s, güç yoğunluğu ise 182 W/m^2 olarak tespit edildiği görülmektedir.



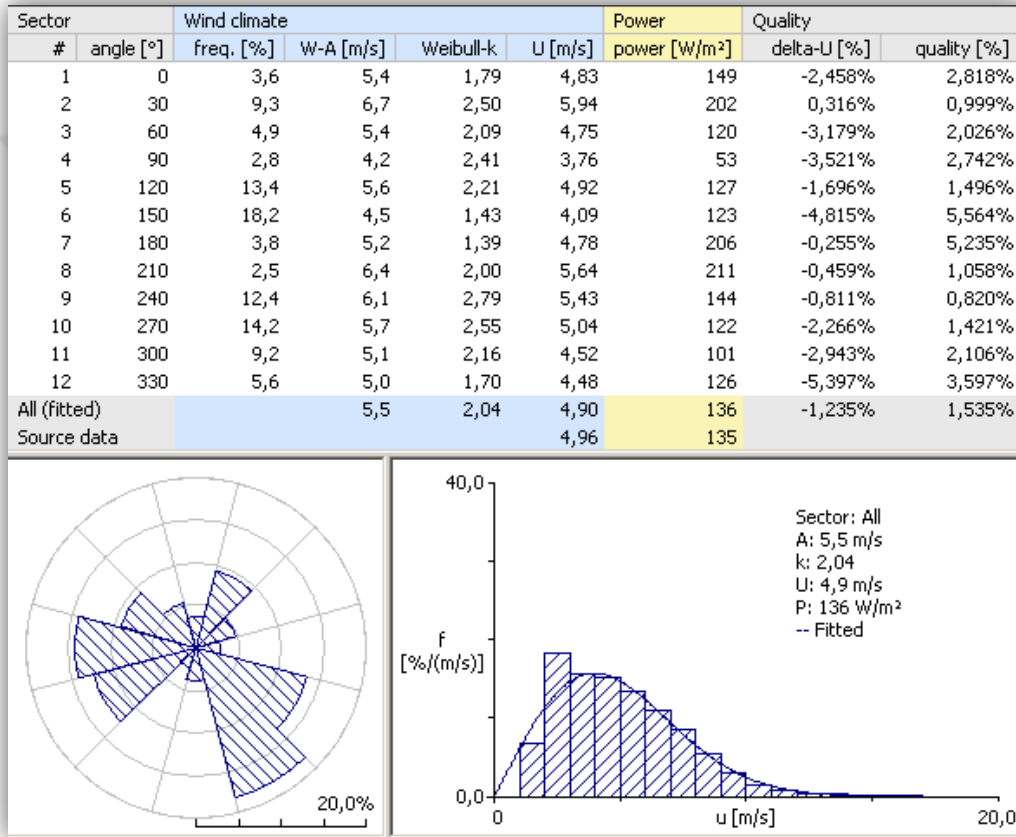
Şekil 7.13. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)

Şekil 7.14 2017 yılı analiz sonuçlarına göre İzmir’de hakim rüzgar yönü 6. Sektör (150°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 6 (150°) %19,3 Sektör 10 (270°) %15,3 Sektör 5 (120°) %14,1’dir ve bu sektörler için ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırayla verdiğimiz zaman; 4,50 m/s ve 129 W/m², 5,09 m/s ve 124 W/m², 4,81 m/s ve 118 W/m²’dir. Daha sonra mevcut sektörlerdeki ortalama ise rüzgar hızı 4,99 m/s, güç yoğunluğu ise 130 W/m² olarak tespit edilmiş ve görülmektedir ki 2016 yılı ile kıyaslandığında küçük de olsa bir düşme görülmektedir.



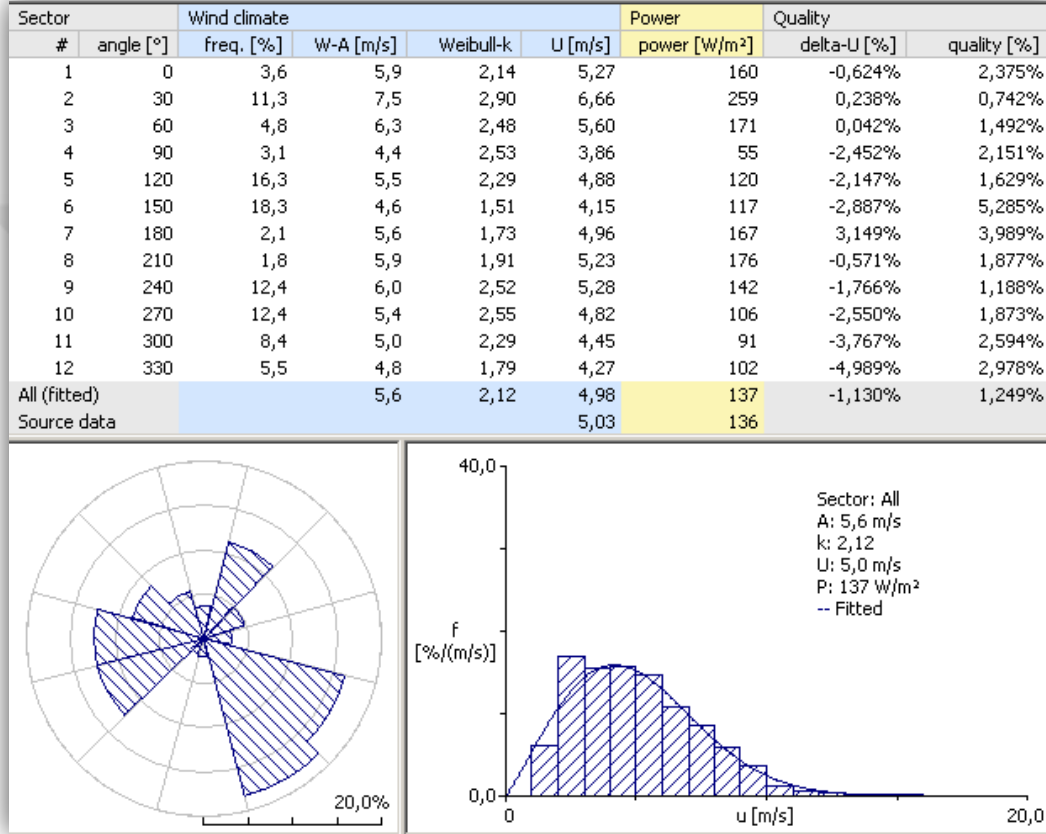
Şekil 7.14. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları(2017)

Şekil 7.15 2018 yılı analiz sonuçlarına göre İzmir’de hakim rüzgar yönü 6. Sektör (150°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 6 (150°) %18,2 Sektör 10 (270°) %14,2 Sektör 5 (120°) %12,4’tür ve tüm sektörlerin ortalaması alındığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırası ile 4,09 m/s ve 123 W/m², 5,04 m/s ve 122 W/m², 4,92 m/s ve 127 W/m²’dir. Daha sonra bütün sektörler için ortalama hesaplandığında rüzgar hızı 4,96 m/s, güç yoğunluğu ise 135 W/m² bulunmuştur ki bu değer bir önceki yılın değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



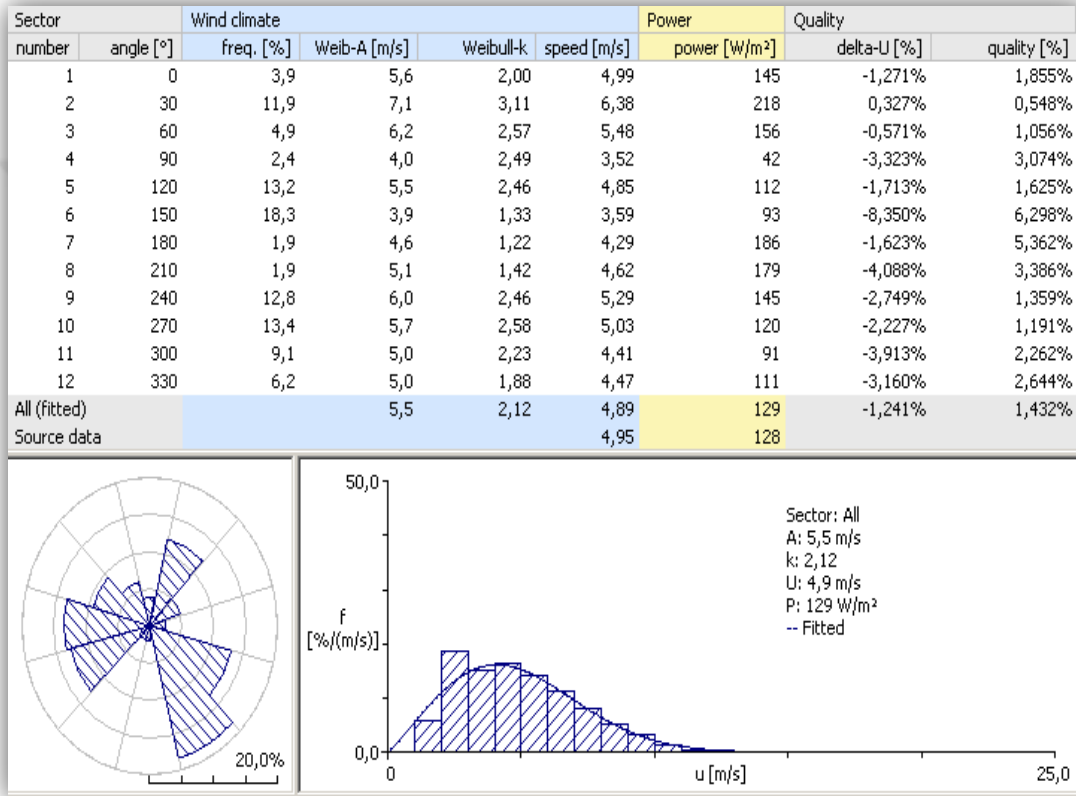
Şekil 7.15. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)

Şekil 7.16 2019 yılı analiz sonuçlarına göre İzmir’de hakim rüzgar yönü 6. Sektör (150°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 6 (150°) %18,3 Sektör 5 (120°) %16,3 Sektör 9 (240°) %12,4’tür. “Bu sektörlerle ait ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla; 4,15 m/s ve 117 W/m², 4,88 m/s ve 120 W/m², 5,28 m/s ve 142 W/m²’dir. Tüm sektörün ortalaması alındığında rüzgar hızı 5,03 m/s, güç yoğunluğu ise 136 W/m² olarak çıkmış ve 2016 yılı ile kıyas yapıldığında düşme dikkati çekmektedir.



Şekil 7.16. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)

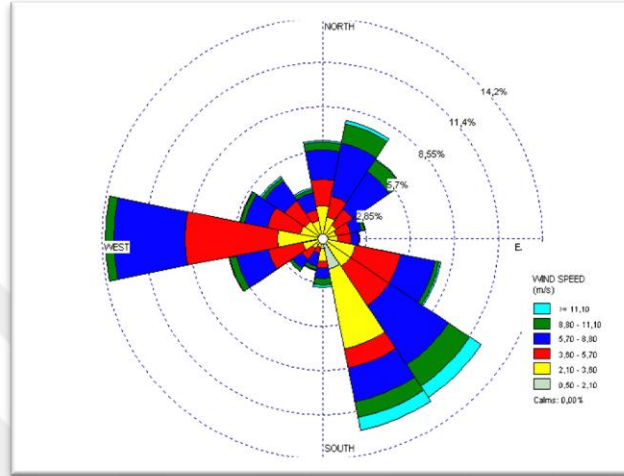
Şekil 7.17 2020 yılı analiz sonuçlarına göre İzmir’de hakim rüzgar yönü 6. Sektör (150°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 6 (150°) %18,3 Sektör 10 (270°) %13,4 Sektör 5 (120°) %13,2’dir ve bunların ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sıralandığında; 3,59 m/s ve 93 W/m², 5,03 m/s ve 120 W/m², 4,85 m/s ve 112 W/m² olarak bulunmuş ve tüm sektörlerin ortalaması için rüzgar hızı 4,95 m/s, güç yoğunluğu ise 128 W/m² şeklinde tespit edilmiştir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında ise hem rüzgar hızı hem rüzgar yoğunluğundaki düşme görülmektedir.



Şekil 7.17. İzmir için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)

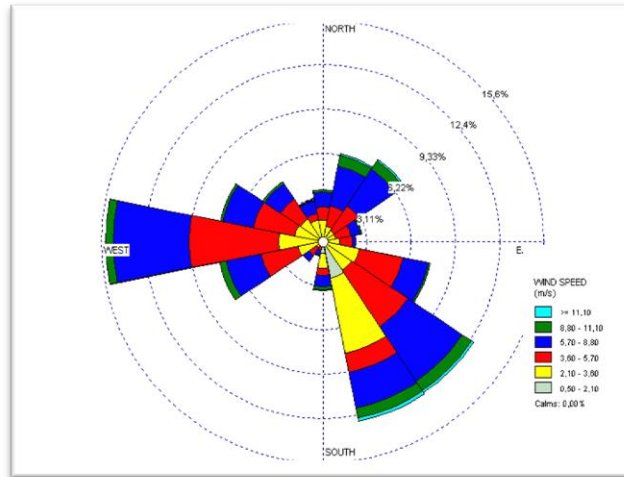
7.5. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü

Rüzgâr enerjisi araştırmalarını yapmak ve coğrafi özelliklerin rüzgâr üzerindeki etkisini ortaya koymak için, rüzgâr hızının rüzgâr yönüne göre belirlenmesi önemlidir [46]. İzmir Bölge istasyonunun 2016 – 2020 yıllarında rüzgâr enerjisi potansiyeli için hâkim rüzgâr yönü kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.18, Şekil 7.19, Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de verilmiştir.



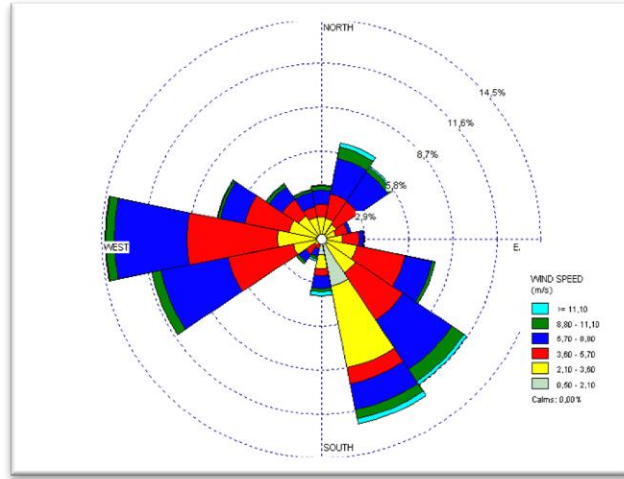
Şekil 7.18. İzmir Bölge istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.18 incelendiğinde 2016 yılı için en kuvvetli hâkim rüzgâr yönleri batı ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



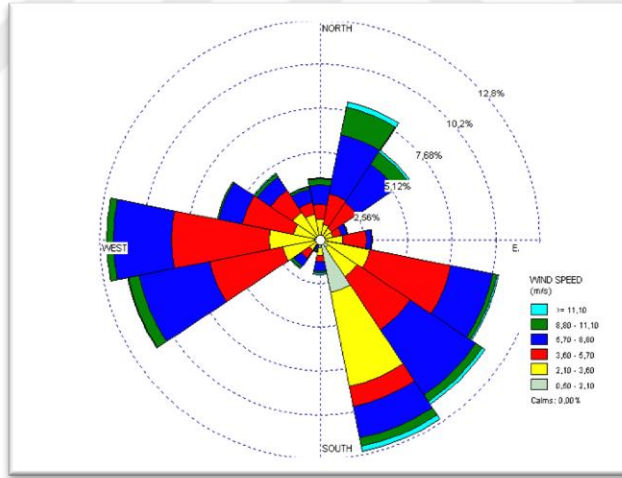
Şekil 7. 19. İzmir Bölge istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.19 incelendiğinde 2017 yılı için en kuvvetli hâkim rüzgâr yönleri batı ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



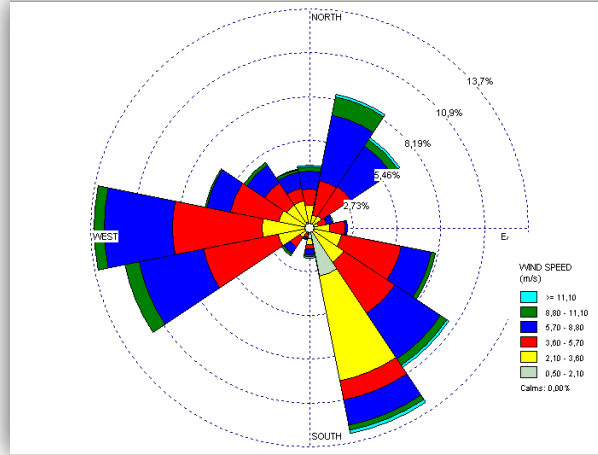
Şekil 7.20. İzmir Bölge istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.20 incelendiğinde 2018 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri batı, güneybatı ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.21. İzmir Bölge istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.21 incelendiğinde 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri batı, güneybatı ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.22. İzmir Bölge istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.22 incelendiğinde 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri batı, güneybatı ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.

“İzmir için 2016 – 2020 yılları arasında ölçüm altına alınan rüzgar hızı ve rüzgar yönü datalarından yararlanılarak, rüzgar potansiyeli yoğunluğu ve rüzgar hızı dağılımının istatistiki olarak çözümlemesi yapılmış ve beş yıl baz alınarak oluşturulan bu rüzgar hızı verilerine göre;

Rüzgarın mevcut hızı aylık olarak baz alındığında en düşük 2020 senesinin Ekim ayında 3,9 m/s hesaplanırken, en yüksek olduğu yıl ise 2018 senesinin Mart’ında 6,4 m/s şeklinde belirlenmiştir.

Weibull dağılımı açısından bakıldığında ise yıllık olarak en küçük ortalama hızın 4,9 m/s ile 2018 ve 2020 yılında, güç yoğunluğu açısından bakıldığında ise 127,8 W/m² olarak 2020 senesinde, en yüksek ortalama hız 5,4 m/s ve güç yoğunluğu 181,1 W/m² olarak 2016 senesinde ölçüldüğü görülmüştür.

2016 – 2020 yılları arasında hakim rüzgar yönü incelendiğinde genel olarak batı yönünde olduğu gözlemlenmiştir.

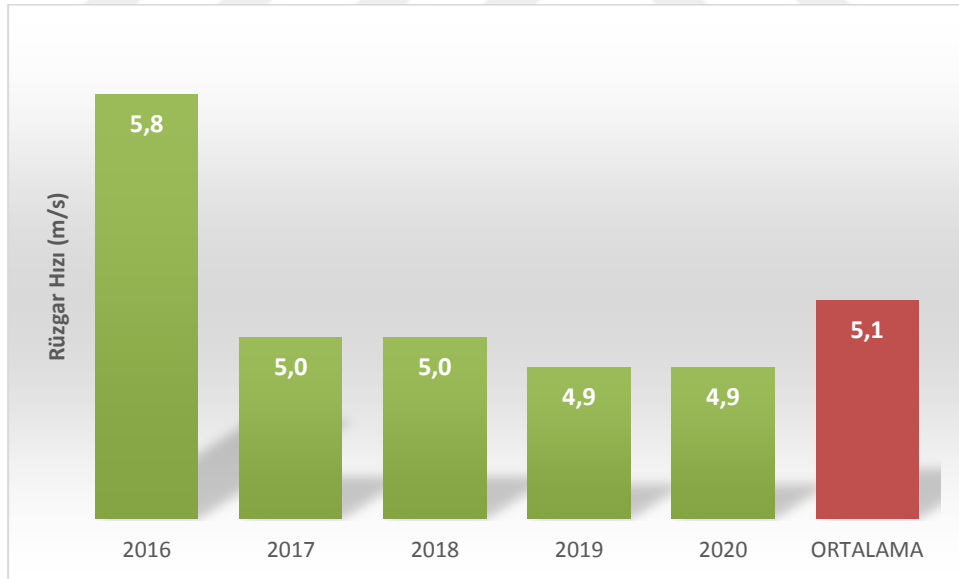
Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m² ve üzerinde olmalıdır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı elektrik üretimi açısından orta seviyenin altında olmakla birlikte ölçüm yüksekliğinin yükseltilmesi, arazinin farklı bölgelerinde rüzgar ölçümünün yapılmasıyla bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından uygun olması beklenmektedir.

7.6. Çeşme Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, 2016- 2020 yıllarına ait Çeşme istasyonundan alınan rüzgar hızları ve rüzgar yönleri kullanılmış ve bu datalardan elde edilen rüzgar hızı ve rüzgar yönü bilgileri sayesinde MS Office Excel programı ile düzeltildikten sonra txt dosyası olarak kayıt edilmişlerdir. Bu kaydedilen txt dosyası, WAsP programıyla birlikte WAsP Climate Analyst alt programına yüklenmiş ve ardından bölgeye ait rüzgar güç yoğunlukları, Weibull dağılımları oluşturulmuştur. Daha sonra bütün bu bilgiler sayesinde WAsP programı ile çözümlemesinin yanı sıra, MS Office Excel programı yardımı ile bütün bu bilgiler günlük, aylık ve yıllık olarak ortalamaları bulunmuş ve bu ortalamalar üzerinden yorumlar yapılmıştır.

Bölgedeki istasyondan ölçülen saatlik verilerin MS Office Excel’de düzeltilmesi sonrasında ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2016 – 2020 yıllarına ait ortalama yıllık rüzgar hızı değerleri Şekil 7.23’te verilmiştir. Bu değerlere göre Çeşme istasyonu için ortalama rüzgar hızı değerleri; 2016 yılında 5,8 m/s 2017 yılında 5,0 m/s 2018 yılında 5,0 m/s 2019 yılında 4,9 m/s ve 2020 yılında 4,9 m/s olarak bulunmuştur. 2016 – 2020 yılları arasında ortalama yıllık rüzgar hızı değeri 5,1 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.23. Çeşme istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri

7.7. Çeşme Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları

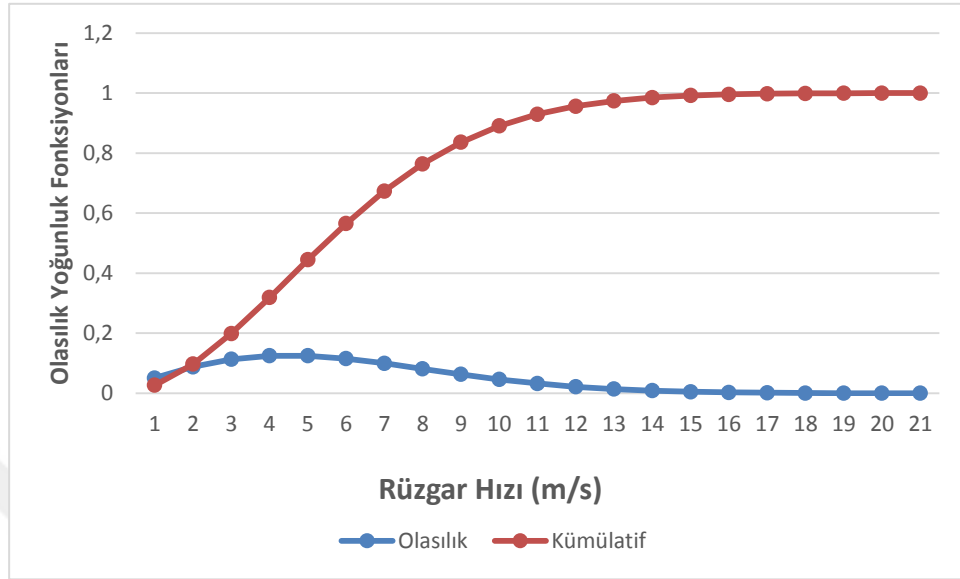
Çeşme istasyondan alınan rüzgar verileri kullanılarak, 2016- 2020 yılları için hesaplanan Weibull parametreleri Tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.6 incelendiğinde 2016 – 2020 yılları için ortalama Weibull şekil değişkeni (k) değeri 1,76 ile 1,91 arasında, Weibull ölçek değişkeni (c) değeri 5,5 ile 6,6 arasında değişim göstermiştir.

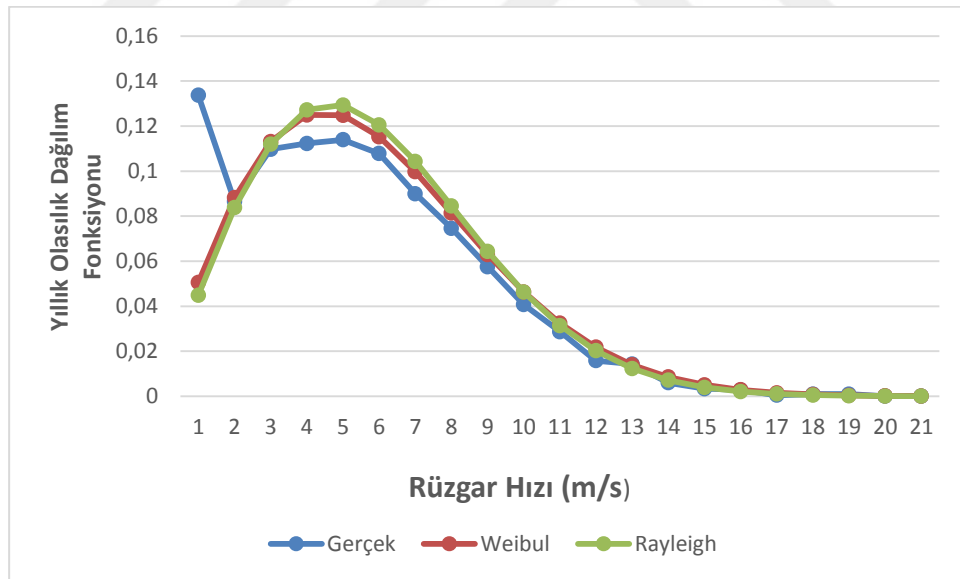
Tablo 7.6. Çeşme istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri

2020	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,9	5,9	7,1	5,8	3,4	3,8	5,1	5,5	4,2	2,1	5,2	5,9	5,6
k	2,23	1,76	2,30	2,16	1,26	1,32	1,61	1,75	1,58	1,00	2,29	2,72	1,88
2019	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,3	5,8	6,8	5,2	3,4	5,1	5,7	5,6	4,7	3,1	5,1	5,3	5,5
k	1,88	1,62	2,09	1,83	1,13	1,42	1,75	1,76	1,65	1,18	2,52	2,39	1,76
2018	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,2	6,4	6,7	4,8	4,3	5,0	7,0	7,0	4,9	3,8	5,2	5,3	5,7
k	1,93	1,77	2,06	1,76	1,60	1,46	1,81	1,89	1,56	1,62	2,47	2,59	1,76
2017	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,5	5,8	6,7	5,6	3,1	4,1	5,9	5,7	5,8	2,6	5,2	5,6	5,7
k	2,39	1,90	2,30	2,16	1,18	1,25	1,66	1,95	1,73	1,06	2,47	2,92	1,91
2016	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	6,3	7,4	7,7	5,2	3,5	5,3	7,1	7,5	6,2	2,6	5,6	6,3	6,6
k	2,07	2,10	2,40	1,64	1,04	1,34	1,79	1,96	1,90	0,97	2,32	2,87	1,91

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.24'te gösterilmiştir.



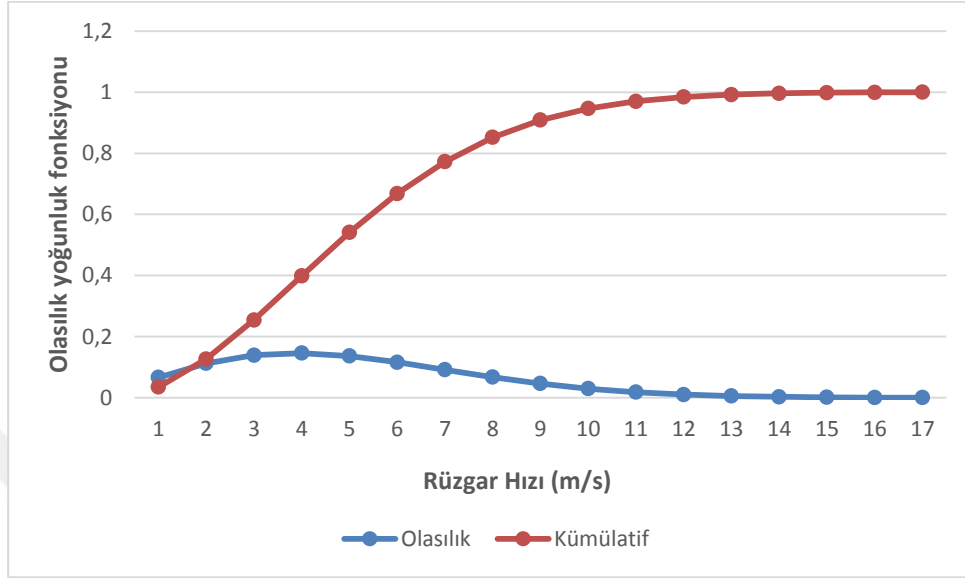
Şekil 7.24. Çeşme Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



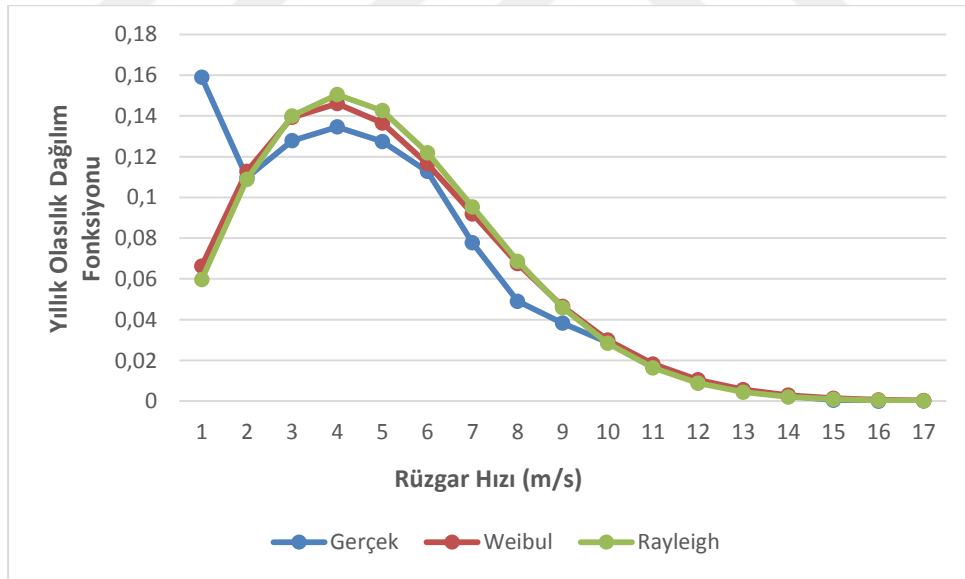
Şekil 7.25. Çeşme bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.25'te Çeşme bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.26’da gösterilmiştir.



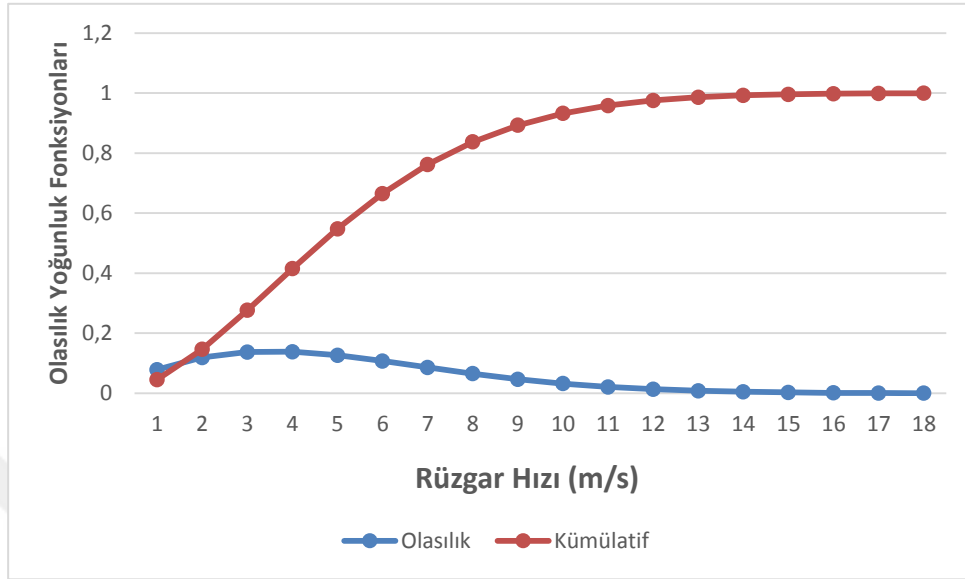
Şekil 7.26. Çeşme bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



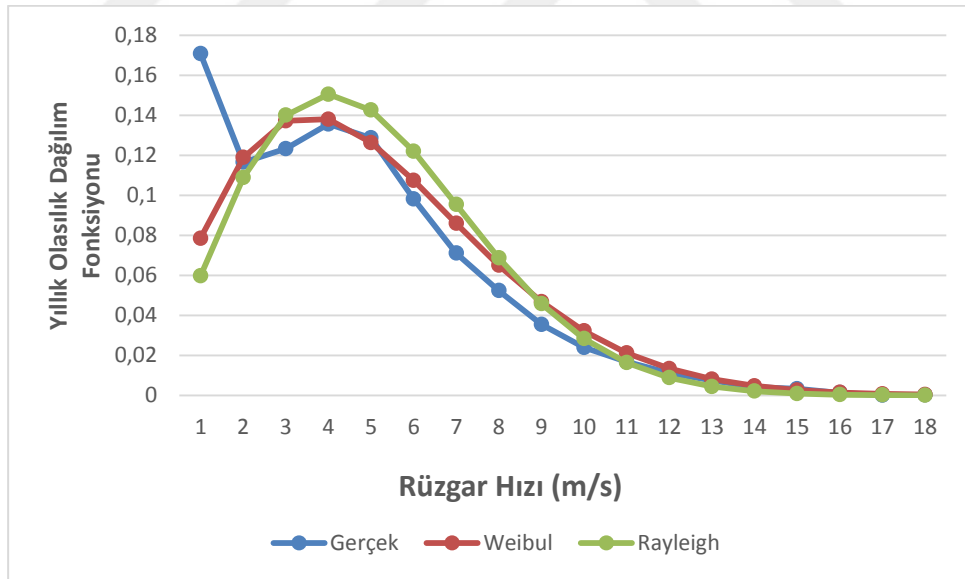
Şekil 7.27. Çeşme bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.27’de Çeşme bölgesi 2017 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.28’de gösterilmiştir.



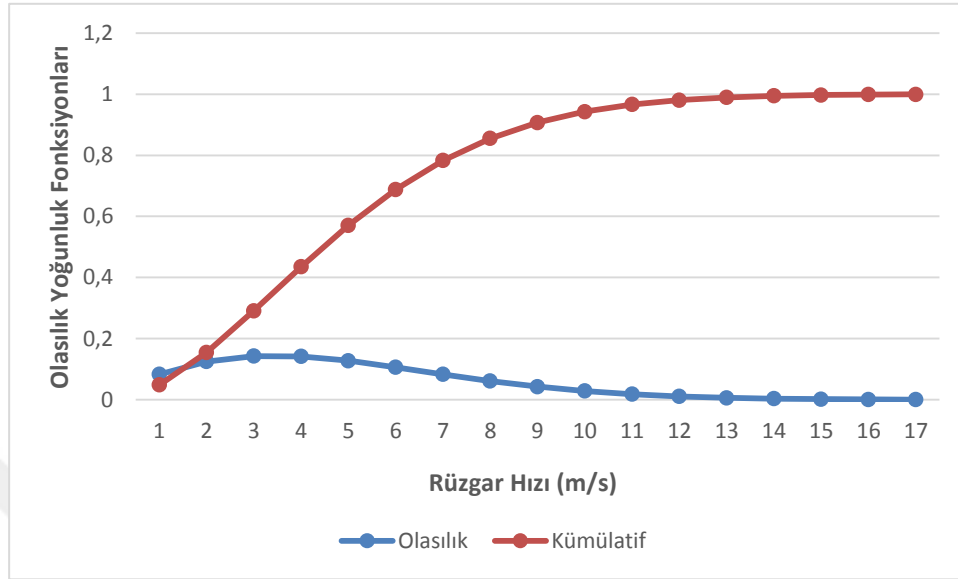
Şekil 7.28. Çeşme bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



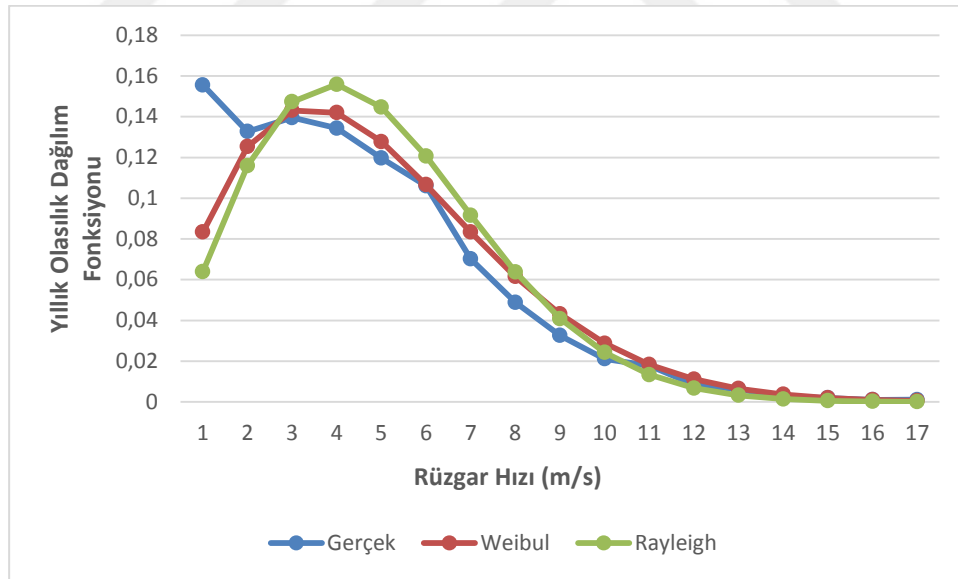
Şekil 7.29. Çeşme bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

"Şekil 7.29'da Çeşme bölgesi 2018 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.30’da gösterilmiştir.



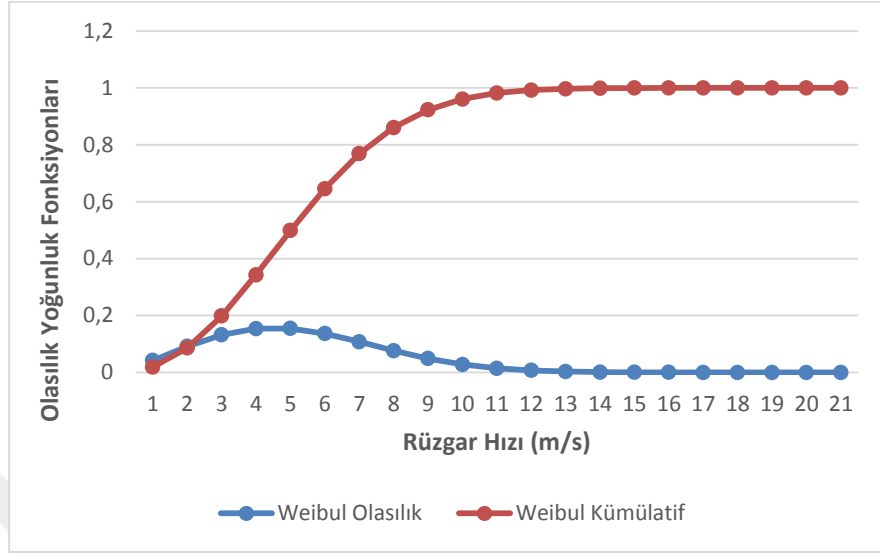
Şekil 7.30. Çeşme bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



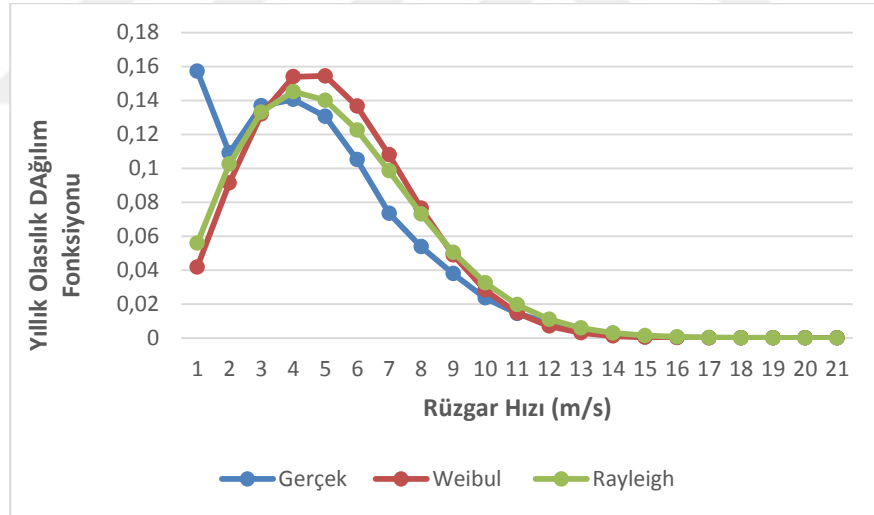
Şekil 7.31. Çeşme bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.31’de Çeşme bölgesi 2019 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.32’de gösterilmiştir.



Şekil 7.32. Çeşme bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

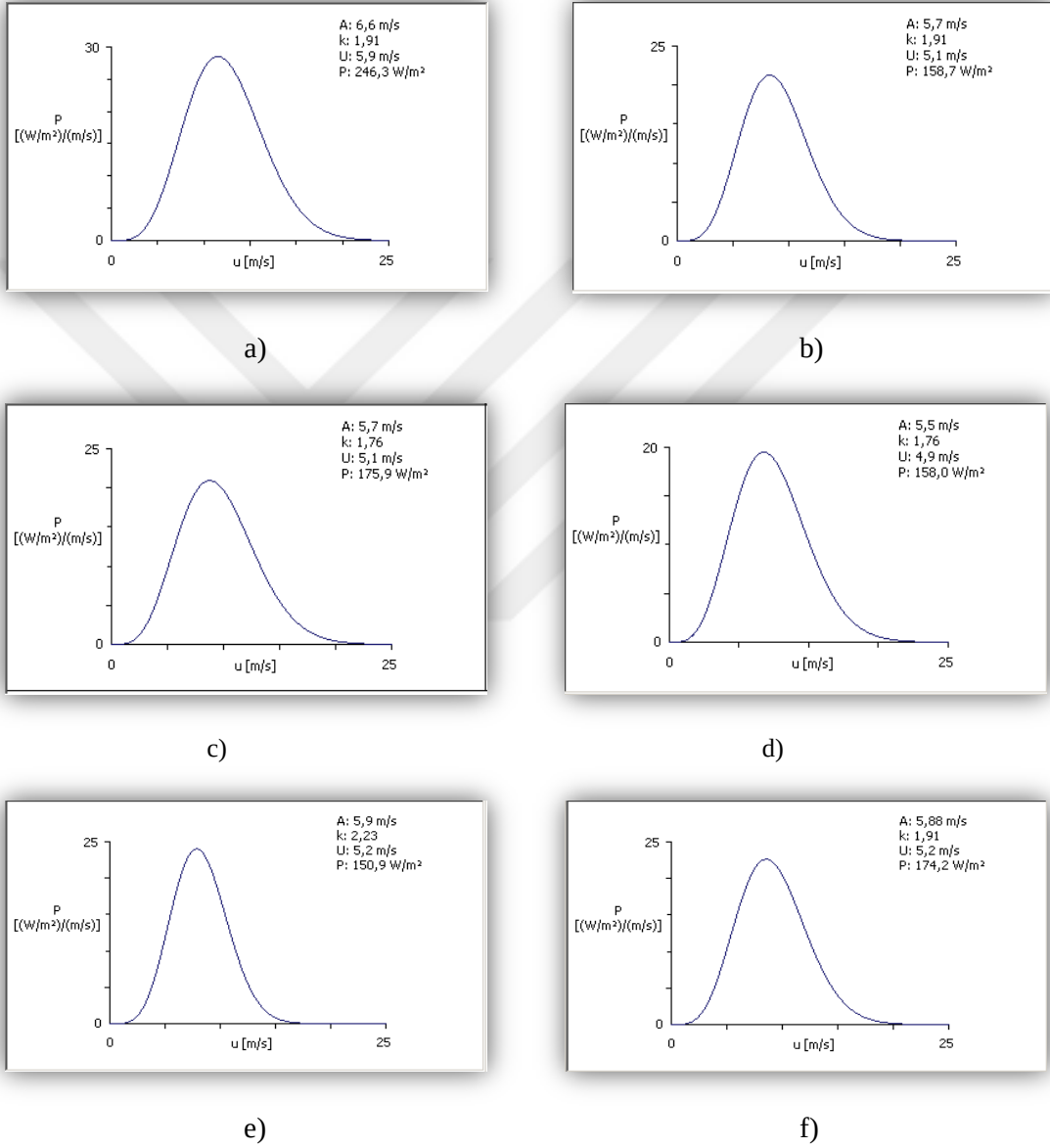


Şekil 7.33. Çeşme bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.33’de Çeşme bölgesi 2020 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

7.8. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu

Çeşme istasyonuna ait Weibull ortalama güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak 2016- 2020 yıllarına göre grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 7.34'te verilmiştir. Grafik WAsP programı yardımı ile daha önceden hesaplanan k ve c parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.34. Çeşme İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri a) 2016 b) 2017 c) 2018 d) 2019 e) 2020 f) 2016-2020 yılları için ortalaması

Tablo 7.7, Tablo 7.8, Tablo 7.9 ve Tablo 7.10’da aylık bazda birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu gerçek değerleri ve Weibull dağılımı değerleri verilmiştir. Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek verilere yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 7.7. Bölgenin 2016-2017 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2016/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2017 / Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	199	196,6	Ocak	117	115,8
Şubat	311	314,2	Şubat	169	168,2
Mart	319	316,8	Mart	217	215,5
Nisan	152	148	Nisan	132	132,7
Mayıs	140	136,6	Mayıs	65	63,6
Haziran	237	229,8	Haziran	126	125,8
Temmuz	328	332,2	Temmuz	212	212,2
Ağustos	347	351,1	Ağustos	256	251,7
Eylül	210	205,4	Eylül	186	189,7
Ekim	72	72,7	Ekim	54	52,4
Kasım	125	125	Kasım	97	95,7
Aralık	158	156,2	Aralık	109	108,8
Ortalama	216,5	215,3	Ortalama	145	144,3

Tablo 7.8. Bölgenin 2018-2019 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2018 /Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2019/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	119	119	Ocak	127	129,9
Şubat	244	247	Şubat	207	209,4
Mart	237	237,6	Mart	250	244,9
Nisan	105	105	Nisan	124	126,9
Mayıs	87	87,1	Mayıs	97	95,3
Haziran	164	161,2	Haziran	179	180,7
Temmuz	312	313,8	Temmuz	179	177,2
Ağustos	301	297,5	Ağustos	163	166,8
Eylül	136	134,4	Eylül	107	108,3
Ekim	57	58,9	Ekim	65	63,6
Kasım	95	95,7	Kasım	88	89,1
Aralık	101	98,3	Aralık	105	103,6
Ortalama	163,1	162,9	Ortalama	140,9	141,3

Tablo 7.9. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	148	150,9
Şubat	195	195
Mart	254	256,4
Nisan	147	147,4
Mayıs	73	70,3
Haziran	89	87,7
Temmuz	144	142,4
Ağustos	156	159,2
Eylül	83	82,8
Ekim	34	34
Kasım	103	101,1
Aralık	131	131,8
Ortalama	129,7	129,9

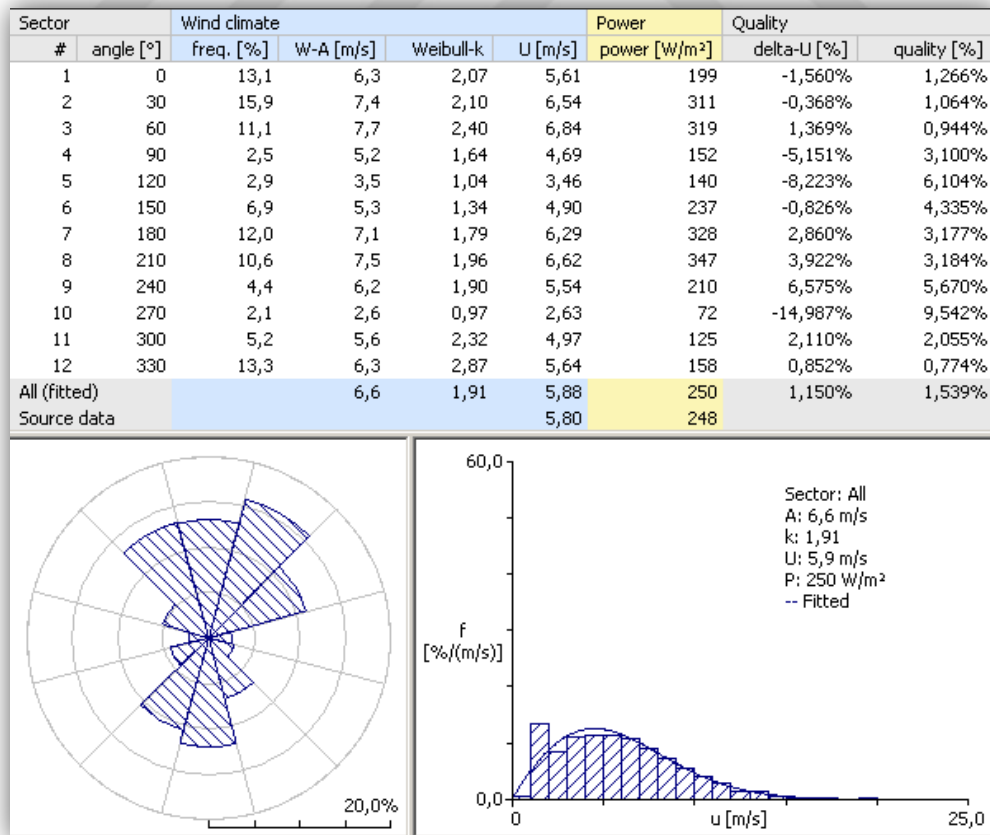
Tablo 7.10. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi

Yıllar	Gerçek Veriler	Weibull
2016	216,5	215,3
2017	145	144,3
2018	163,1	162,9
2019	140,9	141,3
2020	129,7	129,9
Ortalama	159,04	158,74

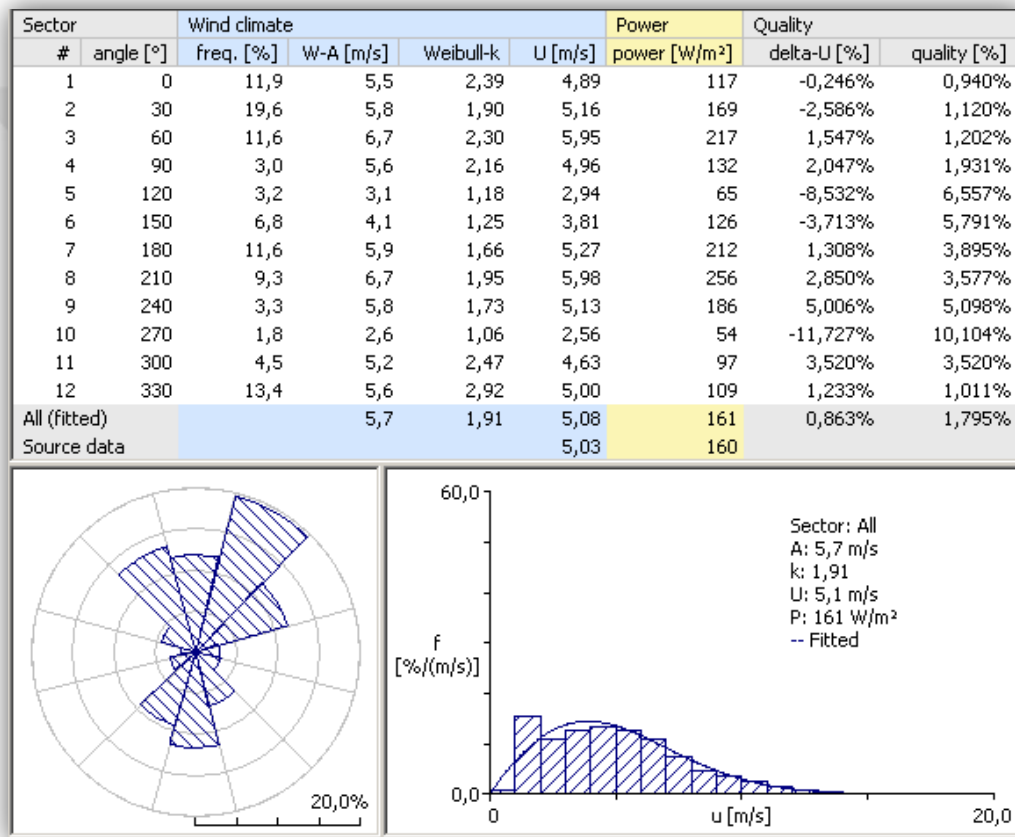
7.9. Rüzgâr Verilerinin Analizi

2016 – 2020 yılları için WAsP programında rüzgar verilerinin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.35, Şekil 7.36, Şekil 7.37, Şekil 7.38 ve Şekil 7.39’da verilmiştir.

“Şekil 7.35 2016 yılı analiz sonuçlarına göre Çeşme’de hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %15,9 Sektör 12 (330°) %13,3 Sektör 1 (0°) %13,1’dir. Tüm bu sektörlerle alakalı ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla verecek olursak; 6,54 m/s ve 311 W/m^2 , 5,64 m/s ve 158 W/m^2 5,61 m/s ve 199 W/m^2 ’dir ve bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 5,80 m/s, güç yoğunluğu ise 248 W/m^2 olarak tespit edildiği görülmektedir.

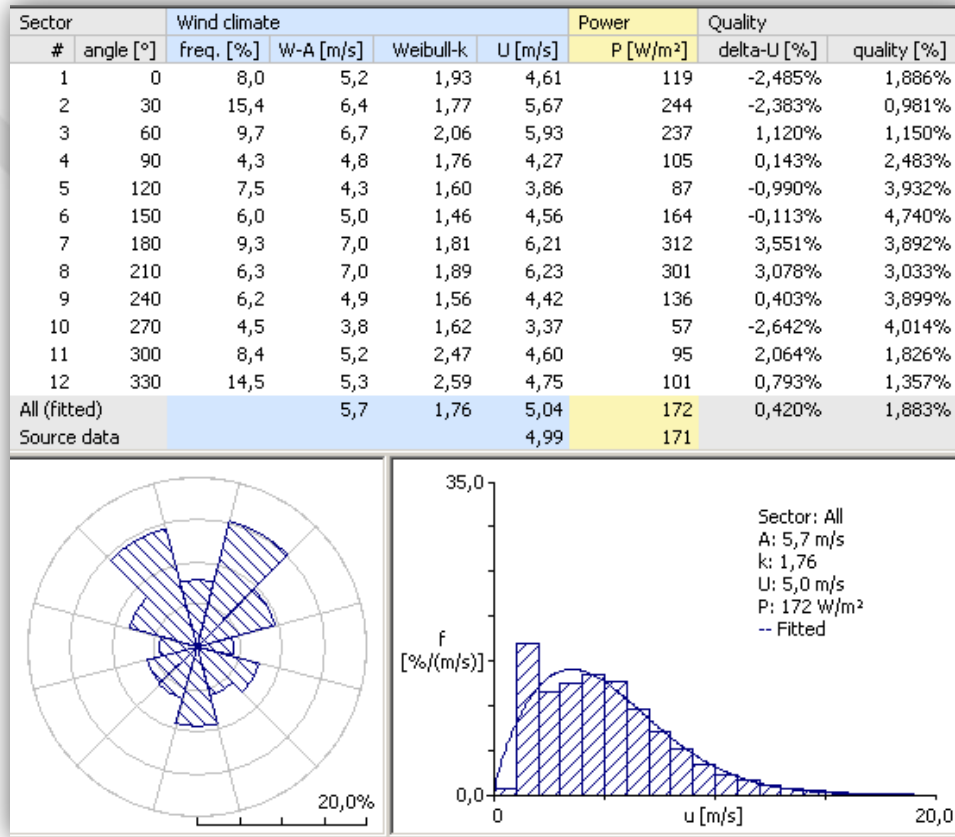
**Şekil 7.35.** Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)

Şekil 7.36 2017 yılı analiz sonuçlarına göre Çeşme’de hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %19,6 Sektör 12 (330°) %13,4 Sektör 1 (0°) %11,9’dur ve bu sektörler için ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırayla verdiğimiz zaman; 5,16 m/s ve 169 W/m², 5,00 m/s ve 109 W/m², 4,89 m/s ve 117 W/m²’dir. Daha sonra mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 5,03 m/s, güç yoğunluğu ise 160 W/m² olarak tespit edilmiş ve görülmektedir ki 2016 yılı ile kıyaslandığında hem rüzgar hızında hem rüzgar yoğunluğunda düşme görülmektedir.



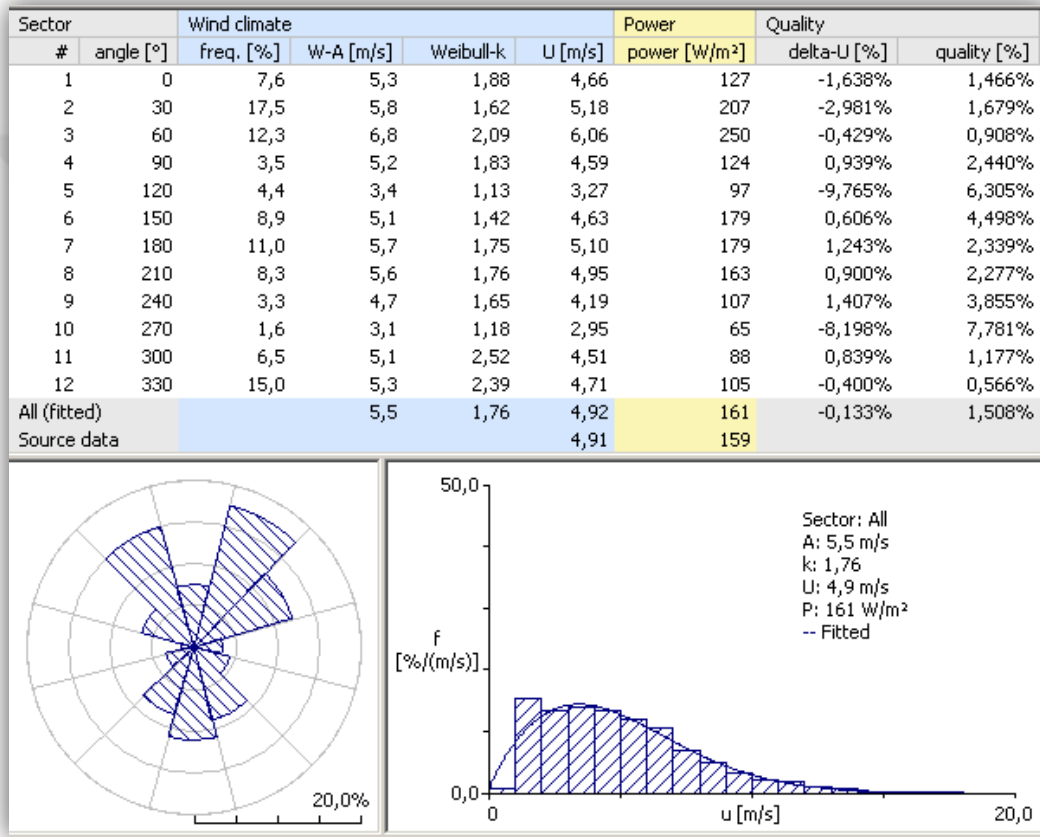
Şekil 7.36. Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)

“Şekil 7.37 2018 yılı analiz sonuçlarına göre Çeşme’de hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur, Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %15,4 Sektör 12 (330°) %14,5 Sektör 3 (60°) %9,7’dir. Bu sektörlerin ortalaması alındığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırası ile 5,67 m/s ve 244 W/m², 4,75 m/s ve 101 W/m², 5,93 m/s ve 237 W/m²’dir. Tüm sektörlerin ortalaması için rüzgar hızı 4,99 m/s, güç yoğunluğu ise 171 W/m²’dir. Bu değerlerin 2017 yılı değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



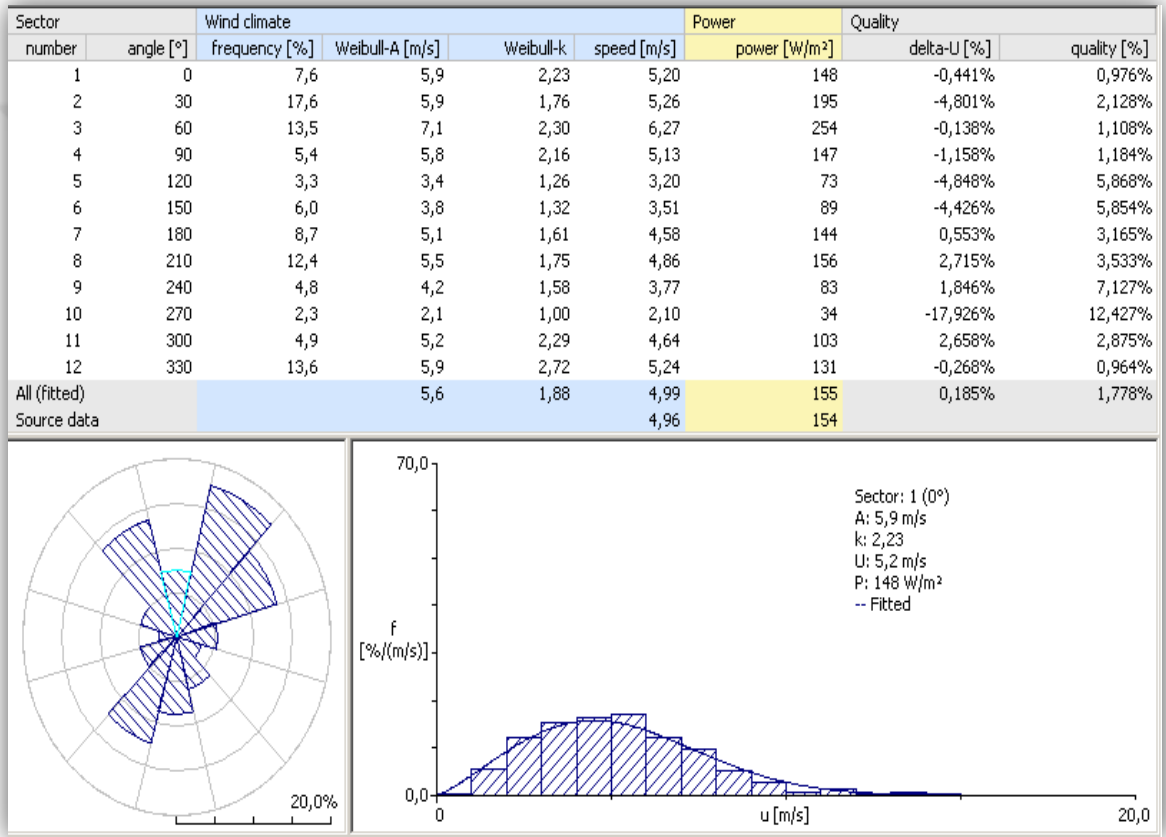
Şekil 7.37. Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)

“Şekil 7.38 2019 yılı analiz sonuçlarına göre Çeşme’de hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %17,5 Sektör 12 (330°) %15 Sektör 3 (60°) %12,3’tür. Bu sektörlerle ait ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla; 5,18 m/s ve 207 W/m², 4,71 m/s ve 105 W/m², 6,06 m/s ve 250 W/m²’dir. Mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 4,91 m/s, güç yoğunluğu ise 159 W/m²’dir. Bu değerlerin 2018 yılın değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.38. Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)

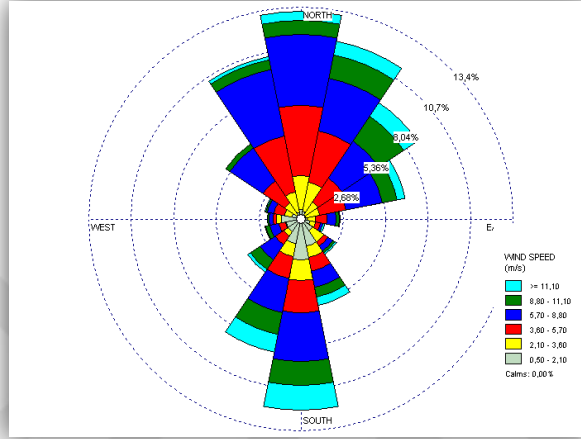
“Şekil 7.39 2020 yılı analiz sonuçlarına göre Çeşme’de hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %17,6 Sektör 12 (330°) %13,6 Sektör 3 (60°) %13,5’tir ve bunların ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sıralandığında; 5,26 m/s ve 195 W/m², 5,24 m/s ve 131 W/m², 6,27 m/s ve 254 W/m²’dir. Bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 4,96 m/s, güç yoğunluğu ise 154 W/m² olarak tespit edilmiştir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında ise hem rüzgar hızı hem rüzgar yoğunluğu değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.39. Çeşme için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)

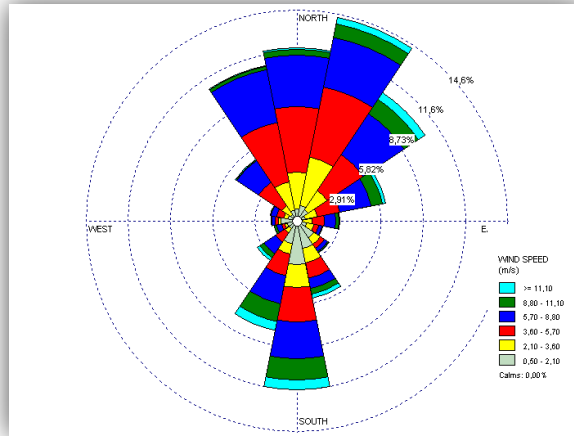
7.10. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü

Rüzgâr enerjisi araştırmalarını yapmak ve coğrafi özelliklerin rüzgâr üzerindeki etkisini ortaya koymak için, rüzgâr hızının rüzgâr yönüne göre belirlenmesi önemlidir [46]. Çeşme istasyonunun 2016 – 2020 yıllarında rüzgâr enerjisi potansiyeli için hâkim rüzgâr yönü kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.40, Şekil 7.41, Şekil 7.42, Şekil 7.43 ve Şekil 7.44’te verilmiştir.



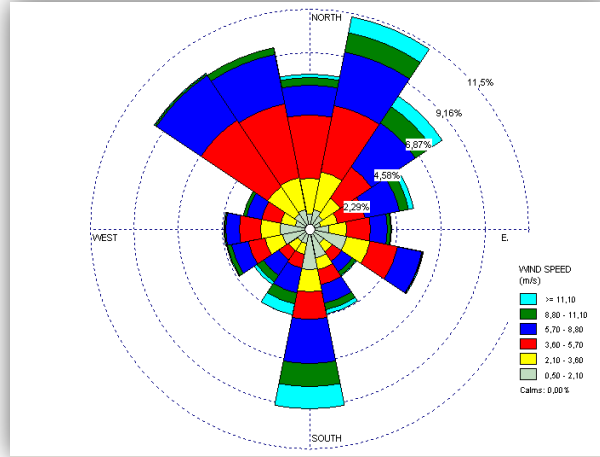
Şekil 7.40. Çeşme istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.40 incelenirse 2016 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri kuzey, güney ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



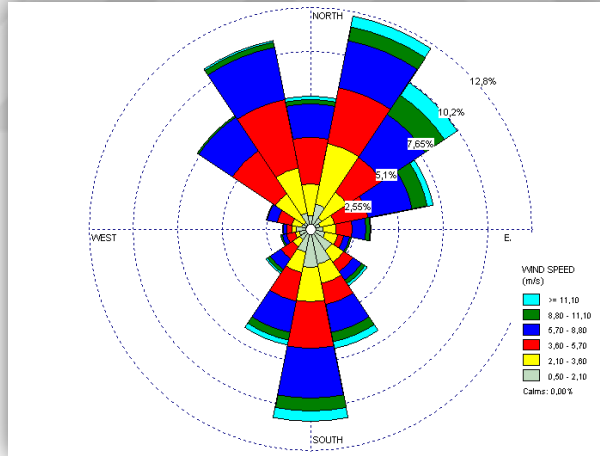
Şekil 7.41. Çeşme istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.41 incelenirse 2017 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri kuzey, güney ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



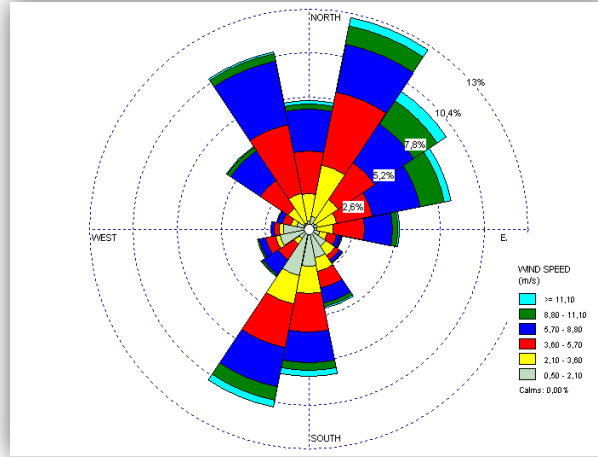
Şekil 7.42. Çeşme istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.42 incelenirse 2018 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri güney ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.43. Çeşme istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.43 incelenirse 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri güney ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.44. Çeşme istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.44 incelenirse 2020 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri güney ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.

Çeşme için 2016 – 2020 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak, rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hız dağılımının istatistiksel analizi yapılmıştır. Beş yıllık ortalama rüzgar hızı verilerine göre;

Rüzgar hızı aylık bazda en düşük 2018 yılının Nisan ayında 3,5 m/s iken, en yüksek ise 2018 yılının Mart ayında 6,8 m/s olarak belirlenmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 4,9 m/s ile 2019 yılında, güç yoğunluğu 150,9 W/m² olarak 2020 yılında, en yüksek ortalama hız 5,9 m/s ve güç yoğunluğu 246,3 W/m² olarak 2016 yılında elde edilmiştir.

2016 – 2020 yılları arasında hakim rüzgar yönü incelendiğinde genel olarak kuzeydoğu ve güney yönlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

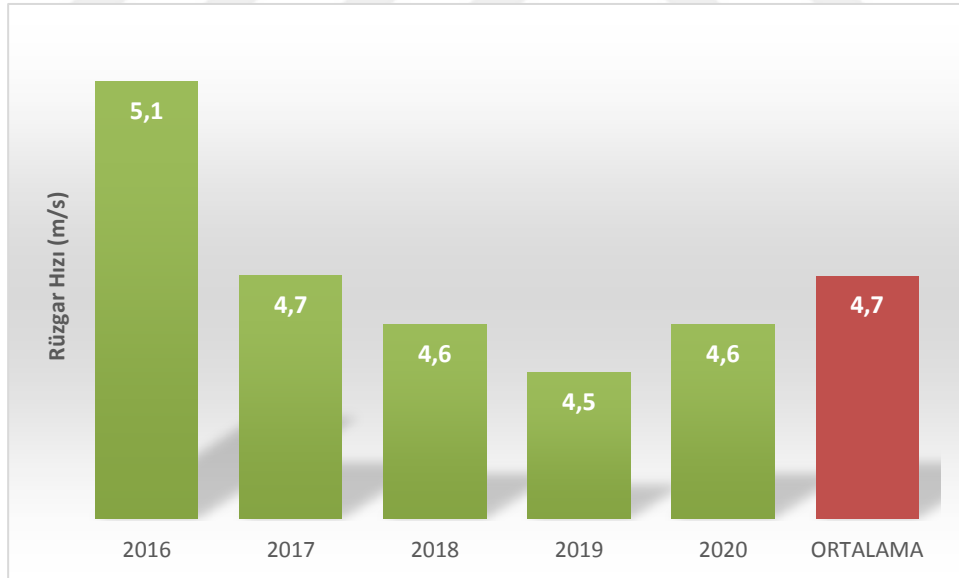
Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m² ve üzerinde olmalıdır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı elektrik üretimi açısından orta seviyenin altında olmakla birlikte ölçüm yüksekliğinin yükseltilmesi, arazinin farklı bölgelerinde rüzgar ölçümünün yapılmasıyla bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından uygun olması beklenmektedir.

7.11. Dikili Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, 2016- 2020 yıllarına ait Dikili istasyonundan alınan rüzgar hızları ve rüzgar yönleri kullanılmıştır. Eldeki rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri MS Office Excel programında düzeltilerek txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Hazırlanan txt dosyası, WAsP programı içerisindeki WAsP Climate Analyst alt programına yüklenerek bölgenin rüzgar güç yoğunlukları, Weibull dağılımı elde edilmiştir. Tüm verilerin WAsP içerisinde analizinin yapılmasının yanı sıra, MS Office Excel programı kullanılarak bu verilerin günlük, aylık ve yıl olarak ortalamaları bulunmuştur.

Bölgedeki istasyondan ölçülen saatlik verilerin MS Office Excel’de düzeltilmesi sonrasında ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2016 – 2020 yıllarına ait ortalama yıllık rüzgar hızı değerleri Şekil 7.45’ te verilmiştir. Bu değerlere göre Dikili istasyonu için ortalama rüzgar hızı değerleri; 2016 yılında 5,1 m/s 2017 yılında 4,7 m/s 2018 yılında 4,6 m/s 2019 yılında 4,5 m/s ve 2020 yılında 4,6 m/s olarak bulunmuştur. 2016 – 2020 yılları arasında ortalama yıllık rüzgar hızı değeri 4,7 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.45. Dikili istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değer

7.12. Dikili Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları

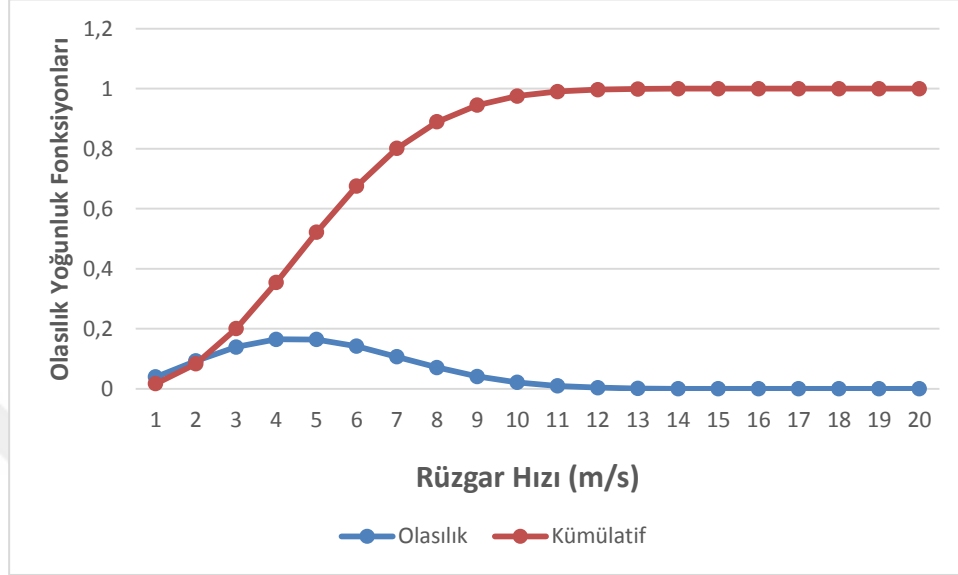
Dikili istasyonundan alınan rüzgar verileri kullanılarak, 2016- 2020 yılları için hesaplanan Weibull parametreleri Tablo 7.11’de verilmiştir,

Tablo 7.11 bakılırsa 2016 – 2020 yılları için ortalama Weibull şekil değişkeni (k) değeri 2,33 ile 2,41 arasında, Weibull ölçek değişkeni (c) değeri 5,0 ile 5,7 arasında değişim göstermiştir.

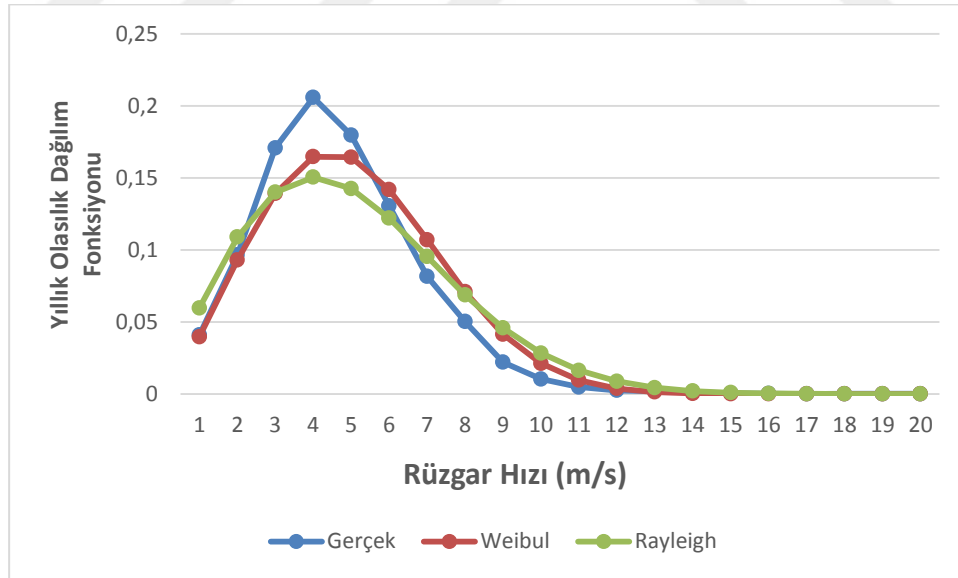
Tablo 7.11. Dikili istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri

2020	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	4,6	4,9	4,9	4,8	5,1	5,2	5,2	5,5	5,8	5,0	4,6	4,6	5,1
k	2,29	2,65	2,48	2,35	2,72	2,62	2,09	1,73	2,27	2,54	1,76	1,74	2,38
2019	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,1	4,8	5,0	4,8	5,0	5,0	5,3	5,9	5,5	4,5	4,4	4,6	5,0
k	2,82	2,16	2,35	2,36	2,70	2,48	2,48	1,95	2,34	2,07	1,68	1,94	2,35
2018	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	4,7	4,9	4,8	4,9	5,1	5,1	5,6	6,2	5,6	5,1	4,9	5,0	5,1
k	2,04	2,16	2,43	2,34	2,69	2,69	2,23	2,10	2,32	2,0	1,55	1,88	2,24
2017	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	4,8	4,5	5,1	5,1	5,4	5,5	6,1	5,2	5,4	5,0	5,5	5,0	5,3
k	2,70	2,23	2,48	2,62	2,81	2,43	2,75	1,84	2,18	2,05	1,92	2,16	2,41
2016	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	5,5	5,4	5,4	5,3	5,7	6,0	6,6	7,1	6,0	5,3	5,3	5,8	5,7
k	2,36	2,43	2,59	2,49	2,50	2,23	2,43	2,49	2,53	2,0	1,95	2,21	2,33

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.46’da gösterilmiştir.



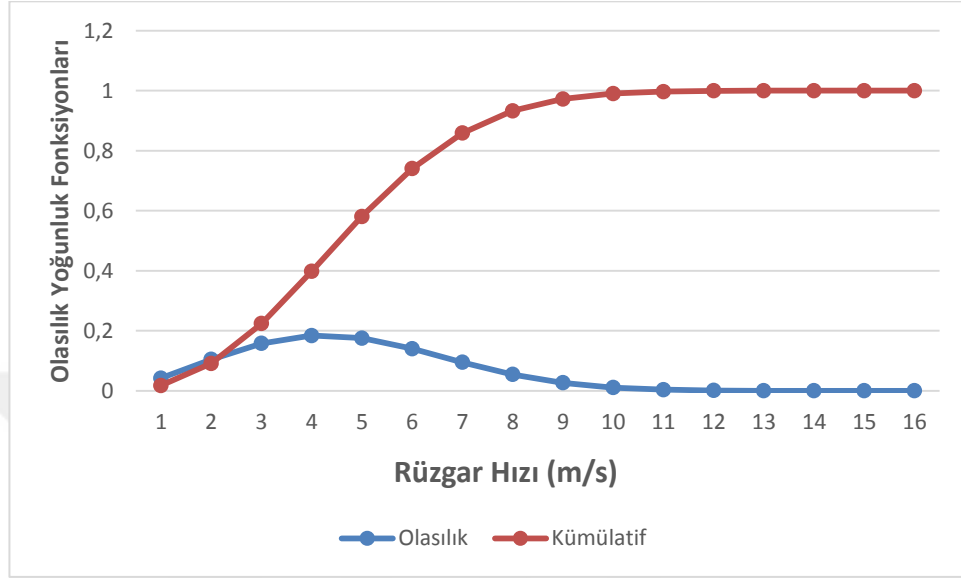
Şekil 7.46. Dikili Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



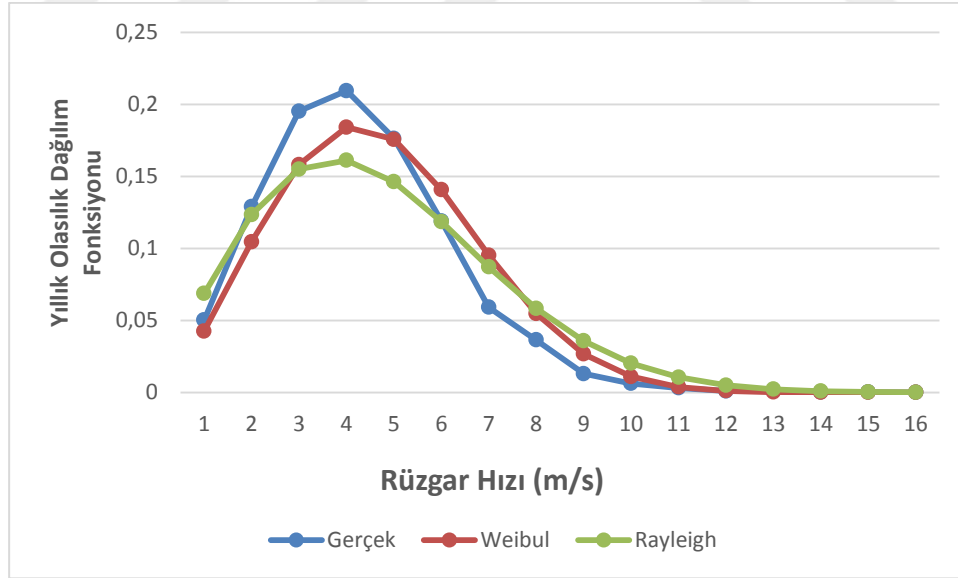
Şekil 7.47. Dikili bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.47’de Dikili bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.48’de gösterilmiştir.



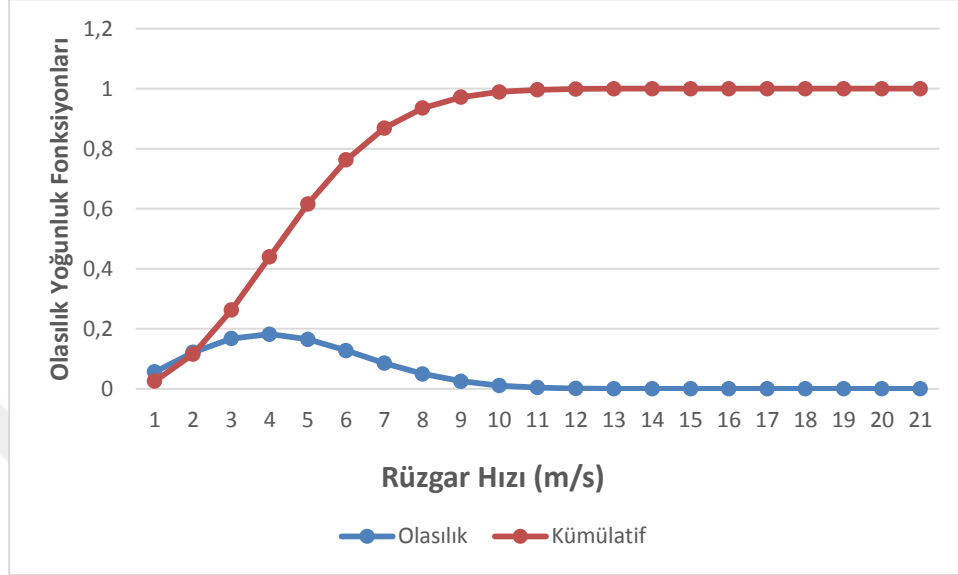
Şekil 7.48. Dikili bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



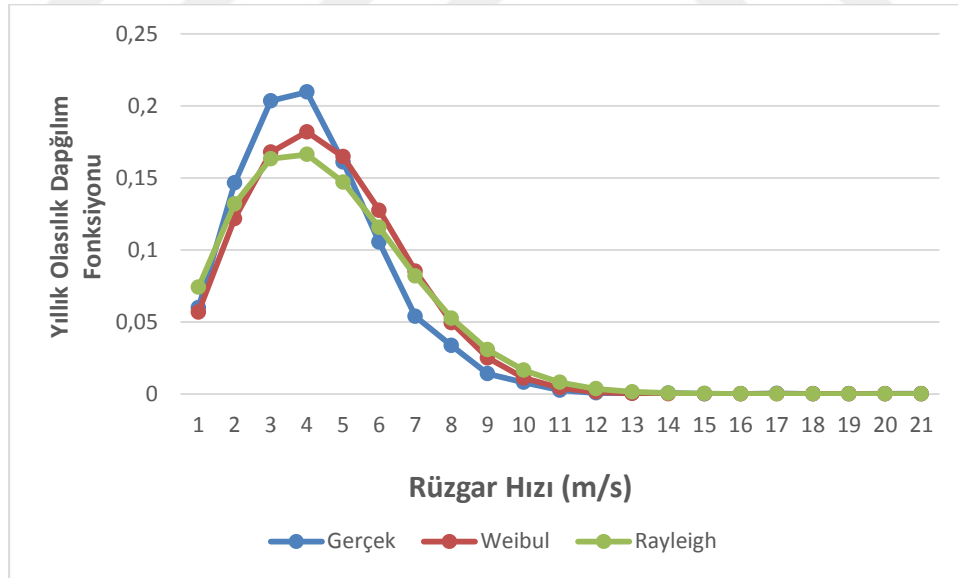
Şekil 7.49. Dikili bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.49’da Dikili bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.50’de gösterilmiştir.



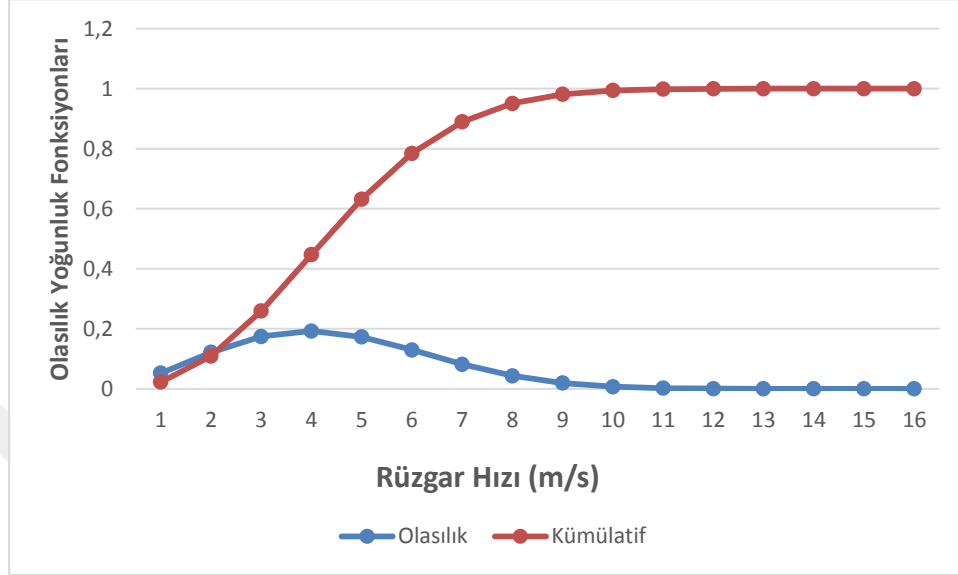
Şekil 7.50. Dikili bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişim



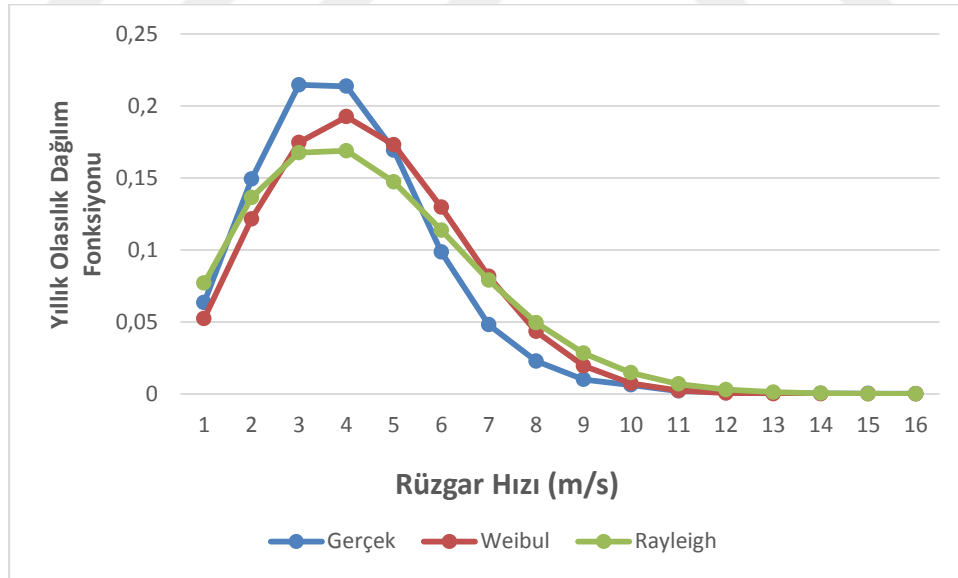
Şekil 7.51. Dikili bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.51’de Dikili bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.52’de gösterilmiştir.



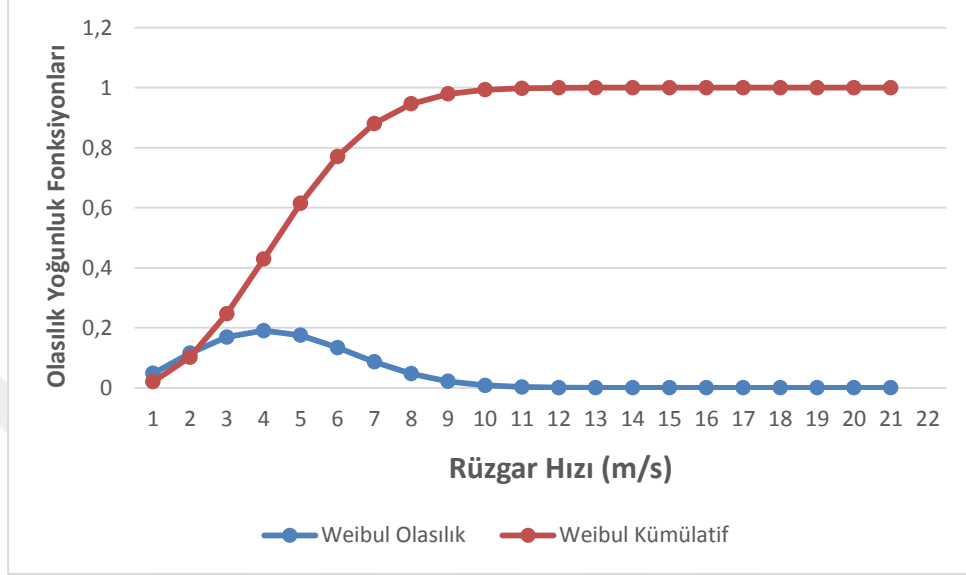
Şekil 7.52. Dikili bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



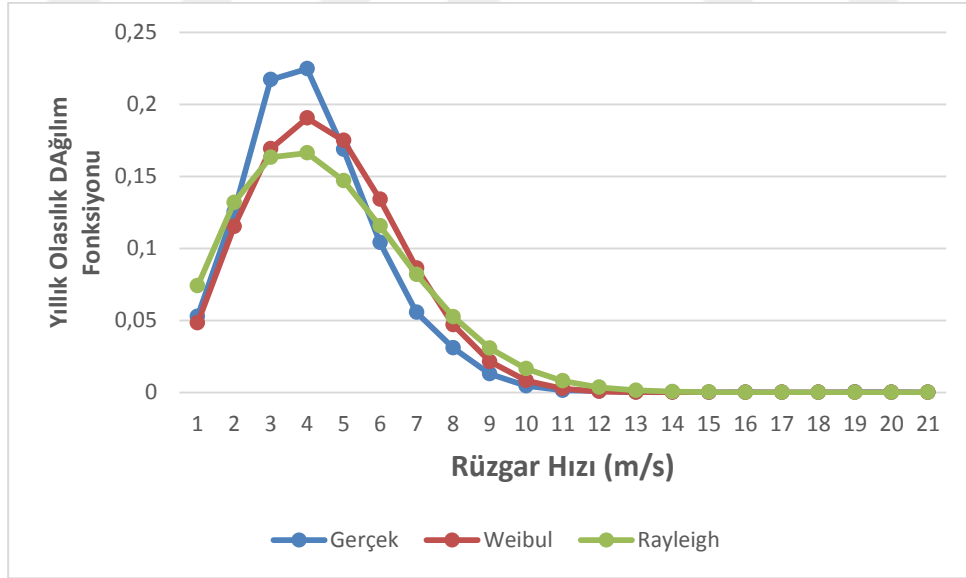
Şekil 7.53. Dikili bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.53’te Dikili bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.54'te gösterilmiştir.



Şekil 7.54. Dikili bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

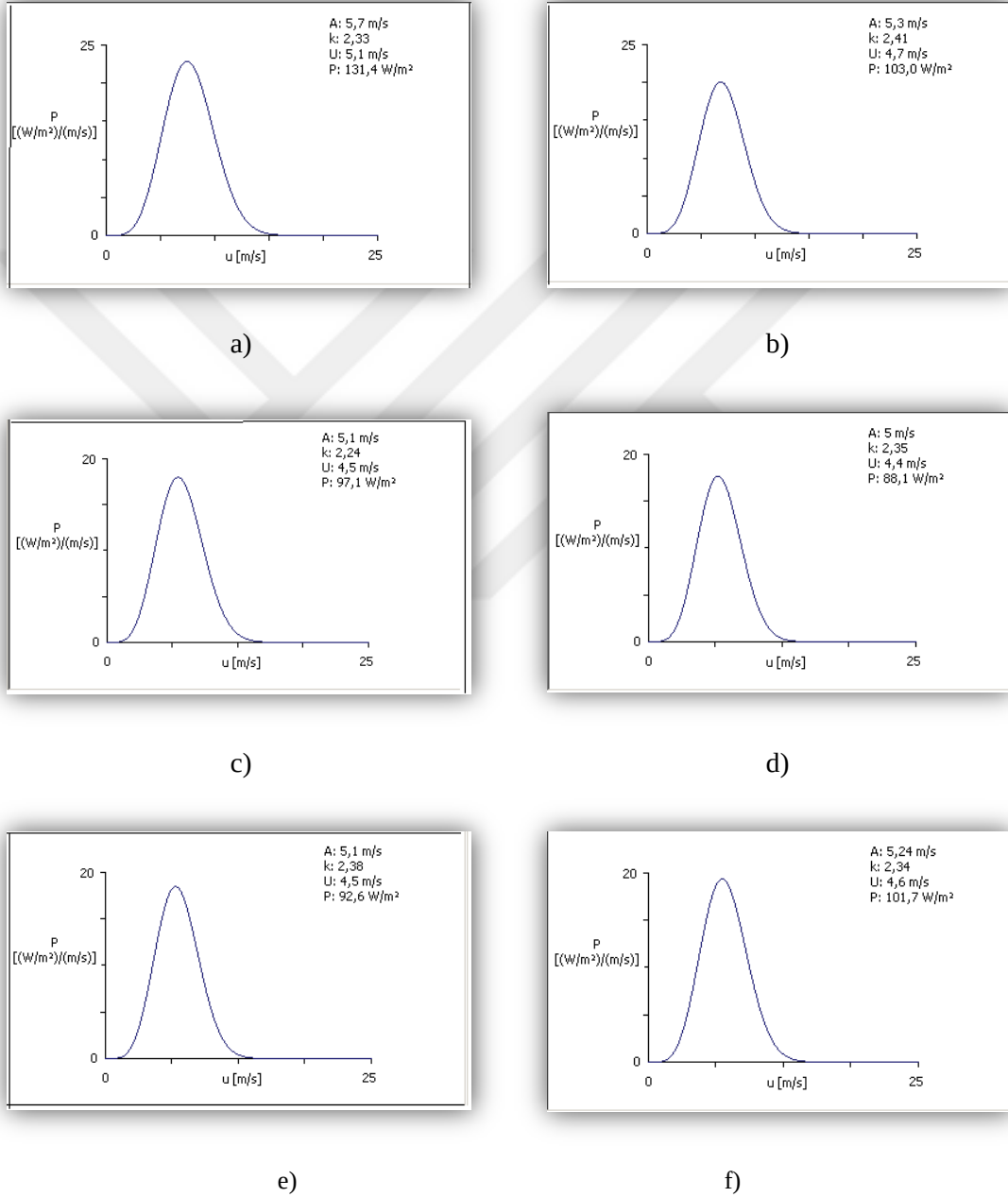


Şekil 7.55. Dikili bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.55'te Dikili bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

7.13. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu

Dikili istasyonuna ait Weibull ortalama güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak 2016- 2020 yıllarına göre grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 7.56’da verilmiştir. Grafik WAsP programı yardımı ile daha önceden hesaplanan k ve c parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.56. Dikili İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri a) 2016 b) 2017 c) 2018 d) 2019 e) 2020 f) 2016-2020 yılları için ortalaması

Tablo 7.12, Tablo 7.13, Tablo 7.14 ve Tablo 7.15'te aylık bazda birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu gerçek değerleri ve Weibull dağılımı değerleri verilmiştir. Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek verilere yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 7.12. Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2016/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2017/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	115	116,9	Ocak	72	71,3
Şubat	110	108,3	Şubat	66	66,9
Mart	105	103,9	Mart	89	90
Nisan	103	100,7	Nisan	85	87
Mayıs	125	125	Mayıs	100	99,4
Haziran	161	158,7	Haziran	115	114,5
Temmuz	200	197,8	Temmuz	142	144,9
Ağustos	238	242,2	Ağustos	125	126
Eylül	144	144,7	Eylül	118	118
Ekim	123	121,2	Ekim	102	99,2
Kasım	125	124,6	Kasım	140	141,7
Aralık	144	144,4	Aralık	97	94,4
Ortalama	141,1	140,7	Ortalama	104,25	104,4

Tablo 7.13. Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2018/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2019/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	82	82,8	Ocak	86	83,6
Şubat	86	88,9	Şubat	83	83,5
Mart	75	76,1	Mart	89	88,1
Nisan	81	83,2	Nisan	78	77,7
Mayıs	87	85,7	Mayıs	81	80,6
Haziran	96	95,4	Haziran	85	84,8
Temmuz	131	129	Temmuz	101	101
Ağustos	184	184,8	Ağustos	171	171,9
Eylül	124	125	Eylül	115	117,6
Ekim	108	108	Ekim	71	71,6
Kasım	137	135,9	Kasım	86	86,4
Aralık	107	109,1	Aralık	84	81,9
Ortalama	108,1	108,6	Ortalama	94,1	94

Tablo 7.14. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	70	70
Şubat	75	76,6
Mart	82	79,8
Nisan	79	77,9
Mayıs	87	85,1
Haziran	93	92,2
Temmuz	112	109,5
Ağustos	161	161,8
Eylül	145	141,3
Ekim	84	83,5
Kasım	92	92,4
Aralık	91	93,9
Ortalama	97,5	97

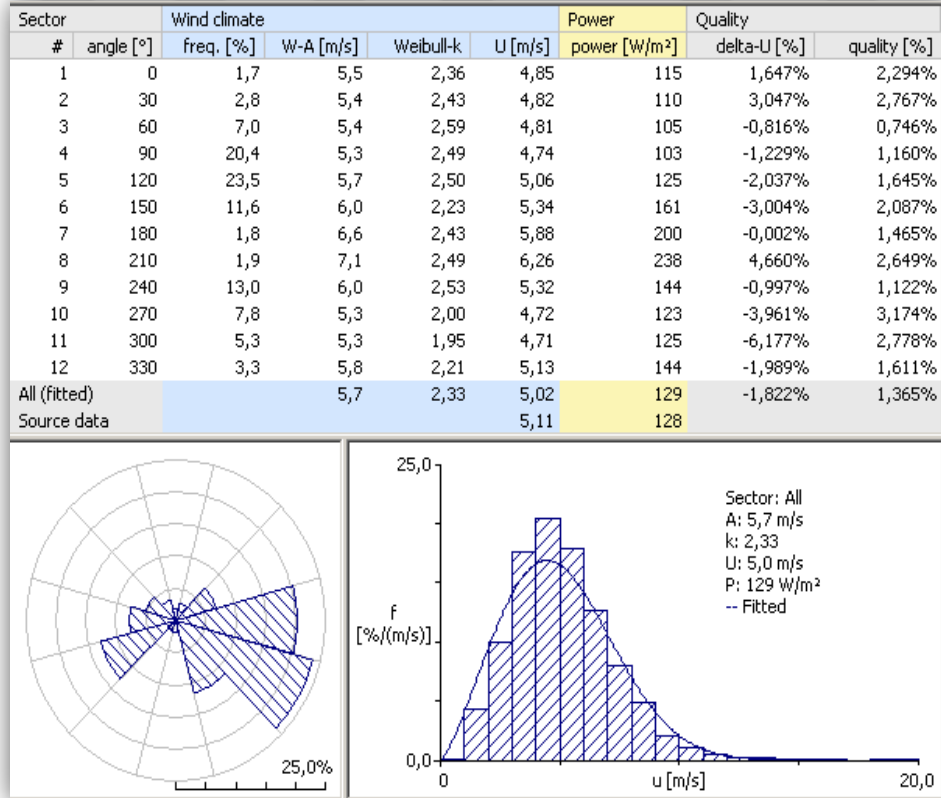
Tablo 7.15. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi

Yıllar	Gerçek Veriler	Weibull
2016	141,1	140,7
2017	104,25	104,4
2018	108,1	108,6
2019	94,1	94
2020	97,5	97
Ortalama	109,01	108,94

7.14. Rüzgâr Verilerinin Analizi

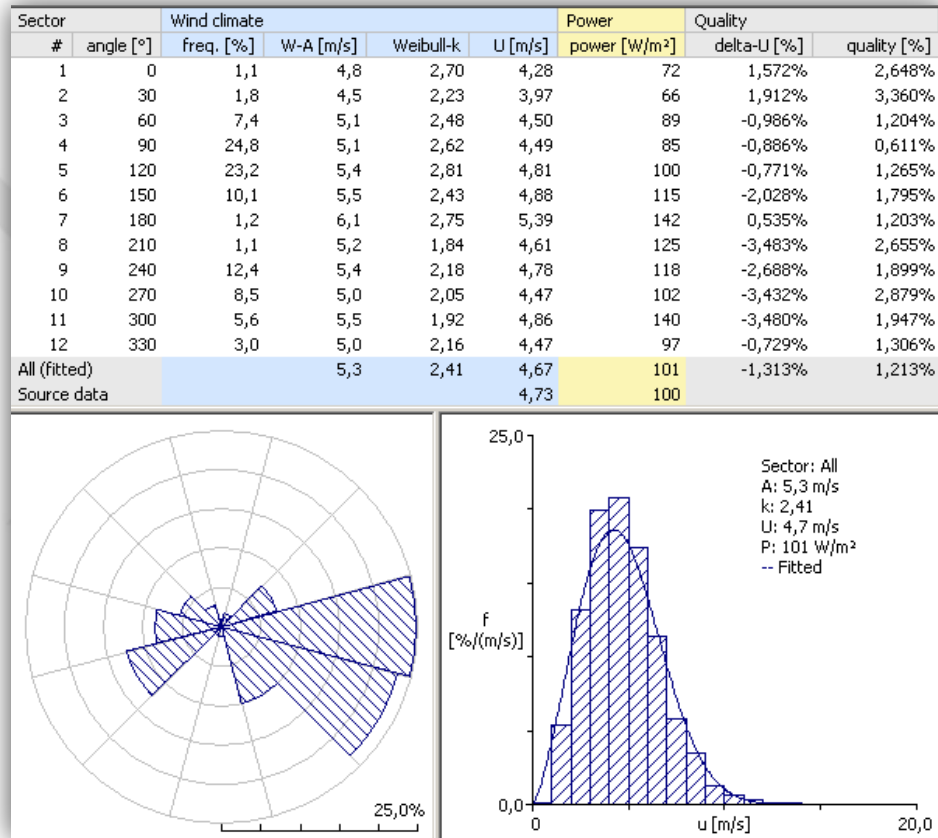
2016 – 2020 yılları için WAsP programında rüzgar verilerinin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.50, Şekil 7.51, Şekil 7.52, Şekil 7.53 ve Şekil 7.54’te verilmiştir.

Şekil 7.57 2016 yılı analiz sonuçlarına göre Dikili’de hakim rüzgar yönü 5. Sektör (120°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 5 (120°) %23,5 Sektör 4 (90°) %20,5 Sektör 9 (240°) %13’tür. Tüm bu sektörlerle alakalı ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları sırasıyla verilecek olursa; 5,06 m/s ve $125 W/m^2$, 4,74 m/s ve $103 W/m^2$, 5,32 m/s ve $144 W/m^2$ ’dir ve bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 5,1 m/s, güç yoğunluğu ise $128 W/m^2$ olarak tespit edildiği görülmektedir.



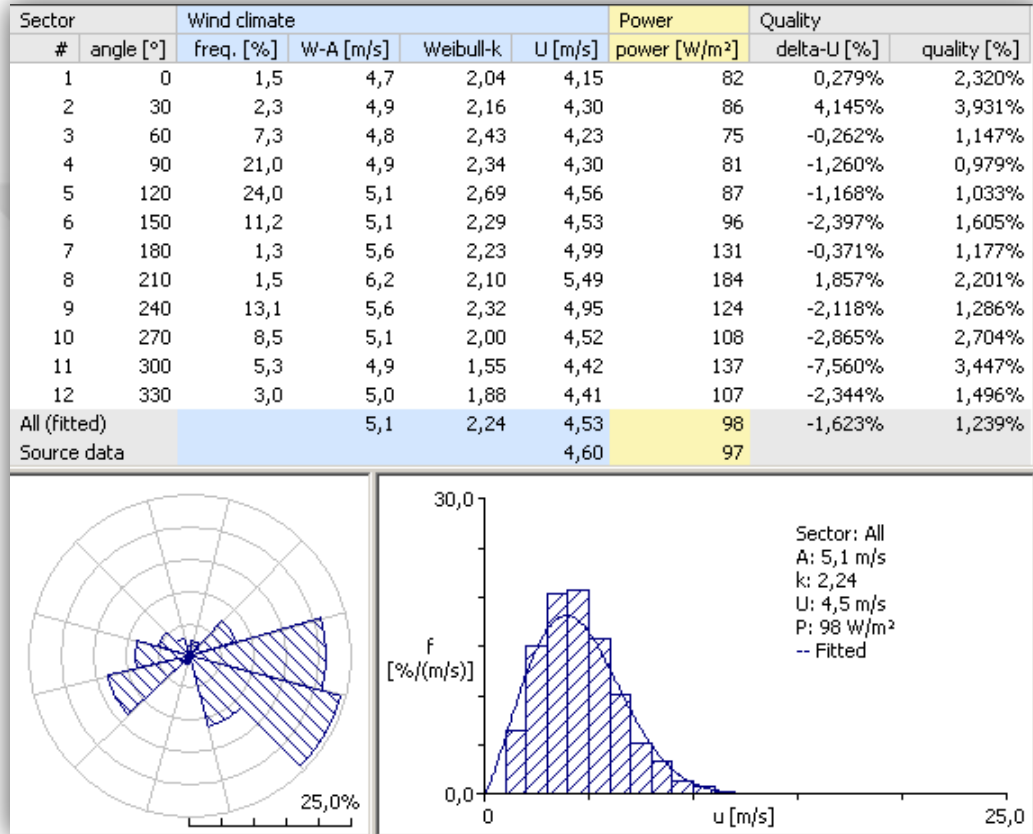
Şekil 7.57. Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)

Şekil 7.58 2017 yılı analiz sonuçlarına göre Dikili’de hakim rüzgar yönü 4. Sektör (90°) ile doğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 4 (90°) %24,8 Sektör 5 (120°) %23,2 Sektör 9 (240°) %12,4’tür ve bu sektörler için ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırayla verdiğimiz zaman; 4,49 m/s ve 85 W/m², 4,81 m/s ve 100 W/m², 4,78 m/s ve 118 W/m²’dir. Daha sonra mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 4,73 m/s, güç yoğunluğu ise 100 W/m² olarak tespit edilmiş ve görülmektedir ki 2016 yılı ile kıyaslandığında hem rüzgar hızında hem rüzgar yoğunluğunda düşme görülmektedir.



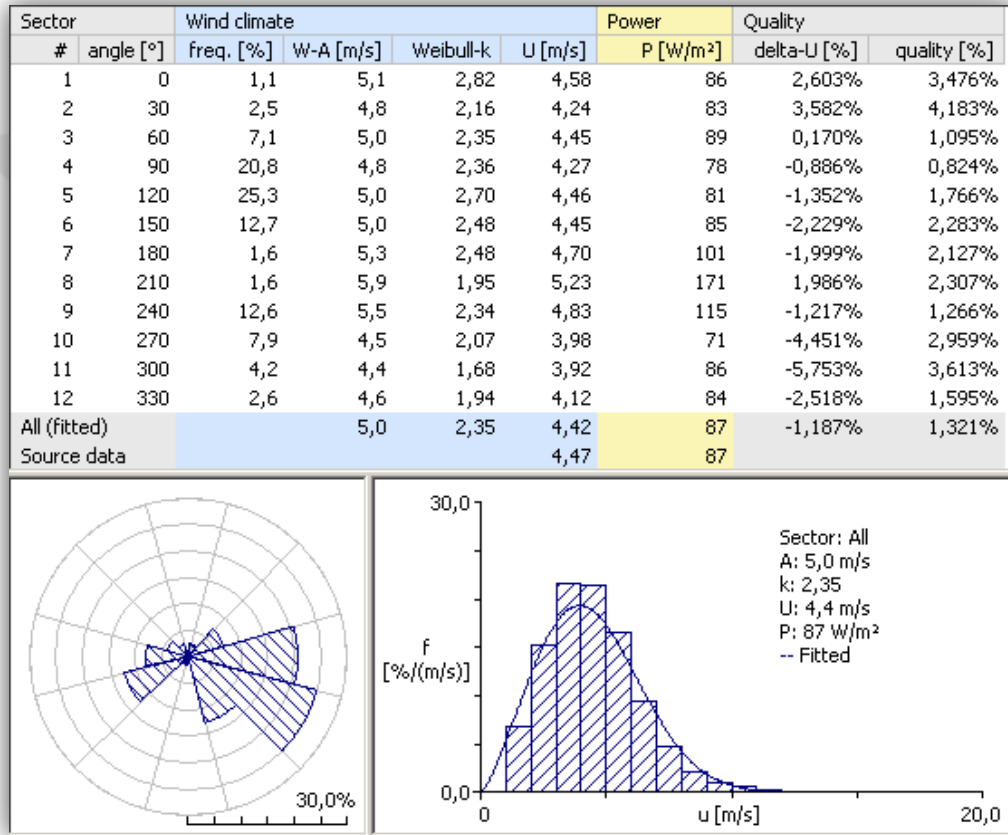
Şekil 7.58. Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)

Şekil 7.59 2018 yılı analiz sonuçlarına göre Dikili’de hakim rüzgar yönü 5. Sektör (120°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 5 (120°) %24 Sektör 4 (90°) %21 Sektör 9 (240°) %13,1’dir. “Bu sektörlerin ortalaması alındığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırası ile; 4,56 m/s ve 87 W/m², 4,30 m/s ve 81 W/m², 4,95 m/s ve 124 W/m²’dir. Tüm sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 4,60 m/s, güç yoğunluğu ise 97 W/m²’dir. Bu değerlerin 2017 yılı değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



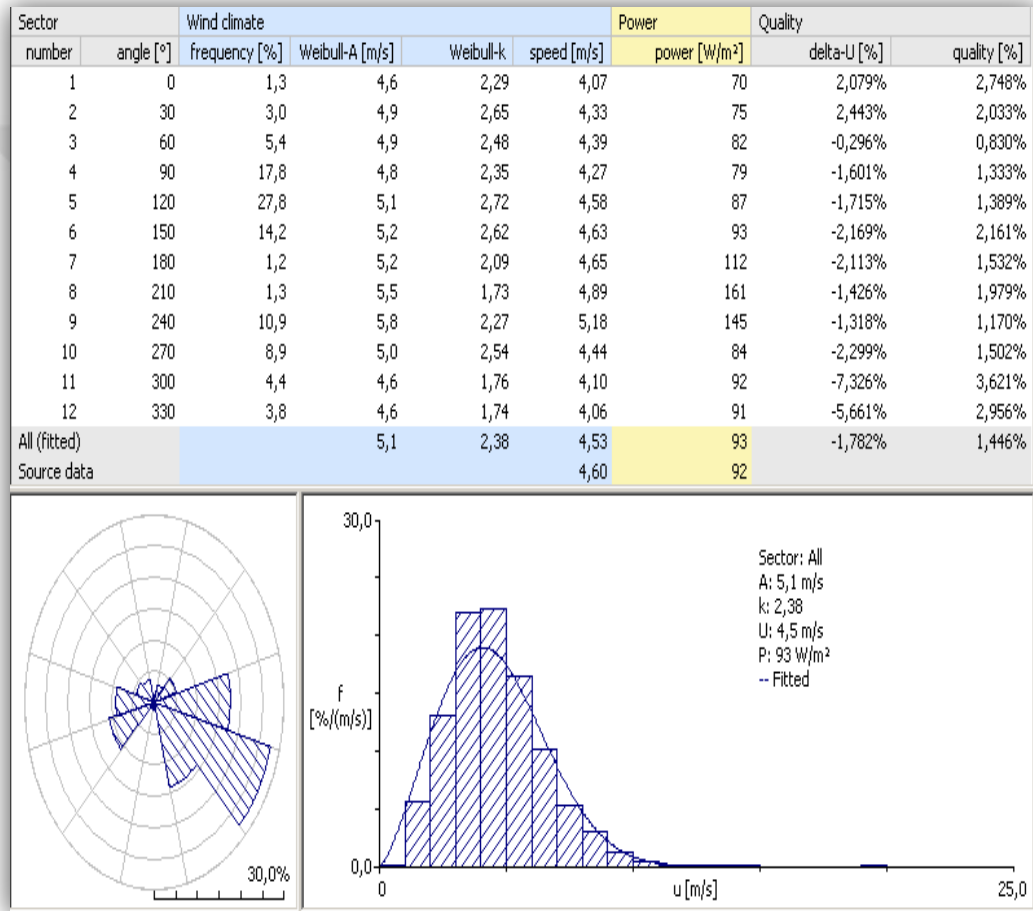
Şekil 7.59. Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)

Şekil 7.60 2019 yılı analiz sonuçlarına göre Dikili’de hakim rüzgar yönü 5. Sektör (120°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 5 (120°) %25,3 Sektör 4 (90°) %20,8 Sektör 6 (150°) %12,7’dir. “Bu sektörlerin ortalaması hesaplandığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla; 4,46 m/s ve 81 W/m², 4,27 m/s ve 78 W/m², 4,45 m/s ve 85 W/m²’dir. Mevcut sektörlerdeki ortalama için rüzgar hızı 4,47 m/s, güç yoğunluğu ise 87 W/m²’dir. Bu değerlerin 2018 yılın değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.60. Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)

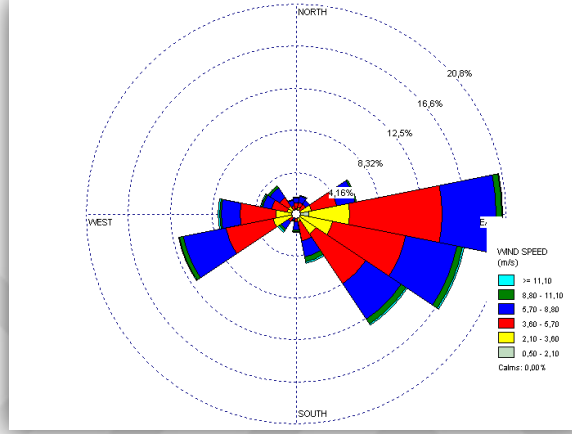
Şekil 7.61 2020 yılı analiz sonuçlarına göre Dikili’de hakim rüzgar yönü 5. Sektör (120°) ile güneydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 5 (120°) %27,8 Sektör 4 (90°) %17,8 Sektör 6 (150°) %14,2’dir ve bunların ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sıralandığında; 4,58 m/s ve 87 W/m², 4,27 m/s ve 79 W/m², 4,63 m/s ve 93 W/m²’dir. Bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 4,60 m/s, güç yoğunluğu ise 92 W/m²’dir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında ise hem rüzgar hızı hem rüzgar yoğunluğu değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.61. Dikili için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)

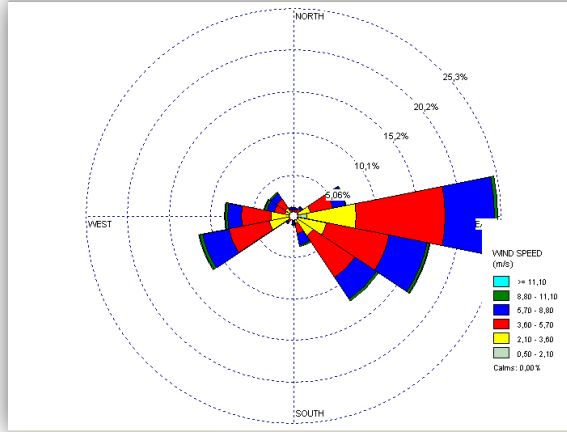
7.15. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü

Rüzgâr enerjisi araştırmalarını yapmak ve coğrafi özelliklerin rüzgâr üzerindeki etkisini ortaya koymak için, rüzgâr hızının rüzgâr yönüne göre belirlenmesi önemlidir [46]. Dikili istasyonunun 2016 – 2020 yıllarında rüzgâr enerjisi potansiyeli için hâkim rüzgâr yönü kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.62, Şekil 7.63, Şekil 7.64, Şekil 7.65 ve Şekil 7.66’da verilmiştir.



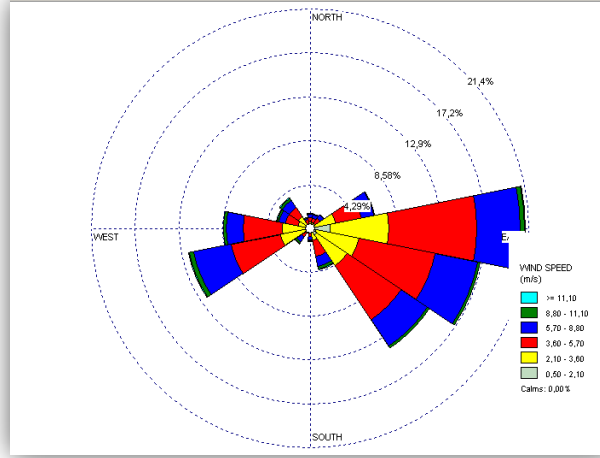
Şekil 7.62. Dikili istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.62 incelendiğinde 2016 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri doğu ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



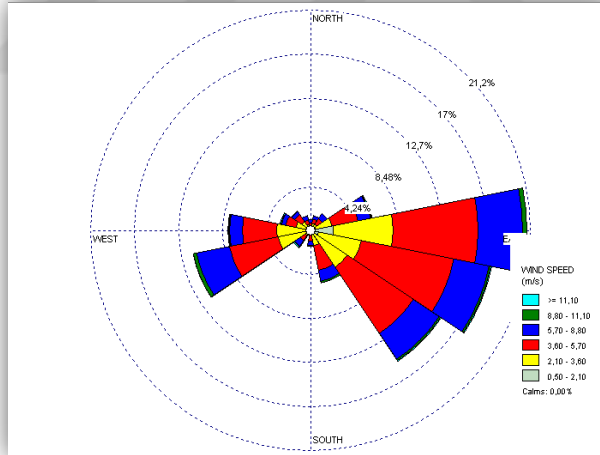
Şekil 7.63. Dikili istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.63 incelendiğinde 2017 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri doğu ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



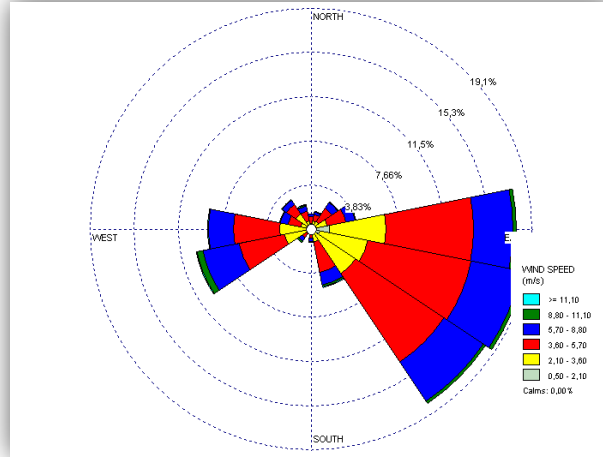
Şekil 7.64. Dikili istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.64 incelendiğinde 2018 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri doğu ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.65. Dikili istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.65 incelendiğinde 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri doğu ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.66. Dikili istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.66 incelendiğinde 2020 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri doğu ve güneydoğu olarak belirlenmiştir.

Dikili için 2016 – 2020 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak, rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hız dağılımının istatistiksel analizi yapılmıştır. Beş yıllık ortalama rüzgar hızı verilerine göre;

Rüzgar hızı aylık bazda en düşük 2018 yılının Ekim ayında 3,7 m/s iken, en yüksek ise 2016 yılının Ocak ayında 6,1 m/s olarak belirlenmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 4,4 m/s ve 88,1 W/m² güç yoğunluğu ile 2019 yılında, en yüksek ortalama hız 5,1 m/s ve güç yoğunluğu 131,4 W/m² olarak 2016 yılında elde edilmiştir.

2016 – 2020 yılları arasında hakim rüzgar yönü incelendiğinde genel olarak doğu ve güneydoğu yönlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

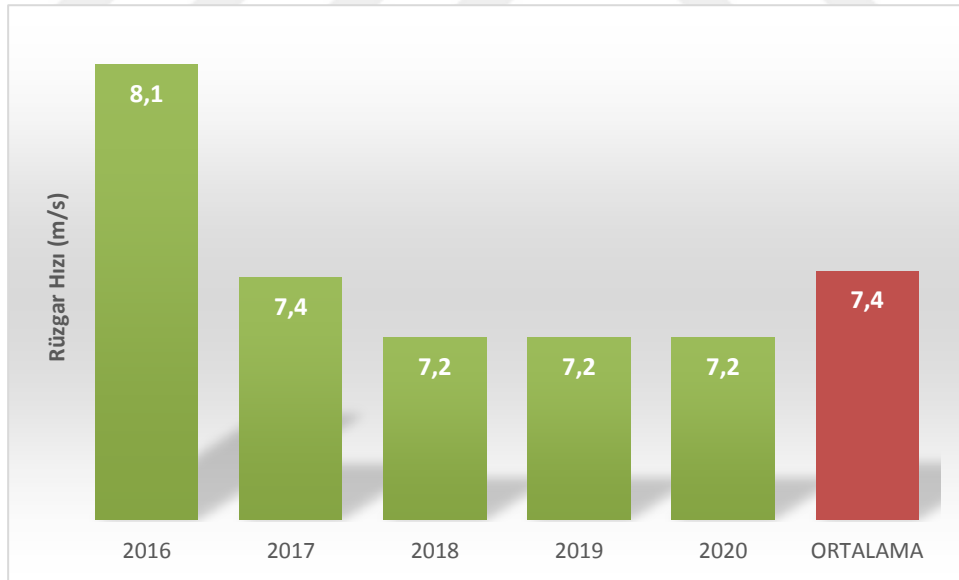
Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m² ve üzerinde olmalıdır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı elektrik üretimi açısından orta seviyenin altında olmakla birlikte ölçüm yüksekliğinin yükseltilmesi, arazinin farklı bölgelerinde rüzgar ölçümünün yapılmasıyla bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından uygun olması beklenmektedir.

7.16. Karaburun Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, 2016- 2020 yıllarına ait Karaburun istasyonundan alınan rüzgar hızları ve rüzgar yönleri kullanılmıştır. Eldeki rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri MS Office Excel programında düzeltilerek txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Hazırlanan txt dosyası, WAsP programı içerisindeki WAsP Climate Analyst alt programına yüklenerek bölgenin rüzgar güç yoğunlukları, Weibull dağılımı elde edilmiştir. Tüm verilerin WAsP içerisinde analizinin yapılmasının yanı sıra, MS Office Excel programı kullanılarak bu verilerin günlük, aylık ve yıl olarak ortalamaları bulunmuştur.

Bölgedeki istasyondan ölçülen saatlik verilerin MS Office Excel’de düzeltilmesi sonrasında ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2016 – 2020 yıllarına ait ortalama yıllık rüzgar hızı değerleri Şekil 7.67’de verilmiştir. Bu değerlere göre Karaburun istasyonu için ortalama rüzgar hızı değerleri; 2016 yılında 8,1 m/s 2017 yılında 7,4 m/s 2018 yılında 7,2 m/s 2019 yılında 7,2 m/s ve 2020 yılında 7,2 m/s olarak bulunmuştur. 2016 – 2020 yılları arasında ortalama yıllık rüzgar hızı değeri 7,4 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.67. Karaburun istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değeri

7.17. Karaburun Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları

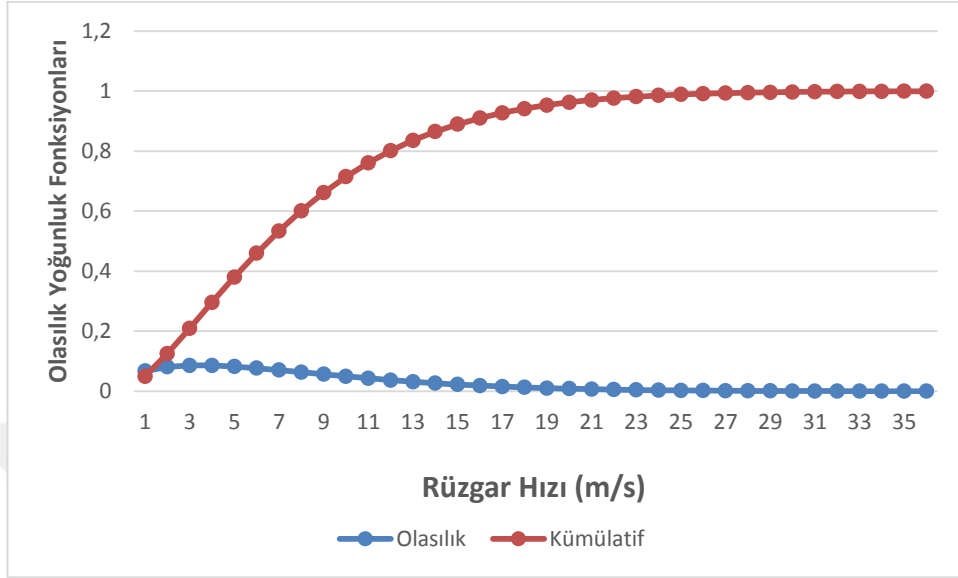
Karaburun istasyonundan alınan rüzgar verileri kullanılarak, 2016- 2020 yılları için hesaplanan Weibull parametreleri Tablo 7.16’da verilmiştir.

Tablo 7.16’da 2016 – 2020 yılları için ortalama Weibull şekil değişkeni (k) değeri 1,39 ile 1,52 arasında, Weibull ölçek değişkeni (c) değeri 7,4 ile 8,5 arasında değişim göstermiştir.

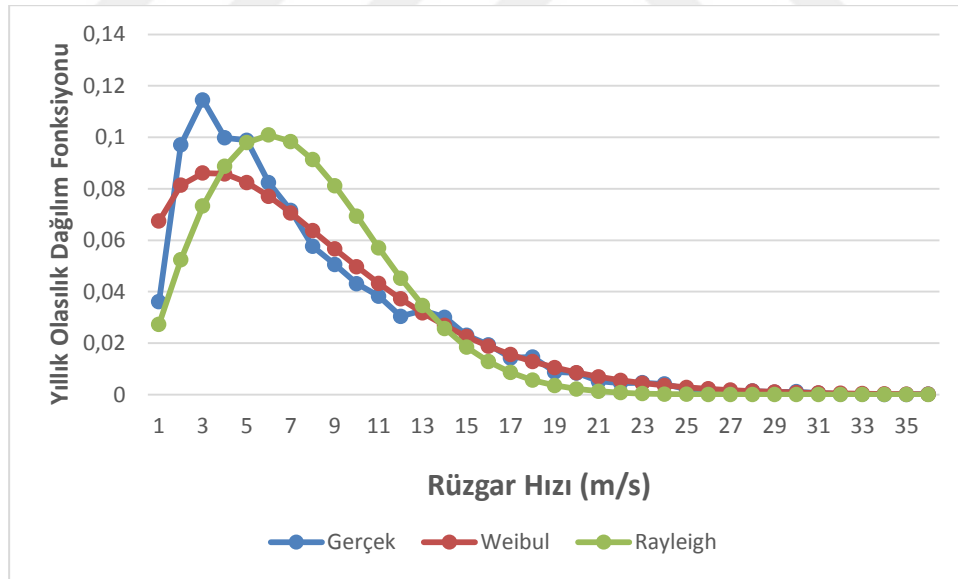
Tablo 7.16. Karaburun istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri

2020	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	7,1	10,3	9,1	5,8	6,1	5,6	6,2	8,5	8,5	7,0	5,0	6,2	7,7
k	1,44	2,13	1,83	1,71	1,46	1,15	1,07	1,49	1,91	2,35	1,81	2,31	1,52
2019	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	6,8	10,2	8,9	5,5	6,4	5,8	7,6	8,9	8,1	7,2	5,0	5,9	7,5
k	1,59	1,95	1,73	1,98	1,46	1,13	1,18	1,43	1,61	2,62	1,98	2,16	1,41
2018	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	6,7	9,2	7,9	5,3	6,1	5,8	6,9	9,6	8,8	8,4	5,6	6,0	7,4
k	1,45	1,82	1,67	1,49	1,35	0,99	1,08	1,44	1,82	2,65	1,73	2,04	1,38
2017	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	7,0	10,0	8,2	5,4	6,4	6,3	8,0	11,5	9,6	8,2	5,8	5,9	7,9
k	1,60	2,13	1,81	1,78	1,57	1,19	1,23	1,79	2,20	2,76	1,73	2,24	1,51
2016	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	8,6	10,1	8,8	4,7	6,1	7,3	9,8	13,2	9,7	8,3	6,1	6,6	8,5
k	1,56	1,93	1,79	1,62	1,19	1,00	1,37	1,89	1,87	2,76	2,02	2,04	1,39

“Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.68’de gösterilmiştir.



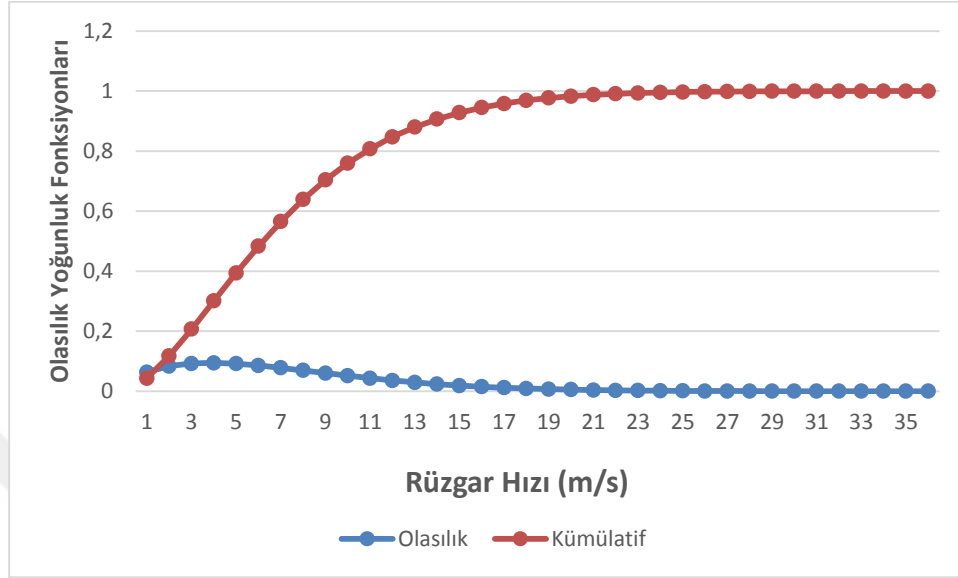
Şekil 7.68. Karaburun Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



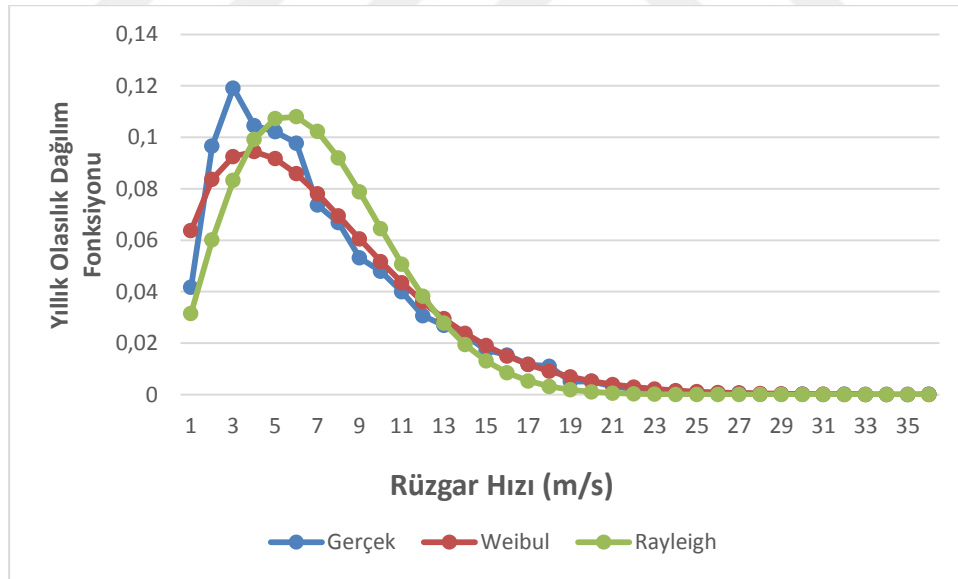
Şekil 7.69. Karaburun bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.69’da Karaburun bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

“Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.70’de gösterilmiştir.



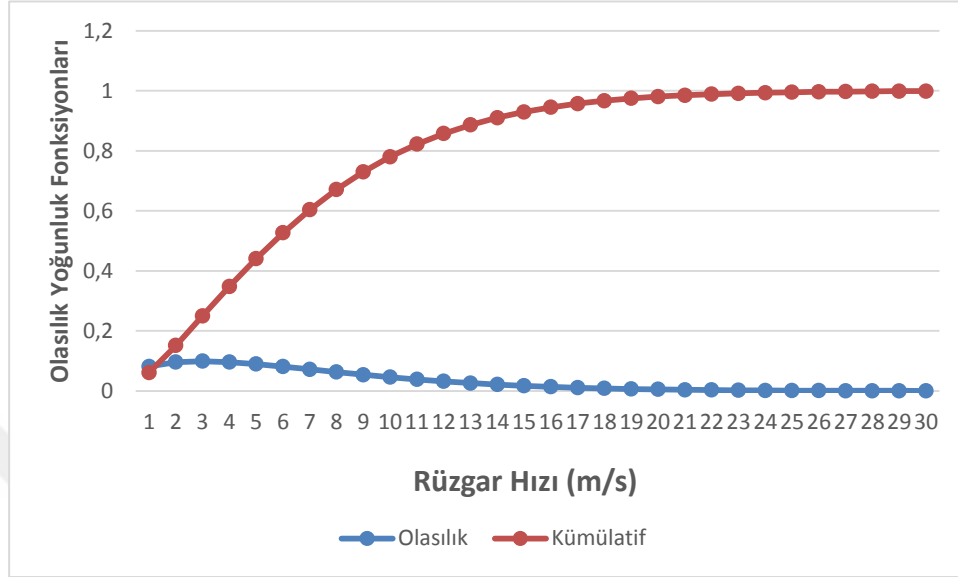
Şekil 7.70. Karaburun bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



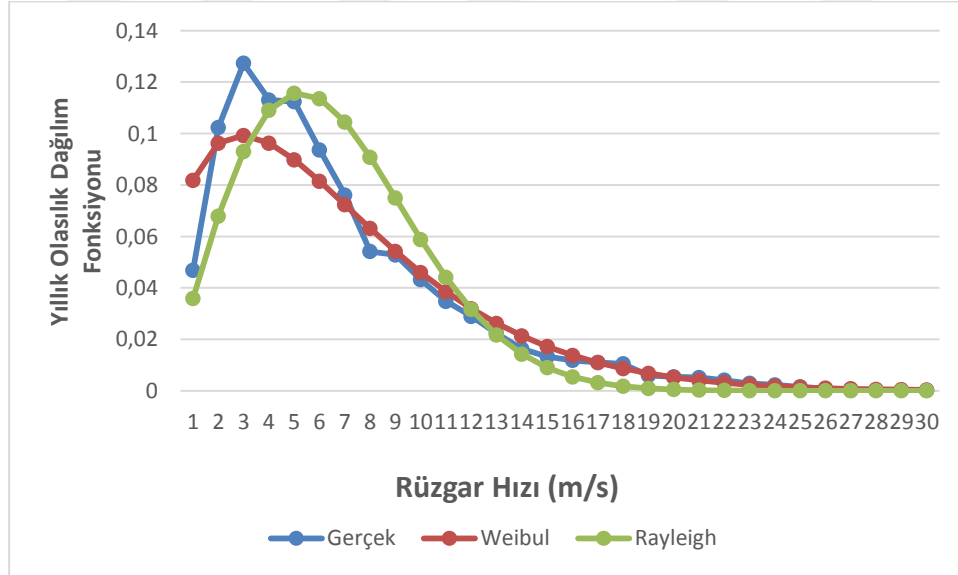
Şekil 7.71. Karaburun bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.71’de Karaburun bölgesi 2017 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

“Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.72’de gösterilmiştir.



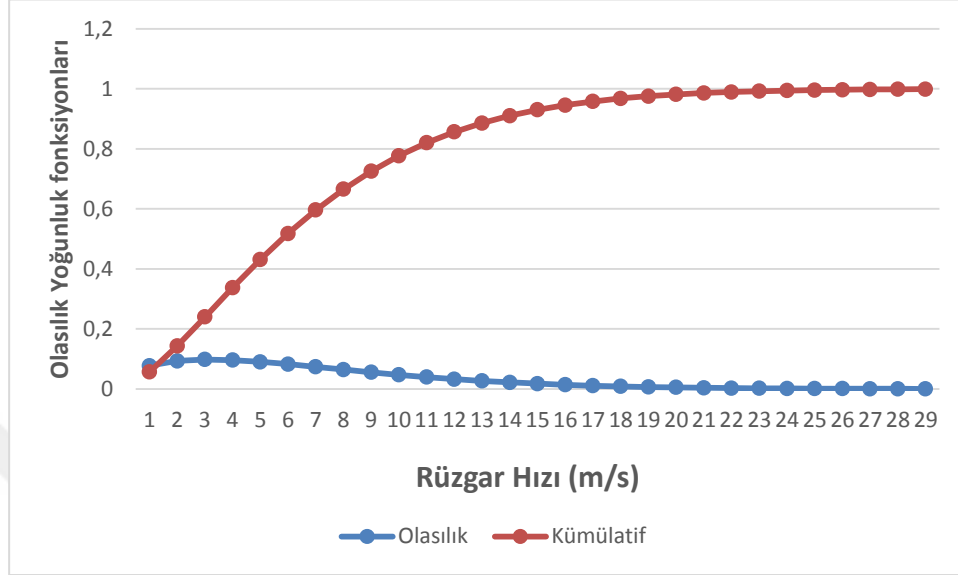
Şekil 7.72. Karaburun bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



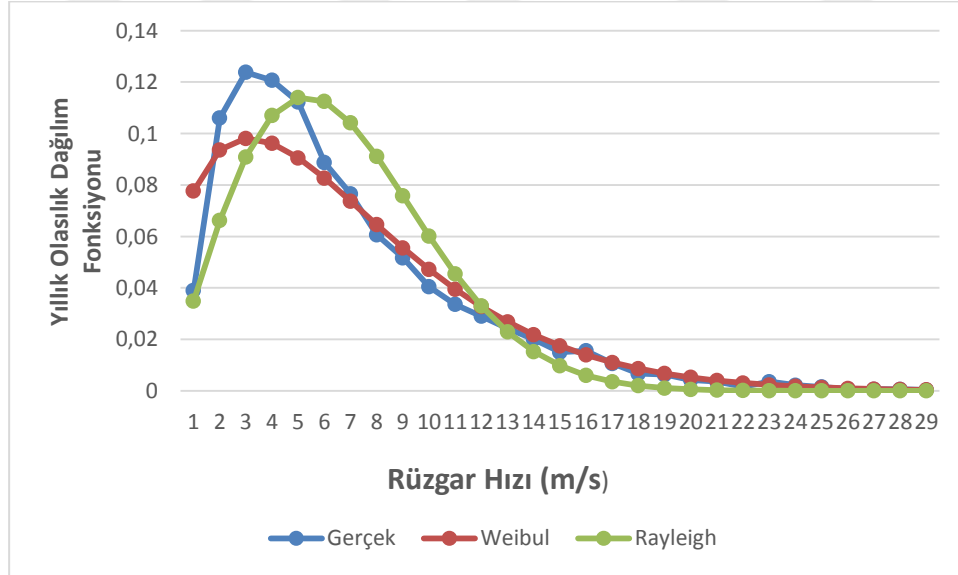
Şekil 7.73. Karaburun bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.73’te Karaburun bölgesi 2018 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

“Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.74’te gösterilmiştir.



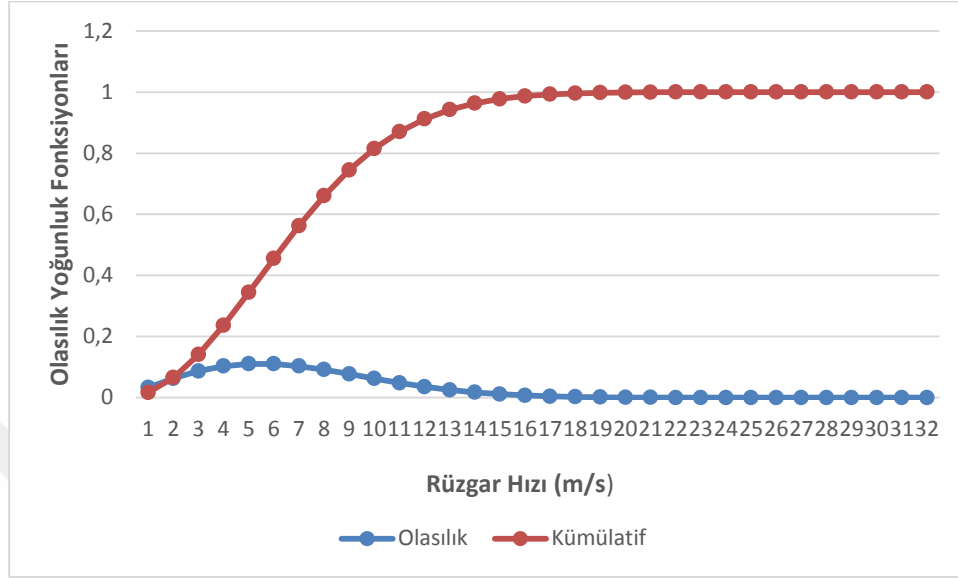
Şekil 7.74. Karaburun bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



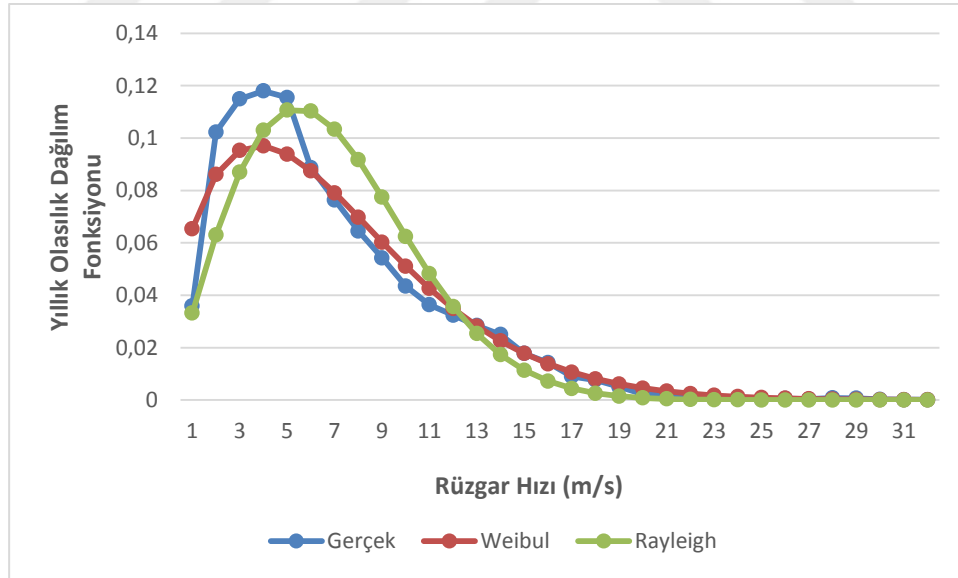
Şekil 7.75. Karaburun bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.75’te Karaburun bölgesi 2019 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

“Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.76’da gösterilmiştir.



Şekil 7.76. Karaburun bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

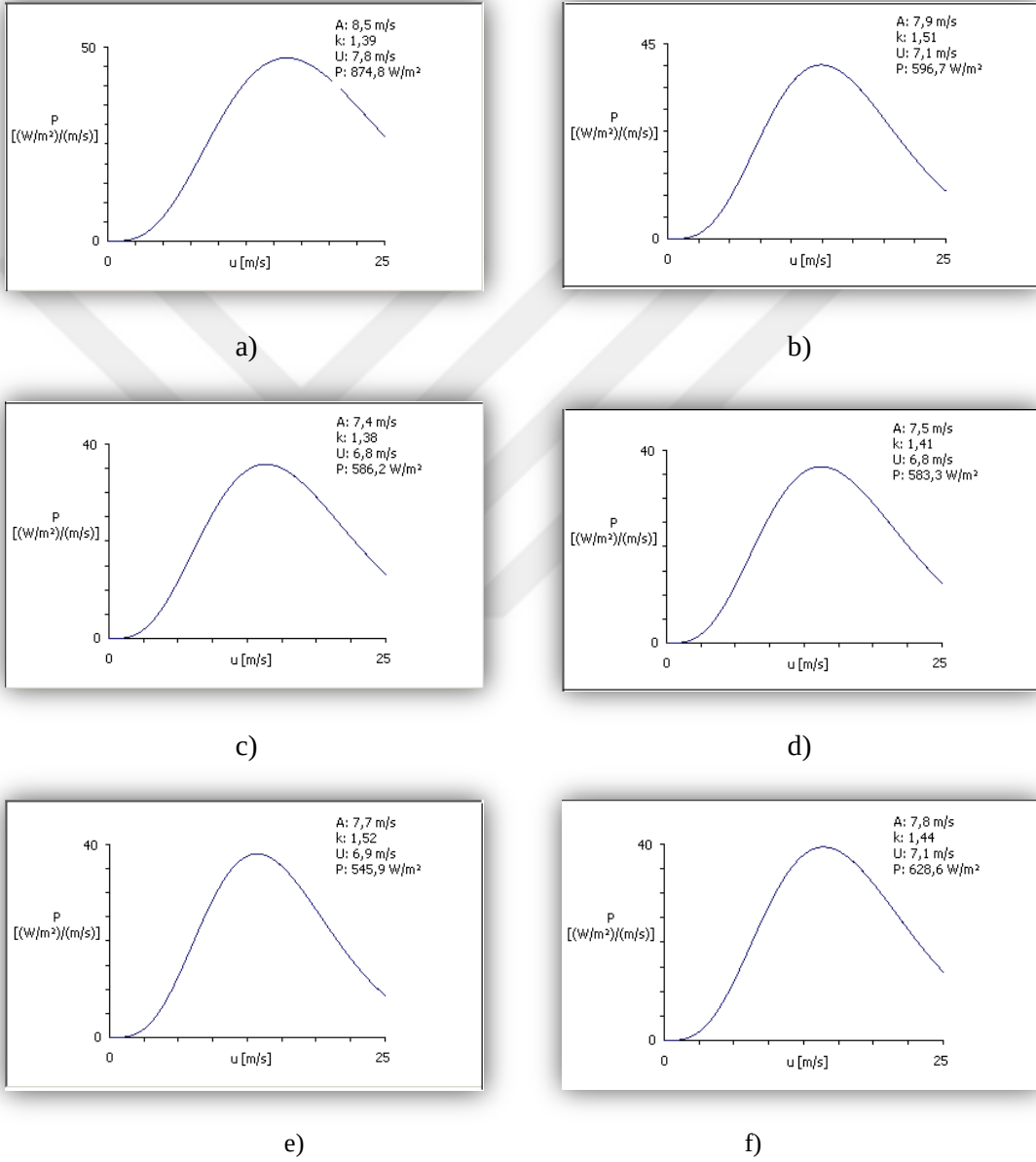


Şekil 7.77. Karaburun bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.77’de Karaburun bölgesi 2019 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafığe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

7.18. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu

Karaburun istasyonuna ait Weibull ortalama güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak 2016- 2020 yıllarına göre grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 7.78’de verilmiştir. Grafik WAsP programı yardımı ile daha önceden hesaplanan k ve c parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.78. Karaburun İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri a) 2016 b) 2017 c) 2018d) 2019 e) 2020 f) 2016-2020 yılları için ortalaması

Tablo 7.17, Tablo 7.18, Tablo 7.19 ve Tablo 7.20’de aylık bazda birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu gerçek değerleri ve Weibull dağılımı değerleri verilmiştir. Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek verilere yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 7.17. Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2016/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2017/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	714	726,6	Ocak	383	375,6
Şubat	870	872,2	Şubat	759	765,1
Mart	627	632,6	Mart	504	504,5
Nisan	112	11,4	Nisan	143	147,3
Mayıs	478	472,9	Mayıs	300	296,2
Haziran	1442	1429,6	Haziran	507	521
Temmuz	1364	1383,2	Temmuz	974	975
Ağustos	2010	1994,9	Ağustos	1421	1411,8
Eylül	791	801,8	Eylül	665	657,6
Ekim	361	364,2	Ekim	346	351,2
Kasım	181	182,9	Kasım	195	189,7
Aralık	234	229,3	Aralık	150	150,3
Ortalama	765,3	758,4	Ortalama	528,9	528,7

Tablo 7.18. Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2018/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2019/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	397	393	Ocak	345	347,9
Şubat	702	707,5	Şubat	895	888,1
Mart	510	504,8	Mart	693	685,5
Nisan	187	184,7	Nisan	139	136,9
Mayıs	341	344,6	Mayıs	335	338
Haziran	749	745	Haziran	479	473
Temmuz	906	919,8	Temmuz	923	936,6
Ağustos	1183	1172	Ağustos	943	947
Eylül	629	619,1	Eylül	586	576
Ekim	392	386	Ekim	246	244,7
Kasım	173	170,8	Kasım	101	102,9
Aralık	173	172,3	Aralık	155	155,1
Ortalama	528,5	526,6	Ortalama	486,6	485,9

Tablo 7.19. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	475	474,1
Şubat	838	836
Mart	680	679,9
Nisan	197	192,9
Mayıs	287	292,6
Haziran	401	403,8
Temmuz	682	688,3
Ağustos	775	761,7
Eylül	523	526,1
Ekim	240	241,7
Kasım	118	114,4
Aralık	167	170,2
Ortalama	448,5	448,4

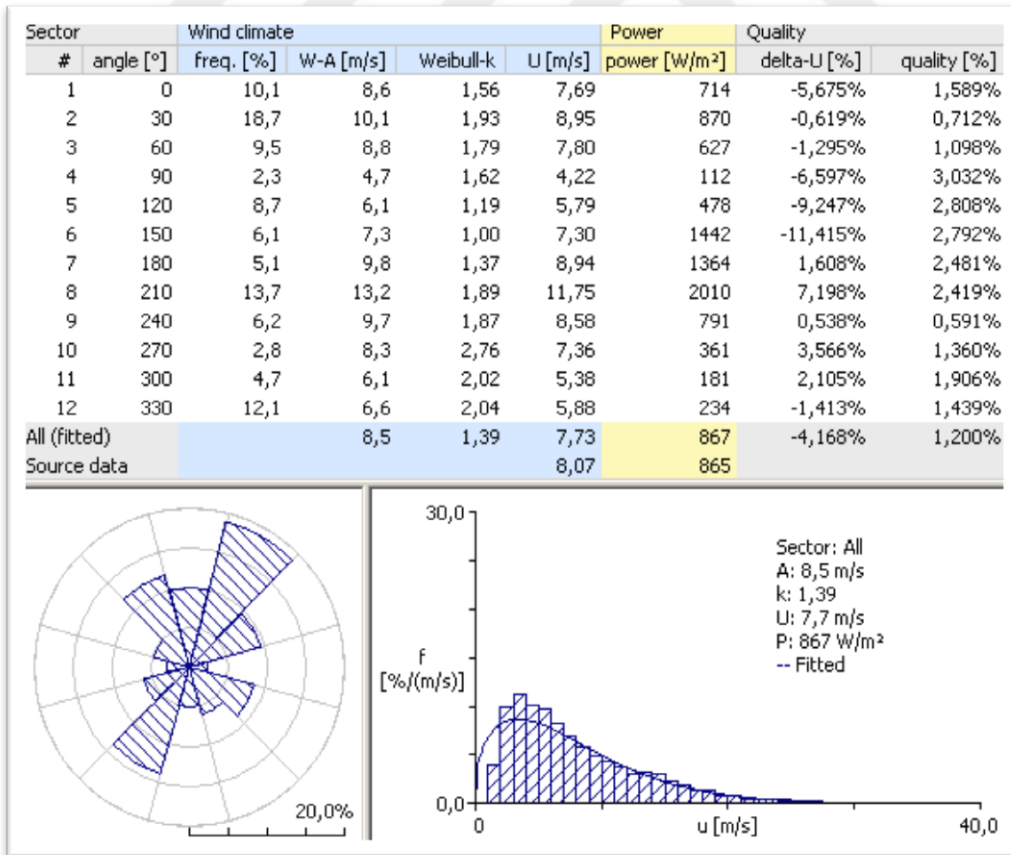
Tablo 7.20. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi

Yıllar	Gerçek Veriler	Weibull
2016	765,3	758,4
2017	528,9	528,7
2018	528,5	526,6
2019	486,6	485,9
2020	448,5	448,4
Ortalama	551,56	549,6

7.19. Rüzgâr Verilerinin Analizi

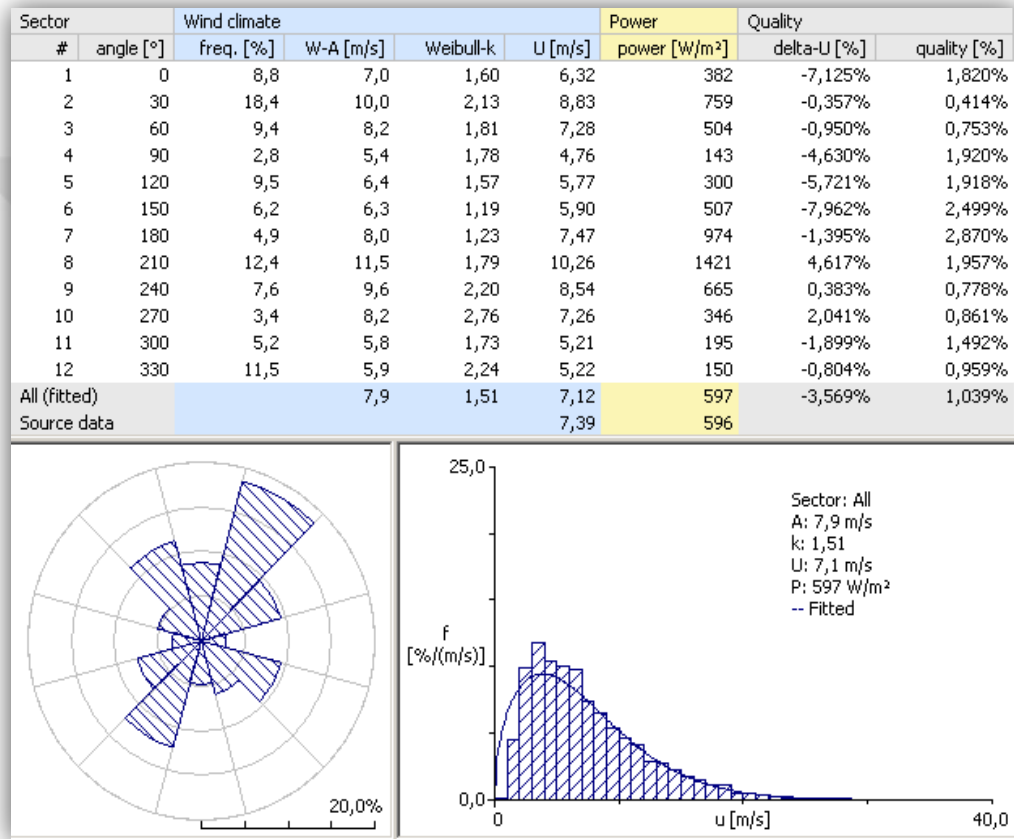
2016 – 2020 yılları için WAsP programında rüzgar verilerinin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.79, Şekil 7.80, Şekil 7.81, Şekil 7.82 ve Şekil 7.83'te verilmiştir.

Şekil 7.79 2016 yılı analiz sonuçlarına göre Karaburun'da hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %18,7 Sektör 8 (210°) %13,7 Sektör 12 (330°) %12,1'dir. Tüm bu sektörlere alakalı ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları sırayla verecek olursak; 8,95 m/s ve 870 W/m^2 , 11,75 m/s ve 2010 W/m^2 , 5,88 m/s ve 234 W/m^2 'dir ve bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 8,07 m/s, güç yoğunluğu ise 865 W/m^2 olarak tespit edildiği görülmektedir.



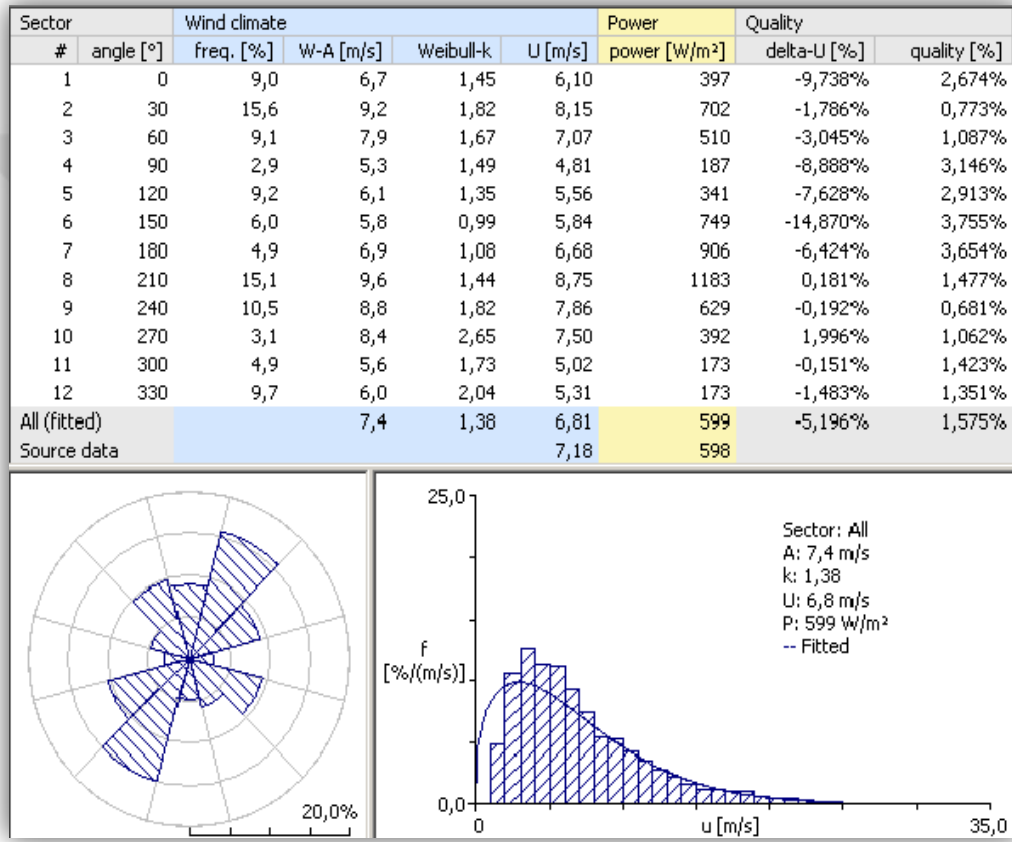
Şekil 7.79. Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)

Şekil 7.80 2017 yılı analiz sonuçlarına göre Karaburun’da hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %18,4 Sektör 8 (210°) %12,4 Sektör 12 (330°) %11,5’tir ve bu sektörler için ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırayla verdiğimiz zaman; 8,83 m/s ve 759 W/m², 10,26 m/s ve 1421 W/m², 5,22 m/s ve 150 W/m²’dir. Daha sonra mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 7,39 m/s, güç yoğunluğu ise 596 W/m² olarak tespit edilmiştir. 2016 yılı ile kıyaslandığında hem rüzgar hızında hem rüzgar yoğunluğunda düşme görülmektedir.



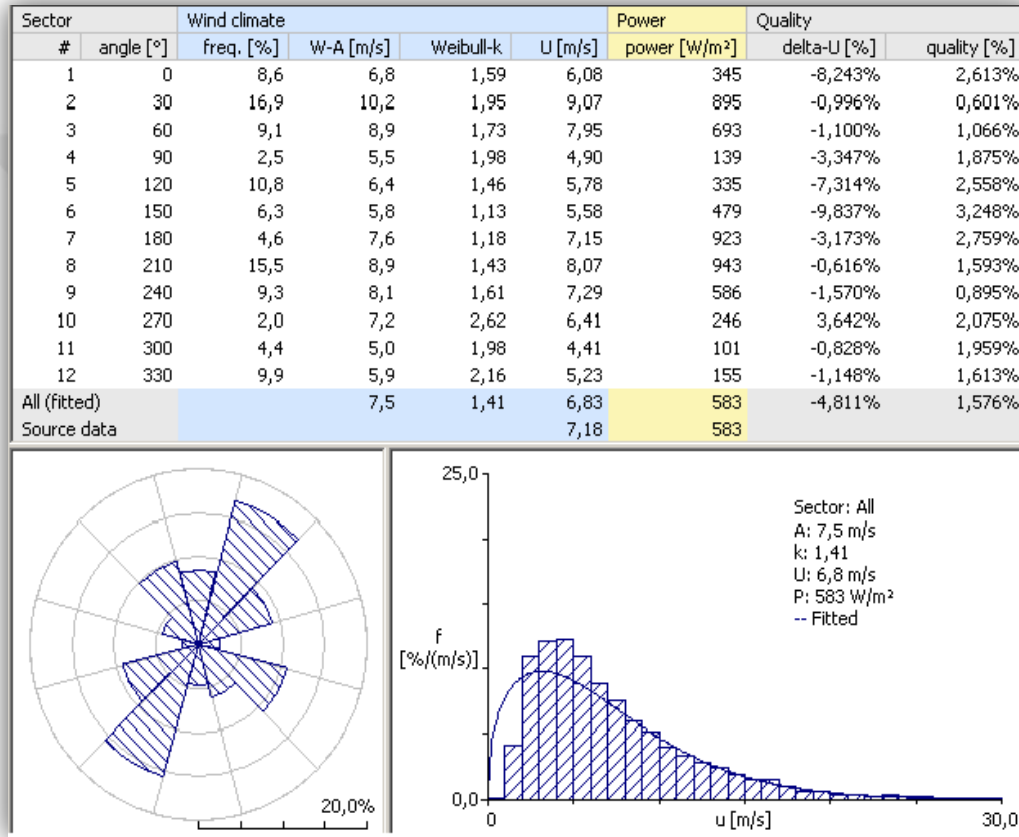
Şekil 7.80. Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)

Şekil 7.81 2018 yılı analiz sonuçlarına göre Karaburun’da hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %15,6 Sektör 8 (210°) %15,1 Sektör 9 (240°) %10,5’tir. Bu sektörlerin ortalaması alındığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırası ile; 8,15 m/s ve 702 W/m², 8,75 m/s ve 1183 W/m², 7,86 m/s ve 629 W/m²’dir. Tüm sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 7,18 m/s, güç yoğunluğu ise 598 W/m²’dir. Bu değerlerin 2017 yılı değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



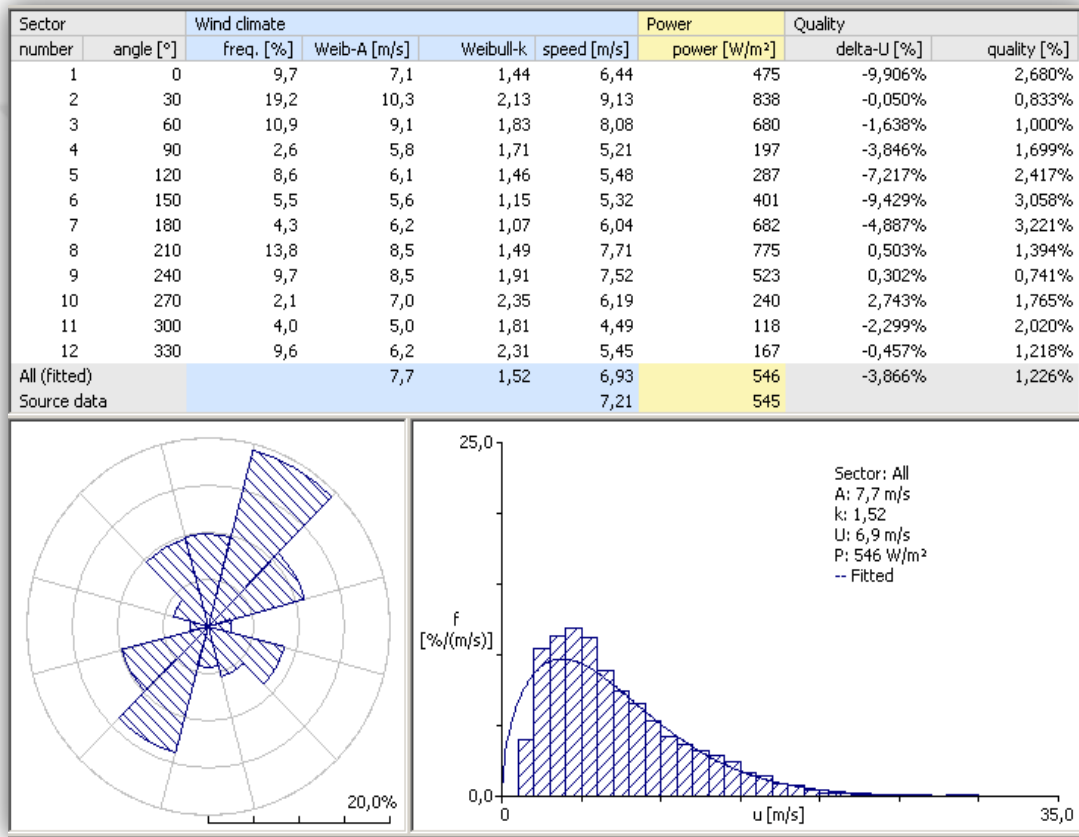
Şekil 7.81. Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)

Şekil 7.82 2019 yılı analiz sonuçlarına göre Karaburun’da hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %16,9 Sektör 8 (210°) %15,5 Sektör 5 (120°) %10,8’dir. Bu sektörlerin ortalaması hesaplandığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla; 9,07 m/s ve 895 W/m², 8,07 m/s ve 643 W/m², 5,78 m/s ve 335 W/m²’dir. Mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 7,18 m/s, güç yoğunluğu ise 583 W/m²’dir. Bu değerlerin 2018 yılın değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.82. Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)

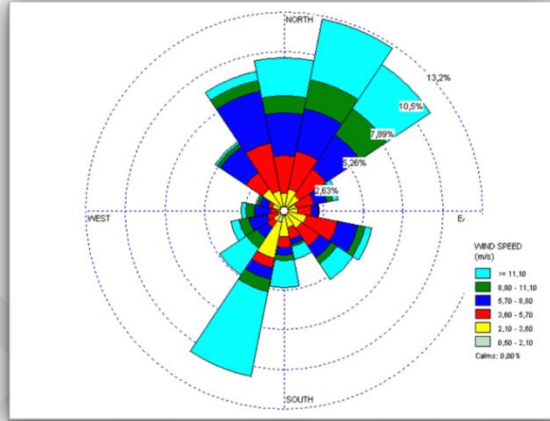
Şekil 7.83 2020 yılı analiz sonuçlarına göre Karaburun’da hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %19,2 Sektör 8 (210°) %13,8 Sektör 3 (60°) %10,9’dur ve bunların ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sıralandığında; 9,13 m/s ve 838 W/m², 7,71 m/s ve 775 W/m², 8,08 m/s ve 680 W/m²’dir. Bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 7,21 m/s, güç yoğunluğu ise 545 W/m² olarak tespit edilmiştir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında ise hem rüzgar hızı hem rüzgar yoğunluğu değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.83. Karaburun için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)

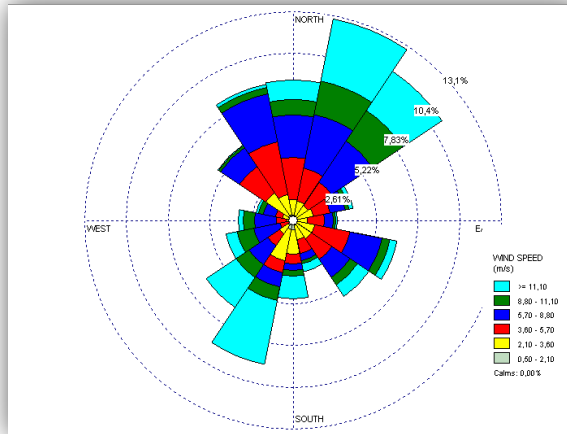
7.20. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü

Rüzgâr enerjisi araştırmalarını yapmak ve coğrafi özelliklerin rüzgâr üzerindeki etkisini ortaya koymak için, rüzgâr hızının rüzgâr yönüne göre belirlenmesi önemlidir [46]. Karaburun istasyonunun 2016 – 2020 yıllarında rüzgâr enerjisi potansiyeli için hâkim rüzgâr yönü kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.84, Şekil 7.85, Şekil 7.86, Şekil 7.87 ve Şekil 7.88’de verilmiştir.



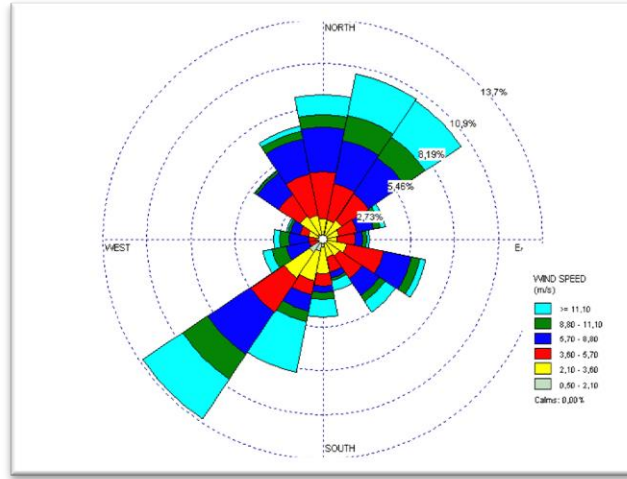
Şekil 7.84. Karaburun istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.84 incelendiğinde 2016 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri kuzeydoğu ve güneybatı olarak belirlenmiştir.



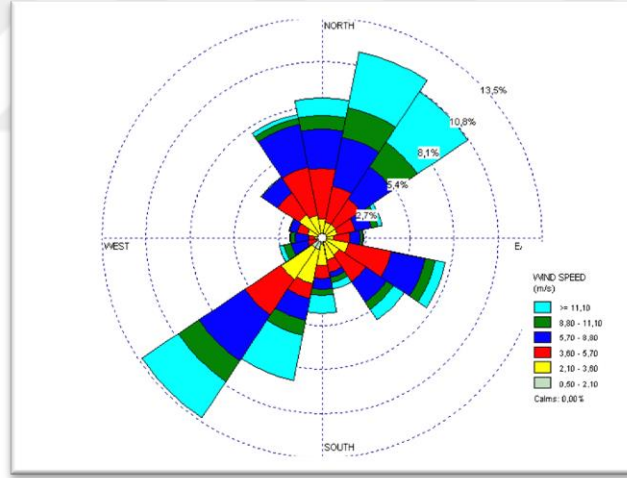
Şekil 7.85. Karaburun istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.85 incelendiğinde 2017 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönleri kuzeydoğu ve güneybatı olarak belirlenmiştir.



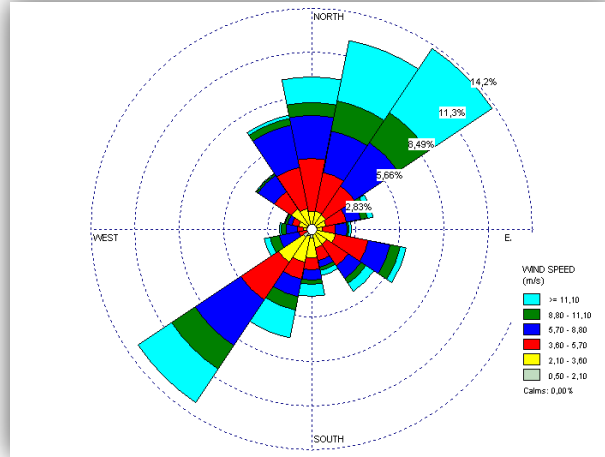
Şekil 7.86. Karaburun istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.86 incelendiğinde 2018 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.87. Karaburun istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.87 incelendiğinde 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.88. Karaburun istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.88 incelendiğinde 2020 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.

Karaburun için 2016 – 2020 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak, rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hız dağılımının istatistiksel analizi yapılmıştır. Beş yıllık ortalama rüzgar hızı verilerine göre;

Rüzgar hızı aylık bazda en düşük 2018 yılının Nisan ayında 4,4 m/s iken, en yüksek ise 2018 yılının Mart ayında 11,3 m/s olarak belirlenmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 6,8 m/s ile 2018 ve 2019 yıllarında, 545,9 W/m² güç yoğunluğu ile 2020 yılında, en yüksek ortalama hız 7,8 m/s ve güç yoğunluğu 874,8 W/m² olarak 2016 yılında elde edilmiştir.

2016 – 2020 yılları arasında hakim rüzgar yönü incelendiğinde genel olarak kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

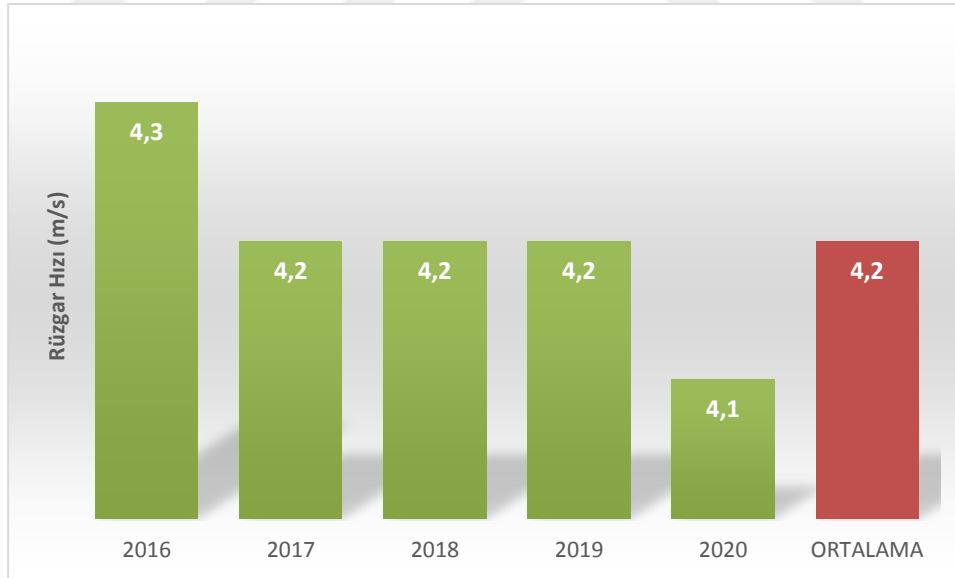
Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m² ve üzerinde olmalıdır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğunun elektrik üretimi açısından uygun olduğu gözlemlenmiştir.

7.21. Tire Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, 2016- 2020 yıllarına ait Tire istasyonundan alınan rüzgar hızları ve rüzgar yönleri kullanılmıştır. Eldeki rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri MS Office Excel programında düzeltilerek txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Hazırlanan txt dosyası, WAsP programı içerisindeki WAsP Climate Analyst alt programına yüklenerek bölgenin rüzgar güç yoğunlukları, Weibull dağılımı elde edilmiştir. Tüm verilerin WAsP içerisinde analizinin yapılmasının yanı sıra, MS Office Excel programı kullanılarak bu verilerin günlük, aylık ve yıl olarak ortalamaları bulunmuştur.

Bölgedeki istasyondan ölçülen saatlik verilerin MS Office Excel’de düzeltilmesi sonrasında ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2016 – 2020 yıllarına ait ortalama yıllık rüzgar hızı değerleri Şekil 7.89’da verilmiştir. Bu değerlere göre Tire istasyonu için ortalama rüzgar hızı değerleri; 2016 yılında 4,3 m/s 2017 yılında 4,2 m/s 2018 yılında 4,2 m/s 2019 yılında 4,2 m/s ve 2020 yılında 4,1 m/s olarak bulunmuştur. 2016 – 2020 yılları arasında ortalama yıllık rüzgar hızı değeri 4,2 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.89. Tire istasyonu 2016 yılı için ortalama yıllık rüzgâr hızı değeri

7.22. Tire Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları

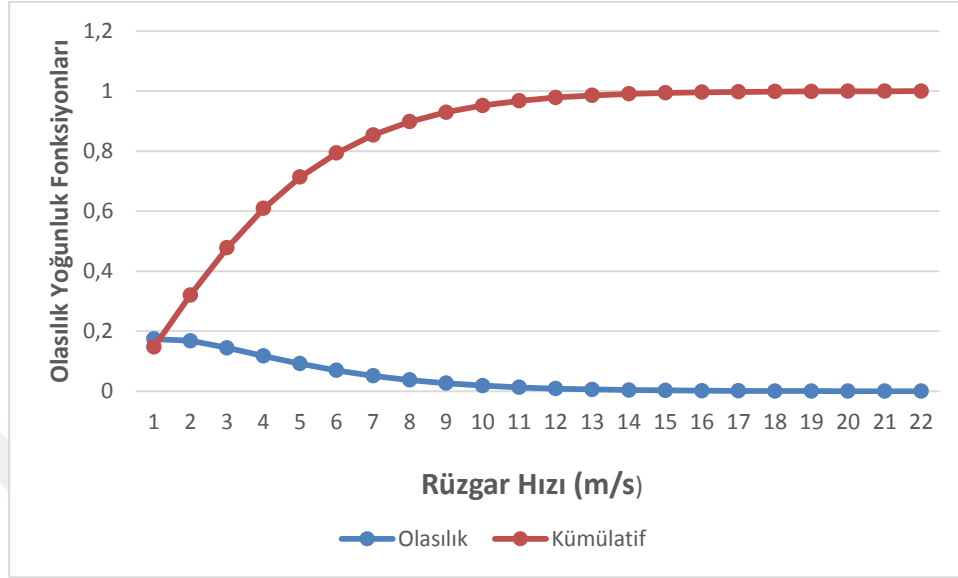
Tire istasyonundan alınan rüzgar verileri kullanılarak, 2016- 2020 yılları için hesaplanan Weibull parametreleri Tablo 7.21’ de verilmiştir.

Tablo 7.21 2016 – 2020 yılları için ortalama Weibull şekil değişkeni (k) değeri 1,28 ile 1,51 arasında, Weibull ölçek değişkeni (c) değeri 4,2 ile 4,3 arasında değişim göstermiştir.

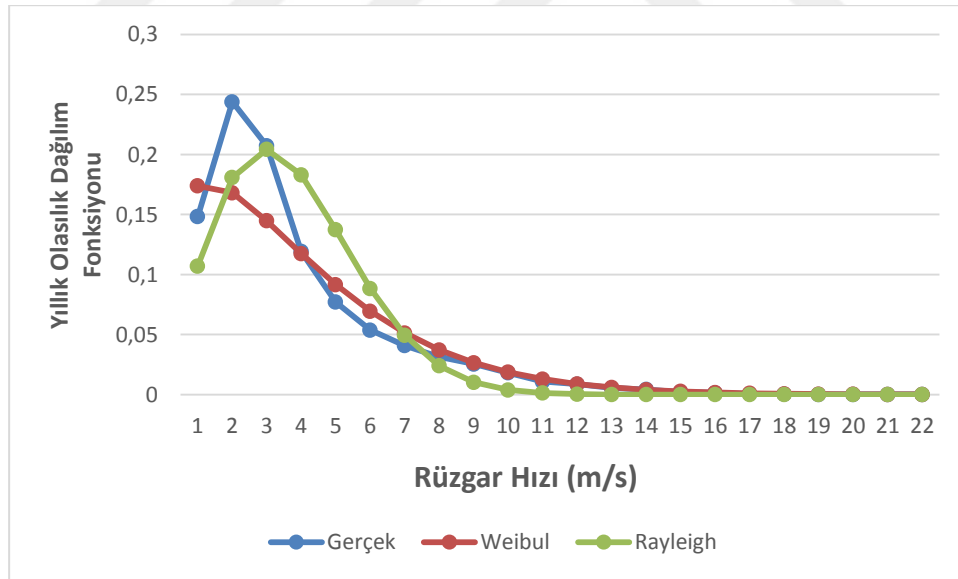
Tablo 7.21. Tire istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri

2020	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	7,6	5,5	3,8	3,4	2,9	2,6	2,1	3,7	5,0	5,5	5,2	5,1	4,2
k	2,36	1,69	1,93	1,68	1,73	1,49	0,82	1,18	1,74	2,33	2,34	1,80	1,41
2019	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	8,3	5,7	3,9	3,5	2,9	2,0	2,3	3,8	4,7	5,0	5,2	5,0	4,3
k	2,42	1,72	1,49	1,46	1,39	0,74	0,87	1,27	1,61	2,01	2,21	1,61	1,35
2018	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	7,4	5,7	3,7	3,3	3,0	2,6	1,8	3,8	5,1	5,2	4,8	5,0	4,2
k	2,04	1,62	1,55	1,81	1,40	1,15	0,72	1,14	1,68	2,08	2,17	1,66	1,33
2017	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	7,3	5,9	3,9	3,4	2,9	2,5	2,3	3,7	5,2	5,1	4,3	4,4	4,2
k	1,60	2,13	1,81	1,78	1,57	1,19	1,23	1,79	2,20	2,76	1,73	2,24	1,51
2016	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	8,1	5,7	3,7	3,3	2,9	2,4	2,3	4,5	4,9	4,8	4,6	4,6	4,2
k	2,32	1,68	1,76	1,94	1,42	0,81	0,78	1,21	1,58	2,09	2,01	1,34	1,28

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.90’da gösterilmiştir.



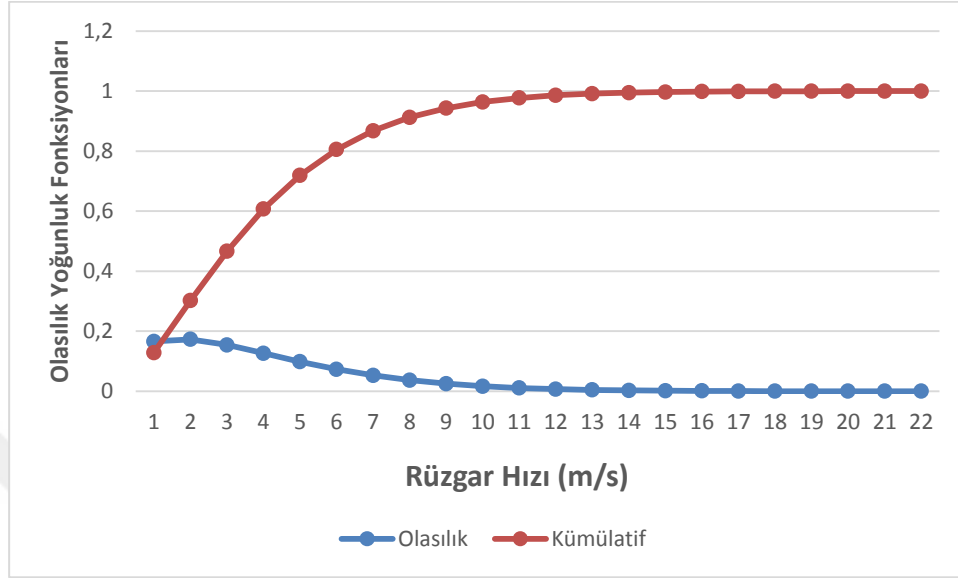
Şekil 7.90. Tire Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



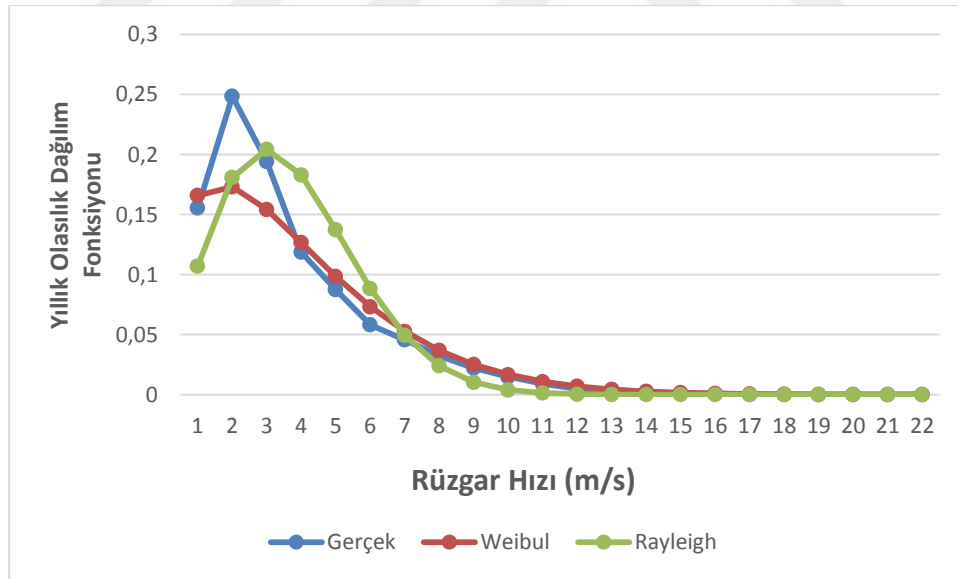
Şekil 7.91. Tire bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.91’de Tire bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.92’de gösterilmiştir.



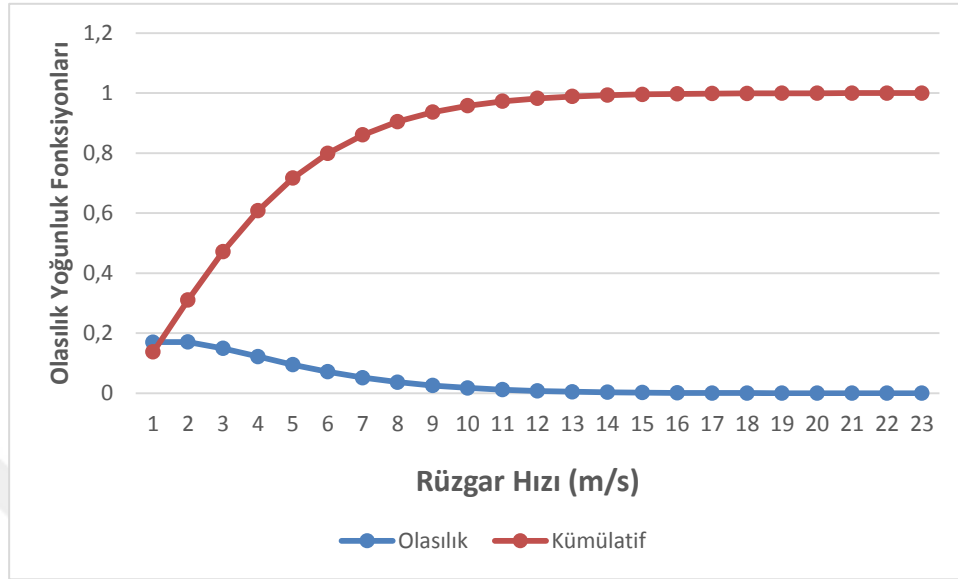
Şekil 7.92. Tire bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



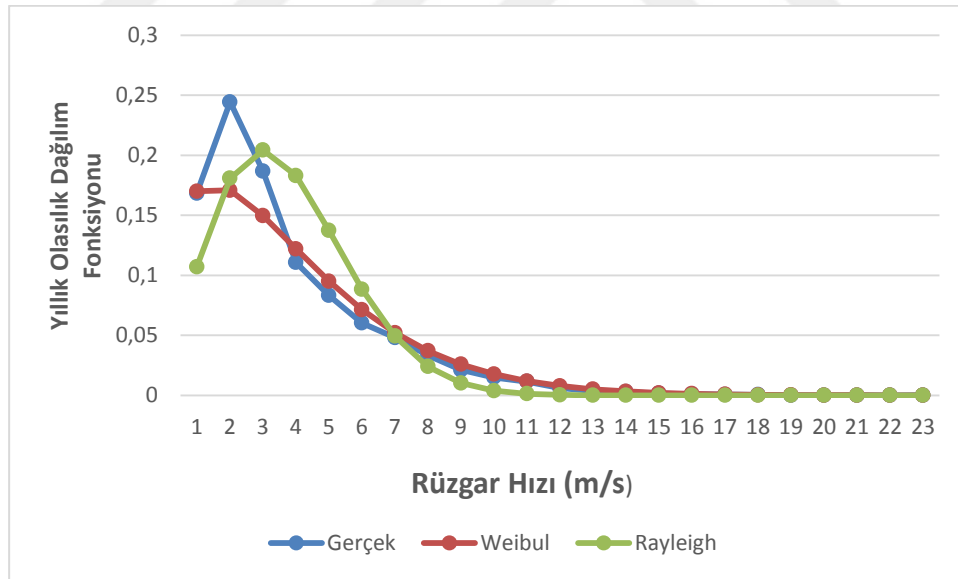
Şekil 7.93. Tire bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.93’te Tire bölgesi 2017 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.94'te gösterilmiştir.



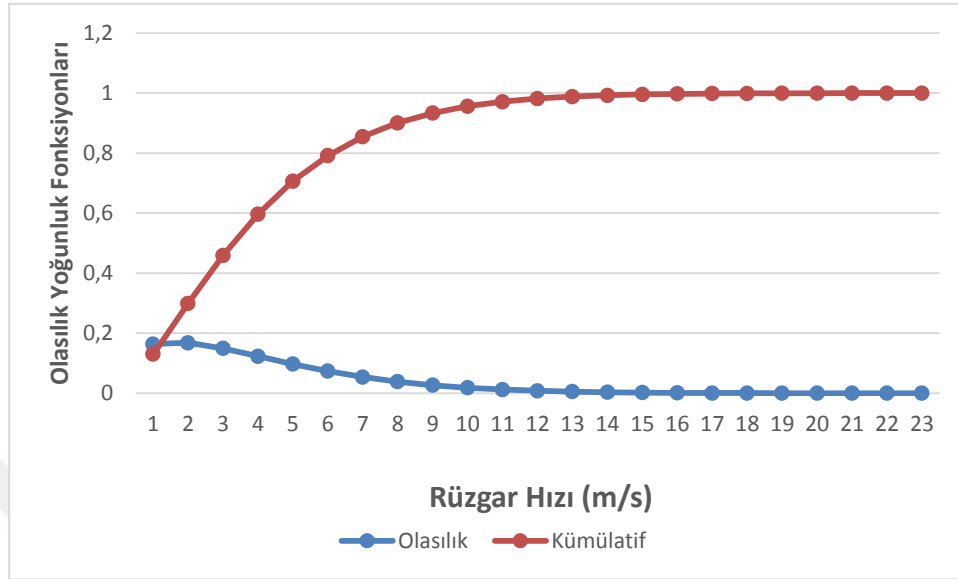
Şekil 7.94. Tire bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



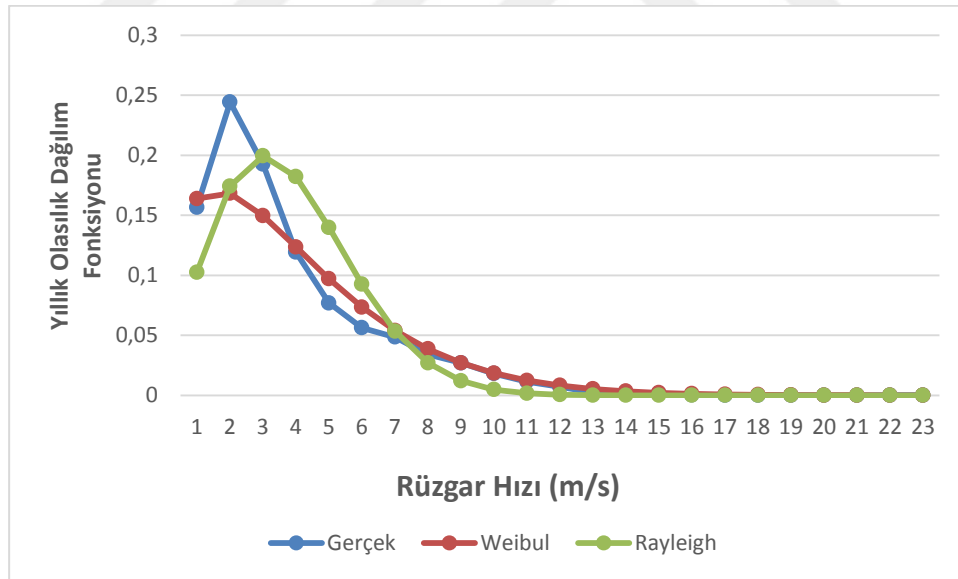
Şekil 7.95. Tire bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.95'te Tire bölgesi 2018 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.96’da gösterilmiştir.



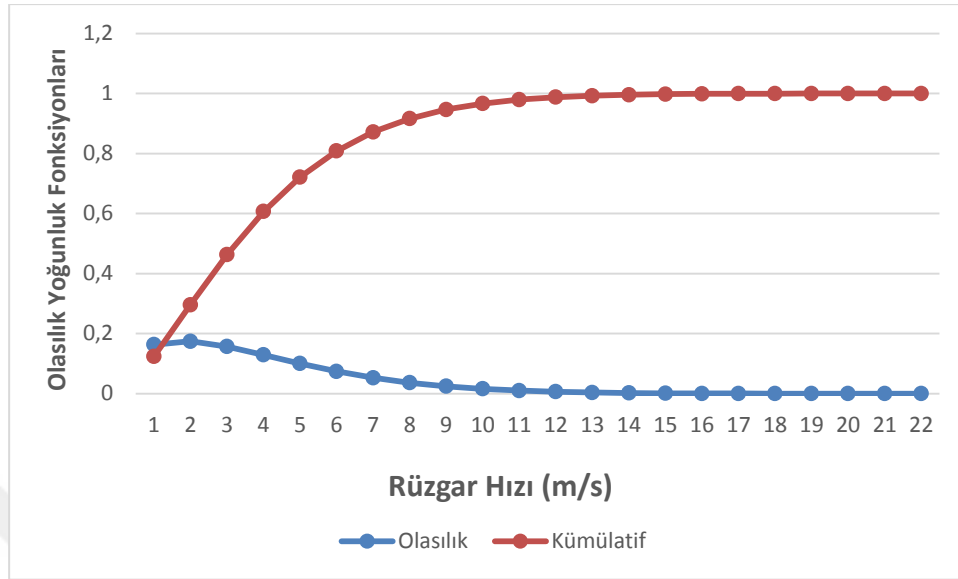
Şekil 7.96. Tire bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



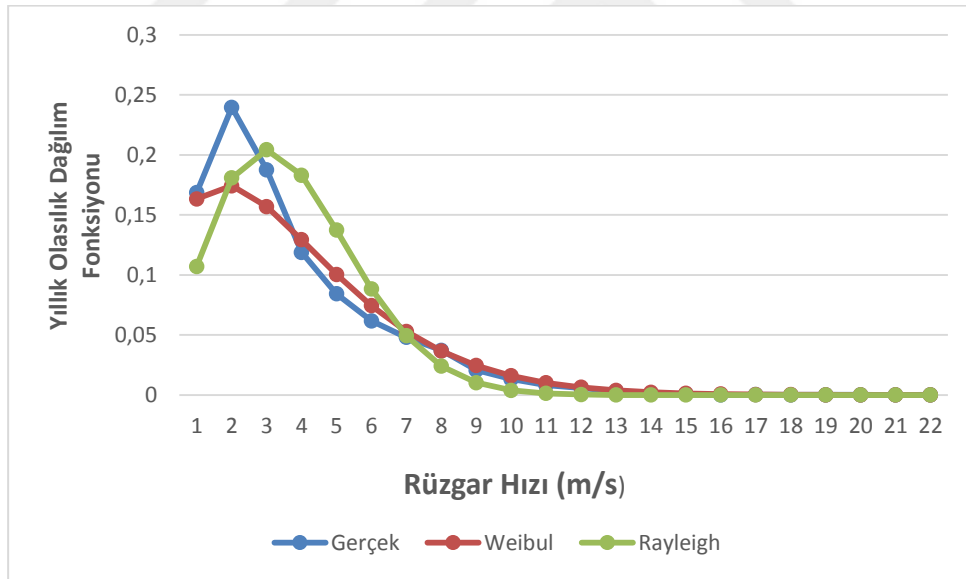
Şekil 7.97. Tire bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.97’de Tire bölgesi 2019 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık donelerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.98’de gösterilmiştir.



Şekil 7.98. Tire bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

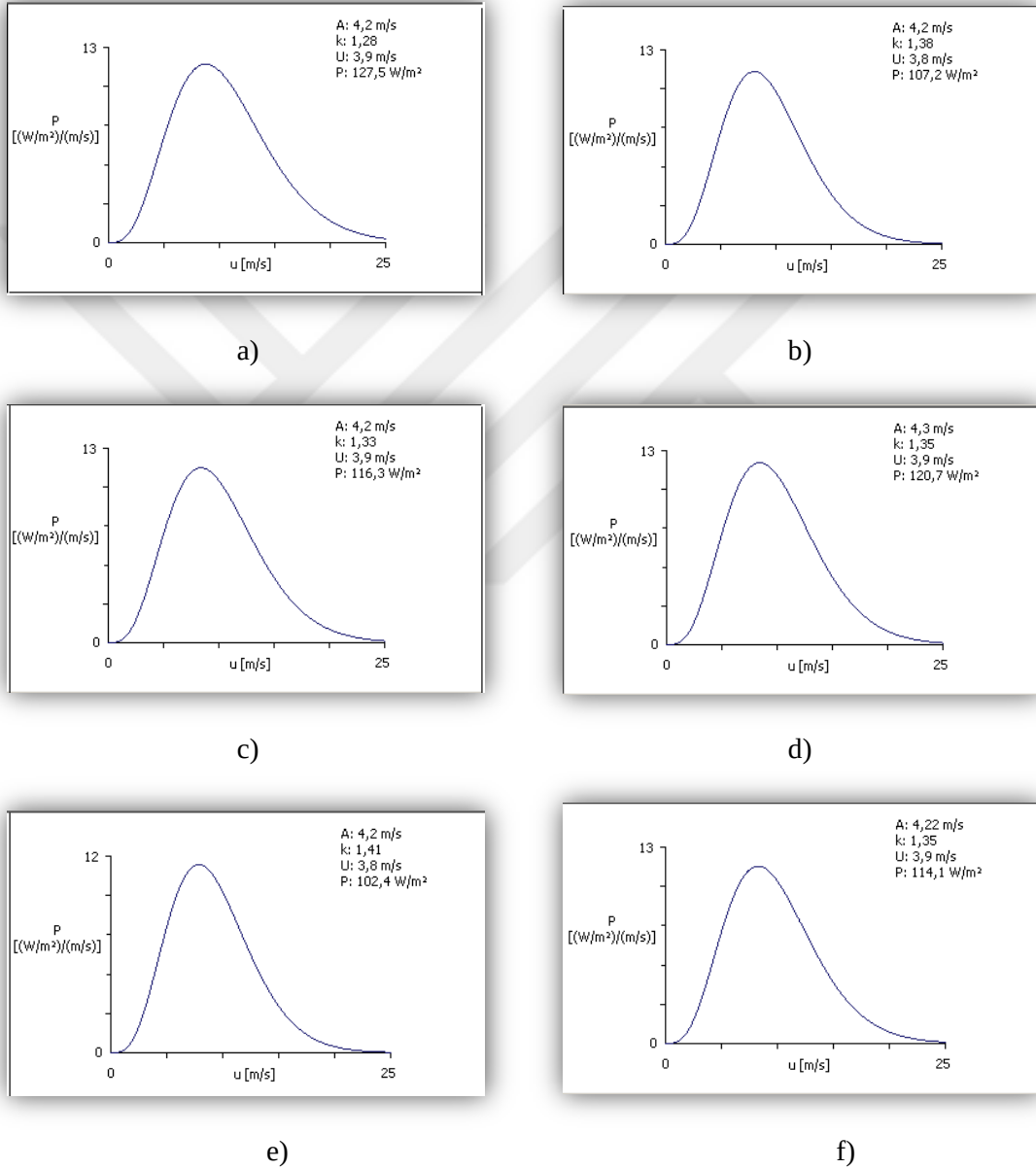


Şekil 7.99. Tire bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.99’da Tire bölgesi 2020 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine yakın değerlerde olduğu şeklinde görülmektedir.

7.23. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu

Tire istasyonuna ait Weibull ortalama güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak 2016- 2020 yıllarına göre grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 7.100’de verilmiştir. Grafik WAsP programı yardımı ile daha önceden hesaplanan k ve c parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.100. Tire İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri a) 2016 b) 2017 c) 2018 d) 2019 e) 2020 f) 2016-2020 yılları için ortalaması

Tablo 7.22, Tablo 7.23, Tablo 7.24 ve Tablo 7.25’te aylık bazda birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu gerçek değerleri ve Weibull dağılımı değerleri verilmiştir, Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek verilere yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 7.22. Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2016/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2017/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	384	378,2	Ocak	292	290,3
Şubat	186	187,9	Şubat	187	184
Mart	48	48,1	Mart	60	60,2
Nisan	29	30,2	Nisan	36	36,5
Mayıs	34	33,2	Mayıs	26	25,7
Haziran	135	131,4	Haziran	24	25
Temmuz	140	142,2	Temmuz	88	85,3
Ağustos	177	181,3	Ağustos	145	141,8
Eylül	133	131,5	Eylül	135	136,7
Ekim	85	86,1	Ekim	105	104,3
Kasım	77	78,8	Kasım	58	57,8
Aralık	149	150,3	Aralık	102	103,1
Ortalama	131,4	131,6	Ortalama	104,8	104,2

Tablo 7.23. Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2018/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2019/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	321	323,3	Ocak	393	394,5
Şubat	196	198,8	Şubat	178	181,6
Mart	59	58,5	Mart	73	73,6
Nisan	31	32,9	Nisan	55	55,3
Mayıs	39	37,9	Mayıs	35	34,7
Haziran	39	40,4	Haziran	118	127,6
Temmuz	117	110,5	Temmuz	83	80,7
Ağustos	132	129,5	Ağustos	93	96,2
Eylül	131	134,6	Eylül	116	112,5
Ekim	110	110	Ekim	100	101,2
Kasım	84	83,2	Kasım	105	104,1
Aralık	127	129,1	Aralık	135	135,5
Ortalama	115,5	115,7	Ortalama	123,6	124,7

Tablo 7.24. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	311	308,4
Şubat	167	167,3
Mart	45	46,5
Nisan	39	39,9
Mayıs	24	23,7
Haziran	21	21,8
Temmuz	89	82,5
Ağustos	106	108,1
Eylül	123	120,6
Ekim	121	118
Kasım	100	99,4
Aralık	126	122,2
Ortalama	106	104,8

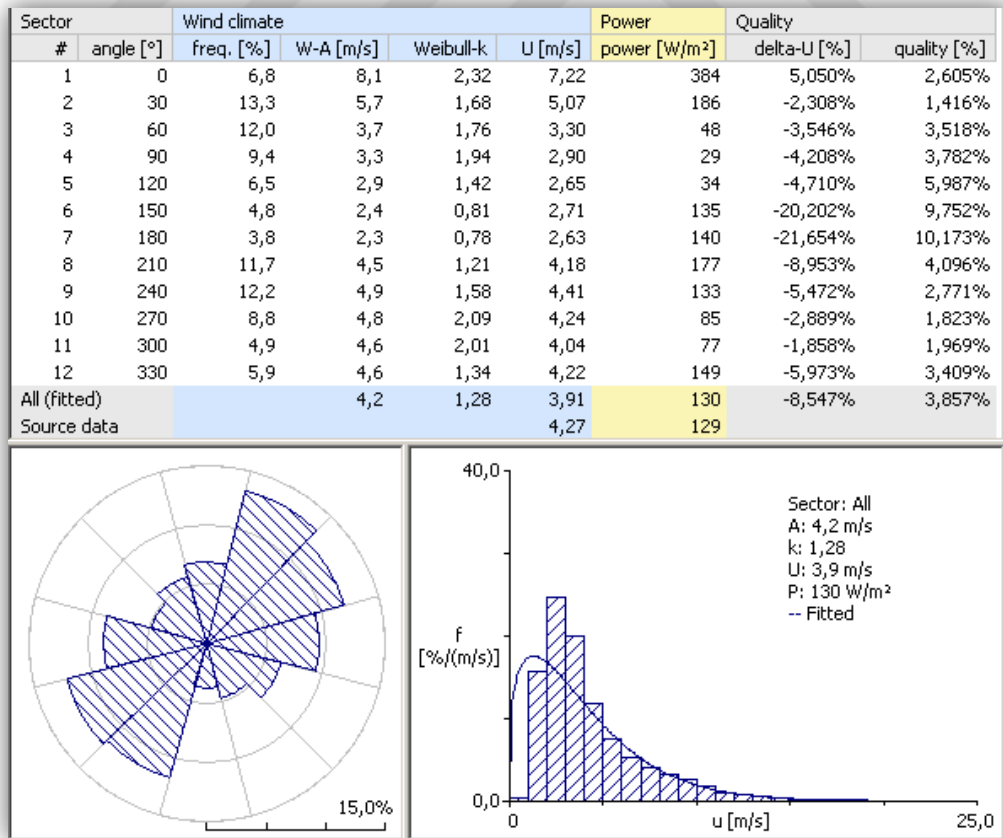
Tablo 7.25. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi

Yıllar	Gerçek Veriler	Weibull
2016	131,4	131,6
2017	104,8	104,2
2018	115,5	115,7
2019	123,6	124,7
2020	106	104,8
Ortalama	116,26	116,2

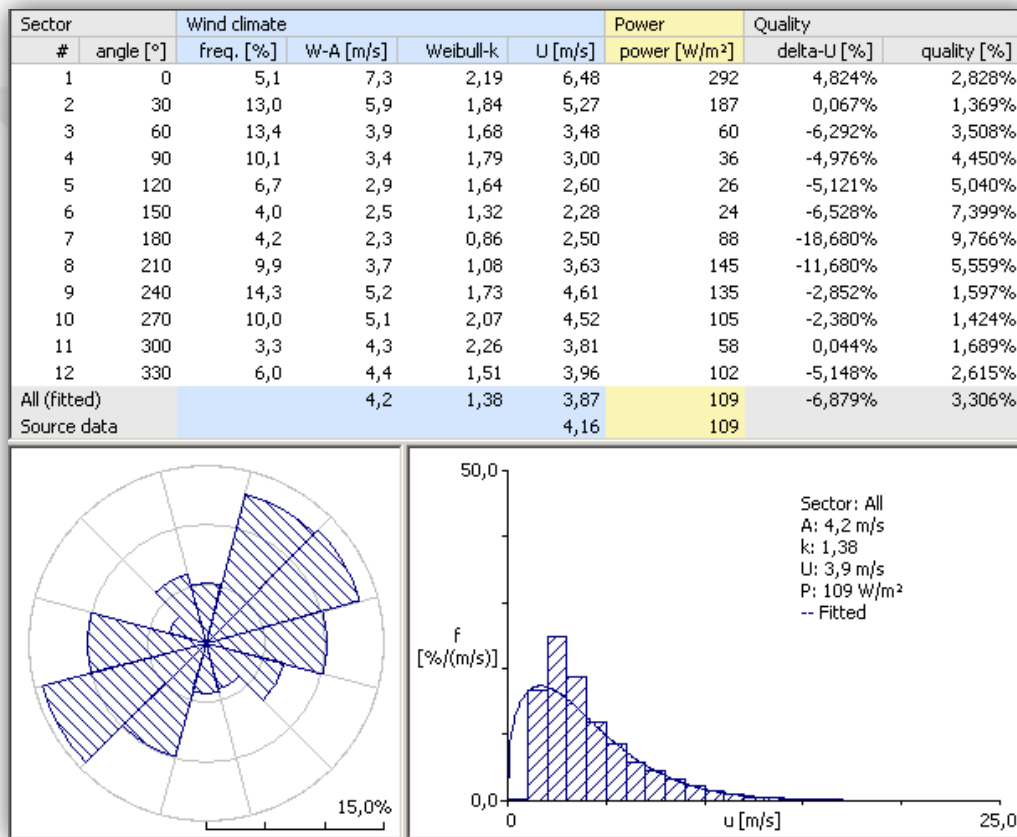
7.24. Rüzgar Verilerinin Analizi

2016 – 2020 yılları için WAsP programında rüzgar verilerinin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.101, Şekil 7.102, Şekil 7.103, Şekil 7.104 ve Şekil 7.105’te verilmiştir.

Şekil 7.101 2016 yılı analiz sonuçlarına göre Tire’de hakim rüzgar yönü 2. Sektör (30°) ile kuzeydoğudur. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 2 (30°) %13,3 Sektör 9 (240°) %12,2 Sektör 3 (60°) %12’dir. Tüm bu sektörlerle alakalı ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları sırasıyla verilecek olursa; 5,07 m/s ve $186 W/m^2$, 4,41 m/s ve $133 W/m^2$, 3,30 m/s ve $48 W/m^2$ ’dir ve bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 4,27 m/s, güç yoğunluğu ise $129 W/m^2$ olarak tespit edildiği görülmektedir.

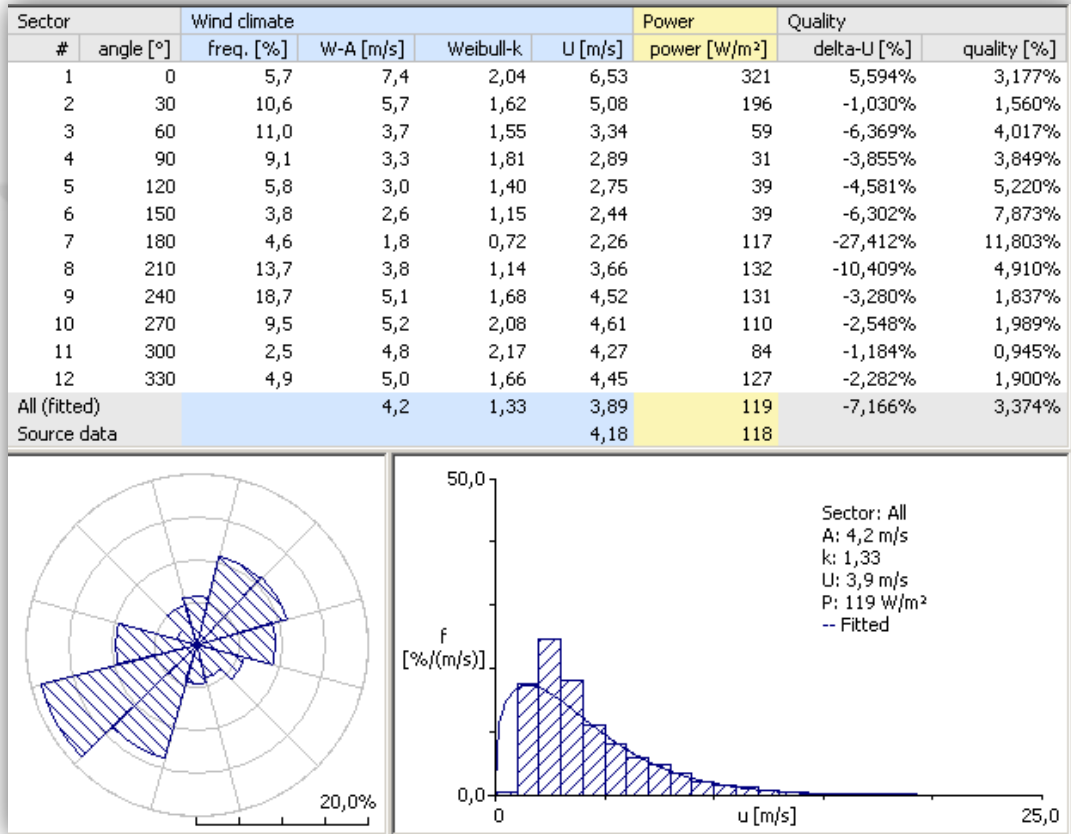
**Şekil 7.101.** Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)

Şekil 7.102 2017 yılı analiz sonuçlarına göre Tire’de hakim rüzgar yönü 9. Sektör (240°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 9 (240°) %14,3 Sektör 3 (60°) %13,4, Sektör 2 (30°) %13’tür ve bu sektörler için ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırayla verdiğimiz zaman; 4,61 m/s ve 135 W/m², 3,48 m/s ve 60 W/m², 5,27 m/s ve 187 W/m²’dir. Daha sonra mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 4,16 m/s, güç yoğunluğu ise 109 W/m²’dir. 2016 yılı ile kıyaslandığında hem rüzgar hızında hem rüzgar yoğunluğunda düşme görülmektedir.



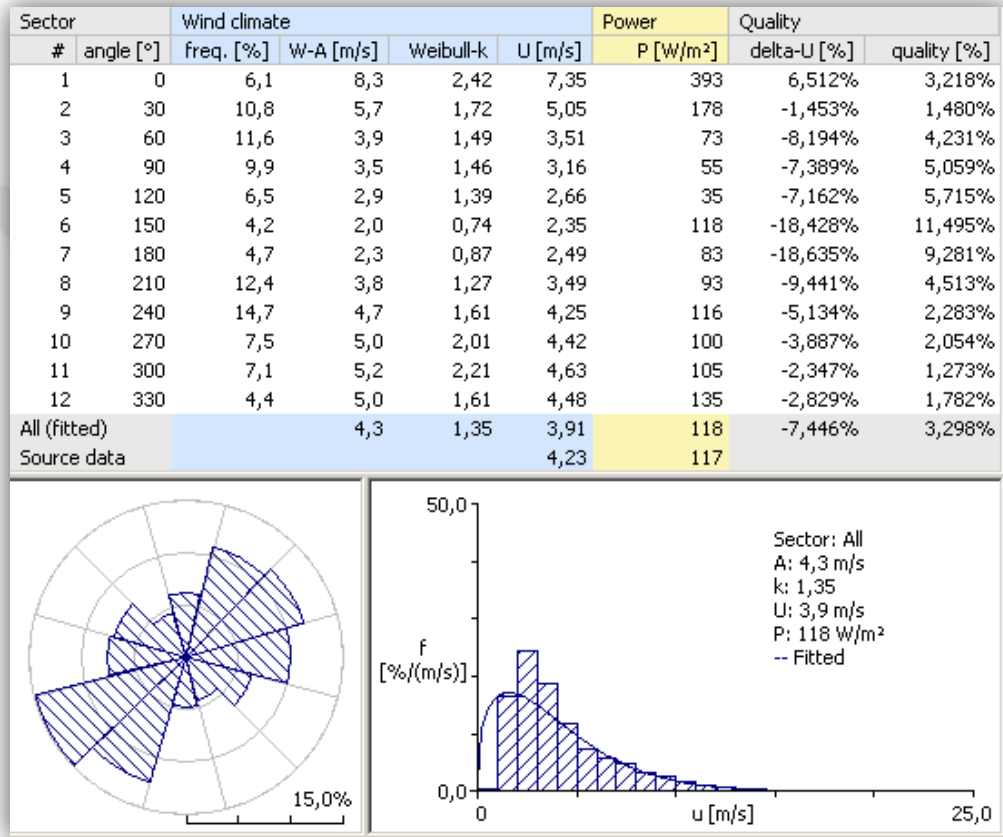
Şekil 7.102. Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)

Şekil 7.103 2018 yılı analiz sonuçlarına göre Tire’de hakim rüzgar yönü 9. Sektör (240°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 9 (240°) %18,7 Sektör 8 (210°) %13,7 Sektör 3 (60°) %10,6’dır. “Bu sektörlerin ortalaması alındığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırası ile; 4,52 m/s ve 141 W/m², 3,66 m/s ve 132 W/m², 3,34 m/s ve 59 W/m²’dir. Tüm sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 4,18 m/s, güç yoğunluğu ise 118 W/m²’dir. Bu değerlerin 2017 yılı değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



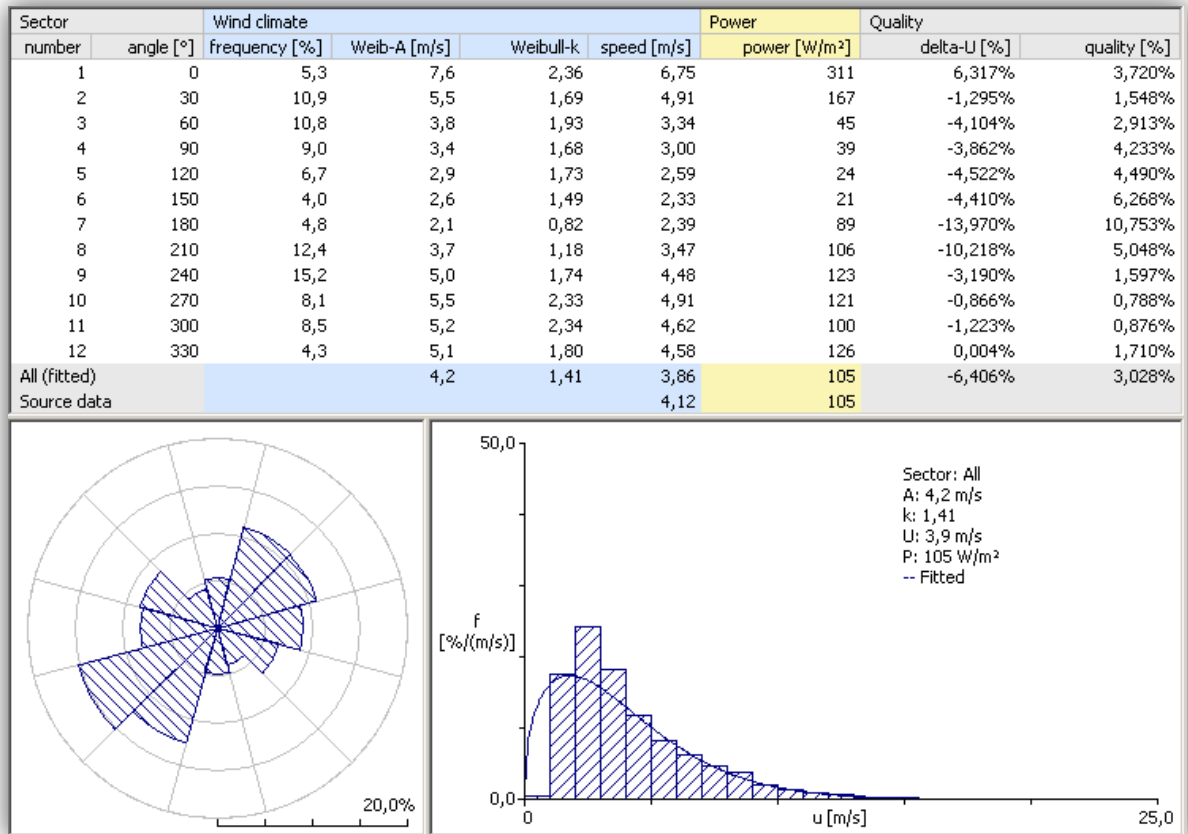
Şekil 7.103. Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)

Şekil 7.104 2019 yılı analiz sonuçlarına göre Tire’de hakim rüzgar yönü 9. Sektör (240°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 9 (240°) %14,7 Sektör 8 (210°) %12,4 Sektör 3 (60°) %11,6’dır. “Bu sektörlerin ortalaması hesaplandığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla; 4,25 m/s ve 116 W/m², 3,49 m/s ve 93 W/m², 3,51 m/s ve 73 W/m²’dir. Mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 4,23 m/s, güç yoğunluğu ise 117 W/m²’dir. Bu değerlerin 2018 yılın değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.104. Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)

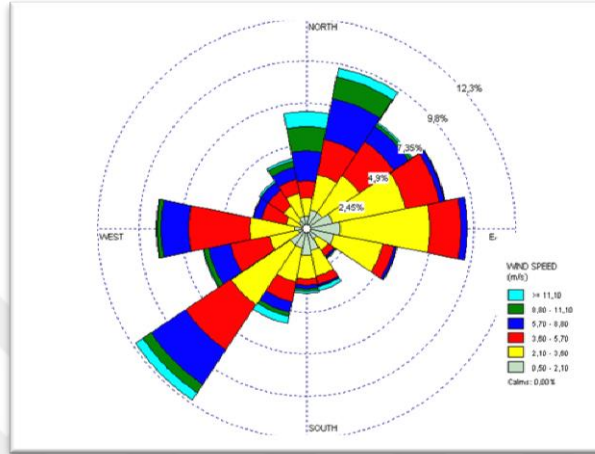
Şekil 7.105 2020 yılı analiz sonuçlarına göre Tire’de hakim rüzgar yönü 9. Sektör (240°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 9 (240°) %15,2 Sektör 8 (210°) %12,4 Sektör 2 (30°) %10,9’dur ve bunların ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sıralandığında; 4,48 m/s ve 123 W/m², 3,47 m/s ve 106 W/m², 4,91 m/s ve 167 W/m²’dir. Bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 4,12 m/s, güç yoğunluğu ise 105 W/m² olarak tespit edilmiştir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında ise hem rüzgar hızı hem rüzgar yoğunluğu değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.105. Tire için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)

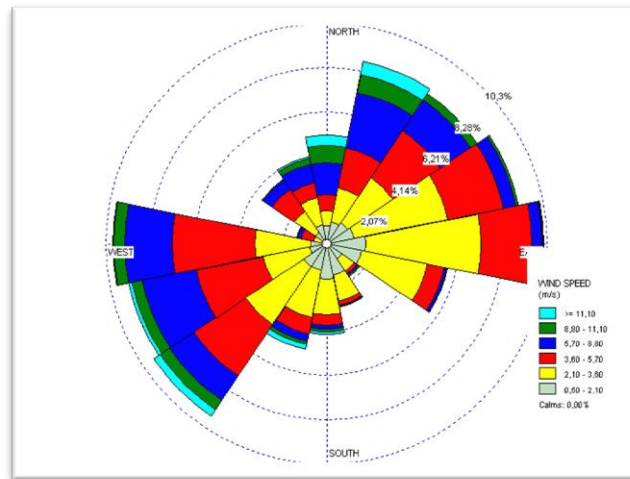
7.25. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü

Rüzgâr enerjisi araştırmalarını yapmak ve coğrafi özelliklerin rüzgâr üzerindeki etkisini ortaya koymak için, rüzgâr hızının rüzgar yönüne göre belirlenmesi önemlidir [46]. Tire istasyonunun 2016 – 2020 yıllarında rüzgâr enerjisi potansiyeli için hâkim rüzgâr yönü kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.106, Şekil 7.107, Şekil 7.108, Şekil 7.109 ve Şekil 7.110’da verilmiştir.



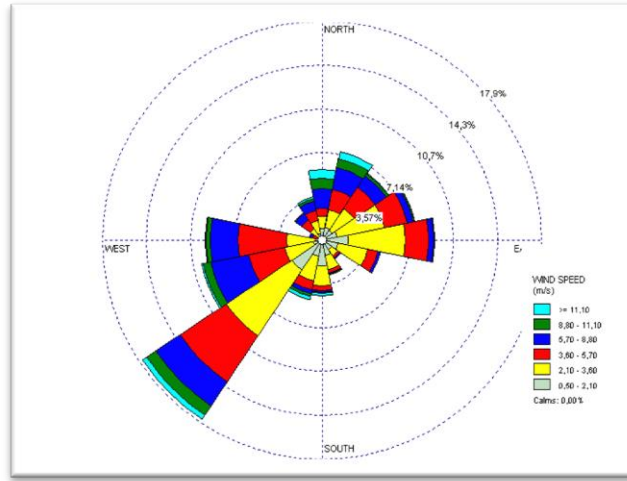
Şekil 7.106. Tire istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.106 incelenirse 2016 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



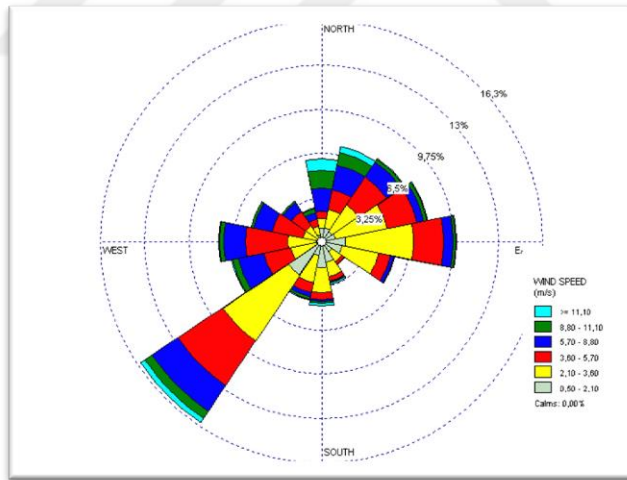
Şekil 7.107. Tire istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.107 incelenirse 2017 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı ve kuzeydoğu olarak belirlenmiştir.



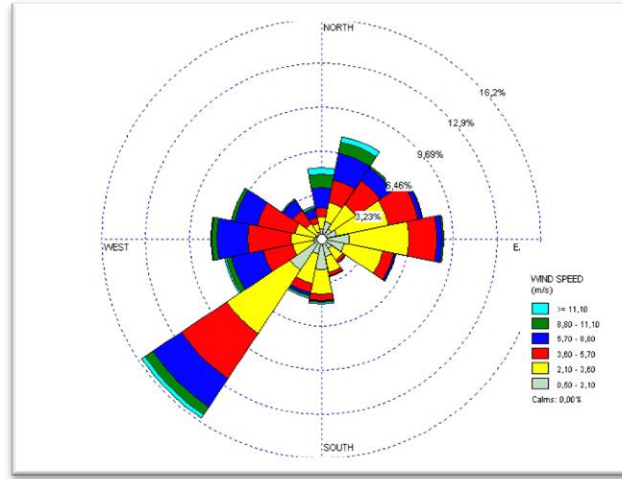
Şekil 7.108. Tire istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.108 incelenirse 2018 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.109. Tire istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.109 incelenirse 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.110. Tire istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.110 incelenirse 2020 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü güneybatı olarak belirlenmiştir.

Tire için 2016 – 2020 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak, rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hız dağılımının istatistiksel analizi yapılmıştır. Beş yıllık ortalama rüzgar hızı verilerine göre;

Rüzgar hızı aylık bazda en düşük 2018 yılının Ekim ayında 3,0 m/s iken, en yüksek ise 2018 yılının Mart ayında 5,4 m/s olarak belirlenmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 3,8 m/s ile 2017 ve 2020 yılında, güç yoğunluğu $102,4 \text{ W/m}^2$ olarak 2020 yılında, en yüksek ortalama hız 3,9 m/s ile 2016, 2018 ve 2019 yıllarında, güç yoğunluğu $127,5 \text{ W/m}^2$ olarak 2016 yılında elde edilmiştir.

2016 – 2020 yılları arasında hakim rüzgar yönü incelendiğinde genel olarak güneybatı yönünde olduğu gözlemlenmiştir.

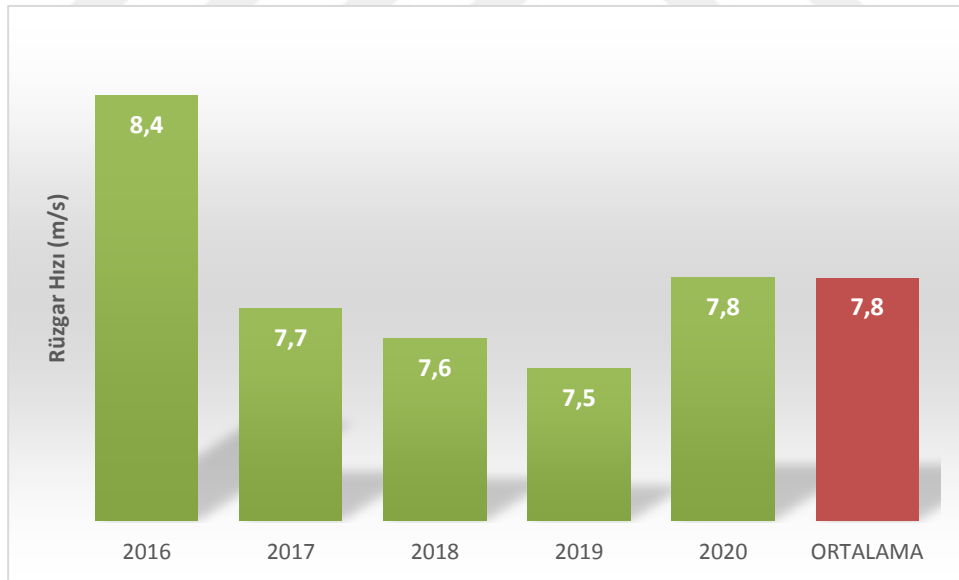
Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m^2 ve üzerinde olmalıdır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı elektrik üretimi açısından orta seviyenin altında olmakla birlikte ölçüm yüksekliğinin yükseltilmesi, arazinin farklı bölgelerinde rüzgar ölçümünün yapılmasıyla bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından uygun olması beklenmektedir.

7.26. Urla Bölgesinin Potansiyel Rüzgâr Hızlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, 2016- 2020 yıllarına ait Urla istasyonundan alınan rüzgar hızları ve rüzgar yönleri kullanılmıştır. Eldeki rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri MS Office Excel programında düzeltilerek txt dosyası olarak kaydedilmiştir. Hazırlanan txt dosyası, WAsP programı içerisindeki WasP Climate Analyst alt programına yüklenerek bölgenin rüzgar güç yoğunlukları, Weibull dağılımı elde edilmiştir. Tüm verilerin WAsP içerisinde analizinin yapılmasının yanı sıra, MS Office Excel programı kullanılarak bu verilerin günlük, aylık ve yıl olarak ortalamaları bulunmuştur.

Bölgedeki istasyondan ölçülen saatlik verilerin MS Office Excel’de düzeltilmesi sonrasında ortalama yıllık rüzgâr hızı değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2016 – 2020 yıllarına ait ortalama yıllık rüzgar hızı değerleri Şekil 7.111’de verilmiştir. Bu değerlere göre Urla istasyonu için ortalama rüzgar hızı değerleri; 2016 yılında 8,4 m/s 2017 yılında 7,7 m/s 2018 yılında 7,6 m/s 2019 yılında 7,5 m/s ve 2020 yılında 7,8 m/s olarak bulunmuştur. 2016 – 2020 yılları arasında ortalama yıllık rüzgar hızı değeri 7,8 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.111. Urla istasyonu 2016-2020 yılları için ortalama yıllık rüzgâr hızı değeri

7.27. Urla Bölgesinin Rüzgâr Hızı Verilerinin Weibull Dağılımları

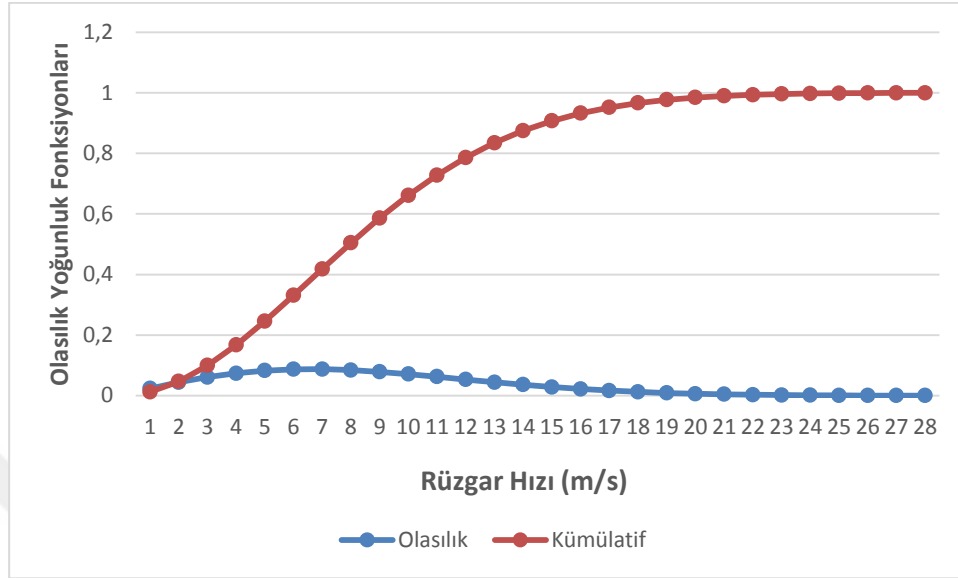
Urla istasyonundan alınan rüzgar verileri kullanılarak, 2016- 2020 yılları için hesaplanan Weibull parametreleri Tablo 7.26’da verilmiştir.

Tablo 7.26 bakıldığında 2016 – 2020 yılları için ortalama Weibull şekil değişkeni (k) değeri 1,74 ile 2,04 arasında, Weibull ölçek değişkeni (c) değeri 8,6 ile 9,6 arasında değişim göstermiştir.

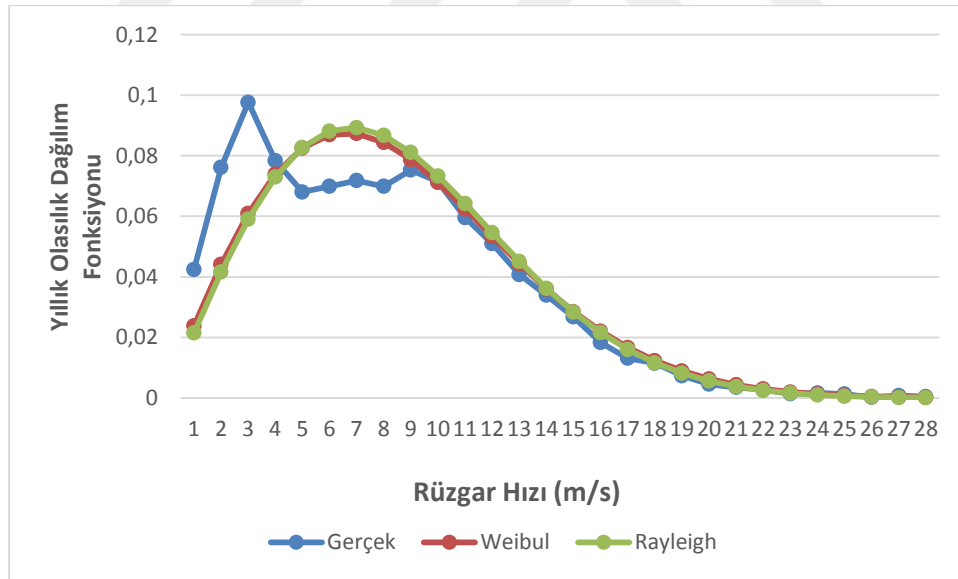
Tablo 7.26. Urla istasyonunun 2016- 2020 yılları için yıllık Weibull parametreleri

2020	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	10,7	8,5	4,3	3,0	5,7	8,6	9,8	7,8	7,3	4,1	7,9	9,3	8,9
k	2,70	2,04	1,28	1,77	1,31	1,66	2,00	1,72	1,64	1,39	1,95	2,43	2,03
2019	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	10,5	8,4	5,1	3,1	6,0	8,8	10,4	7,6	6,9	3,2	7,3	9,1	8,6
k	2,82	1,90	1,32	1,20	1,27	1,73	2,41	1,69	1,55	1,08	1,92	2,66	2,02
2018	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	10,2	6,8	4,2	3,0	6,0	9,9	11,6	8,0	6,2	3,6	7,1	8,7	8,6
k	2,21	1,46	1,34	0,89	1,27	1,53	2,09	1,67	1,32	1,04	1,81	2,31	1,74
2017	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	10,1	8,3	5,0	3,2	5,8	10,6	11,2	7,2	4,5	3,5	7,8	9,2	8,9
k	2,81	1,93	1,57	1,49	1,28	2,06	2,44	1,59	1,15	1,12	1,98	2,63	2,04
2016	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
c	10,7	9,4	4,3	3,0	4,7	11,9	12,3	9,0	4,5	3,3	7,9	9,4	9,6
k	2,49	2,04	1,43	2,65	0,96	1,94	2,35	1,99	1,18	0,97	2,08	2,49	1,94

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.112’de gösterilmiştir.



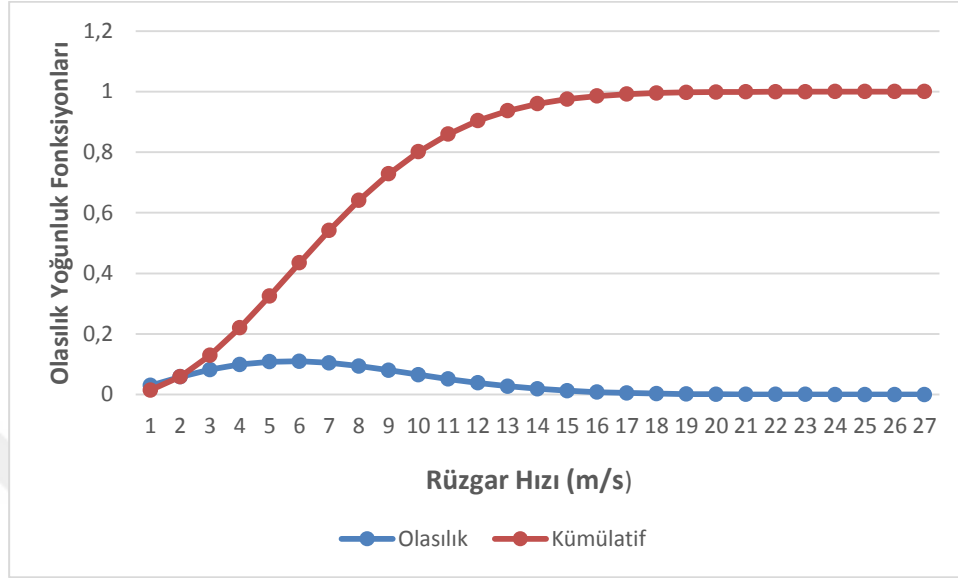
Şekil 7.112. Ural Bölgesi 2016 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



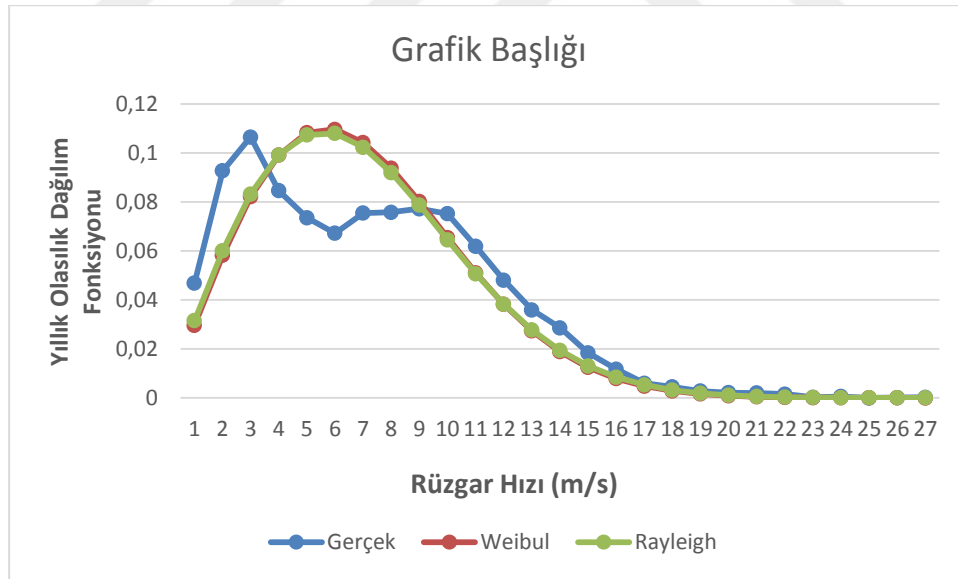
Şekil 7.113. Ural bölgesi 2016 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.113’de Ural bölgesi 2016 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.114'te gösterilmiştir.



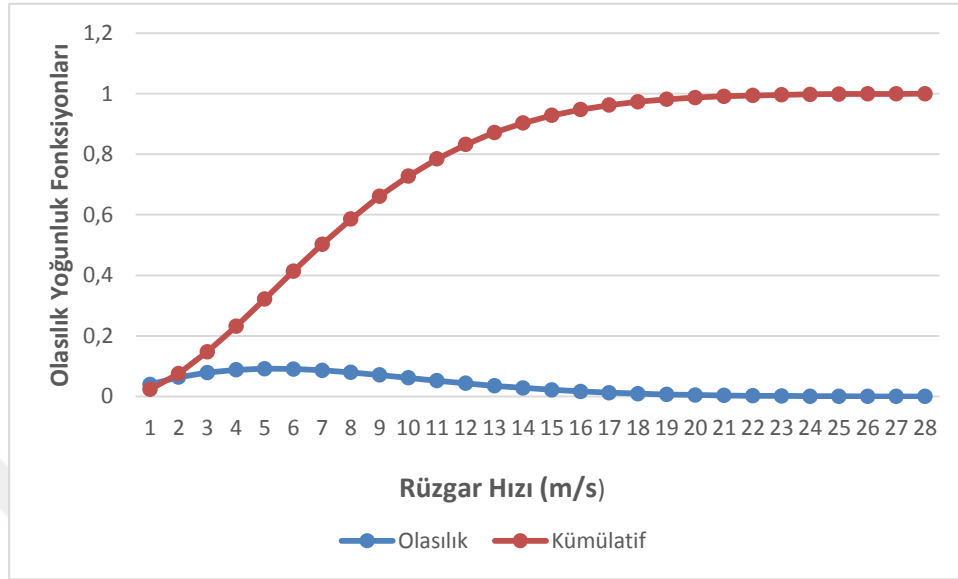
Şekil 7.114. Urala bölgesi 2017 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



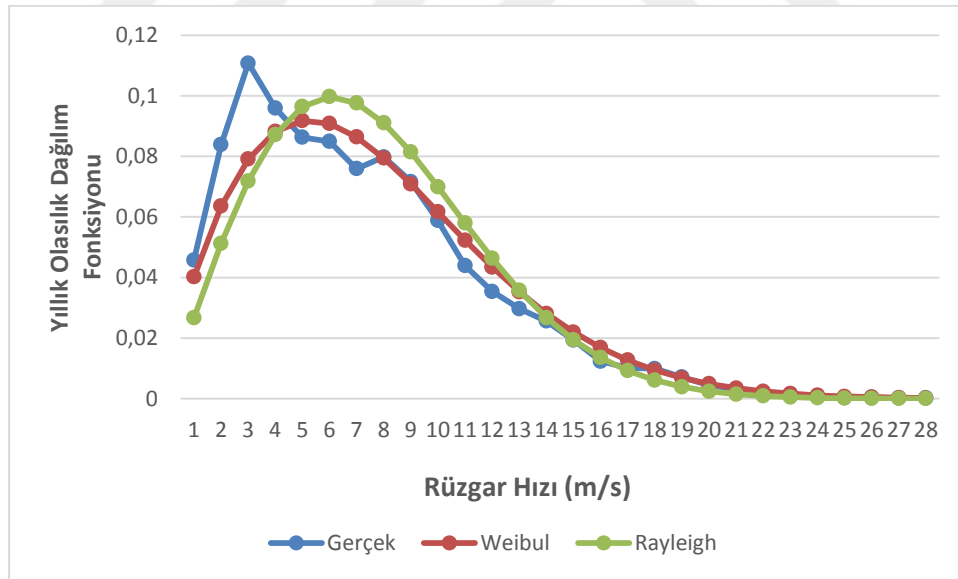
Şekil 7.115. Urala bölgesi 2017 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.115'te Urala bölgesi 2017 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.116'da gösterilmiştir.



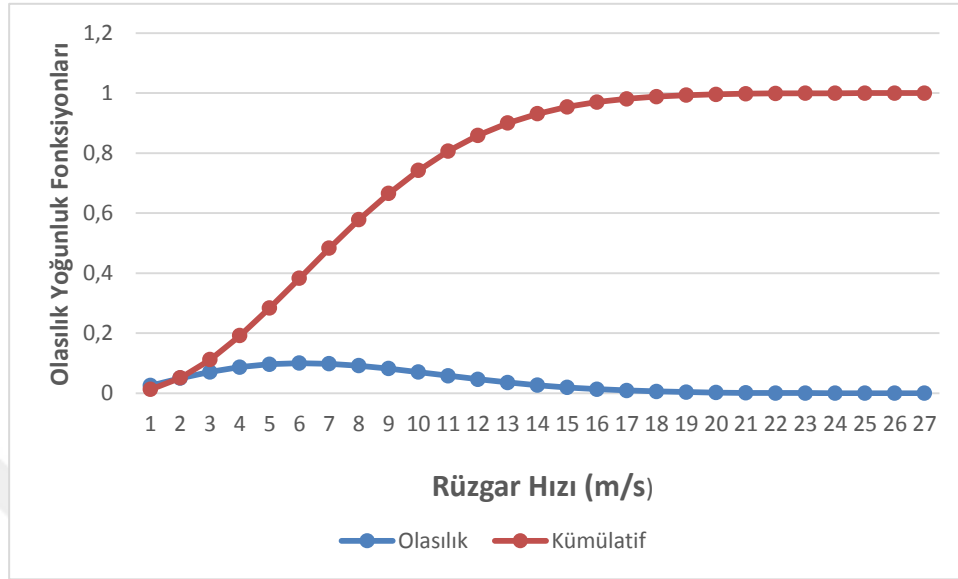
Şekil 7.116. Urala bölgesi 2018 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



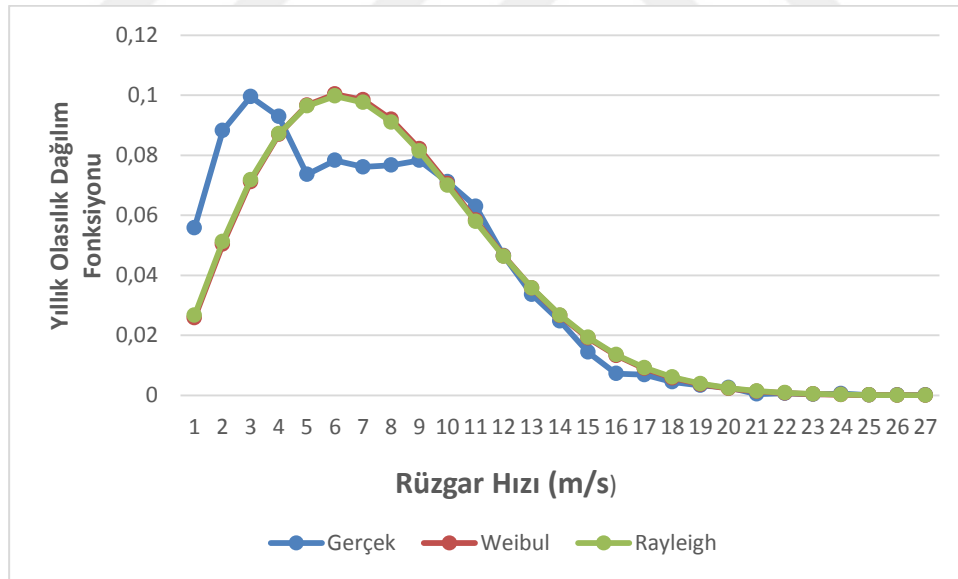
Şekil 7.117. Urala bölgesi 2018 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.117'de Urala bölgesi 2018 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.118’de gösterilmiştir.



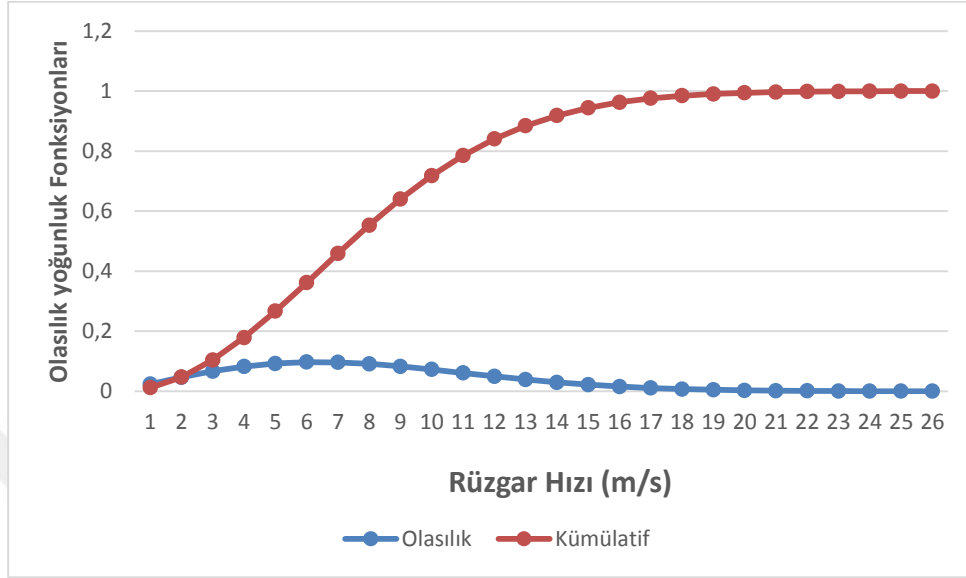
Şekil 7.118. Urala bölgesi 2019 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi



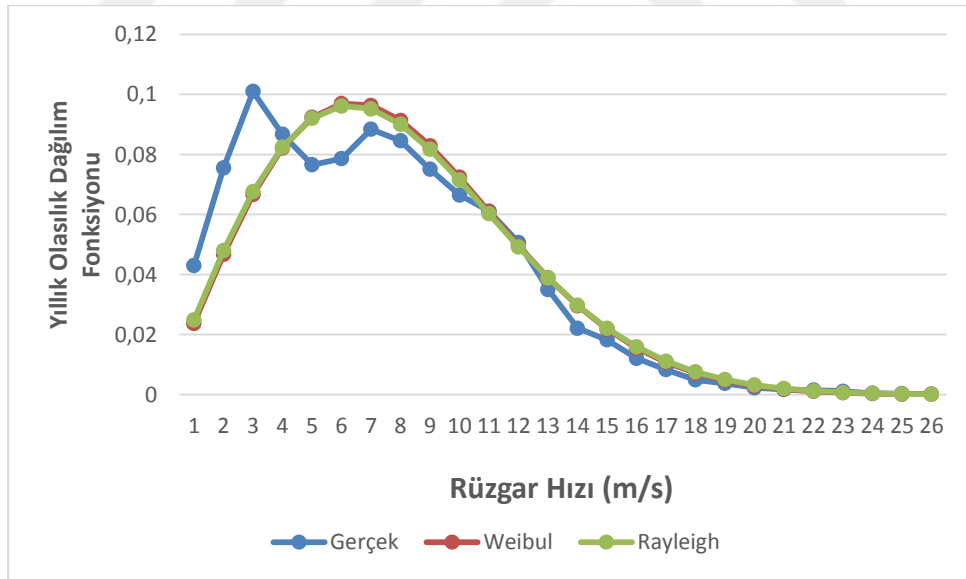
Şekil 7.119. Urala bölgesi 2019 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.119’da Urala bölgesi 2019 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

Rüzgara ait hız bilgilerinden elde edilen olasılık ve kümülatif yoğunluk denklemleri baz alınarak ulaşılan bir yıllık verilerden hesaplanan dağılımlar Şekil 7.120’de gösterilmiştir.



Şekil 7.120. Urla bölgesi 2020 yılı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

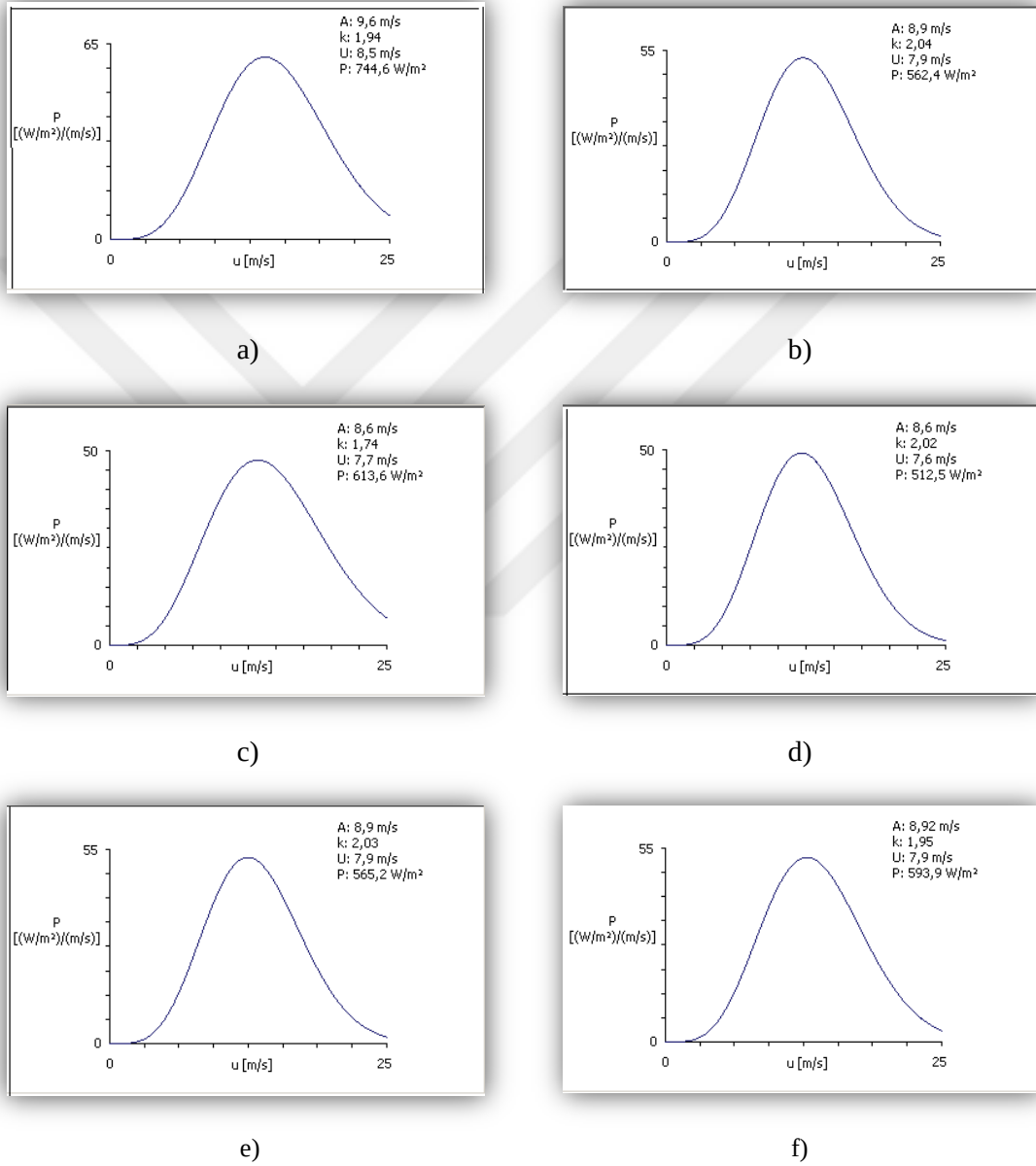


Şekil 7.121. Urla bölgesi 2020 yılı için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.121’de Urla bölgesi 2020 yılı için bir yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verilerin, Weibull ve Rayleigh olasılık dağılımlarının rüzgâr şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu şekilde görülmektedir.

7.28. Weibull Ortalama Güç Yoğunluğu

Urla istasyonuna ait Weibull ortalama güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak 2016- 2020 yıllarına göre grafiksel olarak aşağıdaki Şekil 7.122’de verilmiştir. Grafik WAsP programı yardımı ile daha önceden hesaplanan k ve c parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 7.122. Urla İstasyonunun ortalama Weibull güç eğrileri a) 2016 b) 2017 c) 2018 d) 2019 e) 2020 f) 2016-2020 yılları için ortalaması

Tablo 7.27, Tablo 7.28, Tablo 7.29 ve Tablo 7.30’da aylık bazda birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu gerçek değerleri ve Weibull dağılımı değerleri verilmiştir, Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek verilere yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 7.27. Bölgenin 2016-2017 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2016/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2017/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	838	828,9	Ocak	646	650,3
Şubat	661	662,6	Şubat	484	484,1
Mart	110	106,8	Mart	144	141,3
Nisan	18	17,6	Nisan	42	40,6
Mayıs	435	447,4	Mayıs	335	335,7
Haziran	1418	1418,3	Haziran	949	940,9
Temmuz	1311	1311,4	Temmuz	967	963,7
Ağustos	606	596,7	Ağustos	408	412,9
Eylül	191	194,4	Eylül	207	209,5
Ekim	141	148,6	Ekim	106	106,8
Kasım	383	385,8	Kasım	397	390,6
Aralık	555	562	Aralık	502	509,3
Ortalama	555,5	556,7	Ortalama	432,2	432,1

Tablo 7.28. Bölgenin 2018-2019 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

2018/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull	2019/Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	788	785,7	Ocak	721	729,4
Şubat	406	405,4	Şubat	508	510,9
Mart	116	114,4	Mart	207	212
Nisan	165	161,1	Nisan	59	60,6
Mayıs	383	378,9	Mayıs	371	378,9
Haziran	1137	1146,7	Haziran	672	662,7
Temmuz	1220	1215,7	Temmuz	775	778,3
Ağustos	533	524,2	Ağustos	441	441,5
Eylül	377	380,9	Eylül	380	379,5
Ekim	146	148,6	Ekim	97	91,7
Kasım	325	327,5	Kasım	329	331,3
Aralık	474	470,2	Aralık	488	489,7
Ortalama	505,8	504,9	Ortalama	420,6	422,2

Tablo 7.29. Bölgenin 2020 yılına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

Aylar	Gerçek Veriler	Weibull
Ocak	794	789,5
Şubat	491	489,9
Mart	135	136,8
Nisan	26	25,4
Mayıs	300	301,3
Haziran	653	657,1
Temmuz	776	766,3
Ağustos	457	465,3
Eylül	413	409,5
Ekim	96	98,2
Kasım	420	412,6
Aralık	560	553,3
Ortalama	426,7	425,4

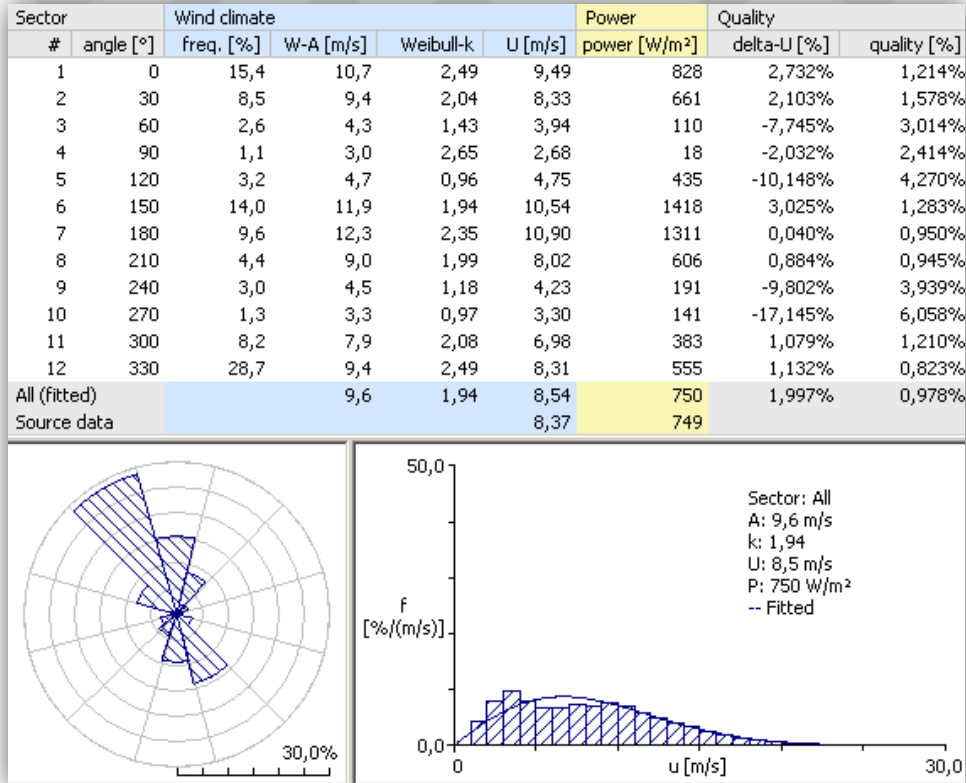
Tablo 7.30. Bölgenin 2016-2020 yıllarına ait ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) olarak değişimi

Yıllar	Gerçek Veriler	Weibull
2016	555,5	556,7
2017	432,2	432,1
2018	505,8	504,9
2019	420,6	422,2
2020	426,7	425,4
Ortalama	468,16	468,26

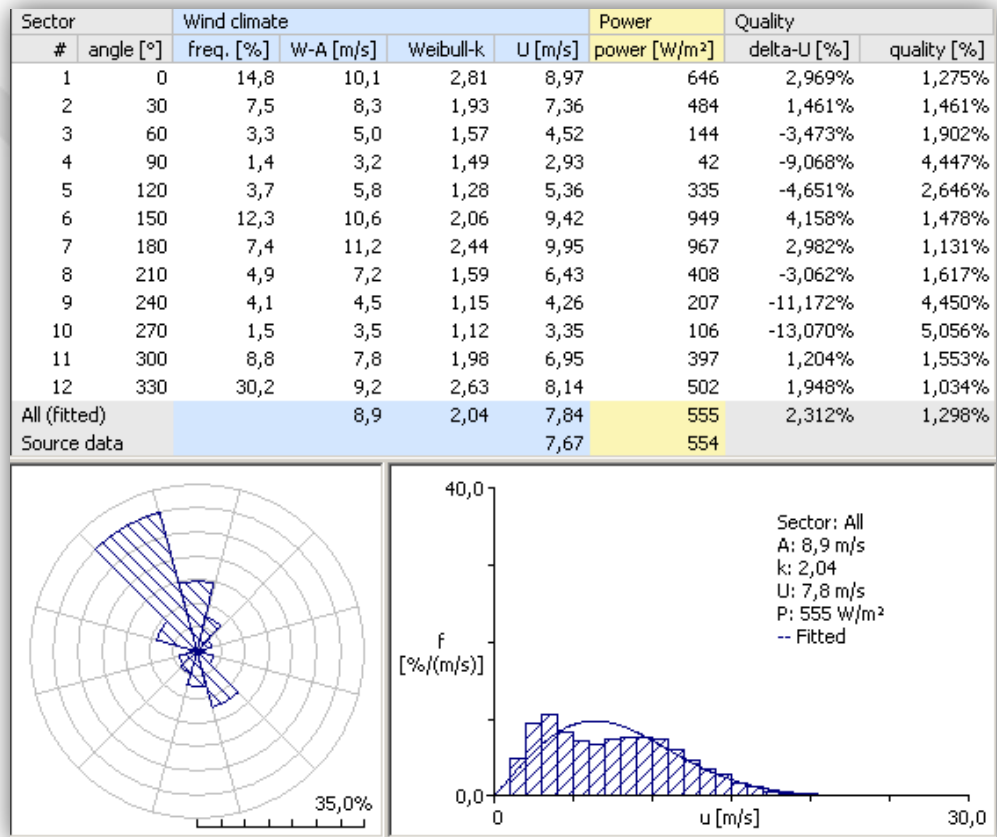
7.29. Rüzgar Verilerinin Analizi

2016 – 2020 yılları için WAsP programında rüzgar verilerinin analizinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.123, Şekil 7.124, Şekil 7.125, Şekil 7.126 ve Şekil 7.127’de verilmiştir.

Şekil 7.123 2016 yılı analiz sonuçlarına göre Urla’da hakim rüzgar yönü 12. Sektör (330°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 12 (330°) %28,7 Sektör 1 (0°) %15,4 Sektör 6 (150°) %14’tür. Tüm bu sektörlerle alakalı ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları sırasıyla verilecek olursa; 8,31 m/s ve $555 W/m^2$, 9,49 m/s ve $828 W/m^2$, 10,54 m/s ve $1418 W/m^2$ ’dir ve bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 8,37 m/s, güç yoğunluğu ise $749 W/m^2$ olarak tespit edildiği görülmektedir.

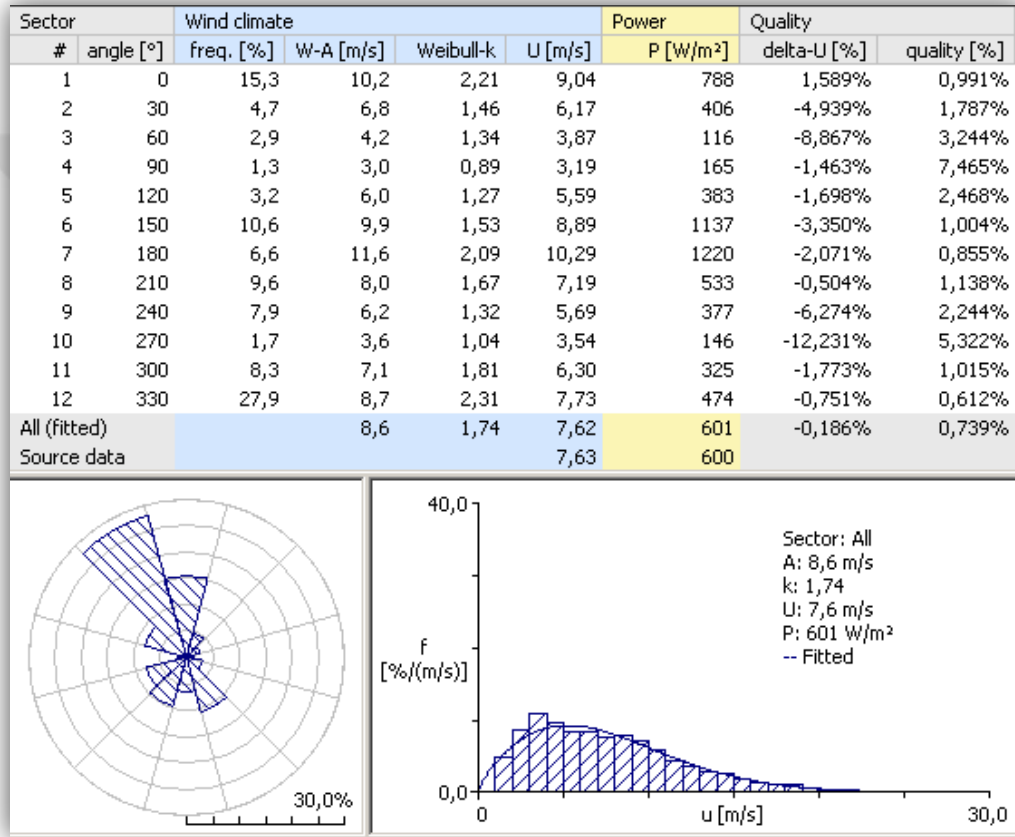
**Şekil 7.123.** Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2016)

Şekil 7.124 2017 yılı analiz sonuçlarına göre Urla'da hakim rüzgar yönü 12. Sektör (330°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 12 (330°) %30,2 Sektör 1 (0°) %14,8 Sektör 6 (150°) %12,3'tür ve bu sektörler için ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırayla verdiğimiz zaman; 8,14 m/s ve 502 W/m², 8 m/s ve 646 W/m², 9,42 m/s ve 949 W/m²'dir. Daha sonra mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 7,67 m/s, güç yoğunluğu ise 554 W/m² olarak tespit edilmiştir. 2016 yılı ile kıyaslandığında hem rüzgar hızında hem rüzgar yoğunluğunda düşme görülmektedir.



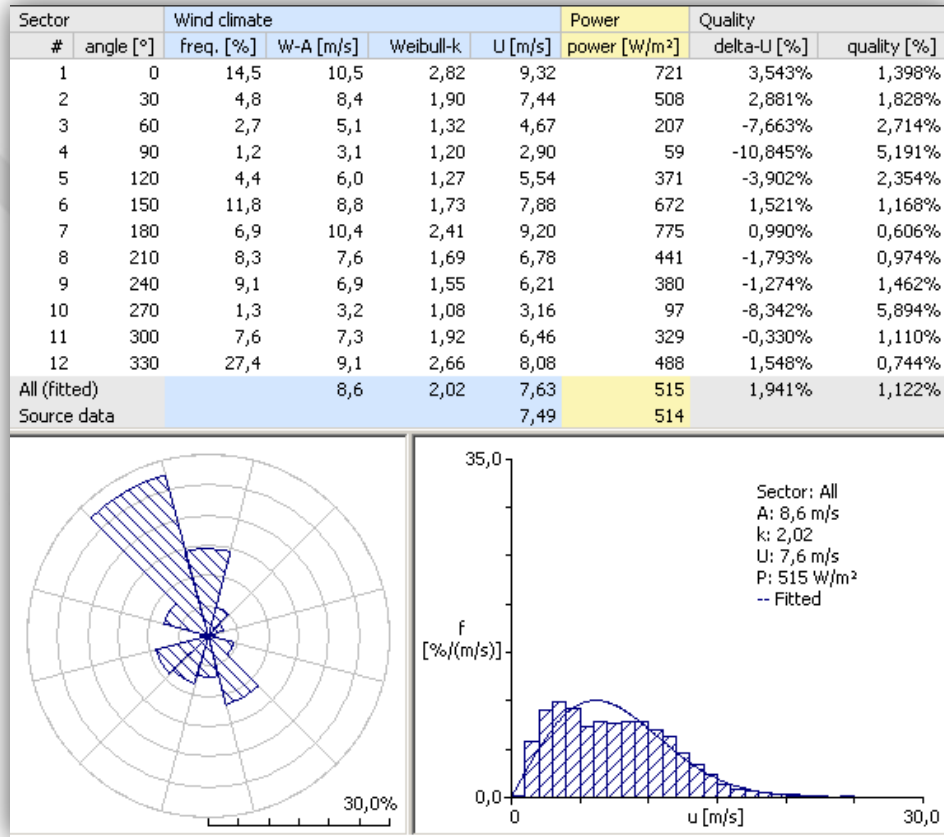
Şekil 7.124. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2017)

Şekil 7.125 2018 yılı analiz sonuçlarına göre Urla'da hakim rüzgar yönü 12. Sektör (330°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 12 (330°) %27,9 Sektör 1 (0°) %15,3 Sektör 6 (150°) %10,6'dır. Bu sektörlerin ortalaması alındığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırası ile 7,73 m/s ve 474 W/m², 9,04 m/s ve 788 W/m², 8,89 m/s ve 1137 W/m²'dir. Tüm sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 7,63 m/s, güç yoğunluğu ise 600 W/m²'dir. Bu değerlerin 2017 yılı değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



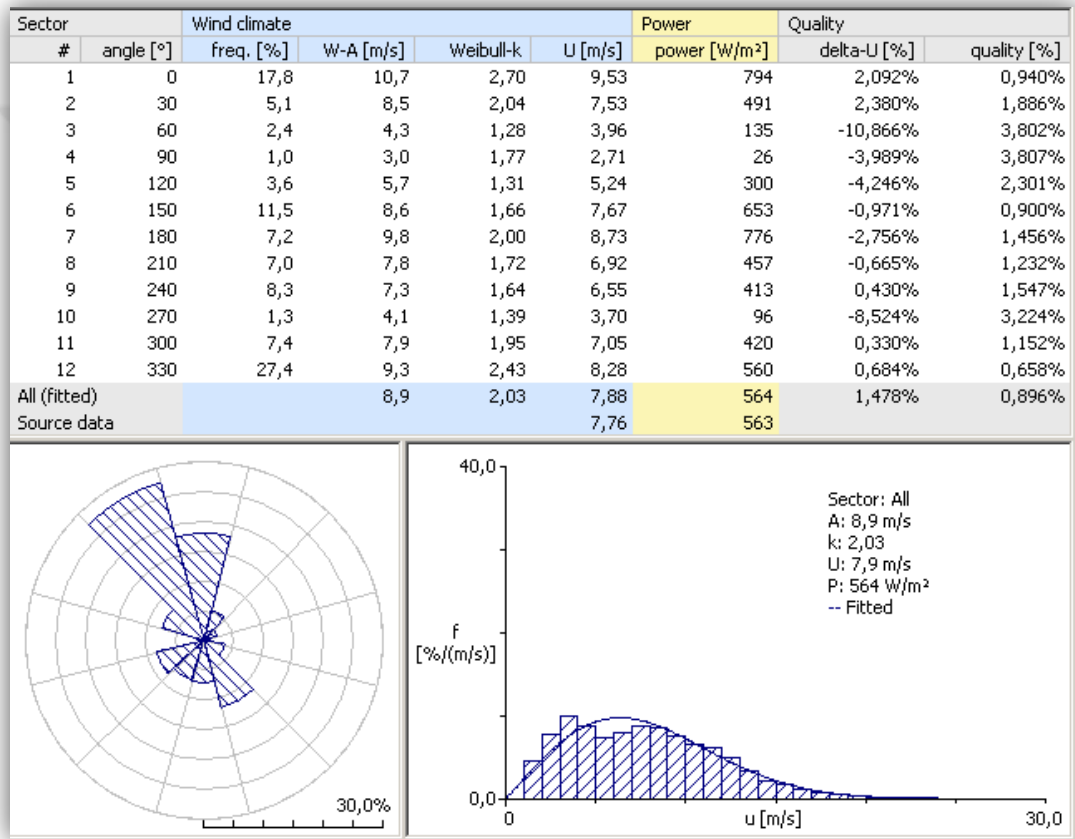
Şekil 7.125. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2018)

Şekil 7.126 2019 yılı analiz sonuçlarına göre Urla'da hakim rüzgar yönü 12. Sektör (330°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 12 (330°) %27,4 Sektör 1 (0°) %14,5 Sektör 6 (150°) %11,8'dir. Bu sektörlerin ortalaması hesaplandığında rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sırasıyla; 8,08 m/s ve 488 W/m², 9,32 m/s ve 721 W/m², 7,88 m/s ve 672 W/m²'dir. Mevcut sektörlerdeki ortalama rüzgar hızı 7,49 m/s, güç yoğunluğu ise 514 W/m²'dir. Bu değerlerin 2018 yılın değerlerine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.126. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2019)

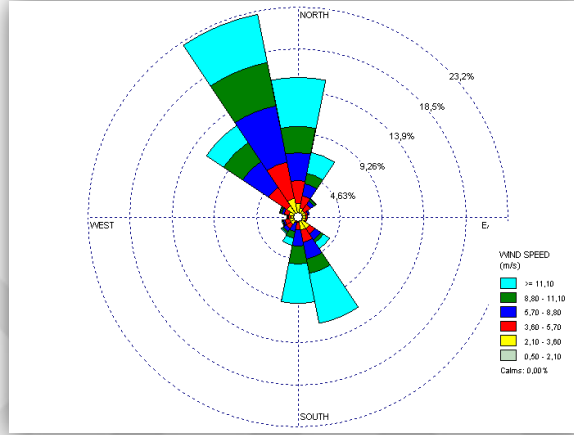
Şekil 7.127 2020 yılı analiz sonuçlarına göre Urla'da hakim rüzgar yönü 12. Sektör (330°) ile güneybatıdır. Rüzgar yönü frekansı incelendiğinde yüzde olarak büyükten küçüğe; Sektör 12 (330°) %27,4 Sektör 1 (0°) %17,8 Sektör 6 (150°) %11,5'tir ve bunların ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları sıralandığında; 8,28 m/s ve 560 W/m², 9,53 m/s ve 794 W/m², 7,67 m/s ve 653 W/m² tespit edilmiştir. Bu sektörlerin ortalama rüzgar hızı 7,76 m/s, güç yoğunluğu ise 563 W/m²'dir. 2019 yılı ile karşılaştırıldığında ise hem rüzgar hızı hem rüzgar yoğunluğu değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.127. Urla için Wasp Climate Analyst programı ile elde edilen rüzgar iklimi sonuçları (2020)

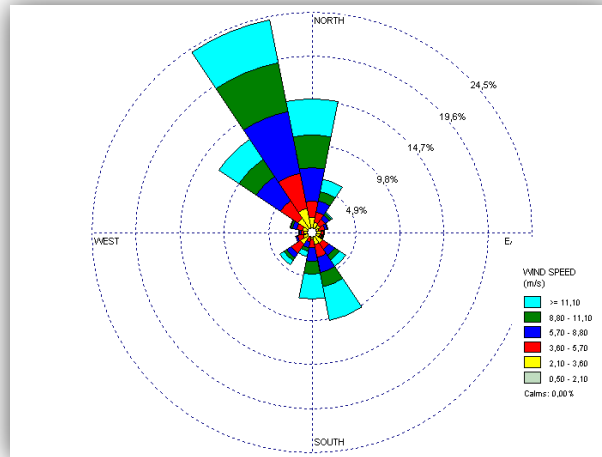
7.30. Yıllık Hâkim Rüzgâr Yönü

Rüzgâr enerjisi araştırmalarını yapmak ve coğrafi özelliklerin rüzgâr üzerindeki etkisini ortaya koymak için, rüzgâr hızının rüzgâr yönüne göre belirlenmesi önemlidir [46]. Urla istasyonunun 2016 – 2020 yıllarında rüzgâr enerjisi potansiyeli için hâkim rüzgâr yönü kontrol edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.128, Şekil 7.129, Şekil 7.130, Şekil 7.131 ve Şekil 7.132’de verilmiştir.



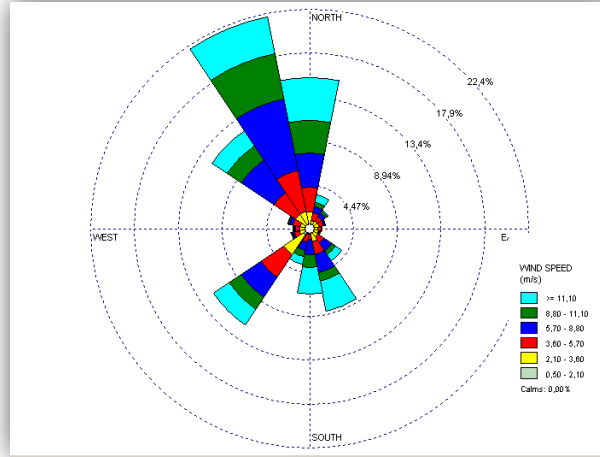
Şekil 7.128. Urla istasyonunun 2016 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.128 bakılırsa 2016 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü kuzeybatı olarak belirlenmiştir.



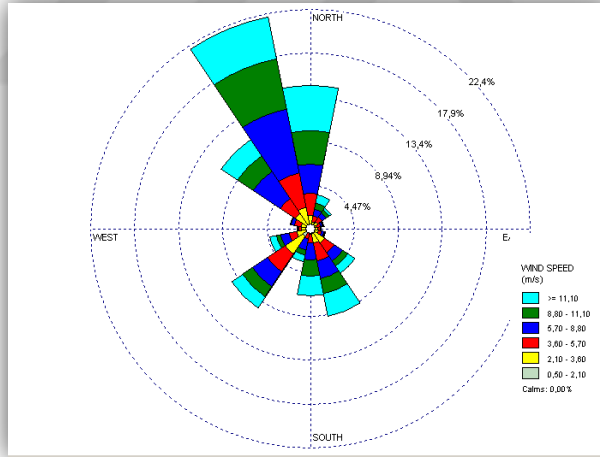
Şekil 7.129. Urla istasyonunun 2017 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.129 bakılırsa 2017 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü kuzeybatı olarak belirlenmiştir.



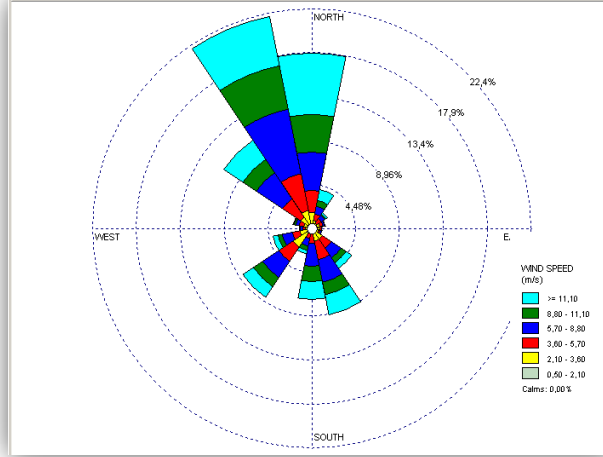
Şekil 7.130. Urla istasyonunun 2018 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.130 bakılırsa 2018 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü kuzeybatı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.131. Urla istasyonunun 2019 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.131 bakılırsa 2019 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü kuzeybatı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.132. Urla istasyonunun 2020 yılı için hakim rüzgar yönü

Şekil 7.132 bakılırsa 2020 yılı için en kuvvetli hakim rüzgar yönü kuzeybatı olarak belirlenmiştir.

Urla için 2016 – 2020 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak, rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hız dağılımının istatistiksel analizi yapılmıştır. Beş yıllık ortalama rüzgar hızı verilerine göre;

Rüzgar hızı aylık bazda en düşük 2018 yılının Nisan ayında 5,2 m/s iken, en yüksek ise 2016 yılının Aralık ayında 10,3 m/s olarak belirlenmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 7,6 m/s ve 512,5 W/m² güç yoğunluğu ile 2019 yılında, en yüksek ortalama hız 8,5 m/s ve güç yoğunluğu 744,6 W/m² olarak 2016 yılında elde edilmiştir.

2016 – 2020 yılları arasında hakim rüzgar yönü incelendiğinde genel olarak kuzeybatı yönünde olduğu gözlemlenmiştir.

Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m² ve üzerinde olmalıdır. Bölgenin ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğunun elektrik üretimi açısından uygun olduğu gözlemlenmiştir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İzmir Bölgesi'nin rüzgâr karakteristikleri ve rüzgâr enerjisi potansiyeli saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, ortalama rüzgâr hızları, rüzgâr hızı Weibull dağılımları, rüzgâr gücü ve hakim rüzgar yönü belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler 2016- 2020 yılları arasında rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri, İzmir Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden altı farklı istasyon için (İzmir Bölge, Çeşme, Dikili, Karaburun, Tire ve Urla) alınmıştır.

Yıllık ortalama rüzgar hızı değerlerinin 10 m yükseklikte 2016 – 2020 yılları için İzmir Bölge istasyonunda 3,9 m/s ile 6,1 m/s arasında, Çeşme istasyonunda 2,5 m/s ile 6,8 m/s arasında, Dikili istasyonunda 3,7 m/s ile 6,1 m/s arasında, Karaburun istasyonunda 4,4 m/s ile 11,3 m/s arasında, Tire istasyonunda 3,0 m/s ile 5,4 m/s arasında, Urla istasyonunda 5,2 m/s ile 10,3 m/s arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Weibull ortalama güç yoğunlukları ise İzmir için 127,8 W/m² ile 181,1 W/m² arasında, Çeşme için 150,9 W/m² ile 246,3 W/m² arasında, Dikili için 88,1 W/m² ile 131,4 W/m² arasında, Karaburun için 545,9 W/m² ile 874,8 W/m² arasında, Tire için 102,4 W/m² ile 127,5 W/m² arasında, Urla için 512,5 W/m² ile 744,6 W/m² arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Ekonomik RES yatırımı için rüzgar hızı 7,0-7,5 m/s veya üzerinde, güç yoğunluğu ise 400 W/m² ve üzerinde olmalıdır. İzmir, Çeşme, Dikili ve Tire bölgelerinin ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu elektrik üretimi açısından orta seviyenin altında olmakla birlikte ölçüm yüksekliğinin yükseltilmesi, arazinin farklı bölgelerinde rüzgar ölçümünün yapılmasıyla bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından uygun olması beklenmektedir. Karaburun ve Urla bölgelerinin rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin elektrik üretimi için uygun olduğu belirlenmiştir.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, Weibull dağılımının kullanılan rüzgâr hızlarına yüksek oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Rüzgâr hızındaki dalgalanmalar nedeniyle, bir bölgede rüzgâr potansiyeli yıldan yıla değişiklik gösterebilir. Bu nedenden dolayı bir bölgede rüzgâr hızları hesaplanırken, yıllık ortalama rüzgâr hızından çok, gözlemlenen olasılık yoğunluk fonksiyonu ile hesaplanmış rüzgâr hız frekans dağılımı kullanılmaktadır. En fazla kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonu ise Weibull dağılımıdır. Bu araştırmada Weibull dağılımı kullanılmıştır.

Hakim rüzgar yönünün İzmir Bölge istasyonu için en kuvvetli olduğu yönler batı ve güneydoğu, Çeşme istasyonu için güney ve kuzeydoğu, Dikili istasyonu için doğu ve güneydoğu, Karaburun istasyonu için kuzeydoğu ve güneybatı, Tire istasyonu için güneybatı, Urla istasyonu için kuzeybatı olarak tespit edilmiştir. Rüzgar türbini bu alanlara yerleştirilmek istenirse, rüzgarı doğrudan yakalayarak daha optimize bir çıkış elde etmek için bu yönler dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Birinç S. G., 2008. Değişken Hızlı Rüzgar Santrallerini Dinamik Modellemesi ve Karşılaştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] Bin W., Yongqiang L., Navid Z. and Samir K., 2011. Power Conversion and control of wind energy systems, Canada, 1:9-26.
- [3] Sülün M., 2007. Rüzgar Enerjisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bitirme Projesi, İzmir.
- [4] Lipman N. H. and Musgrove, P. J., 1982. Wind Energy for the Eighties, England.1:39-60.
- [5] Albostan A., Eren L. ve Çekiç Y., 2008. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [6] Sülün M., 2007. Rüzgar Enerjisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bitirme Projesi, İzmir.
- [7] Çelik A. N., 2003. Energy output estimation for small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 91: 693-707
- [8] Tağıl Ş., 1997. Sinop ve Çevresinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 8. Enerji Kongresi.
- [9] Cerit B., Onural A. Ş. ve Doğdu N., 2004. Rüzgar Enerjisi ve Orta Akdeniz Bölgesinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma, Teknoloji Dergisi, 7(4): 591-597.
- [10] Kavak Akpınar E. and Akpınar., 2004. Statistical Analysis of Wind Energy Potential on the basis of the weibull and Rayleigh Distribution for Ağın-Elazığ, Turkey.
- [11] Kavak Akpınar E., 2006. A Statistical Investigation of Wind Energy Potential, Energy Sources, Part A, 28:807-82.
- [12] Kurban M., Hocaoglu F. O., Kantar ve Mert Y., 2007. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi, Afyon Kocatepe Bilim Dergisi, 7(2): 205-218.
- [13] Albostan A., Eren L. ve Çekiç Y., 2008. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [14] Bilgili M., Şahin B. ve Şimşek E., 2010. Türkiye'nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30(1): 01-12.
- [15] 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
- [16] Avcı B., 2012. Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, İzmir.
- [17] Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers, A.L., 2002. Wind Energy Explained- Theory, Design and Application, John Wiley & Sons Ltd University of Massachusetts, Amherst, USA.
- [18] Johnson, G. L., 2001. Wind Energy Systems, Electronic Edition, Manhattan, KS
- [19] Barutçu, B., 2008. Wind Energy&Conversion Technology Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Mutlu, Ö., Akpınar S. E. ve Balıkcı A., 2009. Power Quality Analysis of Wind Farm Connected to Alaçatı Substation in Turkey, Renewable Energy, 34(5):1312-1318.
- [21] Alboyacı, B. ve Dursun B., 2008. Electricity Restructuring in Turkey and the Share of Wind Energy Production, Renewable Energy, 33(11): 2499-2505.

- [22] Onar, O. C., Uzunoğlu. M. ve Alam M. S., 2008. Modeling Control and Simulation of an Autonomous Wind Turbine/Photovoltaic/Fuel Cell/Ultra-Capacitor Hybrid Power System. *Journal of power Sources*, 185(2): 1273-1283.
- [23] Url-1<<http://www.solar-academy.com>, Rüzgâr Enerjisi Nerelerde Kullanılır,>Alındığı Tarih: 22.04.2021.
- [24] Url-2<<http://www.dunyaenerji.org.tr/2021-kuresel-ruzgar-raporu/>>Alındığı Tarih: 22.04.2021.
- [25] Mehmet, K., 2020. Bir Tarım İşçisi Dinlenme Evinin Elektrik Gereksiniminin, Güneş ve Rüzgar Enerjisi (Hibrid) Sistemi İle Şebeke Destekli Olarak Karşılanması, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- [26] Url-3<<https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/ruzgar-enerjisinin-turkiye-ve-dunyadaki-durumu/22720#ad-image-0>> Alındığı Tarih: 22.04.2021.
- [27] Url-4<<https://tureb.com.tr/yayin/turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-temmuz-2020/129>> Alındığı Tarih: 22.04.2021
- [28] Ozaktürk, M., 2007. Rüzgar Enerjisinin Güç Kalitesi Açısından incelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- [29] Url-5<<http://www.wikipedia.org.tr>, Rüzgâr Türbinleri, > Alındığı Tarih: 22.04.2021
- [30] Url-6<<http://www.elektrikport.com.tr>, Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, > Alındığı Tarih: 22.04.2021.
- [31] Url-7<<http://www.elektrikuretimi.org.tr>, Rüzgâr Türbinleri ve Sınıflandırılması, > Alındığı Tarih: 22.04.2021.
- [32] Nurbay, N., Çınar, A., 2005. Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.
- [33] Emniyetli, G., 2007. Elektrik İhtiyacının Karşılanması için Rüzgar Türbini Tasarımı. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 102, Edirne.
- [34] Tekin K., 2006. Rüzgar Santrali İçeren Elektrik Sistemlerinde Etkilenmeler ve Kısa Devre İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [35] Demir, F. N., 2007. Rüzgar Türbinleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, İzmir.
- [36] Akdag, S.A. (2008) Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Analizde Weibull Dağılımının kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 91s.
- [37] Dündar, C. (1997) Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgeleri İçin Rüzgâr Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 96s.
- [38] Sarıkaya, U. (2010) Niğde İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, 83s.
- [39] Şekerci, E., Elfarra, M., Albasan, C. (2009) Rüzgar Türbini Tahmini Yıllık Enerji Üretim Hesaplama Yöntemleri ve Araziye Uygun Rüzgar Türbini Seçimi, RUGES 2. Rüzgar Sempozyumu, Samsun
- [40] Oral, F. Behçet R. (2013) WindPRO Yazılımı ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Analizi ve Örnek Uygulama, ULIBTK'13 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği kongresi 9-12 Eylül 2013, Samsun
- [41] Dündar, C. (1997) Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgeleri İçin Rüzgâr Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 96s.
- [42] Nielsen, P. (2008) WindPRO 2.6 User Guide, EMD international A/S, Aalborg, Denmark.

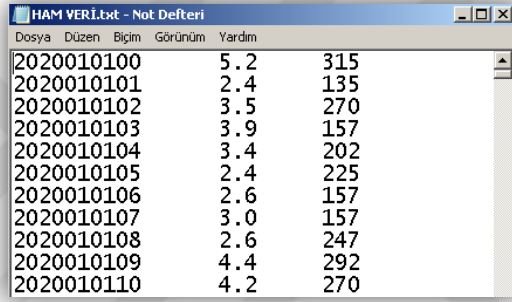
- [43] Yazar, A.H. (2013) Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünde Rüzgâr Enerjisi Verimliliğinin İzlenmesi ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 124s.
- [44] Keyhani A., Ghasemi-Varnamkhasti M., Khanali M., Abbaszadeh R. (2010) An Assessment of Wind Energy Potential As A Power Generation Source In THA Capital of Iran, Tehran, ENERGY 35, 188-201.



EKLER

EK-1: WASP PROGRAM VERİ ANALİZİ

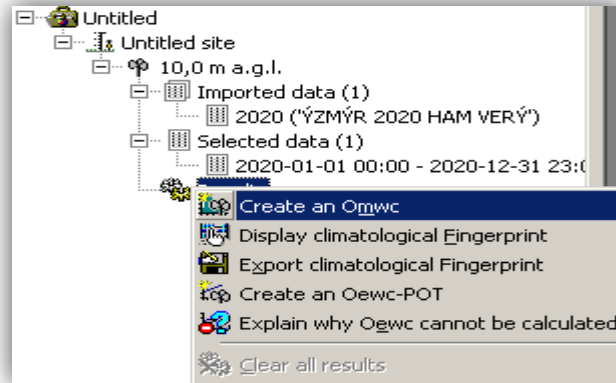
İzmir Meteoroloji Müdürlüğünden alınan rüzgar hızı ve rüzgara ait yönlerin bilgileri MS Office Excel uygulamasından geçirilerek revize edilmiş ve txt. dosyasına dönüştürülmüştür. Dosya içindeki veriler tarih, yön ve hız olacak şekilde ayrı ayrı sütunlarda alt alta dizilmiştir. WASP programının içeriğindeki WASP Climate Analyst alt programına önce ölçüm yapılan bölgenin koordinat bilgileri daha sonra ölçüm yapılan istasyonun yerden yüksekliği girilmiştir. Programa txt dosyasındaki bilgiler, yüklenerek veriler analiz edilmiştir. Analiz sonucunda rüzgar iklimi oluşturulmuştur.



2020010100	5.2	315
2020010101	2.4	135
2020010102	3.5	270
2020010103	3.9	157
2020010104	3.4	202
2020010105	2.4	225
2020010106	2.6	157
2020010107	3.0	157
2020010108	2.6	247
2020010109	4.4	292
2020010110	4.2	270

Şekil E1.1 WASP Climate Analyst programına aktarılabak ham veri örneği

Şekil E1.1’deki örnekte ilk sütunda tarih verileri sıralanmıştır. “2020010100”, verilerin 2020 yılında Ocak ayının (01) ilk gününde (01) bir saat aralıklarla alınmaya başladığını göstermektedir. “5.2 , 2.4 ,3.5 ...” rüzgar hızlarını belirtmektedir. “315,135,270” ise 360 derecelik bir skalada rüzgar yönlerini göstermektedir.



Şekil E1.2. WASP Climate Analyst Programında veriler girildikten sonra sonuçların elde edilmesi

Şekil E1.2' de görüldüğü üzere tüm veri dizilerini girdikten sonra Gözlenmiş Ortalama Rüzgar İklimi (OMWC) hesaplanır. OMWC sonucunda tek tek ve tüm sektörlerle ait Weibull A ve Weibull k parametrelerini içeren rüzgar hızı dağılımı histogramı, yön dağılımı rüzgar gülü ve istatistik raporlar oluşturulur.



ÖZGEÇMİŞ

Fuat ÖZEK

Country	Share of GDP
United States	1.1%
Germany	0.8%
France	0.7%
United Kingdom	0.6%
Canada	0.5%
Japan	0.4%
China	0.3%
India	0.2%
South Korea	0.1%
Italy	0.1%
Spain	0.1%
Sweden	0.1%
Other countries	0.1%

████████████████████

[REDACTED]
 [REDACTED]
 [REDACTED]