



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan UYDURAN

**MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMİ
KULLANILARAK WEIBULL DAĞILIM
FONKSİYONUNUN KATSAYILARININ
BELİRLENMESİ VE FARKLI İLLERDE
RÜZGAR POTANSİYELİNİN TAHMİN
EDİLMESİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

OSMANİYE – 2025

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMİ KULLANILARAK
WEIBULL DAĞILIM FONKSİYONUNUN
KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE FARKLI
İLLERDE RÜZGAR POTANSİYELİNİN TAHMİN
EDİLMESİ**

Volkan UYDURAN

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
ŞUBAT-2025**

TEZ ONAYI

MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMİ KULLANILARAK WEIBULL DAĞILIM FONKSİYONUNUN KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE FARKLI İLLERDE RÜZGAR POTANSİYELİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Volkan UYDURAN tarafından Prof. Dr. Yusuf Alper KAPLAN danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Yusuf Alper KAPLAN
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Osman KARA
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Murat Mustafa SAVRUN
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, ATÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü Unvanı Ad Soyadı
Prof. Dr. Eyyup TEL
Enstitü Müdürü, **Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Volkan UYDURAN



ÖZET

MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMİ KULLANILARAK WEIBULL DAĞILIM FONKSİYONUNUN KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE FARKLI İLLERDE RÜZGAR POTANSİYELİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Volkan UYDURAN

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf Alper KAPLAN

Şubat 2025, - 103 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, küresel enerji taleplerini karşılamak amacıyla artmıştır. Ancak, rüzgar enerjisinin potansiyeli yeterince değerlendirilememektedir. Bölgesel düzeyde, yer seçimi ve kurulum maliyetleri, rüzgar enerji santrallerinin (RES) verimliliğini doğrudan etkilemektedir. RES için yer seçimi sürecinde önemli zorluklar bulunmasına rağmen, henüz uluslararası alanda kabul görmüş bir metodoloji geliştirilmemiştir. Bölgesel rüzgar potansiyelinin değerlendirilmesi, rüzgar enerjisi kaynaklarının optimizasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, 2017-2021 yılları arasında Adana, Alanya, Ankara, Antalya, Çanakkale, Gaziantep, İzmir, Kahramanmaraş, Konya, Mersin ve Osmaniye illerinin rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan rüzgar verilerini kullanmıştır. İnceleme MATLAB programı ile gerçekleştirilmiştir. Bölgelere ait ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü değerlerinin tahmin edilmesinde Weibull dağılım fonksiyonu kullanılmış ve elde edilen sonuçlar gerçek gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Weibull dağılım fonksiyonunun katsayılarını belirlemek için çeşitli yaklaşımlar uygulanmış ve bu yöntemlerin doğruluğu çeşitli istatistiksel hata analiz testleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, seçilen bölge için performansa ilişkin optimal strateji belirlenmiştir. Bu çalışma, bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmakta ve alandaki rüzgar enerjisi gelişimi için bir tahmin sağlamaktadır. Ayrıca, bu kapsamlı çalışma gelecekteki araştırma projeleri ve akademik çalışmalar için önemli bir katkı sağlayacaktır. Türkiye'deki rüzgar enerjisi sektörünün hızlandırılmış ilerlemesi için etkili önlemler belirlemeyi ve toplam kurulu kapasite içinde rüzgar enerjisinin oranını artırmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Enerjisi, Makine Öğrenmesi, Weibull Dağılımı, Bölgesel Hız Tahmini

ABSTRACT

DETERMINATION OF WEIBULL DISTRIBUTION PARAMETERS USING MACHINE LEARNING METHOD AND ESTIMATION OF WIND POTENTIAL IN DIFFERENT CITIES

Volkan UYDURAN

M.Sc., Department of Energy Systems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf Alper KAPLAN

Feb 2025, -103 pages

The significance of renewable energy sources has increased to fulfil global energy demands. However, the potential of wind energy is not being adequately harnessed. On a regional basis, the selection of sites and installation expenses directly influence the efficiency of wind power plants (WPP). Despite the presence of significant challenges in the site selection process for a WPP, no globally recognized methodology has been established. Evaluating regional wind potential is crucial for optimizing the utilization of wind energy resources. This study utilized wind data from the General Directorate of Meteorology to assess the wind energy potential of 11 cities—Adana, Alanya, Ankara, Antalya, Çanakkale, Gaziantep, İzmir, Kahramanmaraş, Konya, Mersin, and Osmaniye—over the period from 2017 to 2021. The examination was performed with the MATLAB program. The Weibull distribution function was utilized for estimating the average wind speed and wind power values for the regions, which were subsequently compared with actual observations. Various approaches were employed to determine the coefficients of the Weibull distribution function, and the accuracy of these methods was evaluated by various statistical error analysis tests. Consequently, the optimal strategy regarding performance for the chosen region was determined. This study offers a comprehensive evaluation of the region's wind energy potential and provides an estimation for wind energy development in the area. This comprehensive study will significantly enhance future research projects and academic studies in this domain. It seeks to determine efficient measures for the accelerated advancement of the wind energy sector in Türkiye and to enhance the proportion of wind energy within the total installed capacity.

Keywords: Wind Energy, Machine Learning, Weibull Distribution, Regional Speed Estimation

*Çok kıymetli annem Lütfiye UYDURAN,
babam Kazım UYDURAN,
abim Hakan UYDURANA...*

TEŞEKKÜR

Yıllar boyunca büyük bir özveri ve emek ile hazırladığım hayallerimden bir tanesi olan yüksek lisans tezimi tamamlamanın heyecanını ve gururunu yaşıyorum. Öncelikle yüksek lisans eğitim sürecimin her anında beni destekleyen ve tez hazırlık süreçlerinin her aşamasında kıymetli bilgi, tecrübe ve projeleri ile yardımlarını esirgemeyen, her adımında takip eden, akademik hayatıma dair ışık gösteren, akademik hayatını örnek alıp yolundan ilerlemek istediğim çok değerli danışman hocam Sayın *Prof. Dr. Yusuf Alper KAPLAN*'a, çalışmalarımın her sürecinde akademik bilgi paylaşımında bulunan danışmam gereken konularda bana sürekli yardımcı olan *Arş. Gör. Gülizar Gizem TOLUN*'a, tez başlangıcından sonuna kadar destekleriyle ve bana olan inancıyla her anımda yanımda olan, beni cesaretlendiren, yapabileceklerimi görmemi sağlayan ve beni bugünüme kadar eğitim alıp kendimi geliştirmem adına her koşulda destekleyen kıymetli tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	XV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. MATERYAL VE METOT	14
3.1 MATERYAL	14
3.2 METOT	14
3.2.1 Makine Öğrenmesi	14
3.2.1.1 Lineer Regresyon	15
3.2.1.2 Lineer Destek Vektör Makine Yaklaşımı	15
3.2.1.3 Weibull Dağılımında Lineer Regresyonun Kullanımı	16
3.2.1.4 Rüzgar Potansiyelinin Tahmini	17
3.2.2 Weibull Dağılım Fonksiyonu	17
3.2.2.1 Weibull Dağılımının Temel Özellikleri	17
3.2.2.2 Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF)	18
3.2.2.3 Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF)	18
3.2.2.4 Parametre Tahmin Yöntemleri	18
3.2.3 Grafik Metodu	19
3.2.4 HATA METRİKLERİ	20
3.2.4.1 Belirlilik Katsayısı (R-Squared)	20
3.2.4.2 Ortalama Mutlak Hata (MAE)	20
3.2.4.3 Kök Ortalama Hata (RMSE)	21
3.2.4.4 Normalleştirilmiş Kök Ortalama Hata (nRMSE)	21
3.2.4 Rüzgar verilerinin analizi	21
4. BULGULAR	22
4.1 Adana İlinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	22
4.2 Alanya İlçesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	29

4.3 Ankara İlinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	35
4.4 Antalya İlinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	42
4.5 Çanakkale ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	48
4.6 Gaziantep ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi.....	55
4.7 İzmir ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	62
4.8 Kahramanmaraş ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi.....	68
4.9 Konya ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	75
4.10 Mersin ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi	82
4.11 Osmaniye ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi.....	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKÇA	98
ÖZGEÇMİŞ.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye Elektrik Üretim Tablosu [2]	1
Çizelge 1.2. Türkiye'nin Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü [4]	5
Çizelge 1.3. Türkiye'nin Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü [4]	6
Çizelge 4.1 İlgili 11 ile ait konum, rakım ve hava yoğunluğu değerleri.....	22
Çizelge 4.2 Adana ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları ...	23
Çizelge 4.3 Adana ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları	25
Çizelge 4.4 Adana ili için Weibull dağılımına göre hata metrikleri	27
Çizelge 4.5 Adana ili için Weibull dağılımı parametreleri	27
Çizelge 4.6 Alanya ilçesi için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	29
Çizelge 4.7 Alanya ilçesi için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	31
Çizelge 4.8 Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre hata metrikleri	33
Çizelge 4.9 Alanya ilçesi için Weibull dağılımı parametreleri	34
Çizelge 4.10 Ankara ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	36
Çizelge 4.11 Ankara ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	38
Çizelge 4.12 Ankara ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri.....	40
Çizelge 4.13 Ankara ili için Weibull dağılımı parametreleri.....	40
Çizelge 4.14 Antalya ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	42
Çizelge 4.15 Antalya ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	44
Çizelge 4.16 Antalya ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri.....	46
Çizelge 4.17 Antalya ili için Weibull dağılımı parametreleri	47
Çizelge 4.18 Çanakkale ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	49
Çizelge 4.19 Çanakkale ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	51
Çizelge 4.20 Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri	53

Çizelge 4.21 Çanakkale ili için Weibull dağılımı parametreleri.....	53
Çizelge 4.22 Gaziantep ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	55
Çizelge 4.23 Gaziantep ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	57
Çizelge 4.24 Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri	60
Çizelge 4.25 Gaziantep ili için Weibull dağılımı parametreleri	60
Çizelge 4.26 İzmir ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları ...	62
Çizelge 4.27 İzmir ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları	64
Çizelge 4.28 İzmir ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri.....	66
Çizelge 4.29 İzmir ili için Weibull dağılımı parametreleri	67
Çizelge 4.30 Kahramanmaraş ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	69
Çizelge 4.31 Kahramanmaraş ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	71
Çizelge 4.32 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri	73
Çizelge 4.33 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımı parametreleri	73
Çizelge 4.34 Konya ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları .	75
Çizelge 4.36 Konya ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	77
Çizelge 4.37 Konya ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri.....	80
Çizelge 4.38 Konya ili için Weibull dağılımı parametreleri	80
Çizelge 4.39 Mersin ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.	82
Çizelge 4.40 Mersin ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	84
Çizelge 4.41 Mersin ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri	86
Çizelge 4.42 Mersin ili için Weibull dağılımı parametreleri	87
Çizelge 4.43 Osmaniye ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	89
Çizelge 4.44 Osmaniye ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	91
Çizelge 4.45 Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri	93

Çizelge 4.46 Osmaniye ili için Weibull dağılımı parametreleri	93
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye Rüzgar Enerjisi Kapasitesi [5].....	3
Şekil 1.2. Türkiye Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı – 100 Metre [5].....	4
Şekil 4.1 Adana ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi..	23
Şekil 4.2 Adana ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	24
Şekil 4.3 Adana ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi.....	24
Şekil 4.4 Adana ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	26
Şekil 4.5. Adana ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	26
Şekil 4.6 Adana ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı.....	28
Şekil 4.7 Adana ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü.....	28
Şekil 4.8 Alanya ilçesi için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	30
Şekil 4.9 Alanya ilçesi için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	30
Şekil 4.10 Alanya ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	31
Şekil 4.11 Alanya ilçesi için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	32
Şekil 4.12. Alanya ilçesi için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	33
Şekil 4.13 Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	34
Şekil 4.14 Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	35

Şekil 4.15 Ankara ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	36
Şekil 4.16 Ankara ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	37
Şekil 4.17 Ankara ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	37
Şekil 4.18 Ankara ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	39
Şekil 4.19 Ankara ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	39
Şekil 4.20 Ankara ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	41
Şekil 4.21 Ankara ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	41
Şekil 4.22 Antalya ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	43
Şekil 4.23 Antalya ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	43
Şekil 4.24 Antalya ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	44
Şekil 4.25 Antalya ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	45
Şekil 4.26. Antalya ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	46
Şekil 4.27 Antalya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	47
Şekil 4.28 Antalya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	48
Şekil 4.29 Çanakkale ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	49
Şekil 4.30 Çanakkale ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	50

Şekil 4.31 Çanakkale ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	50
Şekil 4.32 Çanakkale ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	52
Şekil 4.33. Çanakkale ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	52
Şekil 4.34 Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	54
Şekil 4.35 Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	54
Şekil 4.35 Gaziantep ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	56
Şekil 4.36 Gaziantep ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	56
Şekil 4.37 Gaziantep ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	57
Şekil 4.38 Gaziantep ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	59
Şekil 4.39. Gaziantep ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	59
Şekil 4.40 Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	61
Şekil 4.41 Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	61
Şekil 4.42 İzmir ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi ..	63
Şekil 4.43 İzmir ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	63
Şekil 4.44 İzmir ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	64
Şekil 4.45 İzmir ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	65
Şekil 4.46. İzmir ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	66

Şekil 4.47 İzmir ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı.....	67
Şekil 4.48 İzmir ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü.....	68
Şekil 4.49 Kahramanmaraş ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	69
Şekil 4.50 Kahramanmaraş ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	70
Şekil 4.51 Kahramanmaraş ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi.....	70
Şekil 4.52 Kahramanmaraş ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	72
Şekil 4.53. Kahramanmaraş ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	72
Şekil 4.54 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı.....	74
Şekil 4.55 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü.....	74
Şekil 4.56 Konya ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	76
Şekil 4.57 Konya ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	76
Şekil 4.58 Konya ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi.....	77
Şekil 4.59 Konya ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	79
Şekil 4.60. Konya ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	79
Şekil 4.62 Konya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü.....	81
Şekil 4.63 Mersin ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	83
Şekil 4.64 Mersin ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi.....	83

Şekil 4.65 Mersin ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	84
Şekil 4.66 Mersin ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	85
Şekil 4.67. Mersin ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	86
Şekil 4.68 Mersin ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	87
Şekil 4.69 Mersin ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	88
Şekil 4.70 Osmaniye ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	89
Şekil 4.71 Osmaniye ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	90
Şekil 4.72 Osmaniye ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi	90
Şekil 4.73 Osmaniye ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	92
Şekil 4.74. Osmaniye ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	92
Şekil 4.75 Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı	94
Şekil 4.76 Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

ρ	Hava yoğunluğu	(kg/m ³)
σ	Standart sapma	(m/s)
Γ	Gamma fonksiyonu	(-)
c	Weibull ölçek parametresi	(m/s)
$f(v)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu	(-)
$f_w(v)$	Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu	(-)
$F_w(v)$	Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu	(-)
k	Weibull şekil parametresi	(-)
n	Rüzgâr hızı sınıflarının sayısı	(-)
N	Belli bir zaman periyodundaki saat sayısı	(-)
P_m	Ortalama güç yoğunluğu	(W/m ²)
P_w	Weibull fonksiyonu ortalama güç yoğunluğu	(W/m ²)
RMSE	Ortalama karesel hatanın karekökü	(-)
R^2	Belirlilik katsayısı	(-)
V	Rüzgâr hızı	(m/s)
V_m	Ortalama rüzgâr hızı	(m/s)

1. GİRİŞ

Çağımızda teknoloji baş döndürücü bir hızla ilerlemekte ve sürekli yeni boyutlar kazanmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak, gündelik hayatta, konutlarda ve endüstride enerji kullanımı yükselmektedir. Bu yükselişin bir sonucu olarak, çevreye salınan zararlı gazlar ve oluşan atıklar artmaktadır. Şu anki küresel yapıda, enerji gereksinimleri fosil kökenli kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu kaynaklar arasında kömür, doğal gaz ve petrol bulunmaktadır. Fosil yakıtlar, uzun vadede kullanılabilecek enerji kaynakları değildir ve er ya da geç tükenecektir. Bununla birlikte, fosil bazlı yakıtların dünyaya en büyük zararı çevre kirliliğidir. Bu önemli sorun, insan yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Fosil yakıtların tüketimi sonucunda çevre kirliliği, küresel ısınma, doğal yaşama verilen zarar ve çölleşme gibi etkiler de bilinmektedir. Dünya üzerindeki ekolojik dengenin bozulmasının temel nedeni fosil kaynaklardır [1].

Dünya nüfusunun devamlı artışıyla beraber, enerji talebi de aynı oranda yükselmektedir. Bu artış, yeni alternatif enerji kaynakları arayışını tetiklemiştir. Doğada var olan temiz ve emisyonuz enerji kaynakları olarak bilinen alternatif enerji kaynakları arasında güneş, jeotermal, hidrojen, biyokütle, rüzgâr, hidroelektrik ve dalga enerjileri sayılabilir. Bu enerji kaynaklarının en önemli avantajları, kendilerini sürekli yenileyebilmeleri, ekonomik olmaları ve çevreye minimal zarar vermeleridir. Bu faydalar göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji tüketiminin olduğu her alanda kullanılmasının bir gereklilik haline geldiği anlaşılmaktadır [1].

Çizelge 1.1. Türkiye Elektrik Üretim Tablosu [2]

Kaynak	Üretim (kWh)	Oran (%)
Doğalgaz	113.216.150	27
İthal Kömür	94.305.700	23
Hidroelektrik	65.793.200	16
Linyit, Taş Kömürü, Asfaltit	61.941.360	15
Rüzgar	36.675.180	8,9
Güneş	20.274.979	4,9

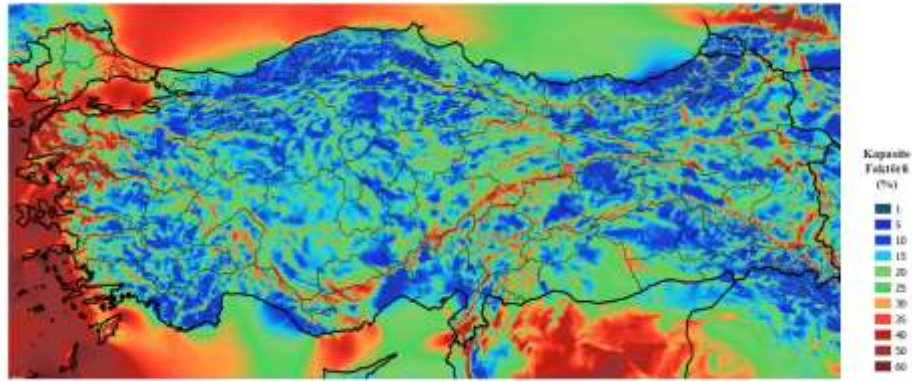
Jeotermal	11.251.260	2,7
Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı	9.289.280	2,3
Motorin, Fuel-oil, Nafta	508.900	0,1
Toplam	413.254.140	100
Yerli Kaynak	205.225.259	50
Yenilenebilir Kaynak	143.283.899	35

Dünya üzerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli, güneşin atmosferi ısıtması sonucu oluşan basınç farklılıklarına bağlı olarak değişim gösterir. Güneş ışınlarının etkisiyle ısınan hava kütlelerinin yoğunluğu azalır ve alçak basınç bölgeleri oluşur. Buna karşılık, soğuyan hava kütlelerinin yoğunluğunun artmasıyla yüksek basınç alanları meydana gelir. Yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru gerçekleşen hava akımı, yeryüzünde rüzgarların oluşmasına neden olur. Rüzgar oluşumunda etkili olan bir diğer faktör, güneşin kara ve deniz yüzeylerini farklı hızlarda ısıtmasıdır. Gündüz saatlerinde, kara parçaları denizlere göre daha hızlı ısınır. Bu durum, kara üzerinde ısınan havanın yükselmesi ve yerini deniz üzerindeki daha serin havanın almasıyla sonuçlanır, böylece kıyı rüzgarları meydana gelir. Gece boyunca ise bu süreç tersine döner; kara denizden daha hızlı soğuduğu için hava akımı karadan denize doğru yön değiştirir. Hava kütlelerinin bir bölgeden diğerine daha süratli hareket etmesi durumunda, daha şiddetli rüzgarlar, fırtınalar ve hatta tayfunlar ortaya çıkabilir. Bu atmosferik olayların yoğunluğu, basınç farklılıklarının derecesine ve hava hareketlerinin hızına bağlı olarak değişkenlik gösterir [3].

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir özelliğe sahip olup çevre bakımından da temiz bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Rüzgar enerjisini diğer enerji çeşitlerine dönüştüren teknoloji, diğer güç kaynaklarına oranla daha ekonomiktir. Taşıma sorunu bulunmayıp aynı zamanda kullanımı da yüksek bir teknolojiyi gerektirmez. Buna göre rüzgar gücü yoğunluğu iyi olan yerlerde rüzgar enerji sistemleri kurularak büyük ekonomik yararlar sağlanmaktadır [3].

Dünya genelinde rüzgâr enerjisi kapasitesi şu anda 837 GW'a ulaşmış olup, dünyanın yılda 1,2 milyar tonun üzerinde CO₂'den kaçınmasına yardımcı olmaktadır; bu, Güney

Amerika'nın yıllık karbon emisyonlarına eşdeğerdir. Net sıfır taahhütlerinin küresel ivme kazandığı ve enerji güvenliğini sağlama konusundaki aciliyetin yeniden arttığı bir yılın ardından, küresel rüzgâr endüstrisine yönelik piyasa görünümü daha da olumlu görünmektedir. Mevcut politikalar kapsamında önümüzdeki beş yılda 557 GW yeni kapasitenin eklenmesi beklenmektedir. Bu, 2026 yılına kadar her yıl 110 GW'tan fazla yeni kurulum demektir [14]. Dünya genelinde 100'den fazla ülke, elektrik üretimi için rüzgâr enerjisini kullanmaktadır. Rüzgâr enerjisi kurulu gücü açısından öne çıkan ülkeler incelendiğinde, Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya uzun bir süredir ilk 3 sırayı işgal etmektedir. Türkiye ise rüzgâr enerjisi santrali kurulu gücü bakımından Avrupa'da 7. sırada yer almakta ve dünya genelinde 13. sırada bulunmaktadır [15]. Türkiye'de, 21 Ağustos 2023 tarihi itibarıyla şebekeye bağlı olan rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam kurulu gücü 155,925 MW seviyesine erişmiştir. Ülke genelindeki enerji üretiminin %14,49'u, enerji kaynaklarının içindeki rüzgâr enerjisi potansiyelinden elde edilmektedir [4].

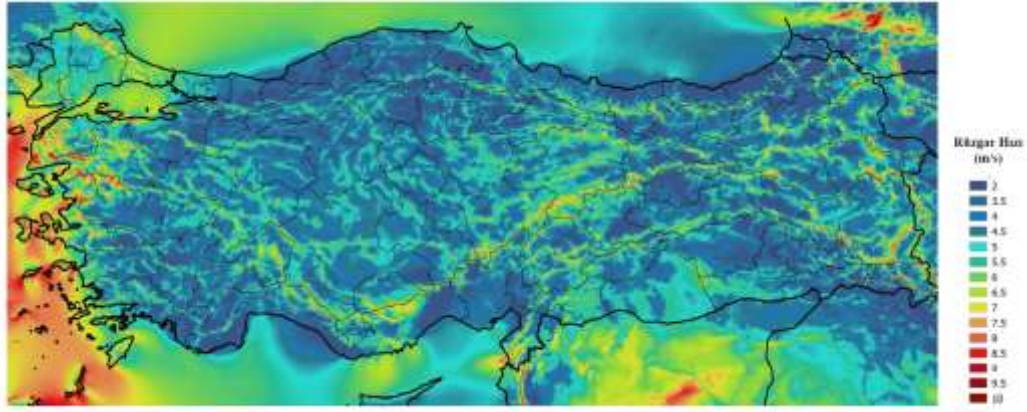


Kapasite faktörü dağılımı haritası 3 MW gücündeki bir rüzgâr türbininin tepe yükseklikleri dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Şekil 1.1. Türkiye Rüzgar Enerjisi Kapasitesi [5]

Türkiye'nin enerji üretim ve tüketim sistemleri hem bölgesel hem de küresel çapta çevresel kirliliğin artmasına neden olan etkileri barındırmaktadır. Fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar ve sera gazı salınımı, sadece yerel ve bölgesel hava kalitesini değil, aynı zamanda uluslararası boyutta hava kirliliği ve sera etkisi sorunlarını da tetiklemektedir. Türkiye, enerji kaynaklarının geniş bir yelpazesine sahip olsa da linyit ve hidrolik enerji dışındaki kaynaklar, enerji talebini karşılamak için yetersiz kalmaktadır; bu da enerji ihtiyacının büyük bir kısmının dışarıdan ithalat yoluyla sağlanması anlamına gelmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji konusunda büyük bir

potansiyele sahiptir. Jeotermal enerji açısından dünya genelinde 7. sırada bulunmasının yanı sıra, Avrupa'da birinci sıradadır. Sadece jeotermal değil, aynı zamanda hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklar da büyük ilgi görmektedir ve bu alanlara öncelik verilmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın uluslararası enerji bağımlılığını azaltma stratejileri kapsamında belirlediği hedeflerin öncelikli maddesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak olmuştur [4].



Şekil 1.2. Türkiye Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı – 100 Metre [5]

2023 yılı itibarıyla, elektrik üretimindeki enerji portföyünün %30'unu oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik olan %30 hedefine, beklenenden önce ulaşılmıştır, zira bu hedef 2017 yılı itibarıyla gerçekleşmiştir. Bu erken başarı, özellikle güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynaklarının teknolojik ilerlemeleri ve bu alanlara yapılan yatırımlar teşvikleri vermesi sayesinde elde edilmiştir. Türkiye'de, rüzgâr enerjisi ölçümleri hava durumu analizleri amacıyla Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından gerçekleştirilmektedir. Ancak, bu ölçümler, istasyonların genellikle yerleşim birimlerinin içinde konuşlandırılmasından kaynaklanan etkilerle gerçek enerji potansiyelini tam anlamıyla yansıtmaktan uzak kalmaktadır. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve rüzgâr santralı kurulması düşünülen alanlarda daha kesin veriler elde etmek amacıyla, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), 1990 yılından itibaren rüzgâr hızı ve yönünün ölçümünü üstlenmiştir. Türkiye'nin coğrafi özellikleri, özellikle kıyı bölgeleri ve dağ-vadi yapıları gibi faktörler göz önüne alındığında, rüzgâr enerjisinin büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. EİEİ, rüzgâr enerjisi alanında Ar-Ge projelerini yönlendirmek amacıyla, 1983 yılında

bir inisiyatif başlatmıştır. Bu bağlamda, potansiyel belirleme aşamasında, DMİ'nin 1970-1980 yılları arasına ait istasyon verileri incelenmiş ve Tablo 4'ta sunulan sonuçlara göre yedi coğrafi bölgenin ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ile rüzgâr hızları tespit edilmiştir. Tablo 4 verileri incelendiğinde, Marmara Bölgesi'nin en yüksek güç yoğunluğuna sahip olduğu (51,91 W/m²), bununla birlikte Doğu Anadolu Bölgesi'nin en düşük güç yoğunluğuna sahip olduğu (13,19 W/m²) görülmektedir.

Çizelge 1.2. Türkiye'nin Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü [4]

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

Dünya genelinde rüzgâr enerjisi kapasitesi şu anda 837 GW'a ulaşmış olup, dünyanın yılda 1,2 milyar tonun üzerinde CO₂'den kaçınmasına yardımcı olmaktadır; bu, Güney Amerika'nın yıllık karbon emisyonlarına eşdeğerdir. Net sıfır taahhütlerinin küresel ivme kazandığı ve enerji güvenliğini sağlama konusundaki aciliyetin yeniden arttığı bir yılın ardından, küresel rüzgâr endüstrisine yönelik piyasa görünümü daha da olumlu görünüyor. Mevcut politikalar kapsamında önümüzdeki beş yılda 557 GW yeni kapasitenin eklenmesi bekleniyor. Bu, 2026 yılına kadar her yıl 110 GW'tan fazla yeni kurulum demektir [14].

Ülkemizde faaliyet gösteren rüzgâr enerji santrali sayısı 313'dür. Bu santrallerin toplamda kayıtlı kurulu gücü 12.103 MWe'dir ve kayıtlı toplam kurulu güç 12.086 MWe olarak belirlenmiştir. Bu durum, toplam kurulu güce oran olarak %11,01'lik bir değere karşılık gelmektedir. Yıllık elektrik üretimi yaklaşık olarak 31.022 GWh'dir ve bu üretimin toplam elektrik tüketimine oranı %10,34 olarak hesaplanmaktadır. Türkiye'deki rüzgâr enerji santrallerinin lisans durumu incelendiğinde, 276 santralin lisanslı olduğu, 37 santralin ise lisanssız olduğu görülmektedir [4].

Çizelge 1.3. Türkiye'nin Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü [4]

Kategori	Değer
Kayıtlı Santral Sayısı	313
RES Kurulu Güç	12.103 MWe
Kayıtlı	12.086 MWe
Kurulu Güce Oranı	11,01%
Yıllık Elektrik Üretimi	~31.022 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	%10,34
Lisans Durumu	276 lisanslı, 37 lisanssız

Ülkemizde bulunan iki farklı ilin rüzgar hızları birbirleri arasında değişiklik göstermektedir. Genel olarak bu tez rüzgar trübünlerinin farklı illerdeki üretimlerinin incelenmesi ve bu illerdeki enerji üretimlerinin makine öğrenme yöntemleri kullanılarak tahminlemesinin temelinin oluşturacaktır. Makine öğrenmesi ise bilgisayar ortamına öğrenme işlemini entegre ederek farklı bilimi alanı olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenme yöntemleri güneş enerji potansiyelinin verimli bir şekilde kullanılması için tahmin işlemini gerçekleştiren bir öğrenme biçimidir. Tezin amacı bu tahmin sonuçlarını kullanılarak yatırımcı ve kurumların rüzgar enerjisinden faydalanma noktasında ön fizibilite yapabilmek, amortisman süresini tahmin etmek, enerji üretim verimini maksimum seviyeye çıkarmak ve yatırım yapılacak en uygun bölgenin belirlenmesini sağlamaktır.

Tahmin işleminin yapılması için belirlenen ilin rüzgar hızı verileriyle sağlanacaktır. Elde edilen veriler, MATLAB programına yüklendikten sonra makine öğrenmesi yöntemleri ve regresyon teknikleri kullanılarak tahmin edilecektir. Bu yöntemler sayesinde ise rüzgar enerji tesisi kurulumu sağlanmadan önce üretim değerleri ve hata değerlerini belirlemeye yardımcı olacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Fábio Sandro dos Santos v.d. çalışmasında, 1 Ocak 2000 ile arasındaki dönemde yılın 12 ayı için altı farklı yükseklikteki 575 hava istasyonunun tümünün rüzgar hızı serisini saatlik aralıkta ölçmek için Weibull- dağılım methodunu uygulamışlardır. Weibull parametrelerini tahmin ederken, Expectation-Maximization algoritması kullanıldı. Weibull dağılımının geniş alanlardaki rüzgar enerjisi yoğunluk dağılımını tahmin etmek için iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [7].

Selcuk Selimli v.d. çalışmasında, Libya'nın Espiaa, Msallata, Alqatrun ve Adirsiyah bölgelerinin rüzgar enerjisi kapasitesini Weibull dağılımı ile değerlendirmişlerdir. Justus'un Ampirik Yöntemi (EMJ), Grafik Yöntemi (GM) ve Maksimum Olabilirlik Yöntemi (MLM) olmak üzere üç farklı Weibull dağılımı yöntemi kullanmışlardır. Sonuç olarak, en iyi hız tahmin performansının grafiksel ve maksimum olabilirlik yöntemleri ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Güç yoğunluğu tahminlemesine göre, Msallata'nın 60 m yükseklikte 444.743 W/m^2 güç yoğunluğu ile en yüksek rüzgar gücü potansiyeline sahip olduğunu, Espiaa'nın ise 414.98 W/m^2 potansiyel ile ikinci sırada yer aldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, her bölge için en uygun istatistiksel yöntemi belirlemek amacıyla çeşitli hata ölçütleri hesaplamış ve değerlendirmişlerdir [8].

Jianxiong Wan v.d. çalışmalarında, Çin'in İç Moğolistan bölgesindeki Urat bölgesindeki rüzgar enerjisi kaynak potansiyelini, dört adet rüzgar kulesinden ölçülen verilere dayanarak, parametrelerin çeşitli sayısal ve akıllı optimizasyon yöntemleri ile tahmin edildiği Weibull dağılımı ile rüzgar hızını modellemişlerdir . Yapılan çalışma sonucunda düşük güç üretim maliyeti ve hızlı geri ödeme süresi, Urat bölgesini rüzgar çiftlikleri kurmak için umut verici bir yer haline getirdiğini kanıtlamışlardır [9].

Alexandru Serban v.d. çalışmalarında rüzgar türbini kurulumu için uygun alana karar vermeden önce Romanya'nın Galati ilçesindeki iki lokasyondaki rüzgar gücü potansiyelini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Rüzgar hızı ve rüzgar yönünün saatlik serileri, Ocak 2017 ile Aralık 2018 arasındaki dönem için, ulusal ağın iki meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülerek analiz etmişlerdir.. Weibull ve Rayleigh dağılım modelleri, rüzgar türbini yüksekliğindeki rüzgar hızı karakteristiklerini ve rüzgar gücü potansiyellerini değerlendirmek için saatlik rüzgar hızı verileri uygulanmıştır [10].

Khaled S AlQdah v.d. çalışmalarında seçilen Aventa AV-7 rüzgar türbininden elde edilen enerji üretimine ilişkin bir fikir vermek için Weibull olasılık dağılımını kullanarak Medine'deki rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Weibull dağılımının ölçek faktörleri c ve şekil faktörü olan k , rüzgar hızı frekansı için belirlemişlerdir. Rüzgar türbininin Medine bölgesinde 8648 kWh/yıl üretebileceği, bunun da maksimum güç üretiminin yalnızca %15,2'si olduğu bulmuşlardır. Bu türbinin 7 m/s'lik bir rüzgar hızında mümkün olan maksimum güç çıkışını üretmesi tespit etmişlerdir [11].

Sadih MA Aljeddani v.d. çalışmalarında Weibull dağılımını kullanarak rüzgar hızı veri dağılımını göstermeyi amaçlamaktadır. Araştırmacılar, beklenen rüzgar hızı bilgisinin ardışık noktaları arasındaki değişikliklerin istatistiksel verilerinin, gözlenen rüzgarın özelliklerinden büyük ölçüde sapabileceğini keşfetmişlerdir. İlk olarak, Weibull dağılımının değişkenleri, değiştirilmiş maksimum olasılık (MML) yöntemleri, Enerji Deseni Faktörü ve moment yöntemi (MOM) kullanılarak tahmin edilir. Önerilen yaklaşım, daha kesin bir tahmin elde etmek için üretilen ve gerçek rüzgar hızlarının istatistiksel özelliklerini karşılaştıran bir algoritmaya dayanmaktadır. Dolayısıyla bulgular, Weibull dağılımının rüzgar hızı modellenmesinde kullanılmasının uygulanabilir, hassas ve verimli olduğunu göstermektedir [12].

Mutaz A. Alanazi v.d. çalışmalarında rüzgar özelliklerini tahmin etmek ve Suudi Arabistanın ortasında bulunan Kasım bölgesinde rüzgar enerjisi değerlendirmesi için kullanmak amacıyla Weibull parametrelerinin en uygun tahmin yöntemini araştırmışlardır. Bu çalışmada, 2010-2015 yılları arasındaki NASA'nın küresel enerji kaynakları tahminlerinden rüzgar verileri toplanmış ve 10m ve 50m yüksekliklerdeki mevcut veriler üzerinden altı farklı Weibull parametre tahmin yöntemi ile analiz etmişlerdir: grafik yöntemi (GM), standart sapma yöntemi (SDM), enerji desen faktörü yöntemi (EPF), moment yöntemi (MM), alternatif maksimum olasılık yöntemi (AMLM) ve yenilikçi enerji desen faktörü yöntemi (NEPF). Her bir yöntem, kök ortalama kare hata (RMSE) ve bağıl rüzgar gücü yoğunluğu hatası (RPDE) hesaplanarak verimlilik açısından test etmişlerdir. Karşılaştırma, ülkede rüzgar gücü yoğunluğunu tahmin etmek için en uygun yöntemin MOM olduğunu kanıtlamışlardır [13].

Muhammed Aslam Mohd Safari v.d. çalışmalarında farklı muson mevsimleri, yani kuzeydoğu ve güneybatı musonları dikkate alınarak, Malezya'daki Mersing ve Port Dickson'daki rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde çeşitli sayısal tahmin yöntemleriyle Weibull dağılımı kullanmışlardır. Bu değerlendirmede, Malezya Meteoroloji Dairesi ve Malezya Çevre Dairesi'nden alınan saatlik rüzgar hızı verilerine dayanarak gerçekleştirmişlerdir. Toplam 28 sayısal tahmin yöntemi sunulmuş ve performansları ilk olarak bir Monte Carlo simülasyonu ile incelemişlerdir. Monte Carlo simülasyonunun sonuçları, hiçbir yöntemin diğer tüm yöntemlerden daha iyi performans göstermediğini göstermektedir ve Port Dickson sahası zayıf rüzgar özellikleri göstermektedir ve bu da bu alanın rüzgar enerjisi geliştirme için uygun olmadığını göstermişlerdir [14].

Z. R. Shu v.d. çalışmalarında 38 yüzey gözlem istasyonunda toplanan 1981-2018 dönemine ait rüzgar hızı verilerine dayanan bu çalışma, Weibull dağılım fonksiyonunu kullanarak istatistiksel analiz yoluyla rüzgar hızı özelliklerinin kapsamlı bir değerlendirmesini sunmuşlardır. Weibull dağılım fonksiyonunun, günlük ortalama rüzgar hızlarının olasılık dağılımının tatmin edici bir modellemesini sağladığını göstermişlerdir. Weibull parametrelerinin ve rüzgar gücü yoğunluğunun mevsimsel değişkenliğini tartışıp, doğrulamışlardır [15].

Faleh H. Mahmood v.d. çalışmalarında Weibull dağılımını kullanarak Irak'taki Al-Salman sahasındaki rüzgar hızı verilerinin karakteristiğini analiz etmeyi amaçlamışlardır. İki temel Weibull parametresini bulmak için Maksimum Olabilirlik Yöntemi (MLM) kullanmışlardır. En iyi rüzgar dağılımı, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılarak tanımlamışlardır. Weibull parametrelerine dayanarak, çeşitli rüzgar türbini göbek yükseklikleri için bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, bu sahanın elektrik üretimi için küçük rüzgar türbinleri dikmek için potansiyel rüzgar gücüne sahip olduğu bulmuşlardır. Kapasite faktörüne bağlı olarak rüzgar türbini modeli önermişlerdir [16].

Abdul Rashid Shoib v.d. çalışmalarında Malezya'daki üç farklı istasyonda (Chuping, Kuantan ve Melaka) 80 m yükseklikte rüzgar karakteristikleri ve rüzgar gücü potansiyellerinin bir değerlendirmesi analiz etmişlerdir. Değerlendirme tekniği, bu sahalarda rüzgarın bir güç üretim kaynağı olarak potansiyelini belirlemeyi amaçlayarak, üç yakın yıl (2018-2020) boyunca iki parametrelili Weibull dağılım

fonksiyonuna dayandırmışlardır. Sonuç olarak kapsanan sahaların rüzgar enerjisi potansiyelinin yalnızca küçük ölçekli enerji üretimleri için mümkün olduğu sonucuna vardığını kanıtlamışlardır [17].

Mohammed Wadi v.d. çalışmalarında, rüzgar enerjisi potansiyelini tahmin etmek için dikkate değer iki parametrelili Weibull fonksiyonu sunmuşlardır. Grafiksel, moment yöntemi, enerji desen faktörü, ortalama standart sapma, güç yoğunluğu yöntemleri ve genetik algoritma olmak üzere altı farklı tahmin yöntemine dayalı Weibull parametreleri değerlendirmişlerdir. Tahmin yöntemlerinin uyum iyiliği ortalama mutlak hata, kök ortalama kare hatası, normalize edilmiş ortalama mutlak hata, Ki-kare hatası ve regresyon katsayısı yoluyla araştırarak, en iyi eşleşen tahmin yöntemini açıkça belirlemek için Net Uygunluk testi de sunmuşlardır. Sonuç olarak, tahmin yöntemlerinin rüzgar dağılımını modellemede etkili olduğunu ancak performans açısından nispeten küçük farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir [18].

Bulent Yaniktepe v.d. çalışmasında Türkiye'nin Osmaniye kentindeki bir bölgenin rüzgar karakteristiklerini ve rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için 80 m yüksekliğindeki bir meteoroloji direğindeki rüzgar ölçüm sensörlerinden elde edilen verilerin ayrıntılı bir analiz yapmışlardır. Bu rüzgar verilerinin dağılımını değerlendirmek için en popüler olasılık dağılım modeli olan iki parametrelili Weibull dağılımının uygunluğu araştırmışlardır. Weibull dağılım parametrelerinin (k ve c) kesin olarak belirlenmesinde grafiksel (GM), Justus ampirik (EMJ), Lysen ampirik (EML), güç yoğunluğu (PDM), moment (MoM), maksimum olabilirlik (MLM), değiştirilmiş maksimum olabilirlik (MMLM) ve alternatif maksimum olabilirlik (AMLM) olmak üzere sekiz farklı sayısal yöntemin uygunluğu incelemişlerdir. Bu modellerin performanslarını karşılaştırmak ve doğrulamak için kök ortalama kare hatası (RMSE), ve varyans analizi (R^2) kullanmışlardır. Bu sekiz yöntem içinde en iyi ve en kötü performanslar, gerçek ölçülen verilerle karşılaştırıldığında MMLM ve GM olduğunu kanıtlamışlardır [19].

Sneh Deep v.d. çalışmalarında rüzgar türbini için mevcut gerçek rüzgar gücünü tahmin etmek için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Kullanılabilirlik faktörünü belirlemek için ana iki parametrelili Weibull modeli kullanılabilirken, devreye girme ve anma rüzgar hızları arasındaki kullanılabilir rüzgar enerjisi belirlenirken, rüzgar hızı verileri, konum parametresinin devreye girme rüzgar hızına eşitlenebileceği üç parametrelili bir

Weibull modeli kullanılarak devreye girme ve anma rüzgar hızları tarafından tanımlanan aralığa yeniden yerleştirilmelidir [20].

K. Sukkiramathi v.d. çalışmalarında belirli bir konumdaki rüzgar kaynağını değerlendirmek için uygun rüzgar hızı dağılımının anahtar olduğunu belirtmişlerdir. Farklı yüksekliklerdeki kapasite faktörünü tahmin etmek için üç parametrelili Weibull dağılımını kullanmışlardır. Sonuç olarak, bu çalışmanın potansiyel alanların rüzgar özellikleri hakkında bilgi sağladığını ve uygun rüzgar türbinlerinin seçilmesine yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir [21].

Harsh Patidar v.d. çalışmalarında, Hindistan'ın Gujarat eyaletindeki açık deniz konumlarının rüzgar özelliklerini ve rüzgar potansiyelini değerlendirmek için Weibull yoğunluk fonksiyonunu kullanmışlardır. İki farklı yükseklikte rüzgar gücü yoğunluğunu belirlemek için altı farklı sayısal yaklaşım kullanarak Weibull şekil k ve ölçek c parametrelerini hesaplamışlardır. Çalışmada, seçilen yöntemlerin performansını değerlendirmek için RMSE, R^2 , MAPE ve χ^2 testlerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, maksimum olabilirlik yönteminin (MLM) rüzgar potansiyelinin en doğru değerlendirmesini sunduğunu belirlemişlerdir [22].

A. Gungor v.d. çalışmalarında, İzmir, Türkiye'den elde edilen rüzgar hızı verilerini kullanarak Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek için dört farklı sayısal yöntemin uygunluğunu araştırmışlardır. Yöntemlerin sağlamlığını belirlemek için kök ortalama kare hatası, belirleme katsayısı ve Ki-kare uygunluk testlerini kullanmışlardır. Ayrıca, bölgede 800 ile 4200 kW arasında değişen rüzgar türbinlerinin kurulma olasılığını temsil eden bir ekonomik analiz yapmışlardır. Sonuç olarak, standart sapma-ortalama rüzgar hızı yönteminin en uygun yöntem olduğunu ve rüzgardan elde edilen elektriğin tahmini maliyetinin 0,0111 ABD doları/kWh olarak hesaplandığını belirtmişlerdir [23].

Mohamed Bousla v.d. çalışmalarında, Kuzey Fas'taki rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek için iki parametrelili Weibull dağılımına dayalı doğrulanmış bir yaklaşım kullanmışlardır. Fas'ın Tetouan bölgesinde bulunan 120 MW toplam kapasiteli bir rüzgar çiftliğinden üretilen elektriğin kapsamlı ve istatistiksel bir analizini yapmışlardır. Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek için MLM kullanmışlardır. Sonuç olarak, iki yıllık üretim döneminde WTG 30 ve WTG 33

türbinlerinin en önemli eksiklikleri gösterdiğini ve bunun temel olarak "Yaw sistemi" içindeki yönlendirme sorunlarından kaynaklandığını belirlemişlerdir [24].

Ulku Erisoglu v.d. çalışmalarında, rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan iki parametrelili Weibull dağılımının parametrelerini tahmin etmek için altı farklı yöntemi Monte Carlo simülasyon yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Eskişehir'deki Meşelik bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyelini iki parametrelili Weibull dağılımı ile modellemişlerdir. Çalışmada, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Meşelik Kampüsü'nde yerden 10 metre yüksekliğe kurulan ölçüm cihazından 10 dakikalık aralıklarla toplanan ortalama rüzgar hızı verilerini kullanmışlardır. Sonuç olarak, büyük örneklem boyutlarında iki parametrelili Weibull dağılımı için en iyi parametre tahmin yönteminin Maksimum Olabilirlik Tahmini (MLE) olduğunu ve L-Moment Yöntemi'nin (LM) MLE'ye en yakın performansı gösterdiğini belirlemişlerdir [25].

Elmer Rodrigo Aquino Larico v.d. çalışmalarında, Peru'nun yüksek dağlık bölgelerinde 3800 metreden daha yüksek bir yükseklikte rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla Weibull dağılımı ve rüzgar gülü kullanmışlardır. Çalışmada, bir yıl boyunca Juliaca'daki meteoroloji istasyonundan elde edilen rüzgar gözlemleri ile iki parametrelili Weibull dağılımı fonksiyonu yöntemini uygulamışlardır. Sonuçlar, yıllık ortalama şekil ve ölçek parametrelerinin sırasıyla 2.16 ve 2.20 m/s olduğunu göstermekte, öğleden sonraları ise bu değerlerin 5.01 ve 4.46 m/s'ye yükseldiği tespit etmişlerdir. Bu nedenle, öğleden sonra rüzgar akışının daha düzenli olduğu ve bu alanın yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğunu ifade etmişlerdir [26].

R. I. Jabbar v.d. çalışmalarında, Irak'taki dört bölge (Al-Rutba, Sinjar, Al-Qa'im ve Al-Bayji) için yerden 10 m ve 50 m yükseklikteki günlük ölçülen rüzgar hızı verilerini Weibull dağılım fonksiyonu kullanarak analiz etmişlerdir. NASA yüzey meteorolojisinden toplanan rüzgar verilerini kullanmışlardır. Weibull parametrelerini her ay için hesaplamışlar ve seçilen alanların aylık ve yıllık rüzgar gücü yoğunluğunu değerlendirmek için MATLAB ortamında bir istatistiksel analiz programlamışlardır. Sonuç olarak, dört bölgedeki maksimum rüzgar gücü üretiminin olduğu ayları belirlemişler ve hesaplanan yıllık rüzgar gücü yoğunluğuna göre, seçilen alanların rüzgar gücü üretimi açısından marjinal ile orta arasında olduğunu ifade etmişlerdir [27].

Galarza v.d. çalışmalarında, rüzgar gücü yoğunluğunu (WPD) hesaplamak için kullanılan yöntemlerin doğruluğunu, ölçüm değerlerini Weibull dağılımının (WD) şekil ve ölçek parametreleriyle karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. WD parametrelerini tahmin etmek için Grafiksel yöntem (GP), Justus ampirik yöntemi (EMJ), Lysen ampirik yöntemi (EML), Enerji desen faktörü yöntemi (EPF) ve Maksimum olabilirlik yöntemini (ML) kullanmışlardır. Her yöntemin doğruluğunu çeşitli metriklerle değerlendirmişlerdir. Çalışmanın amacı, Peru'nun Junin bölgesindeki dört meteoroloji istasyonunda WDP hesaplamak için en uygun yöntemleri seçmektir. Sonuç olarak, istatistiksel indeks sonuçlarına göre ML, EMJ ve EML yöntemlerinin her istasyon için en doğru sonuçları verdiğini, ancak yöntemlerin tüm istasyonlarda eşit derecede iyi performans göstermediğini belirtmişlerdir [28].

Mohammed Daoudi v.d. çalışmalarında, Fas'ın Fezouata, Oujjane, El Ouatia ve Taroudannt gibi çöl bölgelerindeki düşük yatırım nedeniyle rüzgar kaynaklarını ideal bir seçenek olarak değerlendirmişlerdir. Meteorolojik istatistikleri kullanarak, Weibull dağılım fonksiyonu ile her bölge için 250 kW ile 2000 kW arasında değişen nominal güçlere sahip dört farklı rüzgar türbininin rüzgar gücünü ve potansiyelini tahmin etmişlerdir. Weibull dağılımına uydurmak için 24 yıllık rüzgar hızı verisi kullanmışlardır. Sonuç olarak, El Ouatia çöl bölgesinin yeşil enerji üretimi için bir rüzgar çiftliği kurulmasının ekonomik açıdan uygun olduğunu belirtmişlerdir [29]. Mojtaba Nabipour vd çalışmalarında, Weibull parametrelerini tahmin etmek için sekiz yöntem araştırmışlardır. İran'a dağılmış 30 sahaya sahip 14 ilden çeşitli arazilere ait meteoroloji verileri, araştırılan yöntemlerin performansını incelemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, ampirik yöntemin hatalar açısından araştırılan tekniğe göre üstün olduğunu göstermişlerdir [30].

3. MATERİYAL VE METOT

3.1.1 MATERİYAL

Çalışmamızda kullanılan rüzgar verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu veriler, incelenen illerdeki meteoroloji istasyonlarından elde edilen saatlik rüzgar hızı ölçümlerini içermektedir. Veri seti, Adana, Alanya, Ankara, Antalya, Çanakkale, Gaziantep, İzmir, Kahramanmaraş, Konya, Mersin, ve Osmaniye olmak üzere 11 ilde 5 yıllık (2017-2021) dönemin aylık bazda verilerini kapsamaktadır. Veri Özellikleri:

- Rüzgar hızı ölçümleri (m/s cinsinden)
- Ölçüm zamanları (saat bazında)
- Ölçüm yapılan istasyonların coğrafi konumları

Bu veriler, Weibull dağılım fonksiyonunun katsayılarının belirlenmesinde ve rüzgar potansiyelinin tahmin edilmesinde kullanılacak temel girdileri oluşturmaktadır. Verilerin güvenilirliği ve doğruluğu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün standart kalite kontrol prosedürlerine tabi tutulmuştur.

3.2 METOT

3.2.1 Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, insanların öğrenme şekillerini taklit etmek için veri ve algoritmaların kullanımına odaklanıp doğruluğunu kademeli olarak artıran bir bilgisayar bilimi dalıdır. Makine öğrenmesi, bir bilgisayarın doğrudan yönergeler olmadan öğrenmesine yardımcı olmak için matematiksel modelleri kullanma işlemidir. Makine öğrenmesi, verilerdeki kalıpları belirlemek için algoritmaları kullanır. Tahmin yapabilen bir veri modeli oluşturmak için de bu kalıplar kullanılır. Tıpkı insanların daha fazla alıştırma yaptıkça gelişmesi gibi, veri ve deneyim miktarı arttıkça makine öğrenmesinin sonuçları da daha doğru hale gelir. Uyarlanabilirliği sayesinde makine öğrenmesi verilerin, isteklerin veya görevlerin sürekli değiştiği senaryolarda veya bir çözümün etkili bir şekilde kodlanmasının mümkün olmadığı durumlarda kullanılabilen bir seçenektir.

3.2.1.1 Lineer Regresyon

Lineer regresyon, makine öğrenmesi ve istatistikte sıkça kullanılan temel bir analiz yöntemidir. Bu yöntem, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi modellemek için kullanılır [31].

Lineer regresyonun temel formülü şu şekildedir: $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$

Burada:

- Y : Bağımlı değişken (tahmin edilmek istenen değer)
- $X_1, X_2, \dots, X_n$: Bağımsız değişkenler
- β_0 : Sabit terim
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: Bağımsız değişkenlerin katsayıları
- ε : Hata terimi

Lineer regresyonun amacı, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi temsil eden doğrusal modeli bulmaktır. Bu genellikle en küçük kareler yöntemi ile yapılır. Bu yöntem, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların kareleri toplamını minimize eder [32].

3.2.1.2 Lineer Destek Vektör Makine Yaklaşımı

Lineer DVM, veri noktalarını iki veya daha fazla sınıfa ayırmak için kullanılan bir denetimli öğrenme modelidir. Bu model, veri noktaları arasında maksimum marjlı bir hiper düzlem oluşturarak çalışır. Lineer DVM'in temel amacı, farklı sınıflara ait veri noktalarını en iyi şekilde ayıran doğrusal bir karar sınırı bulmaktır. Lineer DVM yaklaşımını;

Sınıflandırma Performansı

Lineer DVM, sınıflandırma görevlerinde etkili bir yöntemdir ve rüzgar hızı tahmininde de başarılı sonuçlar verebilir. Özellikle veri setiniz doğrusal olarak ayrılabilir özelliklere sahipse, Lineer DVM yüksek doğruluk oranları sağlayabilir [40].

Özellik Seçimi ve Boyut Azaltma

Lineer DVM, özellik seçiminde ve boyut azaltmada faydalı olabilir. Düzenleştirme kullanarak, modelin gereksiz veya ilgisiz özellikleri elemesine yardımcı olur. Bu,

rüzgar hızı tahmininde kullanılan veri setinizdeki en önemli özelliklerinin belirlenmesine yardımcı olabilir [41].

Yorumlanabilirlik

Linear DVM modelleri, diğer karmaşık makine öğrenimi yöntemlerine kıyasla daha kolay yorumlanabilir. Bu, tezinizde modelin nasıl çalıştığını ve hangi faktörlerin rüzgar hızı tahmininde daha etkili olduğunu açıklanmasına olanak tanır.

Hesaplama Verimliliği

Lineer DVM, özellikle büyük veri setlerinde, diğer karmaşık modellerle karşılaştırıldığında daha hızlı eğitilebilir ve tahmin yapabilir. Bu, tezinizde geniş ölçekli rüzgar hızı verilerini işlerken zaman ve kaynak tasarrufu sağlayabilir [42].

Genelleme Yeteneği

Lineer DVM'ler, aşırı uyumu) önlemeye yardımcı olan düzenleme teknikleri kullanır. Bu, modelin eğitim verilerine aşırı uyum sağlamasını engelleyerek, yeni ve görülmemiş rüzgar hızı verilerine daha iyi genelleme yapmasını sağlar [43].

Hibrit Modeller için Temel

Lineer DVM, diğer makine öğrenimi teknikleriyle birleştirilerek hibrit modeller oluşturulmasına olanak tanır. Örneğin, AdaBoost gibi topluluk öğrenme yöntemleriyle birleştirilebilir ve bu da tahmin performansını artırabilir [41].

Yukarıda belirtilen başlıca gelen özelliklerinden dolayı bu çalışmada Destek Vektör Makine yaklaşımı tercih edilmiştir.

3.2.1.3 Weibull Dağılımında Lineer Regresyonun Kullanımı

Weibull dağılımı, özellikle rüzgar hızı gibi doğal olayların modellenmesinde yaygın olarak kullanılan bir olasılık dağılımıdır. Weibull dağılımının parametrelerini tahmin etmek için lineer regresyon şu şekilde uygulanabilir:

- Weibull dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonunun logaritması alınarak doğrusal bir forma dönüştürülür.
- Dönüştürülen bu veri seti üzerinde lineer regresyon uygulanır.

- Regresyon sonucunda elde edilen katsayılar, Weibull dağılımının parametreleri olarak kullanılır [31].

3.2.1.4 Rüzgar Potansiyelinin Tahmini

Rüzgar potansiyelinin farklı illerde tahmini için şu adımlar izlenebilir:

1. Rüzgar hızı verileri Weibull dağılımına uygun hale getirilir.
2. Weibull parametreleri (şekil ve ölçek parametreleri) lineer regresyon yöntemiyle tahmin edilir.
3. Bu parametreler kullanılarak rüzgar potansiyeli hesaplanır.

Lineer regresyonun avantajları arasında basitliği, hesaplama kolaylığı ve yorumlanabilirliği bulunmaktadır [31].

3.2.2 Weibull Dağılım Fonksiyonu

Weibull dağılım fonksiyonu, rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan önemli bir istatistiksel araçtır. Bu dağılım, rüzgar enerjisi üretimi yatırımlarının tasarımı ve fizibilitesini etkileyen rüzgar gücü potansiyelinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır [33].

Weibull dağılımı, rüzgar hızı verilerinin analizinde ve belirli bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Rüzgar hızı verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımı tercih edilmektedir çünkü bu dağılım, farklı arazi koşullarına ve iklim özelliklerine sahip bölgelerdeki rüzgar karakteristiklerini doğru bir şekilde temsil edebilmektedir [34]. Weibull dağılımı, şekil ve ölçek parametreleri sayesinde çeşitli rüzgar rejimlerini modelleyebilme esnekliğine sahiptir. Bu özelliği, farklı coğrafi bölgelerdeki rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde Weibull dağılımını değerli bir araç haline getirmektedir.

3.2.2.1 Weibull Dağılımının Temel Özellikleri

Weibull dağılımı iki temel parametre ile karakterize edilir:

1. Şekil parametresi (k)
2. Ölçek parametresi (c)

Bu parametreler, rüzgar hızı dağılımının karakteristiğini belirler [34].

3.2.2.2 Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF)

Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekilde ifade edilir:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (3.2.2.2.1)$$

Burada:

- v: Rüzgar hızı
- k: Şekil parametresi
- c: Ölçek parametresi

olarak kabul edilmektedir [35].

3.2.2.3 Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF)

Weibull dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu ise:

$$f(v) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (3.2.2.3.1)$$

şeklinde ifade edilir [35].

3.2.2.4 Parametre Tahmin Yöntemleri

Weibull dağılımının parametrelerini tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır:

- Destek Vektör Yöntemi
- Grafik Yöntemi
- MOM
- Enerji Örüntü Faktörü Yöntemi (EPF)
- En Yüksek Olabilirlik Yöntemi

Grafik yöntemi, Weibull parametrelerinin tahmininde kullanılan yöntemlerden biridir.

Bu yöntem, rüzgar hızı verilerinin grafiksel olarak analiz edilmesine dayanır [36].

3.2.3 Grafik Metodu

Grafik Metodu, Weibull dağılım fonksiyonunun parametrelerini belirlemek için kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntem, rüzgar hızı verilerinin kümülatif dağılımını kullanarak Weibull parametrelerini tahmin eder [37].

Weibull dağılım fonksiyonunun kümülatif formu şu şekilde ifade edili

$$F(v) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (3.2.3.1)$$

Grafik Metodu'nda, bu fonksiyon iki kez logaritması alınarak doğrusallaştırılır:

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln(v) - k \ln(c)$$

Bu denklem, $y = Ax + B$ formunda bir doğru denklemi olarak düşünülebilir, burada:

- $Y = \ln[-\ln(1 - F(v))]$ (3.2.3.2)

- $x = \ln(v)$ (3.2.3.3)

- $k = A$ (3.2.3.4)

- $c = -\ln \left(\frac{B}{A} \right)$ (3.2.3.5)

Grafik Metodu uygulanırken uygulanması gereken adımlar aşağıdaki gibidir:

- 1- Rüzgar hızı verilerini küçükten büyüğe sıralayın.
- 2- Her bir veri noktası için kümülatif olasılığı hesaplayın.
- 3- $x = \ln(v)$ ve $y = \ln[-\ln(1 - F(v))]$ değerlerini hesaplayın.
- 4- Bu değerleri bir grafik üzerinde çizin.
- 5- Elde edilen noktalar arasından en uygun doğruyu geçirin.

Elde edilen doğrunun eğimi k parametresini, y -ekseni kesişimi ise $-\ln(c)$ değerini verir. Buradan c parametresi de hesaplanabilir [38].

Verilen bu bilgiler doğrultusunda V_w (Ortalama Rüzgar Hızı) ve P_w (Ortalama Rüzgar Gücü) aşağıdaki gibidir;

- $V_w = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$ (3.2.3.6)

- $P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k}\right)$ (3.2.3.7)

Sonuçları ortaya çıkmıştır.

Grafik yönteminde katsayıların belirlenmesi sürecinde, modern makine öğrenmesi tekniklerinden yararlanılarak analiz süreci optimize edilmiştir. Özellikle, destek vektör makineleri (DVM) yaklaşımı kullanılarak, veri noktaları arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek ve yüksek boyutlu uzaylarda bile etkili sınıflandırma yapabilmek mümkün olmuştur. Bu ileri düzey algoritma sayesinde, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, DVM'nin genelleme yeteneği sayesinde, modelin yeni ve görülmemiş verilere de başarıyla uygulanabilmesi sağlandı. Bu yaklaşım, grafik yönteminin doğruluğunu ve etkinliğini önemli ölçüde artırarak, daha kapsamlı ve derinlemesine analizler yapılmasına olanak tanımıştır.

3.2.4 HATA METRİKLERİ

Yapılan tahminlerin ölçülmesinde ve karşılaştırılmasında performans metrikleri kullanılır. Kullanılan tahmin yöntemlerinin veriye uygunluğu ve algoritmaların verimliliğini ölçmek için farklı yöntemler kullanılır. Literatürde yoğunlukla kullanılan performans metrikleri bu tez kapsamında kullanılacaktır. Tez kapsamında 4 temel performans metriği kullanılacaktır; R^2 , ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hata (RMSE) ve normalleştirilmiş kök ortalama hata (nRMSE) metrikleri kullanılacaktır.

3.2.4.1 Belirlilik Katsayısı (R-Squared)

Tahmin hatası karelerinin toplamının, hesaplanan tahmini ortalama ile değiştiren kareler toplamının toplamına bölünmesiyle hesaplanır. R^2 değeri 0 ile 1 arasındadır ve daha büyük bir değer, tahmin ile gerçek değer arasında daha iyi bir uyumu gösterir. Modelin bağlı değişkenlere uyumunu gösterir. Değerin 1 yakınlığı daha iyi olduğunu gösterir. Denklem 2.3.3.1'deki gibi tanımlanır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.2.4.1.1)$$

3.2.4.2 Ortalama Mutlak Hata (MAE)

Gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki her bir farkın mutlak değerinin ortalamasıdır. Bir dizi tahmindeki hataların yönlerini dikkate almadan ortalama

büyükliğini ölçen, tüm tekil hataların ortalamada eşit olarak ağırlıklandırıldığı doğrusal bir metriktir. 0'a yakın değerler daha iyi tahmin edildiğini gösterir. Denklem 3.2'deki gibi tanımlanır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (3.2.4.2.1)$$

3.2.4.3 Kök Ortalama Hata (RMSE)

Ortalama hatanın kareköküdür. Tahmin hatalarının standart sapmasıdır. Büyük hataları daha fazla cezalandırmanın avantajına sahiptir. Tahmin hataları, regresyon çizgisi veri noktalarından ne kadar uzakta olduğunu ve bu tahmin hatalarını ne kadar yayıldığının bir ölçüsüdür. Bu ölçü, verilerin en uygun çizgi etrafında ne kadar yoğun olduğunu analizini gösterir. 0'a yakın değerler daha iyi tahmin edildiğini gösterir. Denklem 3.3'teki gibi tanımlanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (3.2.4.3.1)$$

n örnek sayısını ve e her bir tahminin hatasını göstermektedir.

3.2.4.4 Normalleştirilmiş Kök Ortalama Hata (nRMSE)

Kök mutlak hatanın gerçek değerin en büyük ve en küçük değerlerin farkı ile standartlaştırılmış halidir. Büyük hataları yüksek dereceden cezalandırır. 0'a yakın değerler daha iyi tahmin edildiğini gösterir. Denklem 3.4'teki gibi tanımlanır.

$$nRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}}{y_{max} - y_{min}} \quad (3.2.4.4.1)$$

n örnek sayısını, y gerçek değeri ve e her bir tahminin hatasını göstermektedir.

3.2.4 Rüzgâr verilerinin analizi

Rüzgâr gözlem merkezlerinde belirli bir yükseklikten toplanan rüzgâr hızı verilerinin frekans dağılımları analiz edilerek veri değerlendirilmesi yapılır. Bu dağılımlar, hangi rüzgâr hızlarının daha sık görüldüğünü belirlemeye yardımcı olur. Rüzgâr türbini seçiminde bu tür dağılımlardan faydalanılır. Rüzgâr hızı verilerinin standart

sapmasının 0 ile 3 m/s arasında olması beklenir. Bir bölgedeki standart sapmanın düşük olması, o bölgedeki rüzgâr düzeninin oldukça istikrarlı olduğunu gösterir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, 2017 – 2021 yıllarında saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayanarak Adana, Alanya, Ankara, Antalya, Çanakkale, Gaziantep, İzmir, Kahramanmaraş, Konya, Mersin, Osmaniye olmak üzere 11 adet ilin rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Saatlik olarak ölçülen 2017 ve 2021 yıllarına ait rüzgâr verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır. Seçilen ilçe ve illerin rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılmasında Weibull ve dağılımları kullanılmıştır.

Seçilen illerin rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılmasında Weibull dağılımları kullanılmıştır. İncelenen illerin konumları, rakımı ve rakıma göre hesaplanan hava yoğunluğu değerleri Tablo 4.1’ de verilmiştir. [39]

Çizelge 4.1 İlgili 11 ile ait konum, rakım ve hava yoğunluğu değerleri

Şehir	Enlem-Boylam	Rakım (m)	Hava Yoğunluğu (kg/m ³)
Adana	37.0° N - 35.3° E	23	1.164
Alanya	36.5° N - 31.9° E	0	1.225
Ankara	39.9° N - 32.9° E	938	1.112
Antalya	36.9° N - 30.7° E	0	1.225
Çanakkale	40.1° N - 26.4° E	0	1.225
Gaziantep	37.0° N - 37.4° E	850	1.113
İzmir	38.4° N - 27.1° E	0	1.225
K.Maraş	37.5° N - 36.9° E	600	1.117
Konya	37.9° N - 32.4° E	1018	1.109
Mersin	36.8° N - 34.6° E	0	1.225
Osmaniye	37.1° N - 36.2° E	100	1.118

4.1 Adana İlinin Rüzgsar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

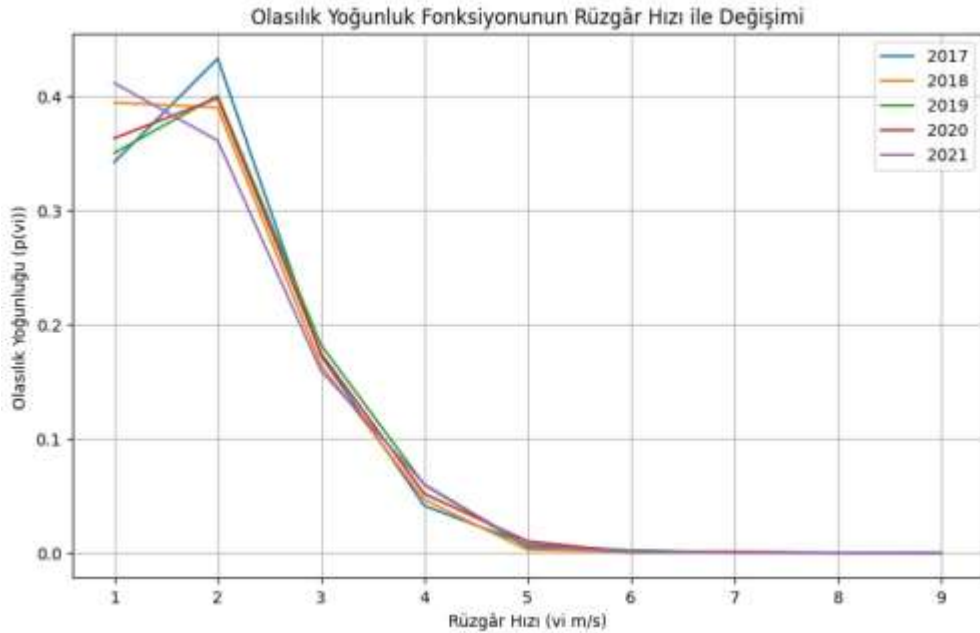
2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.1.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 14662, 7 – 8 m/s ve 8-9 m/s arasında 3’er,

toplam 39380 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 4.1.1' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

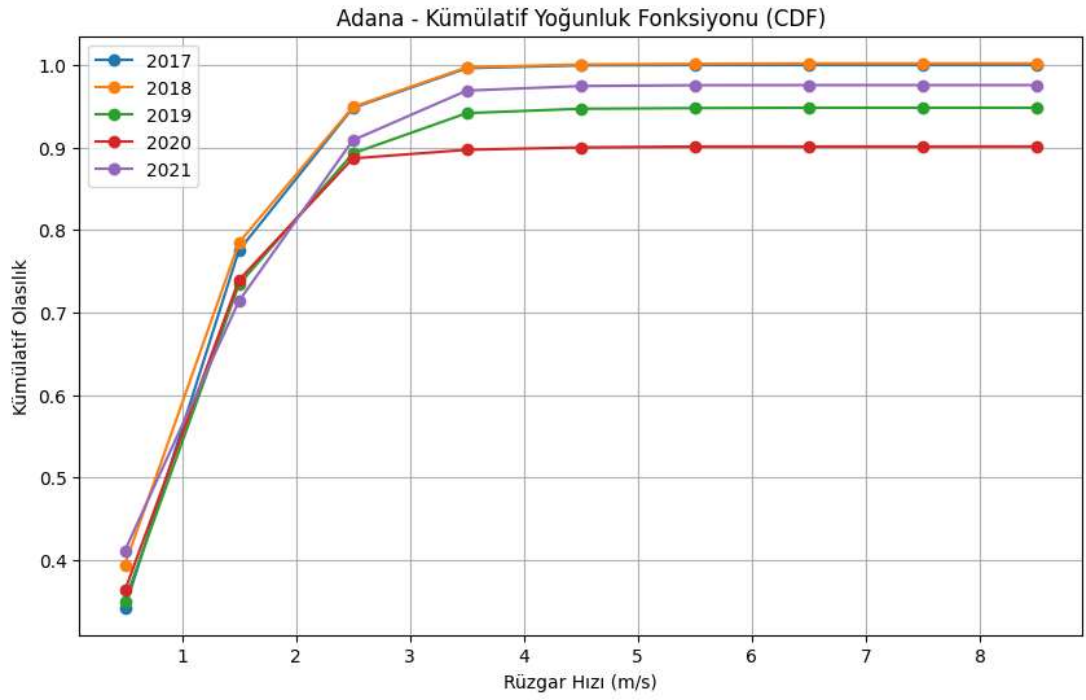
Çizelge 4.2 Adana ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	v_i m/s	v_i^* m/s	f_i 2017-2021	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	14662	0,372	0,372
2	1-2	1,5	15625	0,397	0,769
3	2-3	2,5	6727	0,171	0,94
4	3-4	3,5	2043	0,052	0,992
5	4-5	4,5	248	0,006	0,998
6	5-6	5,5	51	0,001	0,999
7	6-7	6,5	18	5E-04	1
8	7-8	7,5	3	8E-05	1
9	8-9	8,5	3	8E-05	1
Toplam			39380		

Adana ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.1.2' de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.1.3'de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

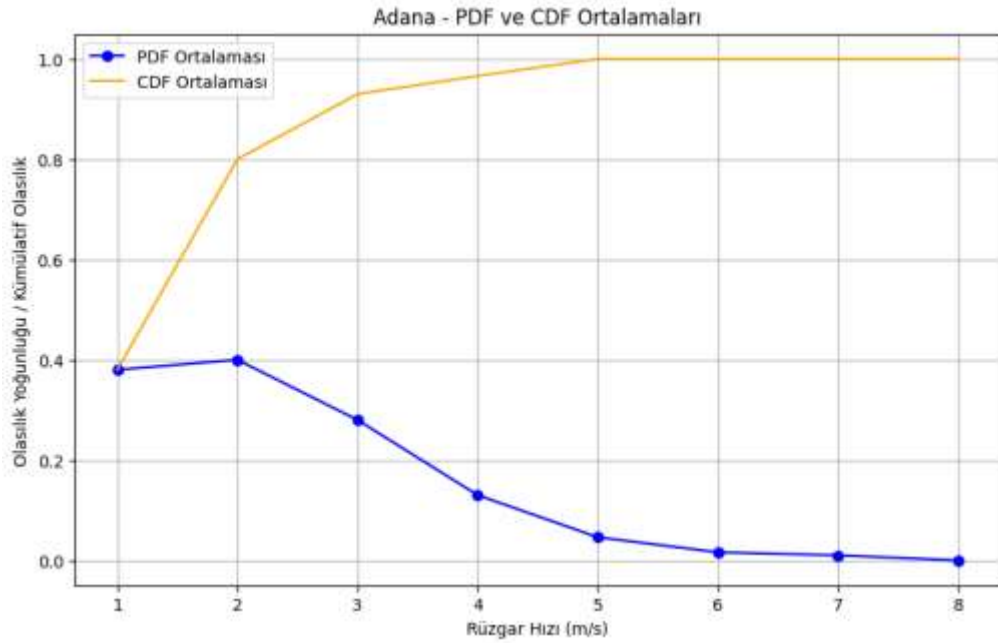


Şekil 4.1 Adana ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.2 Adana ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.3, beş yıllık rüzgar hızı verilerine dayanan olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarından elde edilen dağılımları göstermektedir.



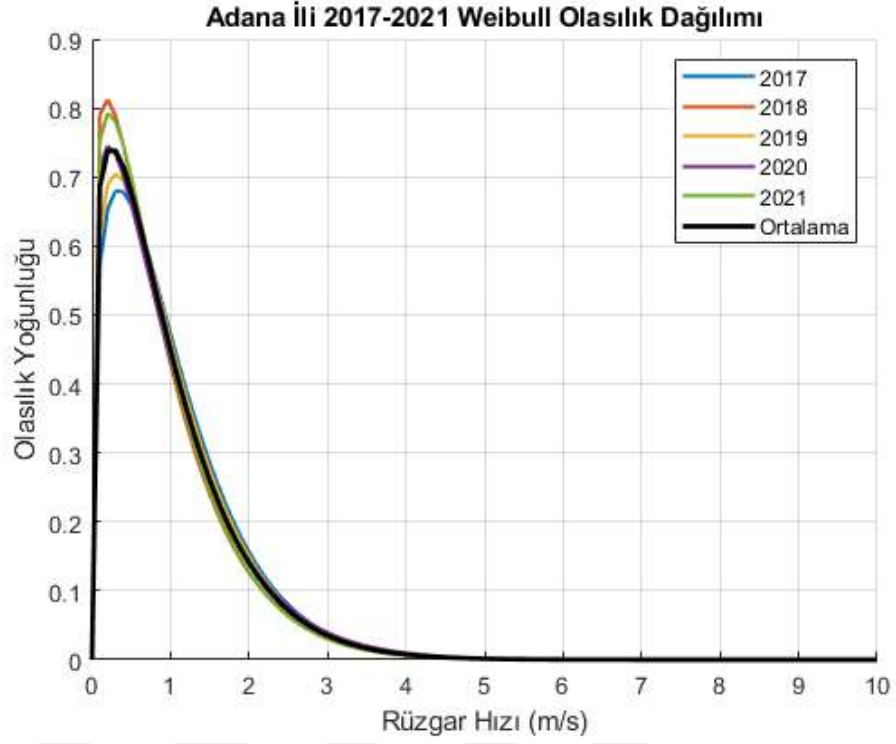
Şekil 4.3 Adana ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

Adana ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.1.5 ‘de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 Adana ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

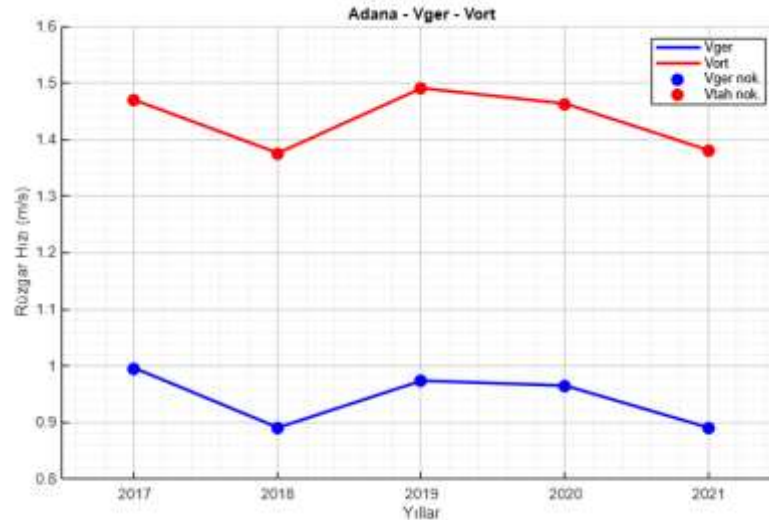
AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	1,63	1,30	1,48	1,49	1,24
	σ	1,06	0,83	0,97	1,02	0,75
ŞUBAT	V_m	1,58	1,29	1,41	1,46	1,31
	σ	1,08	0,70	0,89	1,02	0,82
MART	V_m	1,40	1,34	1,45	1,54	1,50
	σ	0,72	1,07	0,98	0,96	1,05
NİSAN	V_m	1,57	1,23	1,35	1,36	1,33
	σ	0,93	0,77	0,97	0,97	0,90
MAYIS	V_m	1,51	1,38	1,63	1,58	1,43
	σ	0,83	0,76	0,84	1,03	0,95
HAZİRAN	V_m	1,56	1,49	1,64	1,61	1,76
	σ	0,79	0,91	0,84	1,01	1,13
TEMMUZ	V_m	1,69	1,78	1,70	1,66	1,75
	σ	0,86	0,92	1,02	0,87	1,01
AĞUSTOS	V_m	1,62	1,61	1,58	1,58	1,54
	σ	0,93	0,98	0,99	1,01	1,03
EYLÜL	V_m	1,33	1,34	1,48	1,32	1,45
	σ	0,89	0,87	0,81	0,90	0,96
EKİM	V_m	1,18	1,27	1,39	1,27	1,20
	σ	0,68	0,69	0,74	0,64	0,69
KASIM	V_m	1,33	1,15	1,39	1,28	0,93
	σ	0,78	0,79	0,64	0,56	0,83
ARALIK	V_m	1,22	1,27	1,37	1,36	1,17
	σ	0,64	0,81	0,66	0,62	0,75
YILLIK	V_m	1,47	1,38	1,49	1,46	1,38
	σ	1,06	0,87	0,88	0,91	0,75

Şekil 4.4’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.81 olarak 2021 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Adana ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.5’de beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.5. Adana ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.1.8’de Adana ili için Weibull dağılımına göre elde edilen (R^2), (RMSE), MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2

değerinin 0.87- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında 0.09– 0.42 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.01-0.18 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.08-0.21 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1'e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Adana ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

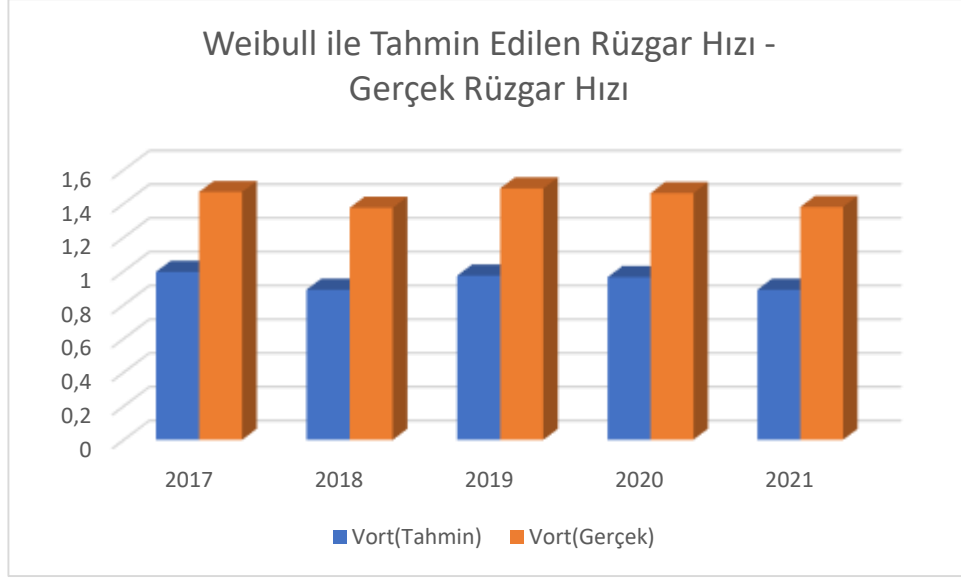
Çizelge 4.4 Adana ili için Weibull dağılımına göre hata metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,42	0,13	0,09	0,10	0,12
R^2	0,87	0,98	0,99	0,99	0,98
MSE	0,18	0,02	0,01	0,01	0,02
MAE	0,21	0,11	0,09	0,08	0,12

Çizelge 4.5’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 1.00 – 0.89 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 1.79 – 2,22 W/m² arasında değişmiştir.

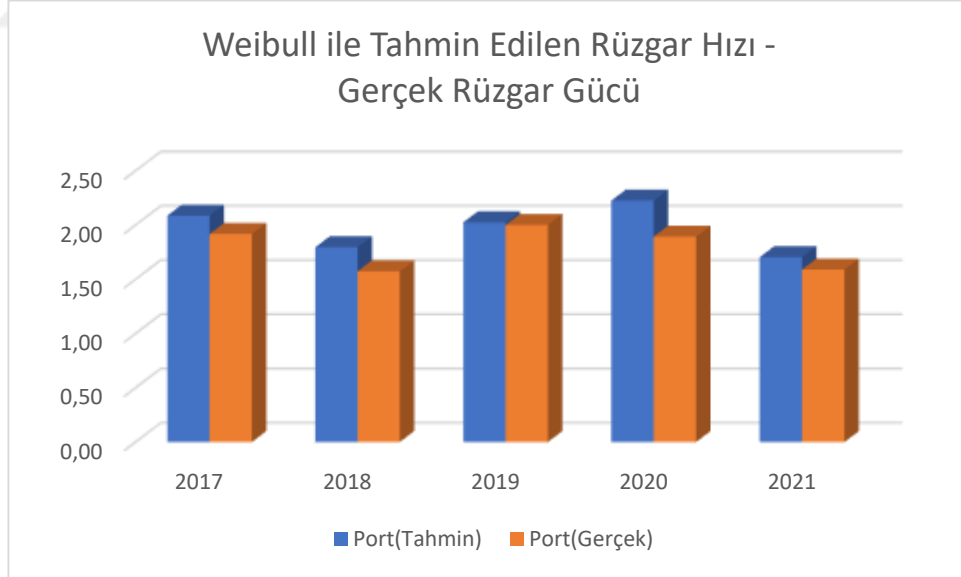
Çizelge 4.5 Adana ili için Weibull dağılımı parametreleri

	ADANA				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,29	1,17	1,26	1,18	1,20
c	1,08	0,94	1,05	1,02	0,95
V_{ort} (Tahmin)	1,00	0,89	0,97	0,96	0,89
V_{ort} (Gerçek)	1,47	1,38	1,49	1,46	1,38
P_{ort} (Tahmin)	2,09	1,79	2,02	2,22	1,70
P_{ort} (Gerçek)	1,92	1,57	2,00	1,89	1,59



Şekil 4.6 Adana ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Adana iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.1.9’da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2018 ve 2021 yılında 0.89 m/s, en yüksek ise 2017 yılında 1.00 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Adana ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Adana ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı ve güç dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.1.10 ve Şekil 4.1.11’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için

Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Ocak ayında 0 m/s, en yüksek ise 2017 yılının Ocak ayında 8.8 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 0,89 m/s olarak 2018 ve 2021 yılında, güç yoğunluğu 1.70 W/m^2 olarak 2021 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 1.49 m/s olarak 2019 yılında, güç yoğunluğu 2.00 W/m^2 olarak 2019 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Adana ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

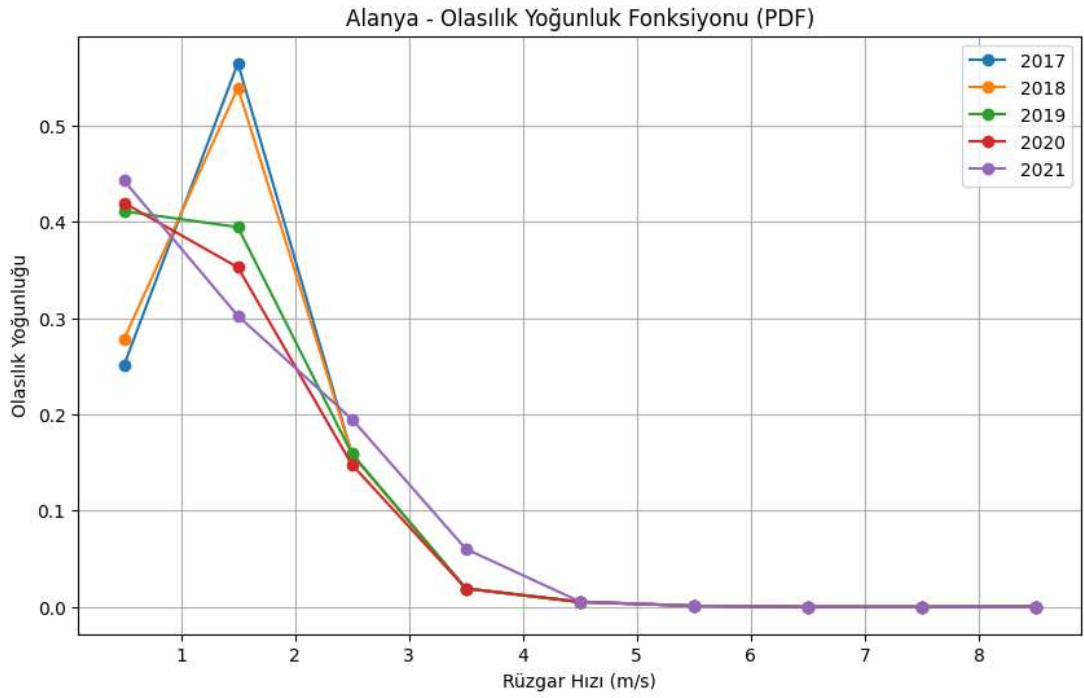
4.2 Alanya İlçesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi

2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.2.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 13108, 8-9 m/s arasında 6, toplam 36475 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 5.1.1’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

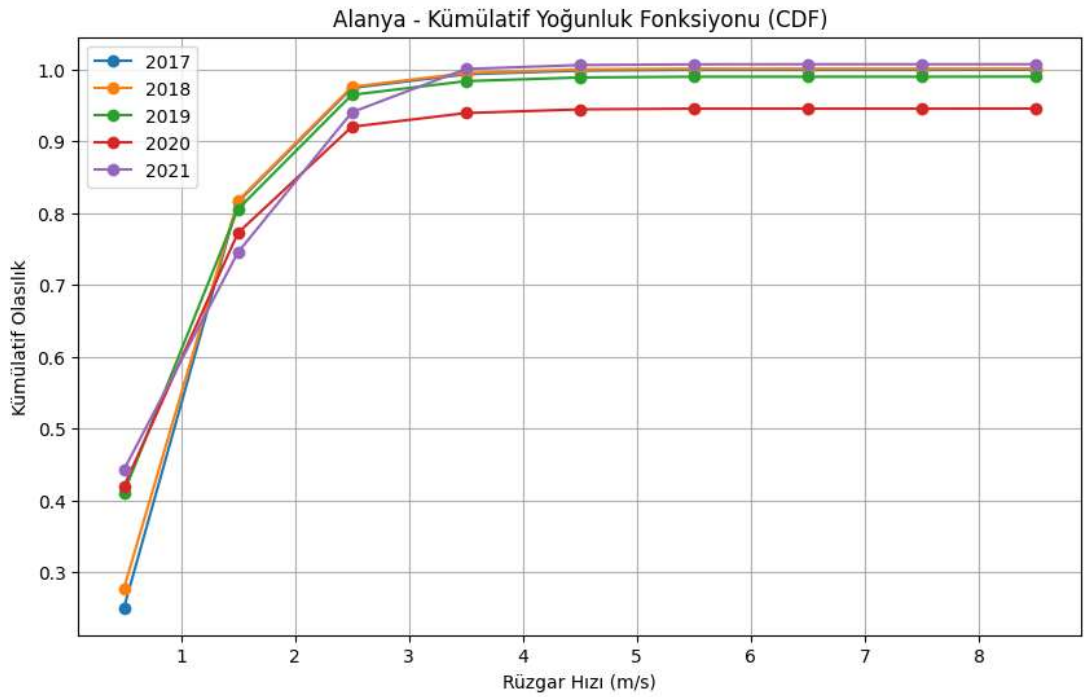
Çizelge 4.6 Alanya ilçesi için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	v_i m/s	$v_i * m/s$	f_i 2017-2021	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	13108	0,359	0,359
2	1-2	1,5	17168	0,471	0,83
3	2-3	2,5	5201	0,143	0,973
4	3-4	3,5	713	0,02	0,992
5	4-5	4,5	185	0,005	0,997
6	5-6	5,5	54	0,001	0,999
7	6-7	6,5	26	7E-04	0,999
8	7-8	7,5	14	4E-04	1
9	8-9	8,5	6	2E-04	1
Toplam			36475		

Alanya ilçesi için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.8’de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.2.3’de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

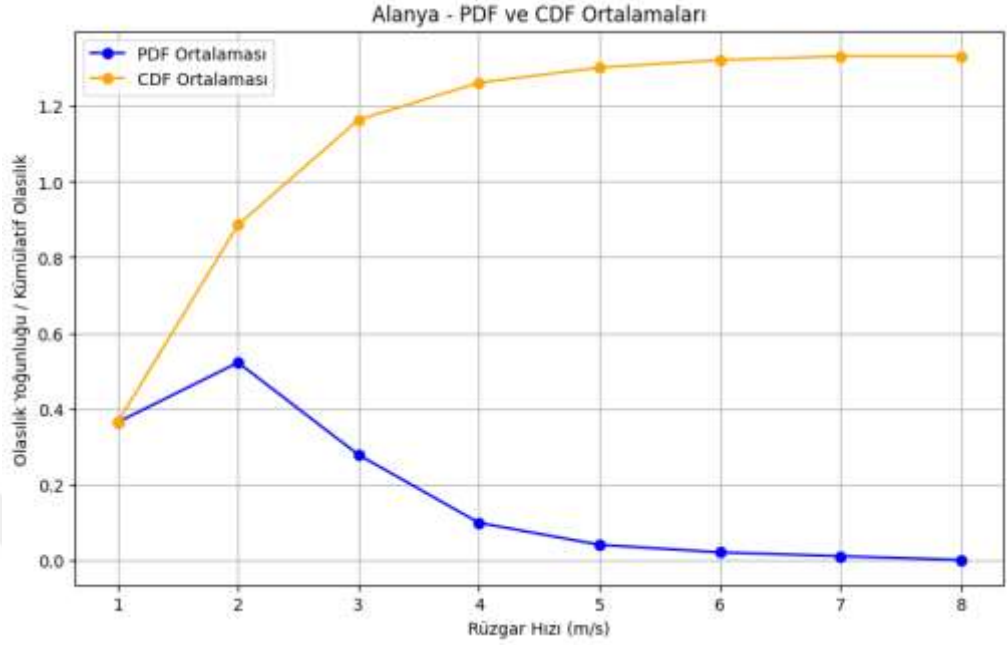


Şekil 4.8 Alanya ilçesi için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.9 Alanya ilçesi için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Beş yıllık süre boyunca toplanan rüzgar hızı verilerinden türetilen olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımları, Şekil 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.10 Alanya ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

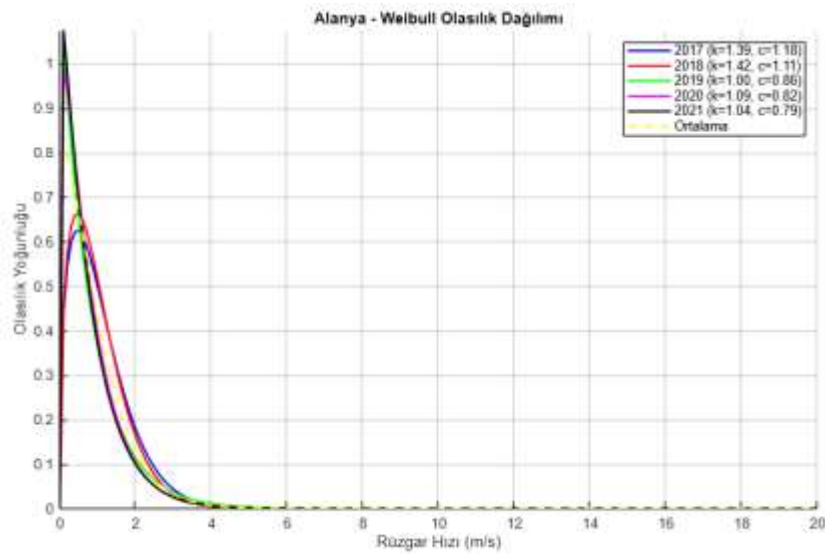
Alanya ilçesi için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.2.5 'de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Ocak ve Haziran aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Şubat ve Ekim aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7 Alanya ilçesi için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	1,67	1,62	0,89	1,71	1,14
	σ	1,02	0,87	1,30	0,85	0,97
ŞUBAT	V_m	1,48	1,37	0,42	1,49	0,59
	σ	0,67	0,60	1,02	0,74	0,69
MART	V_m	1,47	1,46	1,52	1,38	0,51
	σ	0,78	0,77	0,84	0,78	0,80
NİSAN	V_m	1,52	1,30	1,36	1,22	1,30
	σ	1,01	0,60	0,58	0,68	0,86

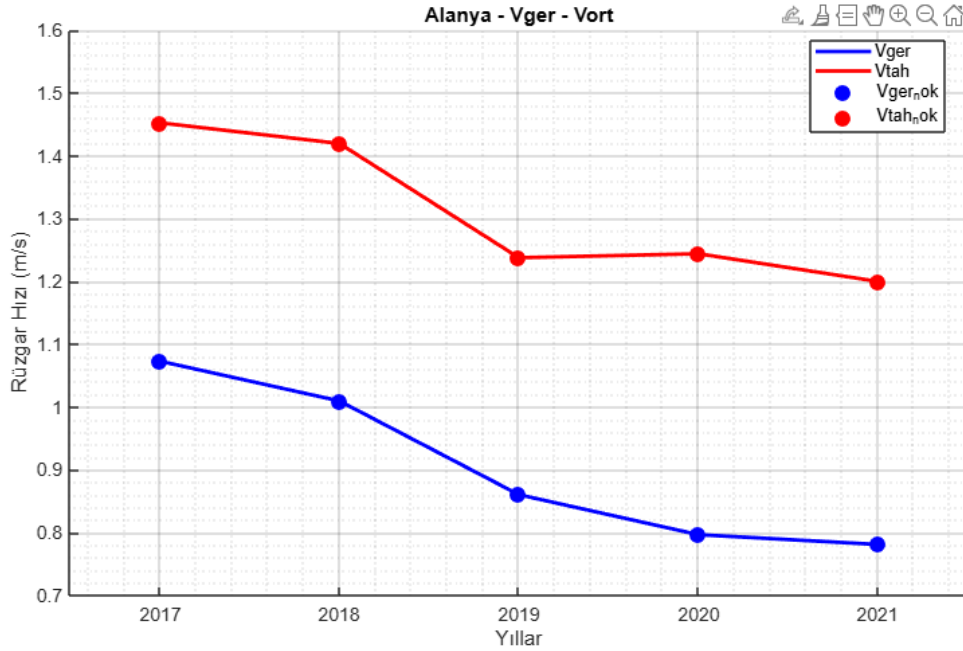
MAYIS	V_m	1,47	1,38	1,16	1,33	1,38
	σ	0,70	0,63	0,68	0,77	0,71
HAZİRAN	V_m	1,43	1,53	1,19	1,28	1,43
	σ	0,68	0,65	0,63	0,71	0,83
TEMMUZ	V_m	1,43	1,54	1,53	1,21	0,98
	σ	0,66	0,67	0,70	0,74	0,80
AĞUSTOS	V_m	1,42	1,47	1,50	1,23	1,16
	σ	0,61	0,68	0,59	0,73	0,75
EYLÜL	V_m	1,43	1,37	1,16	1,14	1,43
	σ	0,62	0,59	0,58	0,66	0,58
EKİM	V_m	1,44	1,09	1,06	0,85	1,40
	σ	0,53	0,60	0,62	0,57	0,51
KASIM	V_m	1,45	1,40	1,01	1,04	1,36
	σ	0,59	0,67	0,58	0,69	0,81
ARALIK	V_m	1,23	1,50	1,36	1,04	1,53
	σ	0,64	0,82	0,85	0,52	0,69
YILLIK	V_m	1,45	1,42	1,24	1,24	1,20
	σ	0,73	0,70	0,79	0,74	0,97

Şekil 4.11’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.75 olarak 2021 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Alanya ilçesi için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.12’de beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.12. Alanya ilçesi için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.8’de Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.87- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında 0.09– 0.42 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.01-0.18 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.08-0.21 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Alanya ilçesi için uygun olduğuna karar verilmiştir.

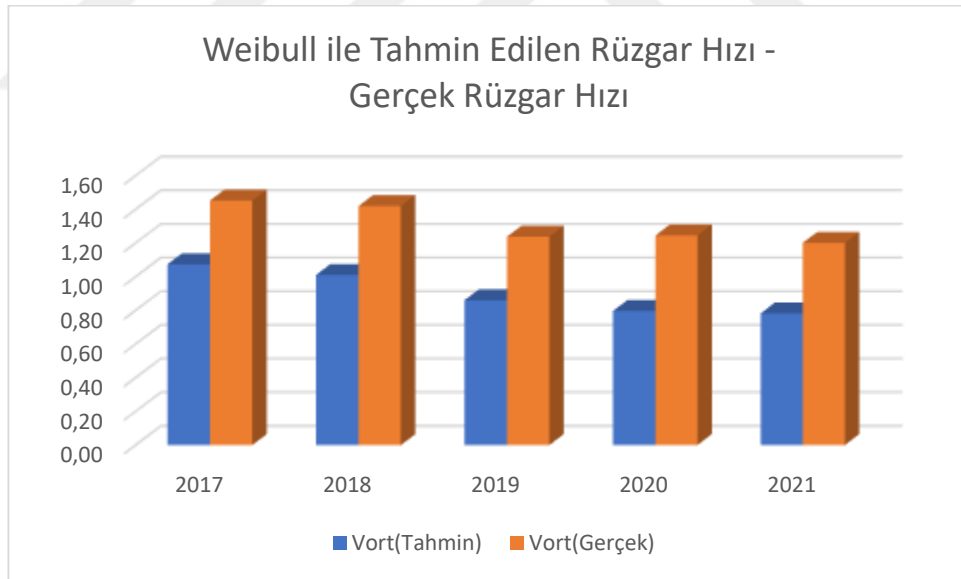
Çizelge 4.8 Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre hata metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,43	0,45	0,13	0,08	0,07
R^2	0,88	0,87	0,98	0,99	0,99
MSE	0,19	0,20	0,02	0,01	0,00
MAE	0,25	0,28	0,11	0,07	0,07

Çizelge 4.9’da Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız ($V_{\max}$) 0.78 – 1.07 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 1.58 – 2,31 W/m^2 arasında değişmiştir.

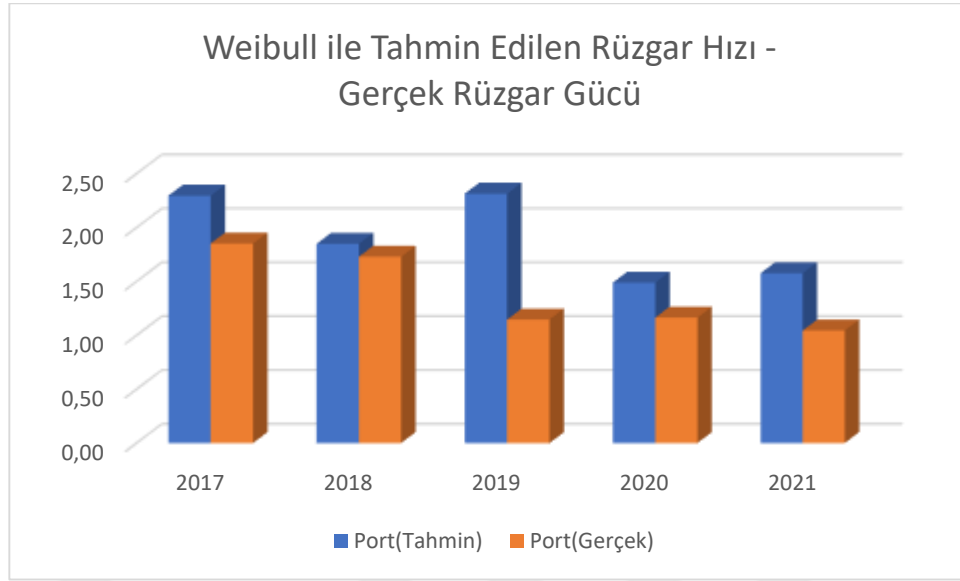
Çizelge 4.9 Alanya ilçesi için Weibull dağılımı parametreleri

	ALANYA				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,39	1,42	1,00	1,09	1,04
c	1,18	1,11	0,86	0,82	0,79
V_{ort} (Tahmin)	1,07	1,01	0,86	0,80	0,78
V_{ort} (Gerçek)	1,45	1,42	1,24	1,24	1,20
P_{ort} (Tahmin)	2,30	1,85	2,31	1,49	1,58
P_{ort} (Gerçek)	1,85	1,73	1,15	1,16	1,04



Şekil 4.13 Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Alanya ilçesine ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hız ve güç değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.2.10 ve Şekil 4.2.11’de gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 0.80 m/s, en yüksek ise 2017 yılında 1.07 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.14 Alanya ilçesi için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Alanya ilçesindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.2.10’da ve 3.2.11’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Mayıs ayında 0 m/s, en yüksek ise 2019 yılının Ocak ayında 9.9 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 0,78 m/s olarak 2021 yılında, güç yoğunluğu 1.49 W/m² olarak 2021 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 1.45 m/s olarak 2017 yılında, güç yoğunluğu 1.85 W /m² olarak 2017 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Alanya ilçesinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

4.3 Ankara İlının Rüzgsar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi

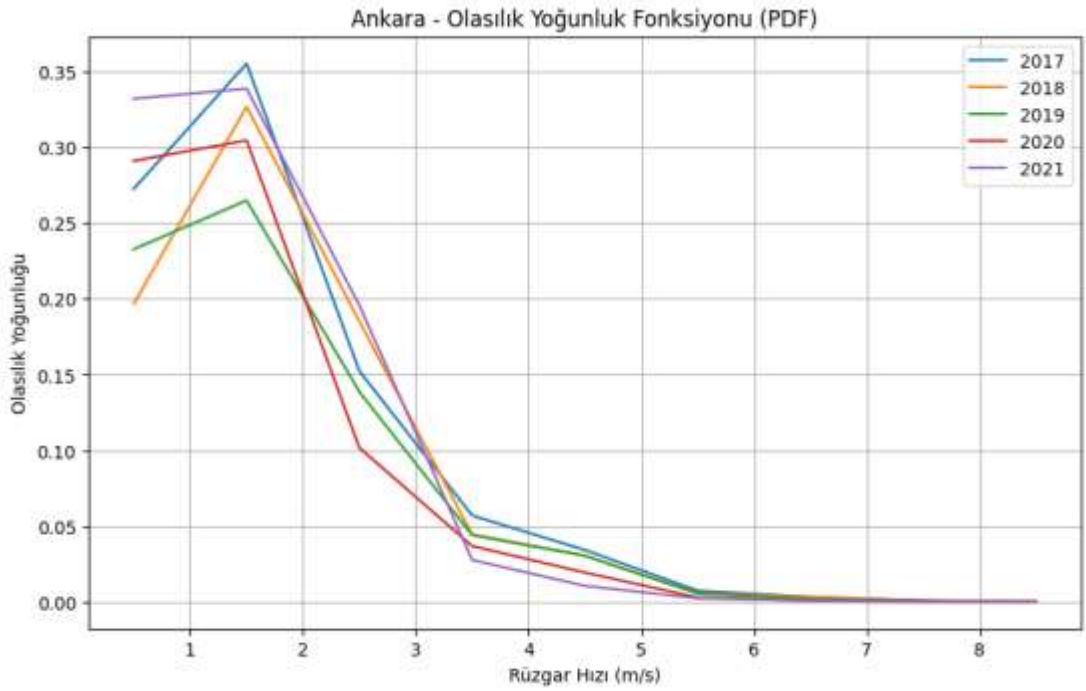
2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.3.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr

frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 10022, 7 – 8 m/s ve 8-9 m/s arasında 38, toplam 37745 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 4.3.1' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

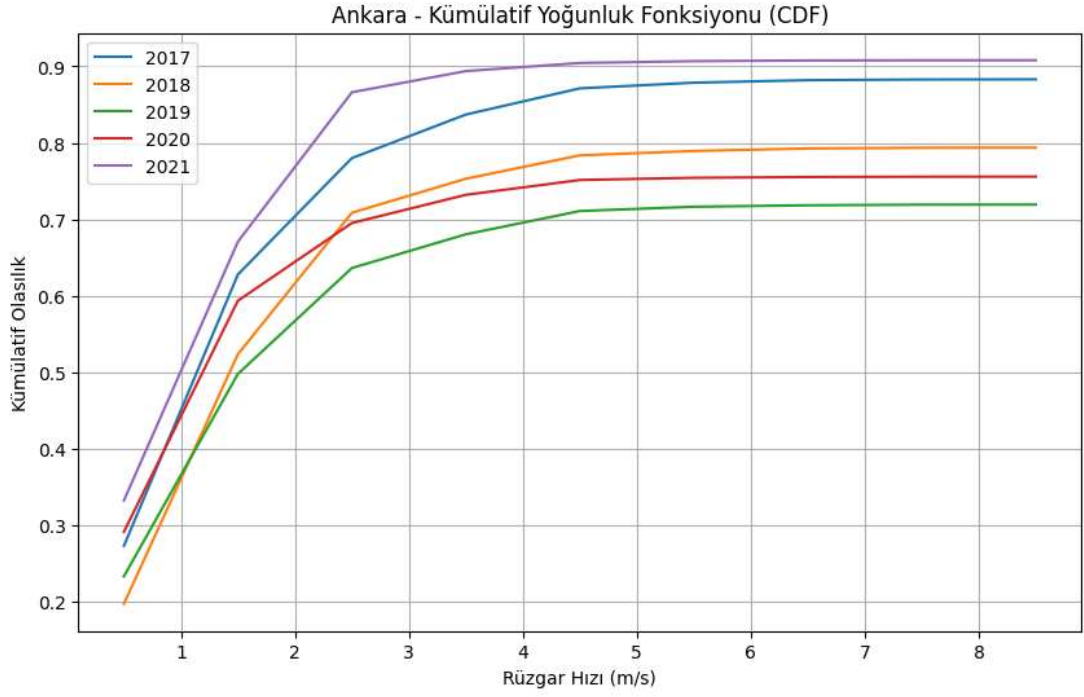
Çizelge 4.10 Ankara ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	v_i m/s	$v_i * m/s$	f_i 2017-2021	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	10022	0,266	0,266
2	1-2	1,5	12050	0,319	0,585
3	2-3	2,5	8428	0,223	0,808
4	3-4	3,5	4439	0,118	0,926
5	4-5	4,5	1804	0,048	0,973
6	5-6	5,5	622	0,016	0,99
7	6-7	6,5	252	0,007	0,997
8	7-8	7,5	90	0,002	0,999
9	8-9	8,5	38	0,001	1
Toplam			37745		

Ankara ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.15'de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.3.3'de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

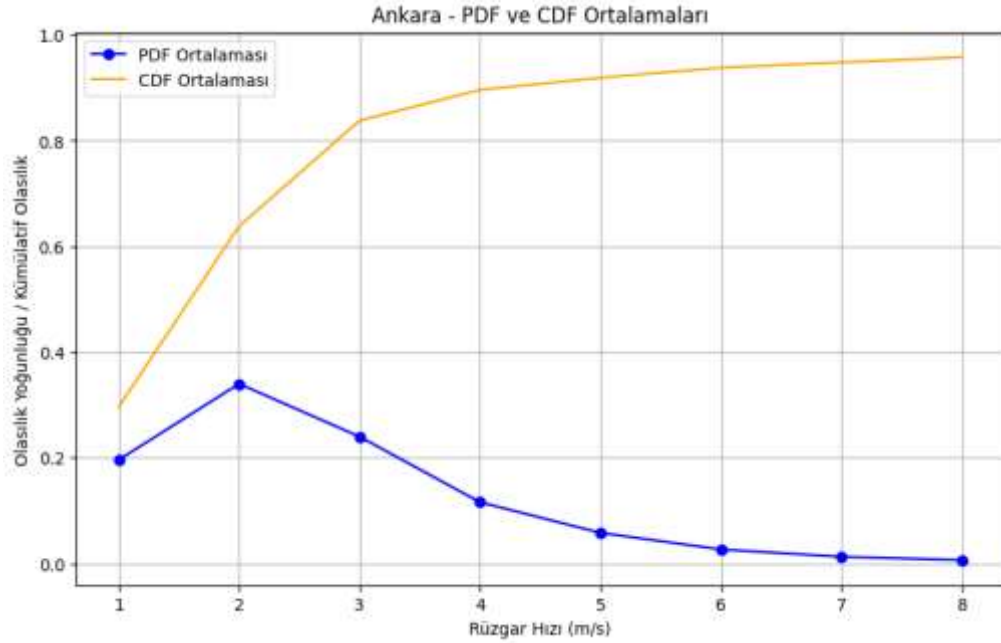


Şekil 4.15 Ankara ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.16 Ankara ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.17, rüzgar hızı verilerinin beş yıllık analizine dayanarak oluşturulan olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımlarını içermektedir.



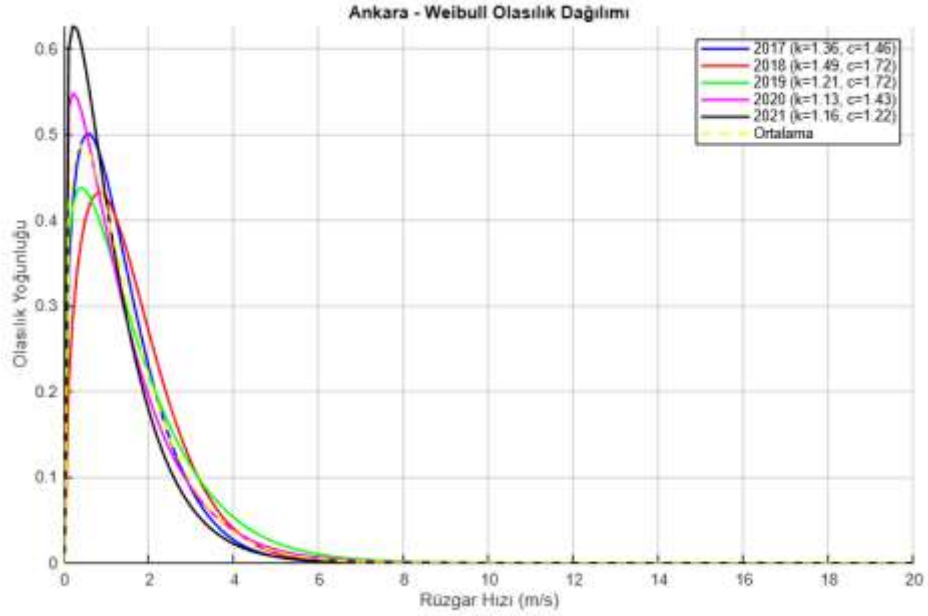
Şekil 4.17 Ankara ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

Ankara ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.3.5 ‘de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11 Ankara ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

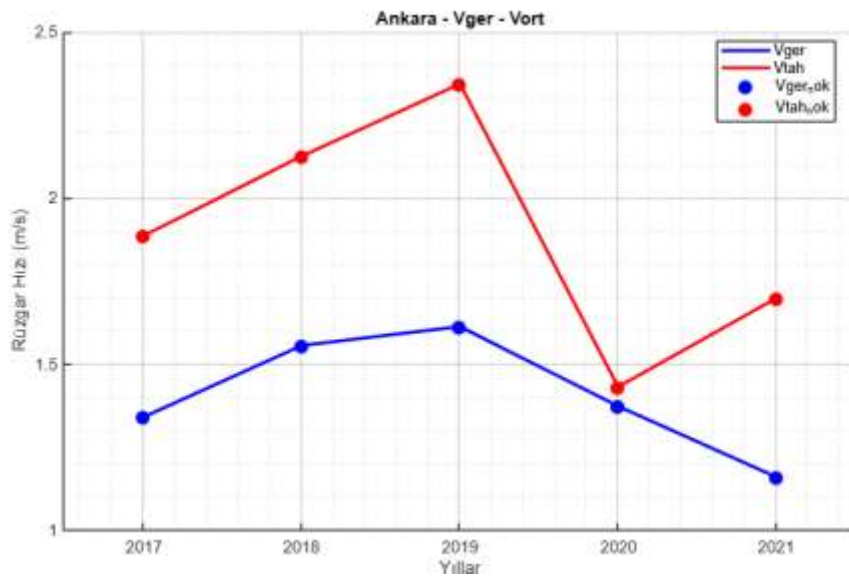
AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	1,67	1,62	0,89	1,71	1,14
	σ	1,02	0,87	1,30	0,85	0,97
ŞUBAT	V_m	1,48	1,37	0,42	1,49	0,59
	σ	0,67	0,60	1,02	0,74	0,69
MART	V_m	1,47	1,46	1,52	1,38	0,51
	σ	0,78	0,77	0,84	0,78	0,80
NİSAN	V_m	1,52	1,30	1,36	1,22	1,30
	σ	1,01	0,60	0,58	0,68	0,86
MAYIS	V_m	1,47	1,38	1,16	1,33	1,38
	σ	0,70	0,63	0,68	0,77	0,71
HAZİRAN	V_m	1,43	1,53	1,19	1,28	1,43
	σ	0,68	0,65	0,63	0,71	0,83
TEMMUZ	V_m	1,43	1,54	1,53	1,21	0,98
	σ	0,66	0,67	0,70	0,74	0,80
AĞUSTOS	V_m	1,42	1,47	1,50	1,23	1,16
	σ	0,61	0,68	0,59	0,73	0,75
EYLÜL	V_m	1,43	1,37	1,16	1,14	1,43
	σ	0,62	0,59	0,58	0,66	0,58
EKİM	V_m	1,44	1,09	1,06	0,85	1,40
	σ	0,53	0,60	0,62	0,57	0,51
KASIM	V_m	1,45	1,40	1,01	1,04	1,36
	σ	0,59	0,67	0,58	0,69	0,81
ARALIK	V_m	1,23	1,50	1,36	1,04	1,53
	σ	0,64	0,82	0,85	0,52	0,69
YILLIK	V_m	1,45	1,42	1,24	1,24	1,20
	σ	0,73	0,70	0,79	0,74	0,97

Şekil 4.18’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.28 olarak 2018 yılı Ağustos ayında elde edilmiştir.



Şekil 4.18 Ankara ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.19’da beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.19 Ankara ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.12’de Ankara ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.84- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.09– 0.52 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.01-0.27 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.08-0.24 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sıfıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Ankara ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

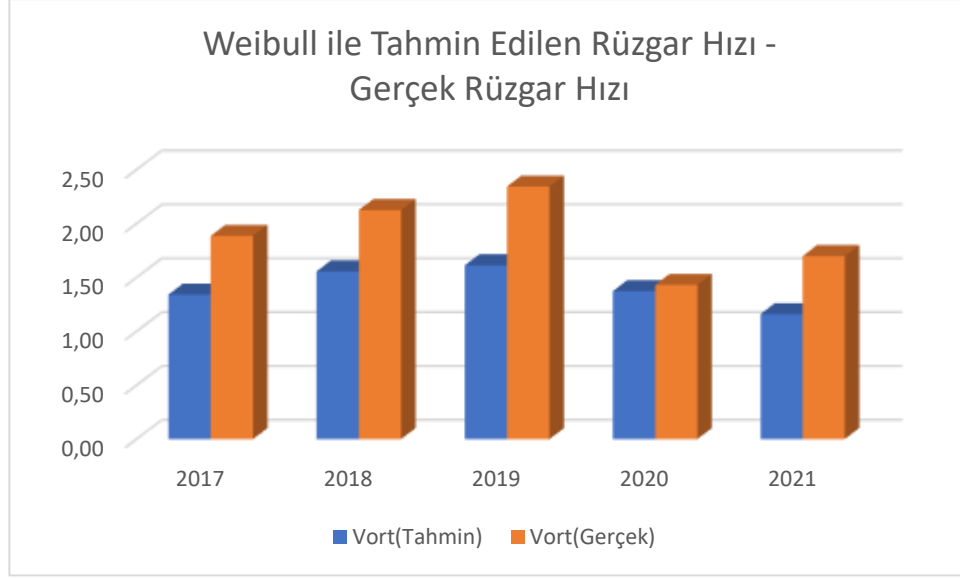
	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,51	0,52	0,11	0,09	0,11
R^2	0,84	0,86	0,99	0,99	0,99
MSE	0,26	0,27	0,01	0,01	0,01
MAE	0,24	0,22	0,10	0,08	0,09

Çizelge 4.12 Ankara ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

Çizelge 4.13’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 1.16 – 1.61 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 4.02 – 10.02 W/m² arasında değişmiştir.

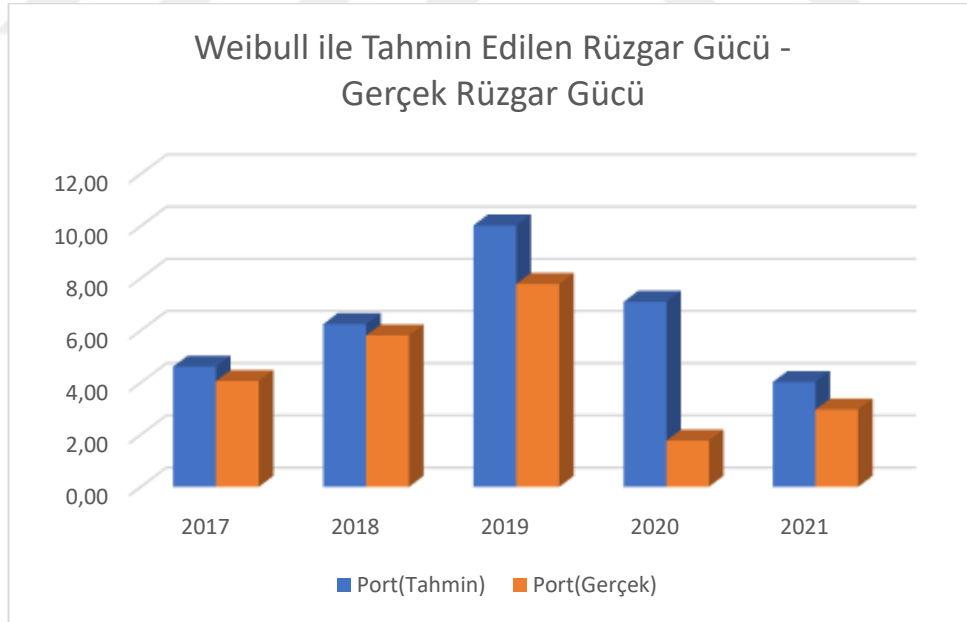
Çizelge 4.13 Ankara ili için Weibull dağılımı parametreleri

	ANKARA				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,36	1,49	1,21	1,13	1,16
c	1,46	1,72	1,72	1,43	1,22
V_{ort} (Tahmin)	1,34	1,56	1,61	1,37	1,16
V_{ort} (Gerçek)	1,89	2,13	2,34	1,43	1,70
P_{ort} (Tahmin)	4,61	6,24	10,02	7,09	4,02
P_{ort} (Gerçek)	4,05	5,81	7,78	1,77	2,96



Şekil 4.20 Ankara ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Ankara iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.3.10'da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2021 yılında 1.70 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.34 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.21 Ankara ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Ankara ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.21'de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı

verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Ocak ayında 0 m/s, en yüksek ise 2019 yılının Mart ayında 9.9 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 1.16 m/s olarak 2021 yılında, güç yoğunluğu 4.02 W/m^2 olarak 2021 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 2.34 m/s olarak 2019 yılında, güç yoğunluğu 7.78 W/m^2 olarak 2019 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Ankara ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

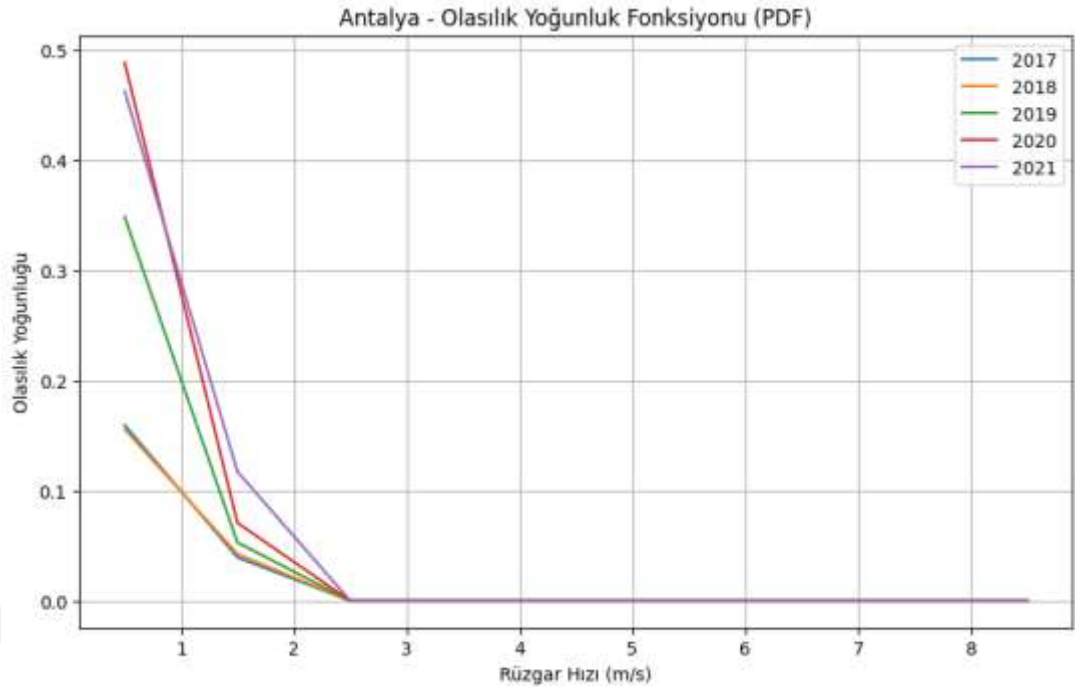
4.4 Antalya İlinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi

2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.4.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 10022, 7 – 8 m/s ve 8-9 m/s arasında 38, toplam 37745 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 4.4.1’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

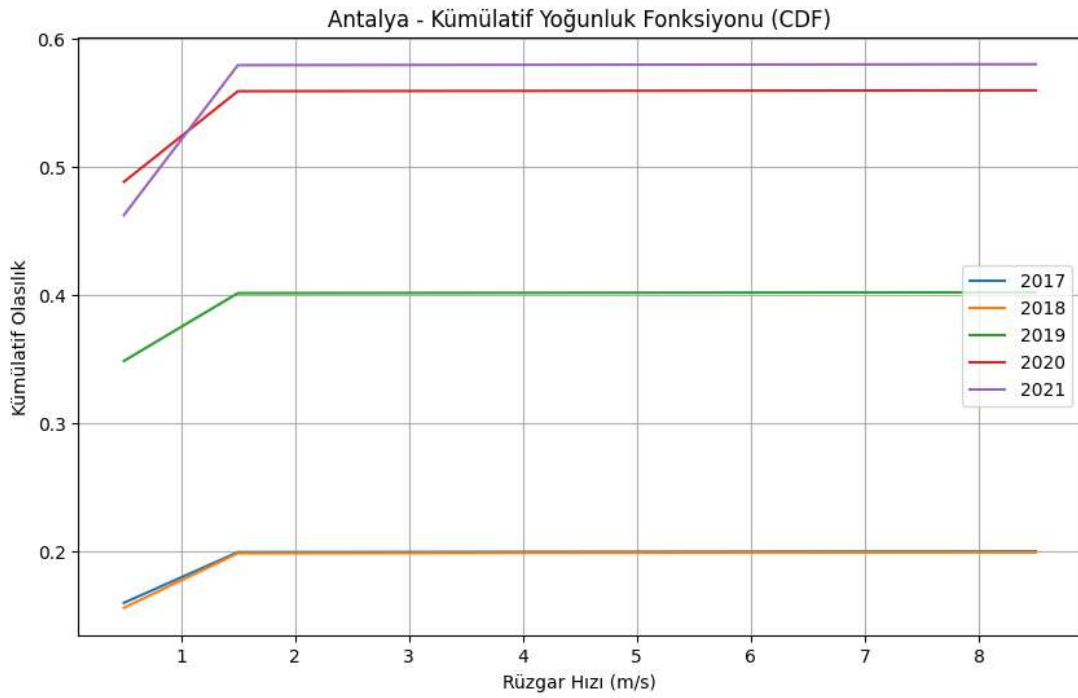
Çizelge 4.14 Antalya ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	$v_i \text{ m/s}$	$v_i * \text{m/s}$	$f_i \text{ 2017-2021}$	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	11957	0,324	0,324
2	1-2	1,5	14452	0,392	0,716
3	2-3	2,5	7162	0,194	0,91
4	3-4	3,5	2435	0,066	0,976
5	4-5	4,5	581	0,016	0,991
6	5-6	5,5	163	0,004	0,996
7	6-7	6,5	75	0,002	0,998
8	7-8	7,5	47	0,001	0,999
9	8-9	8,5	36	1E-03	1
Toplam			36908		

Antalya ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.22’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.4.3’de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

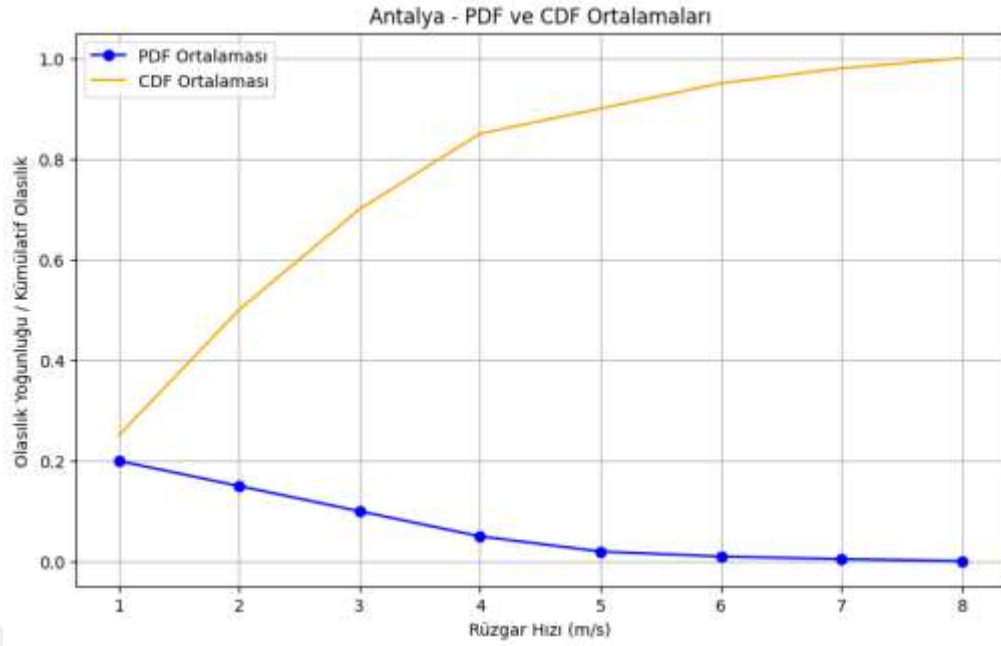


Şekil 4.22 Antalya ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.23 Antalya ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Beş yıllık rüzgâr hızı ölçümlerinden elde edilen olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımları Şekil 4.4.4'te görselleştirilmiştir.



Şekil 4.24 Antalya ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

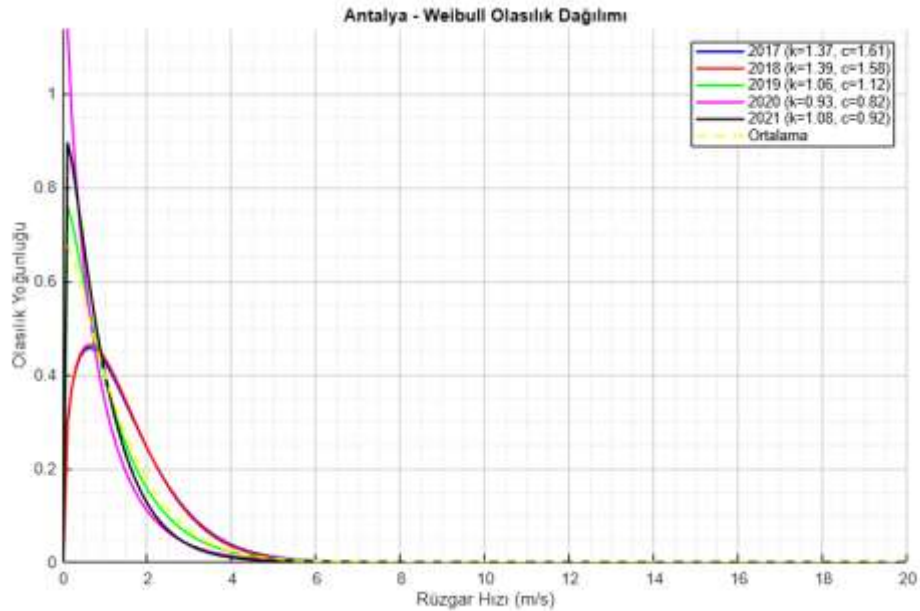
Antalya ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.4.5 ‘de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Ocak ve Mart aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15 Antalya ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	2,31	2,01	2,04	1,51	1,22
	σ	1,43	1,07	1,33	0,94	1,55
ŞUBAT	V_m	1,89	1,87	1,89	1,53	1,39
	σ	0,87	1,04	1,05	1,54	1,52
MART	V_m	1,98	1,95	1,91	1,54	1,47
	σ	1,05	1,04	1,00	1,20	0,93
NİSAN	V_m	1,96	1,68	1,77	1,29	1,31
	σ	1,02	0,83	1,17	0,95	1,04
MAYIS	V_m	1,84	1,71	1,37	1,58	1,24
	σ	1,01	0,85	0,92	1,24	1,02

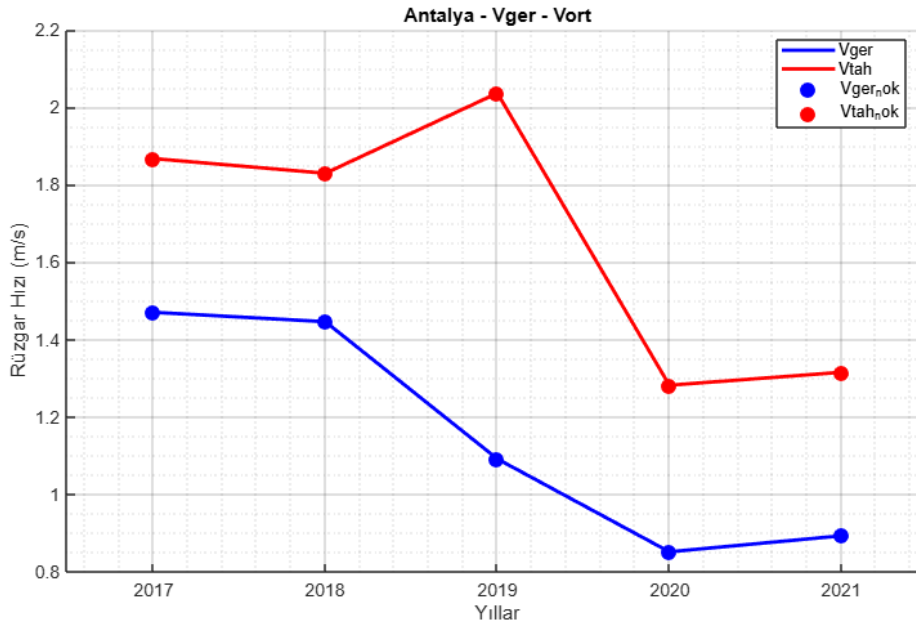
HAZİRAN	V_m	1,78	1,87	1,48	1,28	1,27
	σ	0,95	1,02	0,99	1,04	0,92
TEMMUZ	V_m	1,82	1,95	1,78	1,23	1,29
	σ	0,99	1,04	0,92	1,01	0,82
AĞUSTOS	V_m	1,74	1,74	1,35	1,24	1,24
	σ	0,96	0,93	0,86	0,93	0,78
EYLÜL	V_m	1,74	1,86	1,02	1,21	1,31
	σ	0,90	0,87	0,86	0,85	0,86
EKİM	V_m	1,88	1,58	0,91	0,88	1,20
	σ	0,85	0,95	0,71	0,81	0,64
KASIM	V_m	1,76	1,81	0,87	1,01	1,42
	σ	0,65	0,89	0,84	0,66	1,44
ARALIK	V_m	1,58	2,01	1,07	1,01	1,54
	σ	1,10	0,86	1,07	0,52	1,40
YILLIK	V_m	1,87	1,83	1,47	1,28	1,32
	σ	1,01	0,96	1,06	1,04	1,07

Şekil 4.25’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 2.65 olarak 2021 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.25 Antalya ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.26’da beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.26. Antalya ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.16’da Antalya ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.76- 0.99 arasında olduğu olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.06– 0.51 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.02-0.26 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.05-0.23 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sifıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Antalya ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

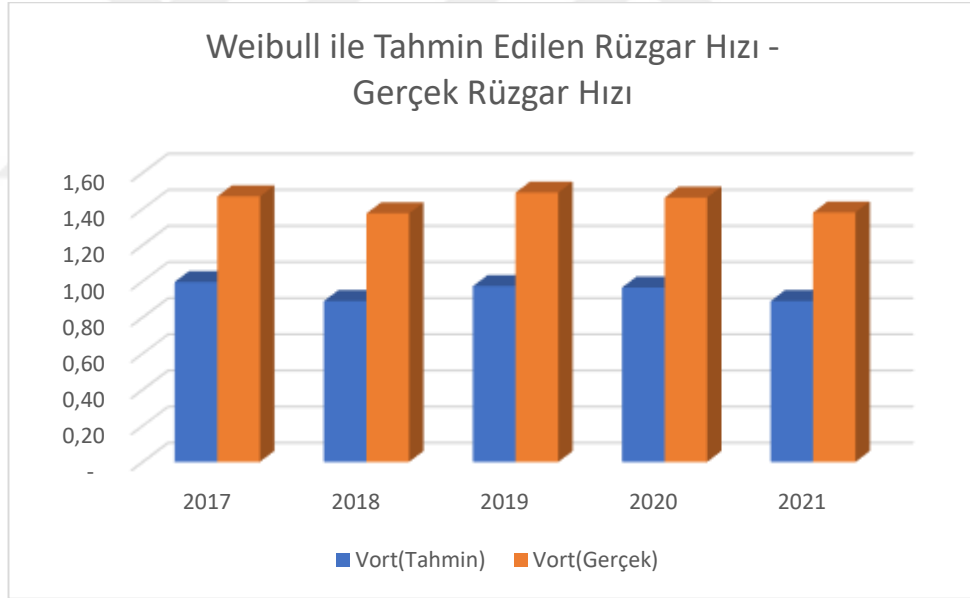
Çizelge 4.16 Antalya ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,13	0,16	0,06	0,06	0,51
R^2	0,99	0,98	1,00	0,99	0,76
MSE	0,02	0,03	0,00	0,00	0,26
MAE	0,12	0,13	0,05	0,05	0,23

Çizelge 4.17’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 0.85 – 1.47 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 1.27 – 5.10 W/m² arasında değişmiştir.

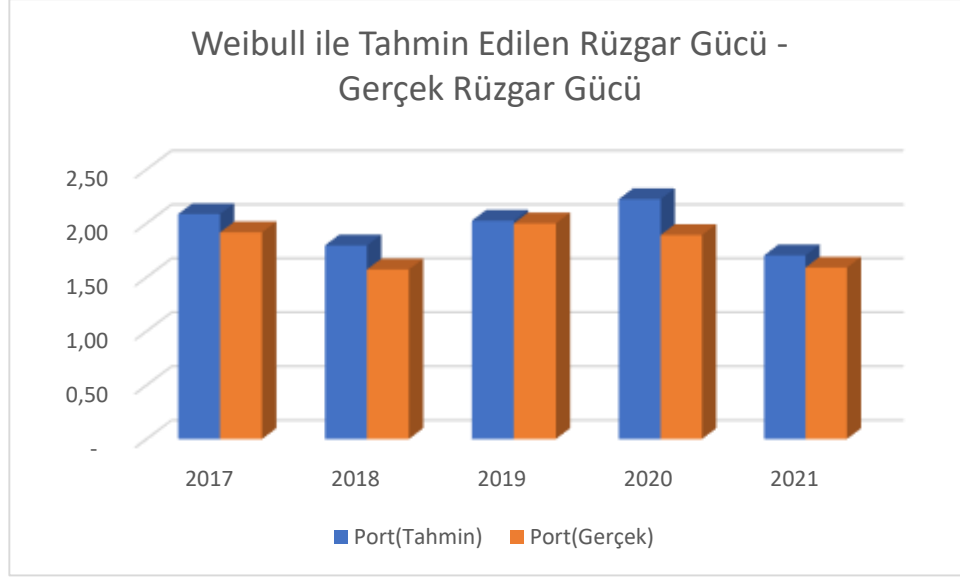
Çizelge 4.17 Antalya ili için Weibull dağılımı parametreleri

	ANTALYA				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,37	1,39	1,06	0,93	1,08
c	1,61	1,58	1,12	0,82	0,92
V_{ort} (Tahmin)	1,47	1,45	1,09	0,85	0,89
V_{ort} (Gerçek)	1,87	1,83	2,04	1,28	1,32
P_{ort} (Tahmin)	6,00	5,60	4,10	2,72	2,14
P_{ort} (Gerçek)	3,93	3,70	5,10	1,27	1,38



Şekil 4.27 Antalya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Antalya iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.4.10’da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 1.28 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.04 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.28 Antalya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Antalya ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.4.11’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Mart ayında 0 m/s, en yüksek ise 2021 yılının Ocak ayında 30 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 0.85 m/s olarak 2020 yılında, güç yoğunluğu 2.14 W/m^2 olarak 2021 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 2.04 m/s olarak 2019 yılında, güç yoğunluğu 5.60 W/m^2 olarak 2018 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Antalya ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

4.5 Çanakkale ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

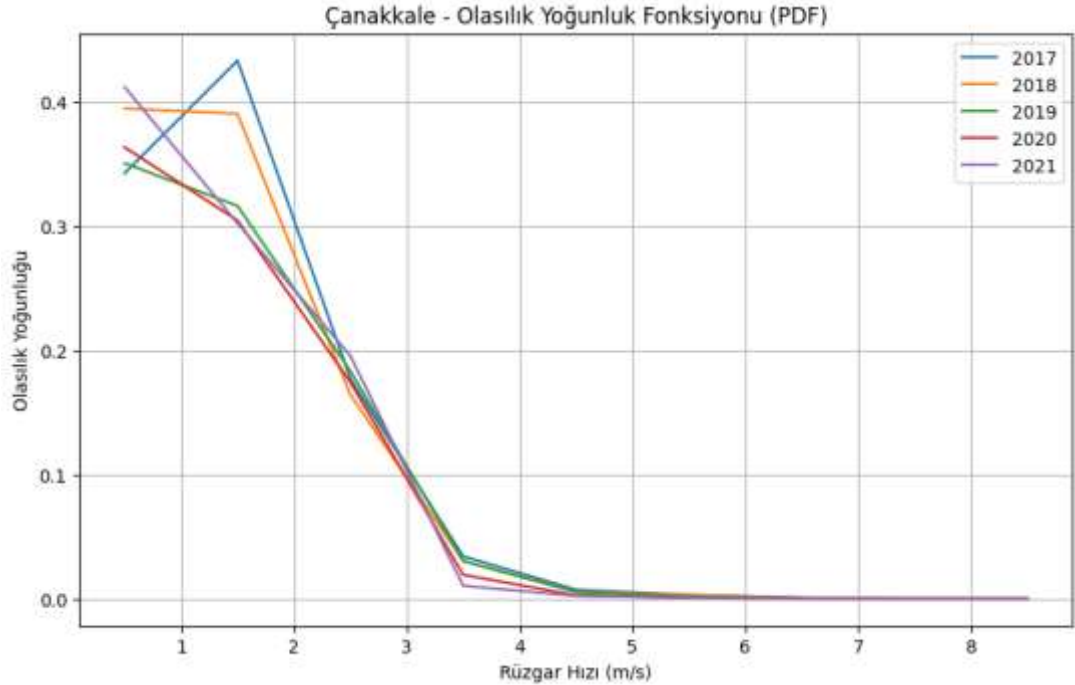
2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.5.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 2209, 8-9 m/s arasında 491, toplam 37653

adet ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.18' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

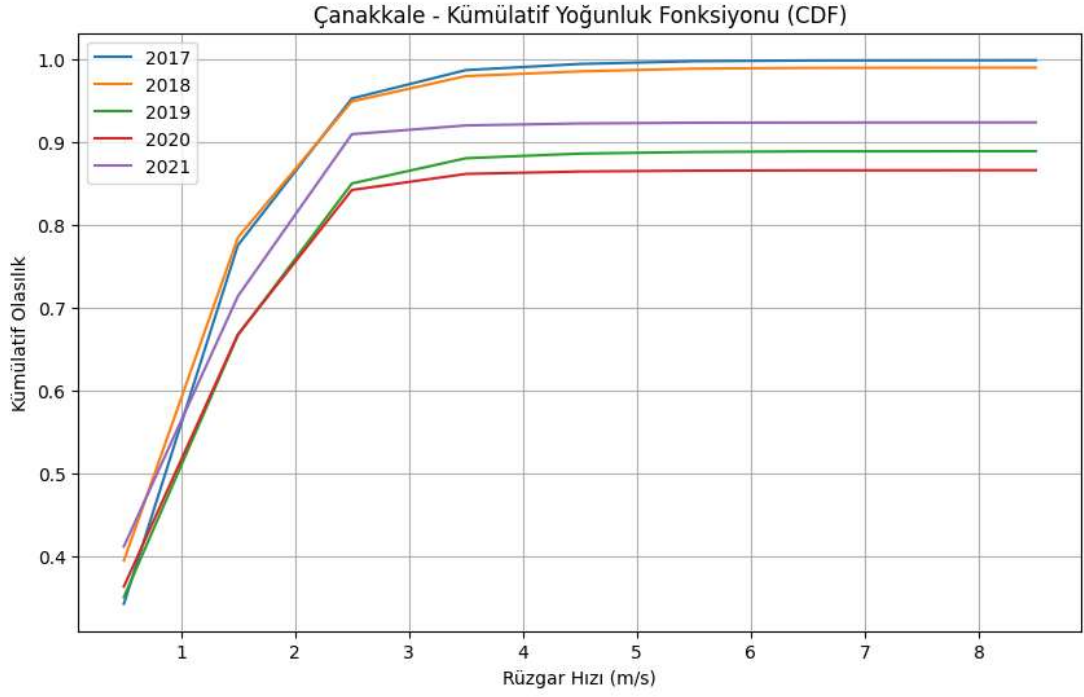
Çizelge 4.18 Çanakkale ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	v_i m/s	$v_i * m/s$	f_i 2017-2021	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	2209	0,059	0,059
2	1-2	1,5	10043	0,267	0,325
3	2-3	2,5	7824	0,208	0,533
4	3-4	3,5	5827	0,155	0,688
5	4-5	4,5	5032	0,134	0,822
6	5-6	5,5	3425	0,091	0,913
7	6-7	6,5	1901	0,05	0,963
8	7-8	7,5	901	0,024	0,987
9	8-9	8,5	491	0,013	1
Toplam			37653		

Çanakkale ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.29' da, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.5.3'de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

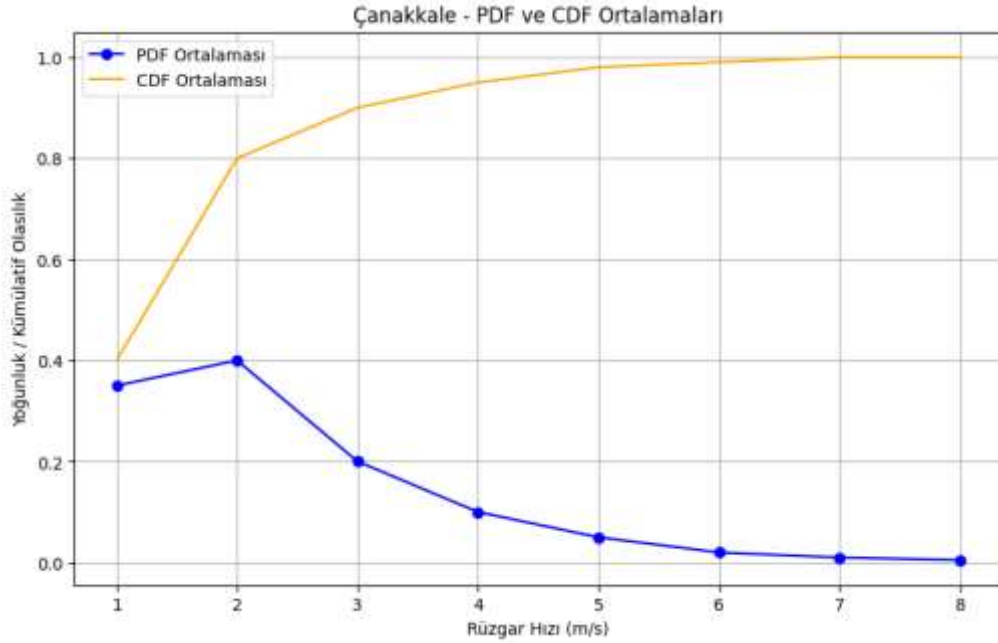


Şekil 4.29 Çanakkale ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.30 Çanakkale ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.31, rüzgar hızı verilerinin beş yıllık periyoduna ait olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımlarını yansıtmaktadır.



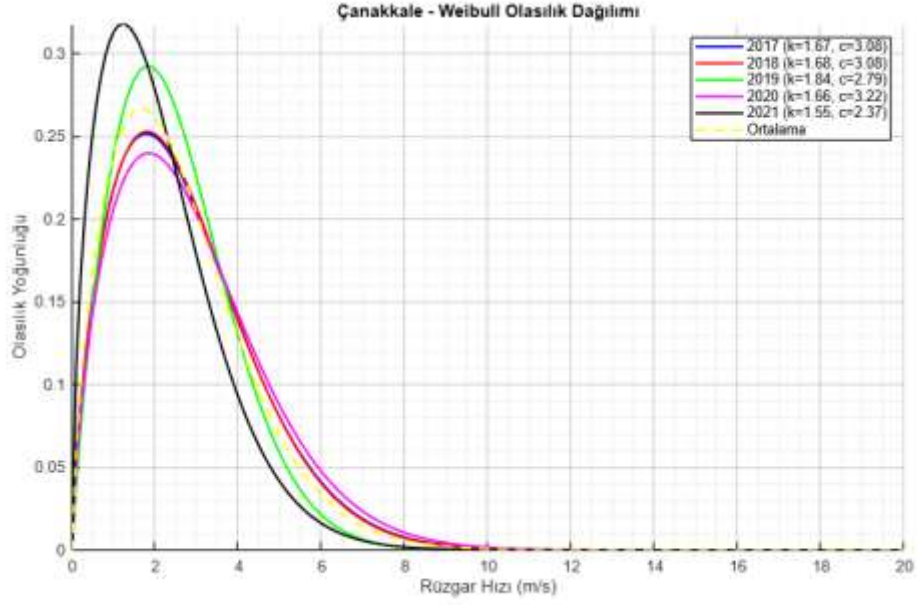
Şekil 4.31 Çanakkale ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

Çanakkale ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.19’da verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Kasım ve Aralık aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19 Çanakkale ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

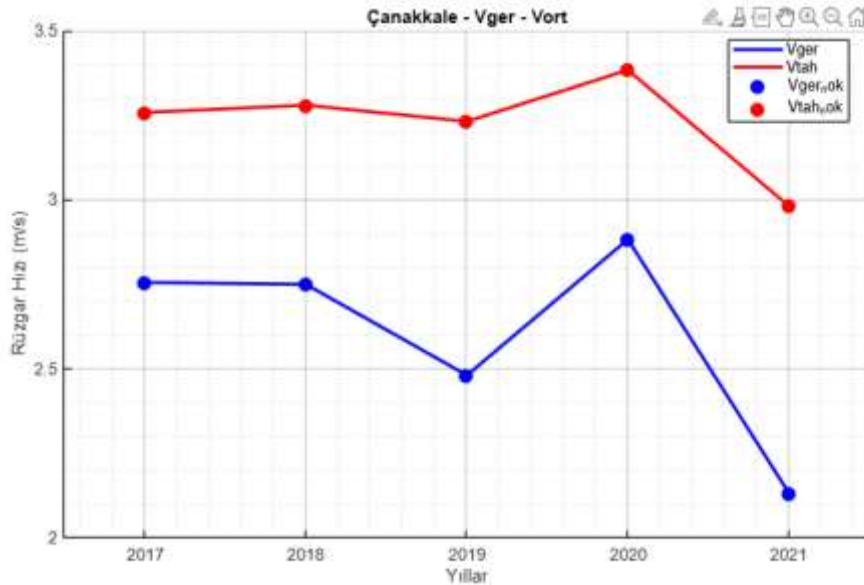
AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	3,40	3,27	3,64	3,53	4,20
	σ	1,65	1,94	2,07	2,05	2,62
ŞUBAT	V_m	3,85	3,59	3,88	3,49	4,10
	σ	2,14	1,94	2,23	2,20	2,89
MART	V_m	3,27	3,79	3,89	3,54	3,07
	σ	1,79	2,40	2,10	2,05	1,76
NİSAN	V_m	2,92	2,87	3,03	3,63	3,05
	σ	1,89	1,64	1,73	1,91	1,87
MAYIS	V_m	3,29	3,06	3,03	2,99	3,08
	σ	1,83	1,48	2,03	1,88	1,94
HAZİRAN	V_m	2,58	3,02	2,89	2,97	1,96
	σ	1,27	1,71	1,61	1,87	1,15
TEMMUZ	V_m	3,64	2,62	3,08	3,99	2,64
	σ	1,78	1,35	1,59	1,61	1,43
AĞUSTOS	V_m	3,82	3,95	3,85	3,48	2,35
	σ	1,63	1,65	1,58	1,62	1,46
EYLÜL	V_m	3,10	3,39	3,32	3,83	2,73
	σ	1,92	1,77	1,64	1,72	1,61
EKİM	V_m	2,69	3,21	2,72	2,48	2,67
	σ	1,65	1,60	1,72	1,81	1,39
KASIM	V_m	2,67	3,63	2,85	3,44	2,76
	σ	1,70	1,99	2,30	1,74	2,03
ARALIK	V_m	4,00	2,73	2,73	3,68	3,79
	σ	2,58	1,53	2,01	2,27	2,54
YILLIK	V_m	3,26	3,28	3,23	3,38	2,98
	σ	1,89	1,81	1,92	1,91	1,96

Şekil 4.32’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.42 olarak 2021 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.32 Çanakkale ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.33’de beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.33. Çanakkale ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.20’de Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.77- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.11– 0.70 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.01-0.49 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.09-0.29 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sıfıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Çanakkale ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

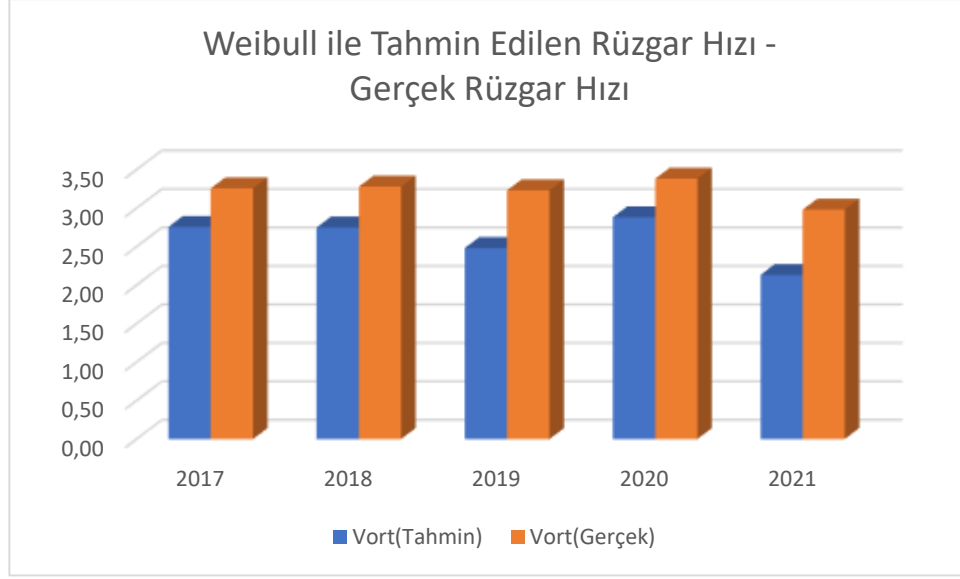
Çizelge 4.20 Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,20	0,11	0,67	0,12	0,70
R^2	0,98	0,99	0,84	0,99	0,77
MSE	0,04	0,01	0,45	0,01	0,49
MAE	0,12	0,09	0,29	0,10	0,29

Çizelge 4.21’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 2.13 – 2.88 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 15.12 – 34.25 W/m² arasında değişmiştir.

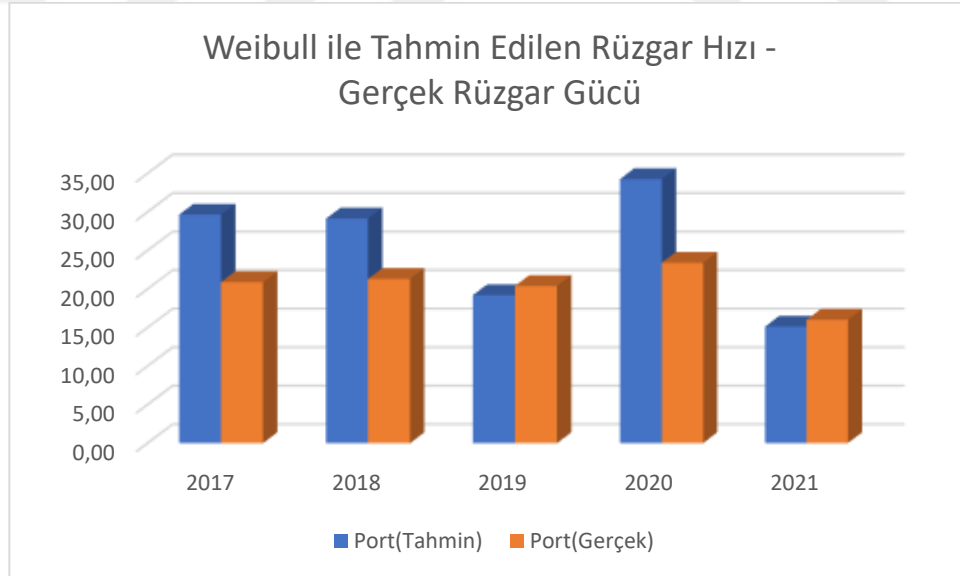
Çizelge 4.21 Çanakkale ili için Weibull dağılımı parametreleri

	ÇANAKKALE				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,67	1,68	1,84	1,66	1,55
c	3,08	3,08	2,79	3,22	2,37
V_{ort} (Tahmin)	2,75	2,75	2,48	2,88	2,13
V_{ort} (Gerçek)	3,26	3,28	3,23	3,38	2,98
P_{ort} (Tahmin)	29,65	29,14	19,21	34,25	15,12
P_{ort} (Gerçek)	20,89	21,30	20,38	23,40	16,01



Şekil 4.34 Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Çanakkale iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.5.10'da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 1.28 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.04 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.35 Çanakkale ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Çanakkale ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.35’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Ocak ayında 0 m/s, en yüksek ise 2017 yılının Ocak ayında 9.9 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.49 m/s olarak 2019 yılında, güç yoğunluğu 15.12 W/m² olarak 2021 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 3.38 m/s olarak 2020 yılında, güç yoğunluğu 23.40 W /m² olarak 2020 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Çanakkale ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

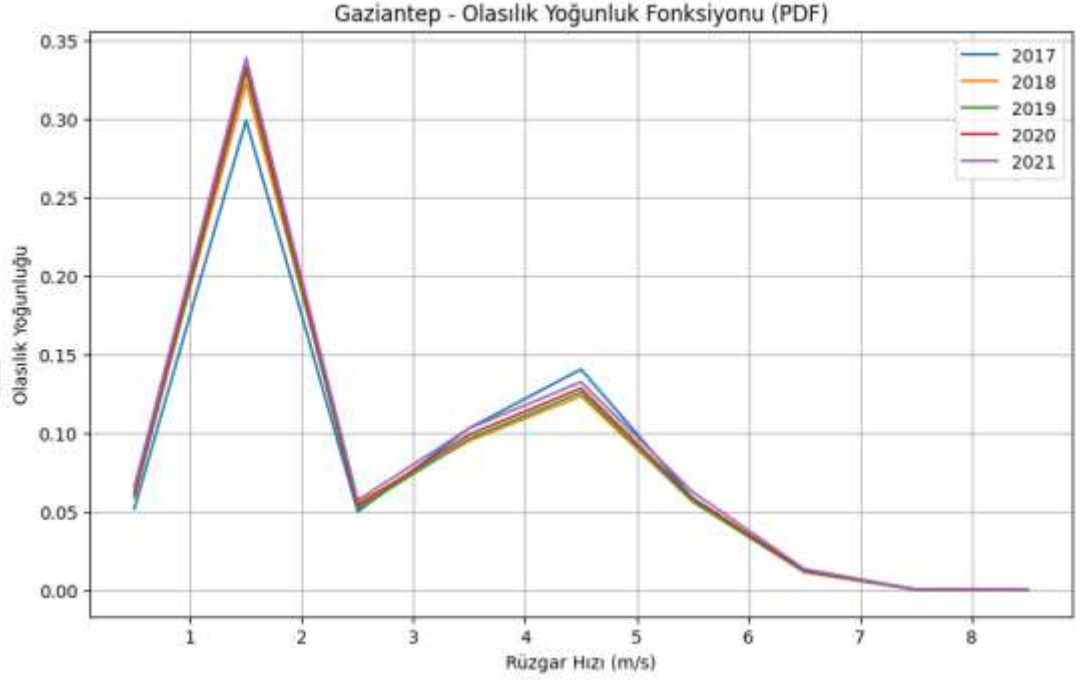
4.6 Gaziantep ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.6.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 24620 ,8-9 m/s arasında 0, toplam 38870 adet ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.22’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 0 – 1 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

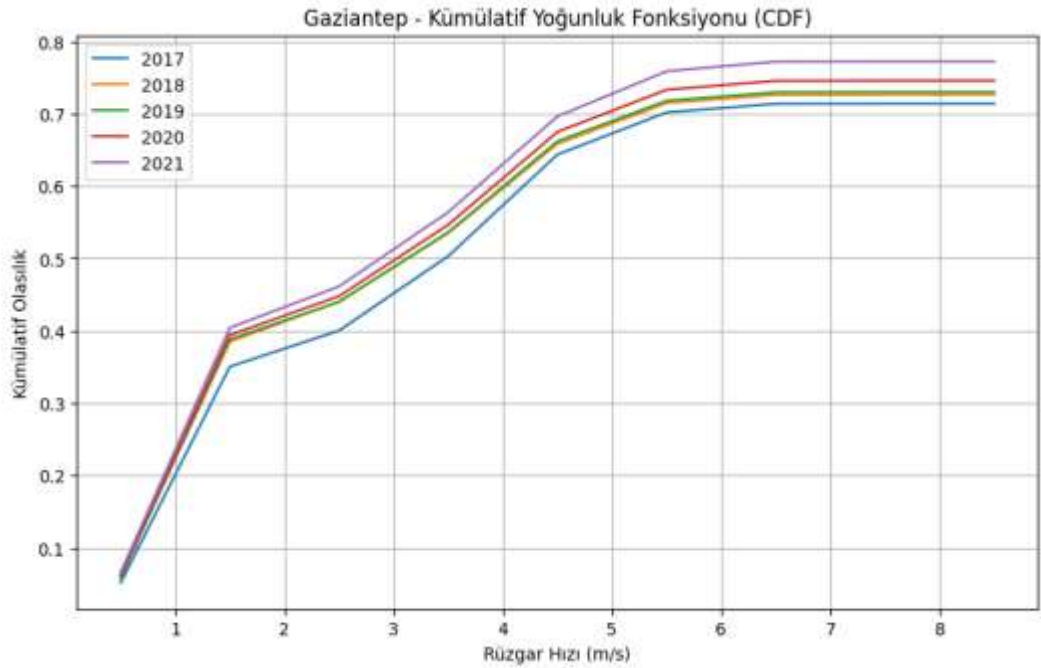
Çizelge 4.22 Gaziantep ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	v_i m/s	v_i * m/s	f_i 2017-2021	p(v_i)	P(v_i)
1	0-1	0,5	24620	0,633	0,633
2	1-2	1,5	12199	0,314	0,947
3	2-3	2,5	1966	0,051	0,998
4	3-4	3,5	81	0,002	1
5	4-5	4,5	2	5E-05	1
6	5-6	5,5	1	3E-05	1
7	6-7	6,5	1	3E-05	1
8	7-8	7,5	0	0	1
9	8-9	8,5	0	0	1
Toplam			38870		

Gaziantep ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.35’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.6.3’de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

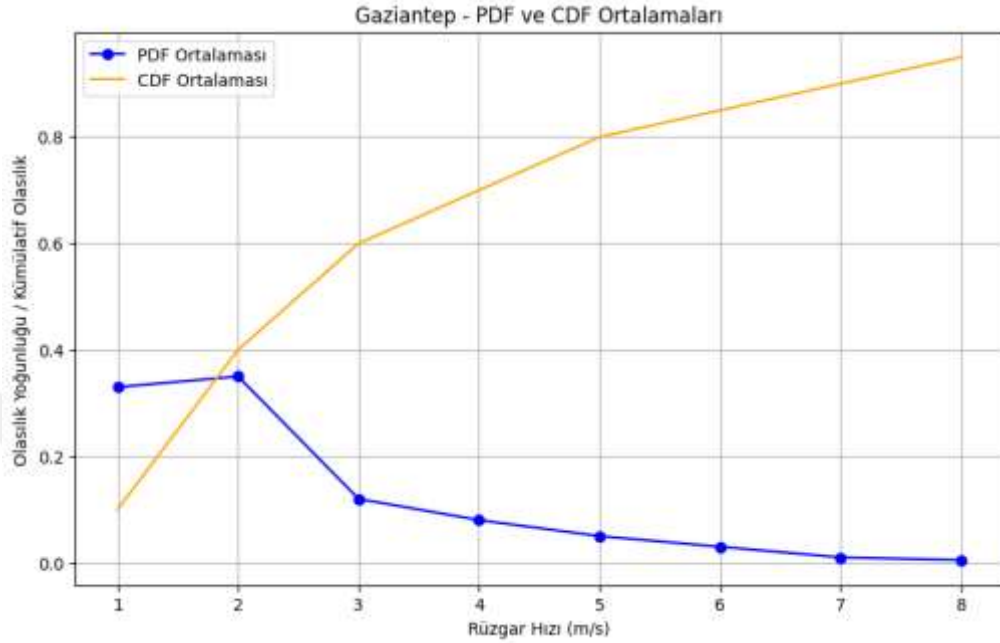


Şekil 4.35 Gaziantep ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.36 Gaziantep ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Beş yıl boyunca toplanan rüzgar hızı verilerinden hesaplanan olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımları, Şekil 4.37'de grafiksel olarak temsil edilmiştir.



Şekil 4.37 Gaziantep ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

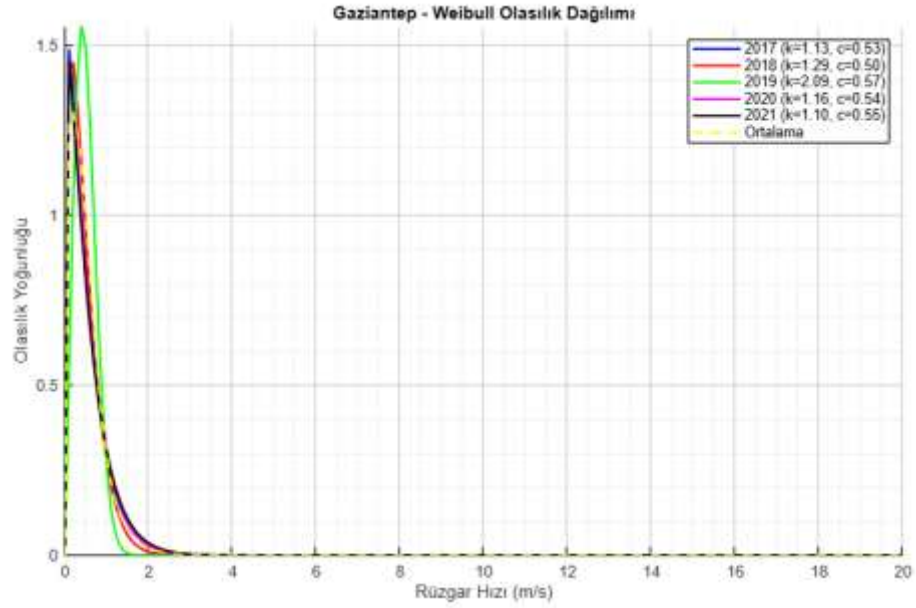
Gaziantep ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.23 'de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Haziran ve Temmuz aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.23 Gaziantep ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	0,72	0,75	0,83	0,91	0,67
	σ	0,50	0,51	0,59	0,67	0,76
ŞUBAT	V_m	0,74	0,63	0,70	0,89	0,69
	σ	0,56	0,53	0,55	0,62	0,50
MART	V_m	0,91	0,92	0,97	0,95	1,00
	σ	0,60	0,68	0,65	0,63	0,76

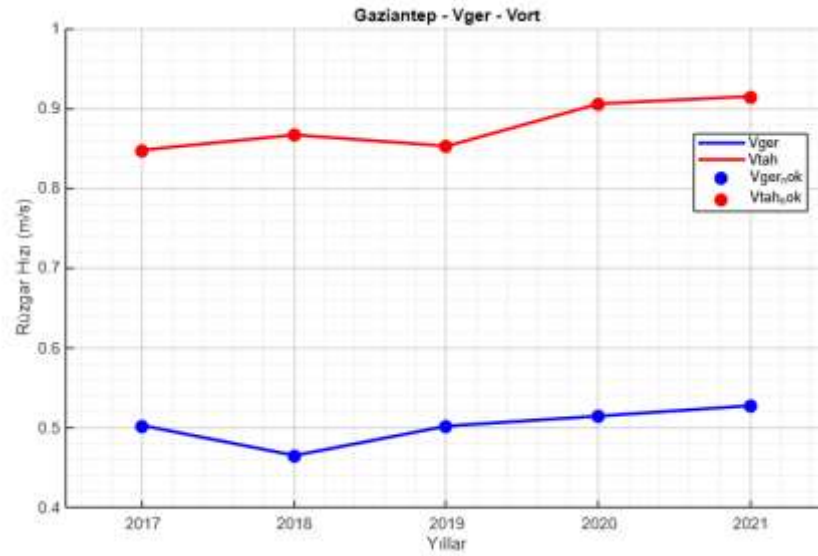
NİSAN	V_m	0,94	0,88	0,87	0,88	1,04
	σ	0,69	0,64	0,60	0,61	0,70
MAYIS	V_m	1,03	0,75	0,90	1,06	1,15
	σ	0,71	0,55	0,57	0,71	0,65
HAZİRAN	V_m	1,23	1,17	1,08	1,25	1,32
	σ	0,63	0,69	0,58	0,70	0,65
TEMMUZ	V_m	1,19	1,32	1,27	1,07	1,29
	σ	0,56	0,55	0,54	0,54	0,56
AĞUSTOS	V_m	0,95	1,18	1,06	1,14	0,97
	σ	0,52	0,54	0,55	0,53	0,47
EYLÜL	V_m	0,78	0,80	0,80	0,83	1,01
	σ	0,58	0,54	0,44	0,56	0,57
EKİM	V_m	0,60	0,55	0,54	0,49	0,72
	σ	0,58	0,45	0,48	0,35	0,59
KASIM	V_m	0,46	0,59	0,43	0,51	0,45
	σ	0,49	0,51	0,33	0,42	0,39
ARALIK	V_m	0,49	0,77	0,68	0,77	0,63
	σ	0,39	0,55	0,52	0,45	0,47
YILLIK	V_m	0,85	0,87	0,85	0,91	0,91
	σ	0,63	0,62	0,59	0,62	0,64

Şekil 4.38’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 1.42 olarak 2019 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.38 Gaziantep ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.39’da beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.39. Gaziantep ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.24’de Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.66- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri 0.10 – 0.87 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.01 -0.76 arasında değiştiği, MAE

değerlerinin ise 0.10 - 0.63 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1'e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sıfıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Gaziantep ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

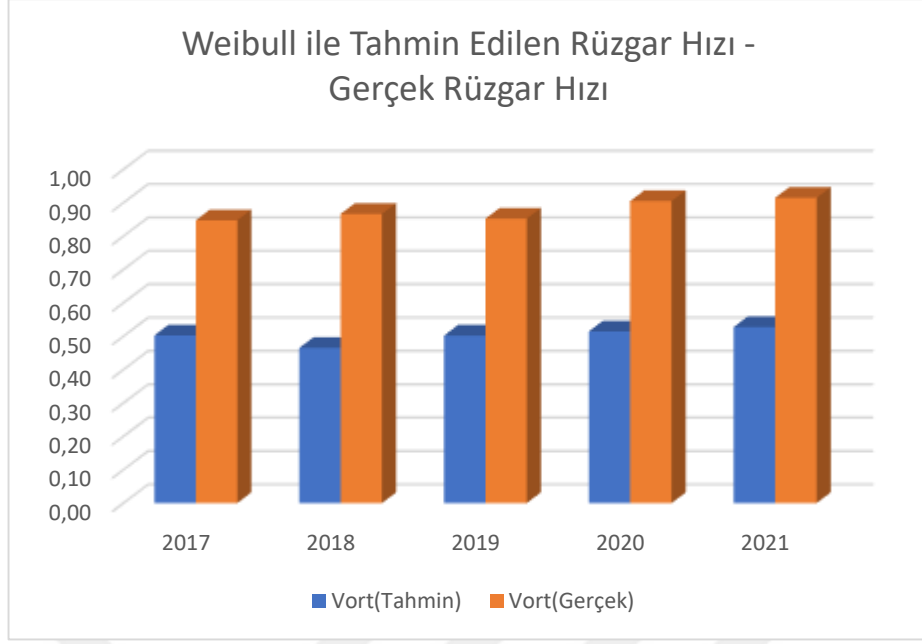
Çizelge 4.24 Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,40	0,10	0,87	0,14	0,10
R^2	0,84	0,99	0,66	0,97	0,98
MSE	0,16	0,01	0,76	0,02	0,01
MAE	0,24	0,10	0,63	0,14	0,10

Çizelge 4.25’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 0.47 – 0.53 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 0.14 – 0.42 W/m² arasında değişmiştir.

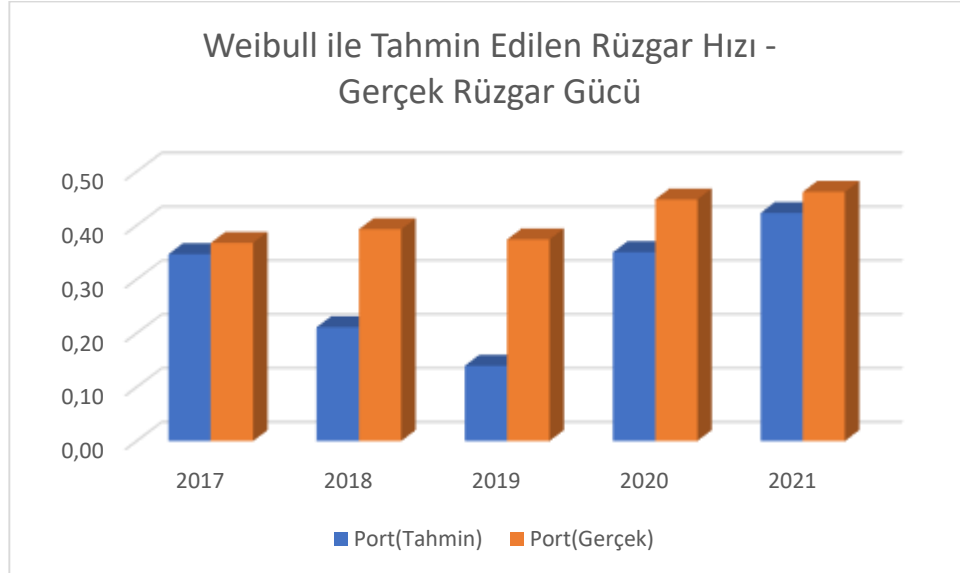
Çizelge 4.25 Gaziantep ili için Weibull dağılımı parametreleri

	GAZİANTEP				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,13	1,29	2,09	1,16	1,10
c	0,53	0,50	0,57	0,54	0,55
V_{ort} (Tahmin)	0,50	0,47	0,50	0,51	0,53
V_{ort} (Gerçek)	0,85	0,87	0,85	0,91	0,91
P_{ort} (Tahmin)	0,35	0,21	0,14	0,35	0,42
P_{ort} (Gerçek)	0,37	0,39	0,37	0,45	0,46



Şekil 4.40 Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Gaziantep iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.6.10'da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2018 yılında 0.47 m/s, en yüksek ise 2021 yılında 0.53 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.41 Gaziantep ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Gaziantep ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.6.11’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Ocak ayında 0 m/s, en yüksek ise 2021 yılının Ocak ayında 15 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 0.47 m/s olarak 2018 yılında, güç yoğunluğu 0.14 W/m^2 olarak 2019 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 15 m/s olarak 2021 yılında, güç yoğunluğu 0.46 W /m^2 olarak 2021 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Gaziantep ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

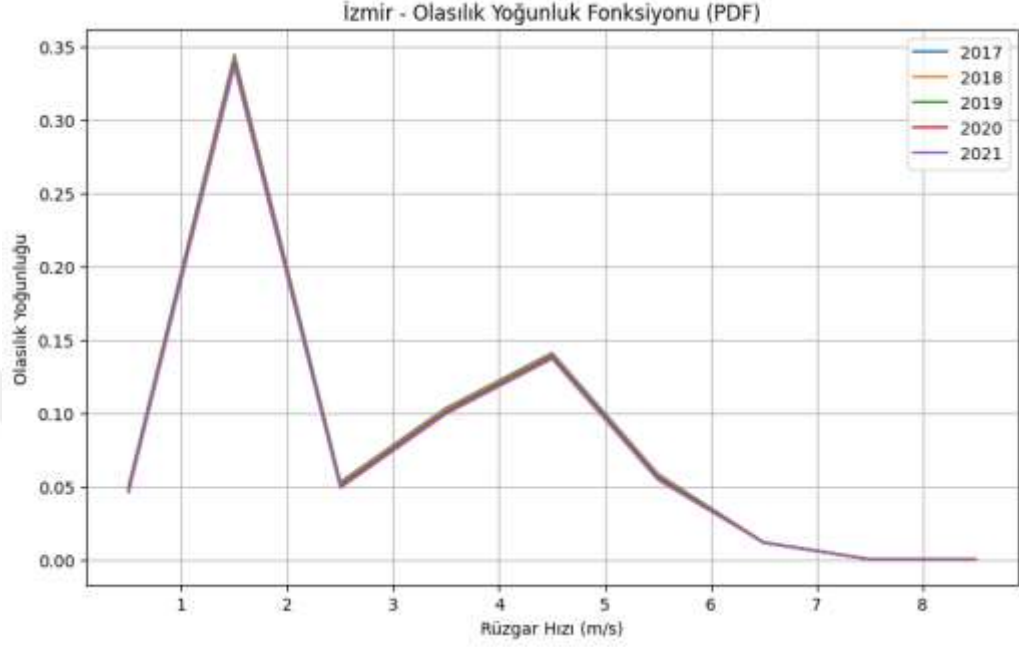
4.7 İzmir ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Çizelge 4.26’ da frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 2047 ,8-9 m/s arasında 53, toplam 37295 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 4.7.1’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

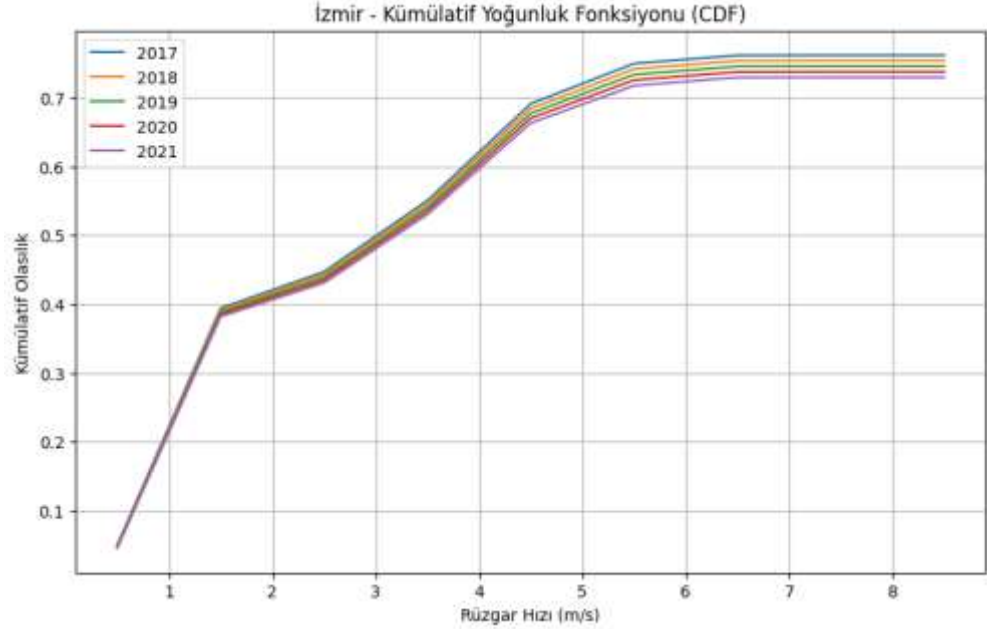
Çizelge 4.26 İzmir ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	$v_i \text{ m/s}$	$v_i * \text{ m/s}$	$f_i \text{ 2017-2021}$	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	2047	0,055	0,055
2	1-2	1,5	10491	0,281	0,336
3	2-3	2,5	9510	0,255	0,591
4	3-4	3,5	7270	0,195	0,786
5	4-5	4,5	4912	0,132	0,918
6	5-6	5,5	2275	0,061	0,979
7	6-7	6,5	588	0,016	0,995
8	7-8	7,5	149	0,004	0,999
9	8-9	8,5	53	0,001	1
Toplam			37295		

İzmir ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.42’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.7.3’de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

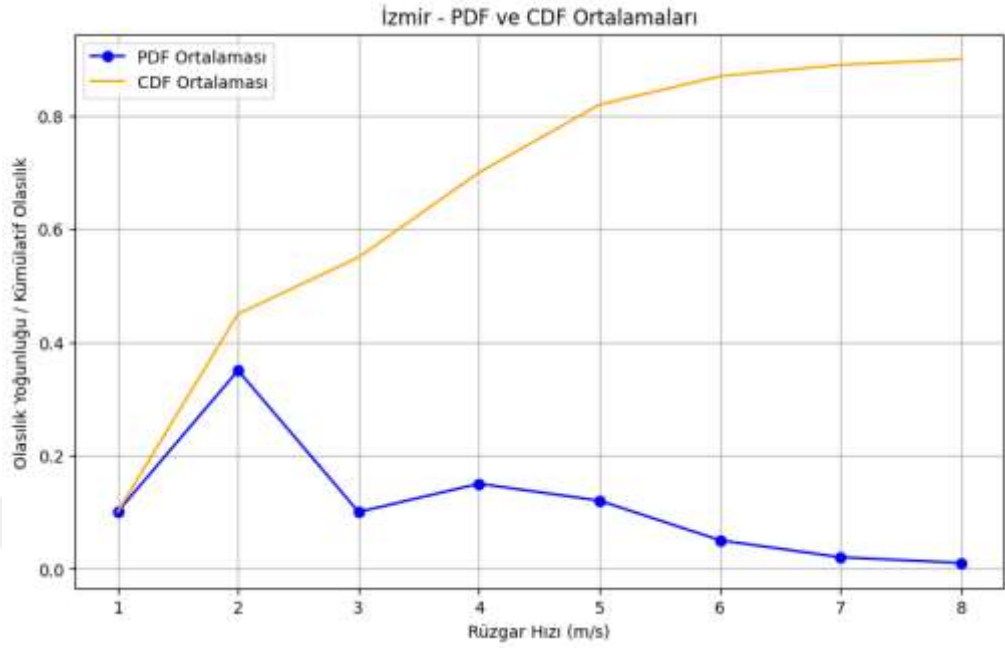


Şekil 4.42 İzmir ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.43 İzmir ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.44, beş yıllık zaman diliminde kaydedilen rüzgar hızı verilerine dayalı olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımlarını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.44 İzmir ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

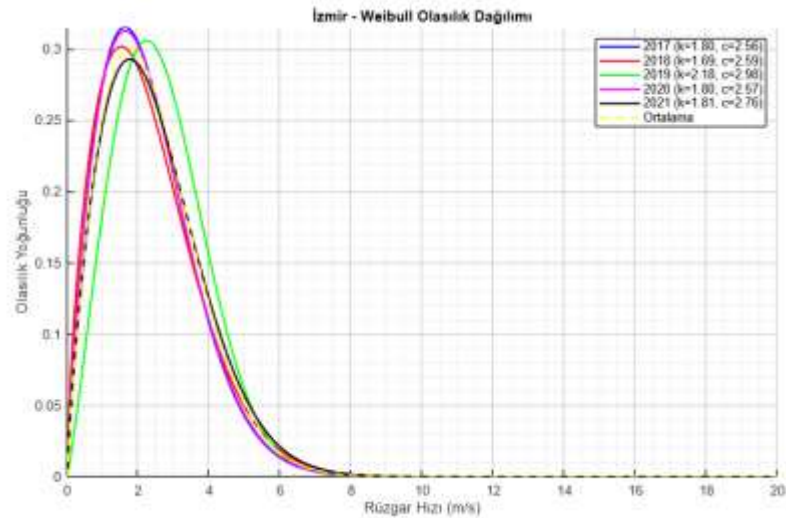
İzmir ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.27 'de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.27 İzmir ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	2,82	2,83	3,01	2,75	3,34
	σ	1,48	1,70	1,38	1,47	1,50
ŞUBAT	V_m	3,10	2,59	2,91	3,18	3,06
	σ	1,47	1,41	1,56	1,57	1,83
MART	V_m	2,36	3,49	3,11	2,81	2,81
	σ	1,13	1,55	1,43	1,41	1,29
NİSAN	V_m	2,63	2,34	2,85	2,78	3,19

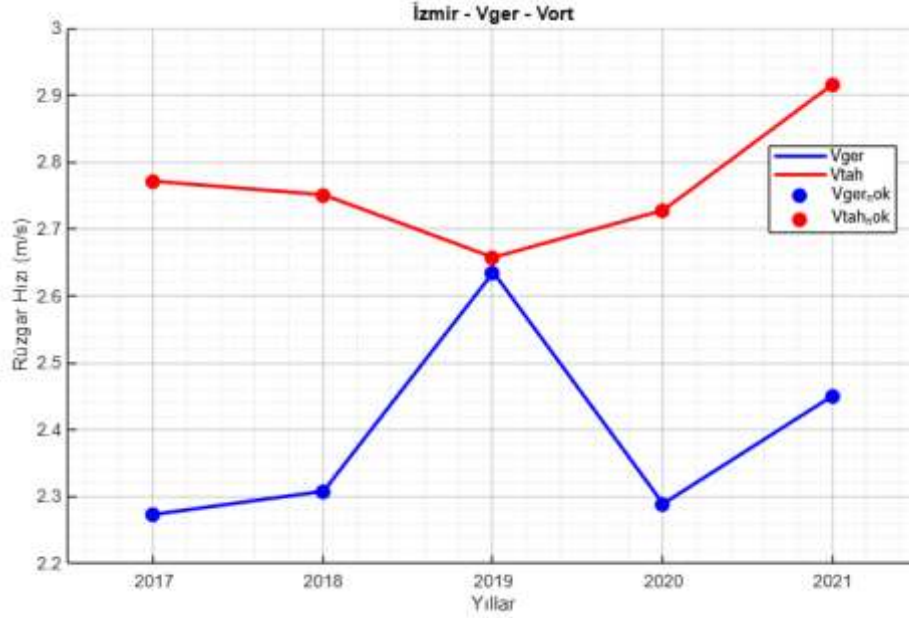
	σ	1,35	1,39	1,27	1,22	1,69
MAYIS	V_m	2,87	2,57	2,44	2,64	2,79
	σ	1,35	1,24	1,36	1,32	1,33
HAZİRAN	V_m	2,68	2,69	2,74	2,67	2,80
	σ	1,46	1,21	1,44	1,17	1,44
TEMMUZ	V_m	3,19	3,10	2,95	3,26	3,09
	σ	1,46	1,45	1,42	1,48	1,44
AĞUSTOS	V_m	3,13	2,99	2,51	2,95	2,98
	σ	1,36	1,39	1,48	1,37	1,44
EYLÜL	V_m	2,59	2,99	3,03	2,86	2,87
	σ	1,34	1,50	1,44	1,45	1,42
EKİM	V_m	2,58	2,09	1,85	1,94	2,36
	σ	1,26	1,32	1,22	1,16	1,14
KASIM	V_m	2,35	2,69	2,21	2,32	2,71
	σ	1,17	1,38	1,25	1,38	1,72
ARALIK	V_m	2,86	2,45	2,35	2,43	3,13
	σ	1,51	1,26	1,46	1,12	1,41
YILLIK	V_m	2,77	2,75	2,66	2,73	2,92
	σ	1,39	1,46	1,43	1,40	1,50

Şekil 4.45’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.35 olarak 2020 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.45 İzmir ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.46’da beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.46. İzmir ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.28’de İzmir ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.98- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.10– 0.24 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.01-0.06 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.09-0.16 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sıfıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının İzmir ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

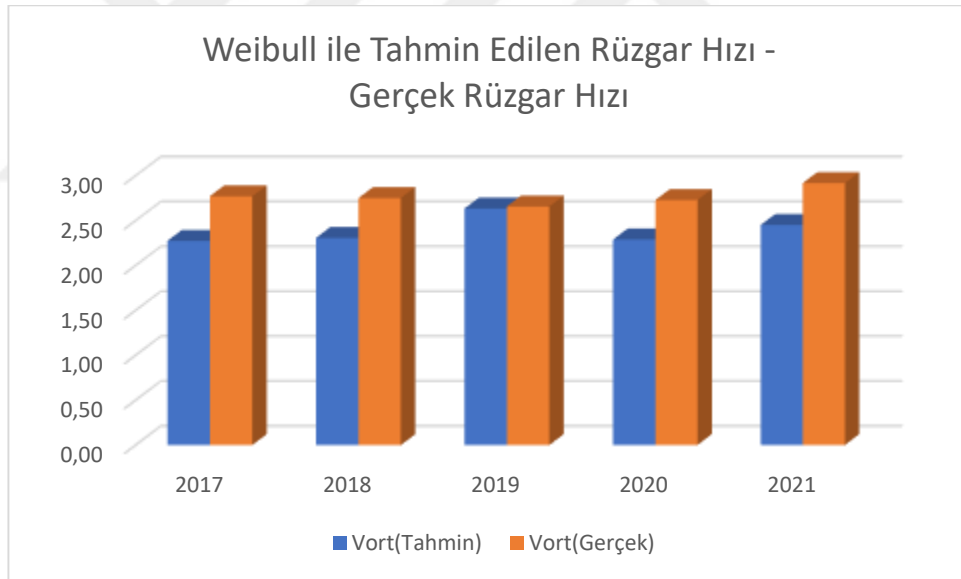
Çizelge 4.28 İzmir ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,11	0,10	0,24	0,10	0,16
R^2	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99
MSE	0,01	0,01	0,06	0,01	0,03
MAE	0,10	0,09	0,16	0,08	0,12

Çizelge 4.289’da Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 2.27 – 2.63 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 15.15 – 19.47 W/m² arasında değişmiştir.

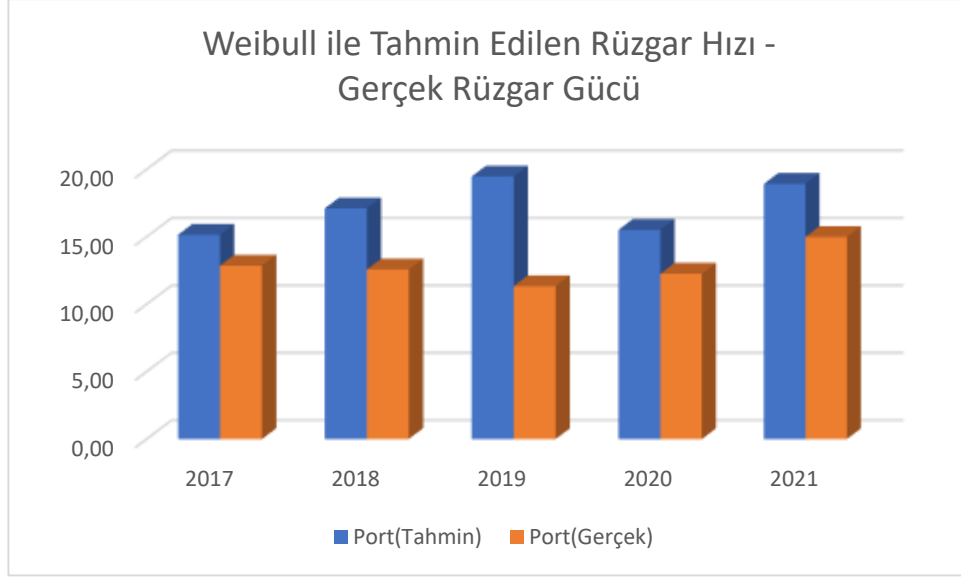
Çizelge 4.29 İzmir ili için Weibull dağılımı parametreleri

	İZMİR				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,80	1,69	2,18	1,80	1,81
c	2,56	2,59	2,98	2,57	2,76
V_{ort} (Tahmin)	2,27	2,31	2,63	2,29	2,45
V_{ort} (Gerçek)	2,77	2,75	2,66	2,73	2,92
P_{ort} (Tahmin)	15,15	17,11	19,47	15,51	18,93
P_{ort} (Gerçek)	12,86	12,58	11,34	12,26	14,98



Şekil 4.47 İzmir ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

İzmir iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.7.10’da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 2.27 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.63 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.48 İzmir ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

İzmir ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.48’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Mart ayında 0 m/s, en yüksek ise 2021 yılının Ocak ayında 12.7 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.27 m/s olarak 2017 yılında, güç yoğunluğu 15.15 W/m² olarak 2021 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 2.92 m/s olarak 2021 yılında, güç yoğunluğu 14.98 W /m² olarak 2018 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, İzmir ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

4.8 Kahramanmaraş ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

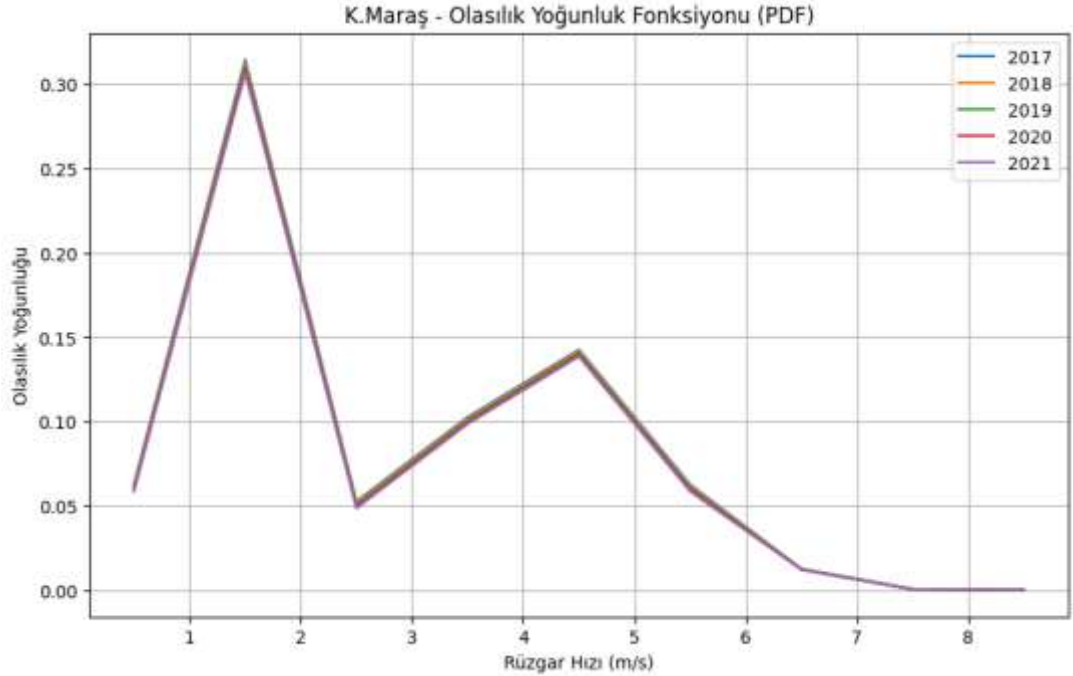
2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.8.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 24209 ,7-8 m/s arasında 9, toplam 39161

adet ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.30' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

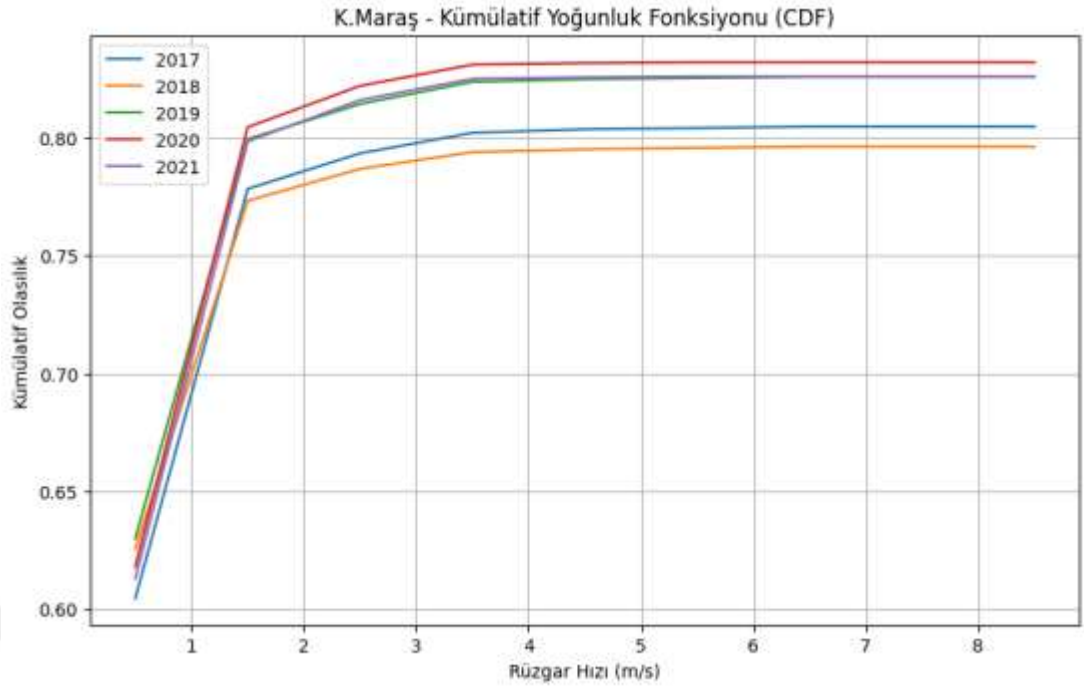
Çizelge 4.30 Kahramanmaraş ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	v_i m/s	$v_i * m/s$	f_i 2017-2021	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	24209	0,618	0,618
2	1-2	1,5	6662	0,17	0,788
3	2-3	2,5	5744	0,147	0,935
4	3-4	3,5	2238	0,057	0,992
5	4-5	4,5	258	0,007	0,999
6	5-6	5,5	33	8E-04	1
7	6-7	6,5	8	2E-04	1
8	7-8	7,5	9	2E-04	1
9	8-9	8,5	0	0	1
Toplam			39161		

Kahramanmaraş ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.49' de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.50'de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

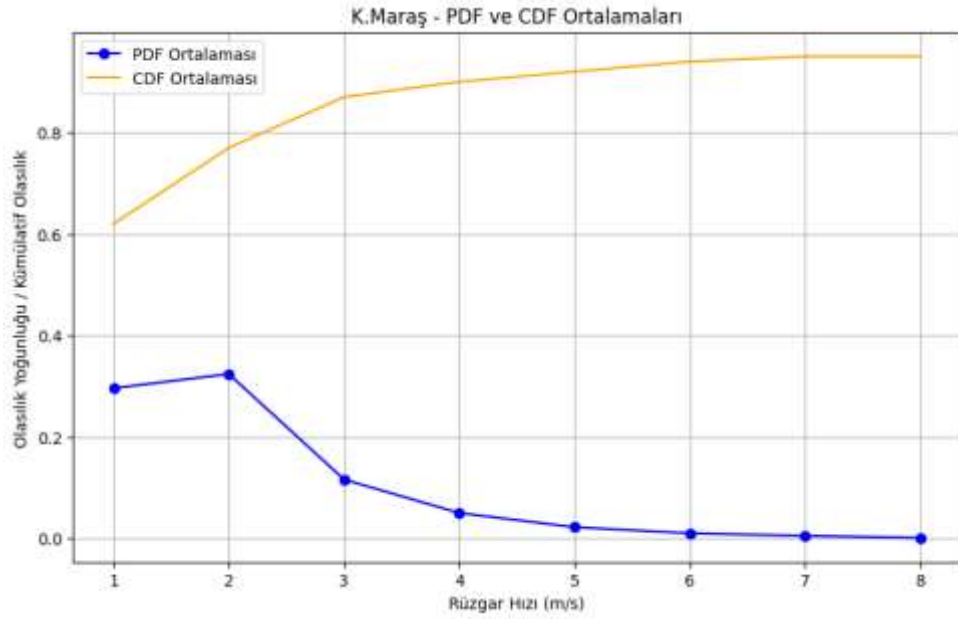


Şekil 4.49 Kahramanmaraş ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.50 Kahramanmaraş ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Rüzgar hızı ölçümlerinin beş yıllık analizinden türetilen olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımları, Şekil 4.51'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



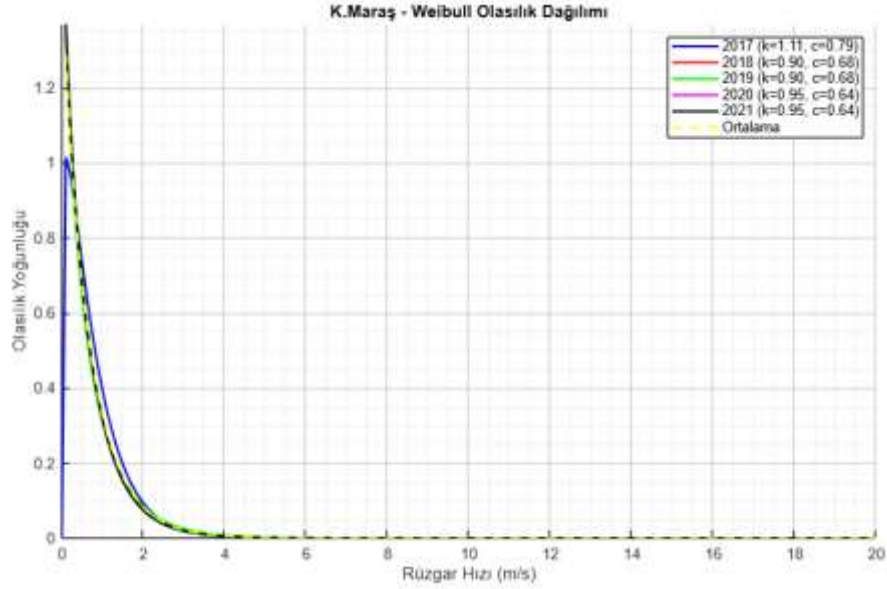
Şekil 4.51 Kahramanmaraş ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

Kahramanmaraş ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.31 ‘de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Haziran ve Temmuz aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Kasım ve Aralık aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.31 Kahramanmaraş ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

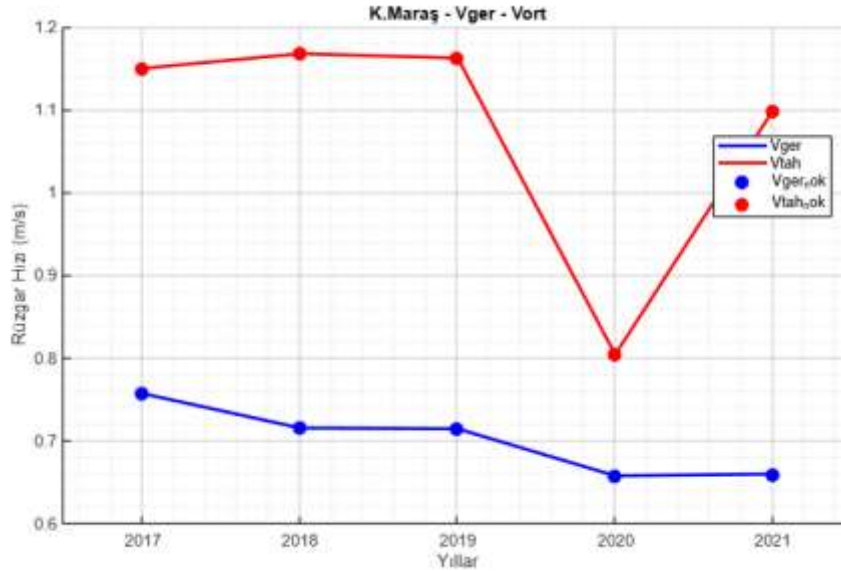
AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	2,82	2,83	3,01	2,75	3,34
	σ	1,48	1,70	1,38	1,47	1,50
ŞUBAT	V_m	3,10	2,59	2,91	3,18	3,06
	σ	1,47	1,41	1,56	1,57	1,83
MART	V_m	2,36	3,49	3,11	2,81	2,81
	σ	1,13	1,55	1,43	1,41	1,29
NİSAN	V_m	2,63	2,34	2,85	2,78	3,19
	σ	1,35	1,39	1,27	1,22	1,69
MAYIS	V_m	2,87	2,57	2,44	2,64	2,79
	σ	1,35	1,24	1,36	1,32	1,33
HAZİRAN	V_m	2,68	2,69	2,74	2,67	2,80
	σ	1,46	1,21	1,44	1,17	1,44
TEMMUZ	V_m	3,19	3,10	2,95	3,26	3,09
	σ	1,46	1,45	1,42	1,48	1,44
AĞUSTOS	V_m	3,13	2,99	2,51	2,95	2,98
	σ	1,36	1,39	1,48	1,37	1,44
EYLÜL	V_m	2,59	2,99	3,03	2,86	2,87
	σ	1,34	1,50	1,44	1,45	1,42
EKİM	V_m	2,58	2,09	1,85	1,94	2,36
	σ	1,26	1,32	1,22	1,16	1,14
KASIM	V_m	2,35	2,69	2,21	2,32	2,71
	σ	1,17	1,38	1,25	1,38	1,72
ARALIK	V_m	2,86	2,45	2,35	2,43	3,13
	σ	1,51	1,26	1,46	1,12	1,41
YILLIK	V_m	2,77	2,75	2,66	2,73	2,92
	σ	1,39	1,46	1,43	1,40	1,50

Şekil 4.52’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.76 olarak 2019 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.52 Kahramanmaraş ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.53’de beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.53. Kahramanmaraş ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.32’de Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.76- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.06– 0.51 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.02-0.26 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.05-0.23 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sifıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Kahramanmaraş ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

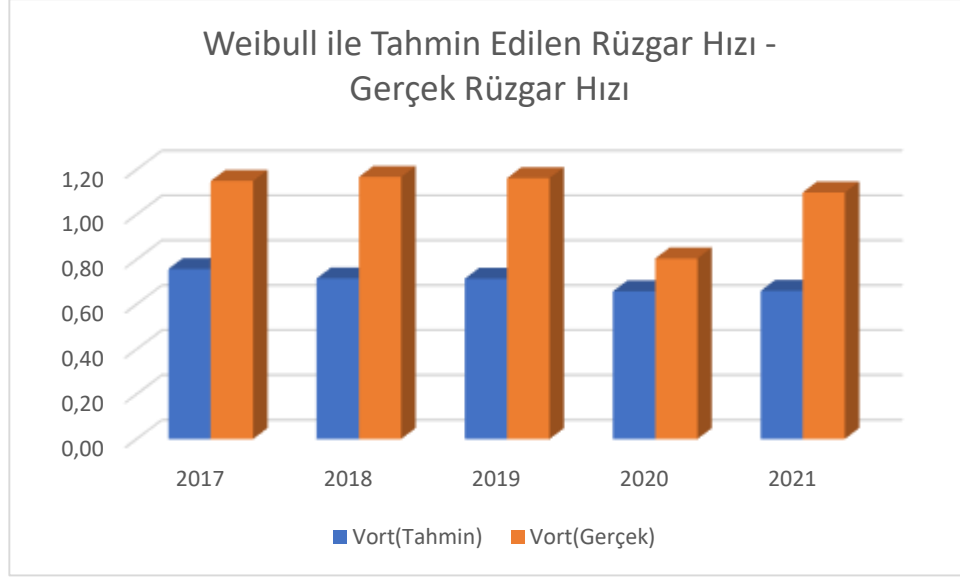
Çizelge 4.32 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,55	0,23	0,18	0,21	0,20
R^2	0,73	0,91	0,95	0,93	0,93
MSE	0,30	0,05	0,03	0,04	0,04
MAE	0,29	0,18	0,14	0,18	0,18

Çizelge 4.33’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 0.85 – 1.47 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 1.27 – 5.10 W/m² arasında değişmiştir.

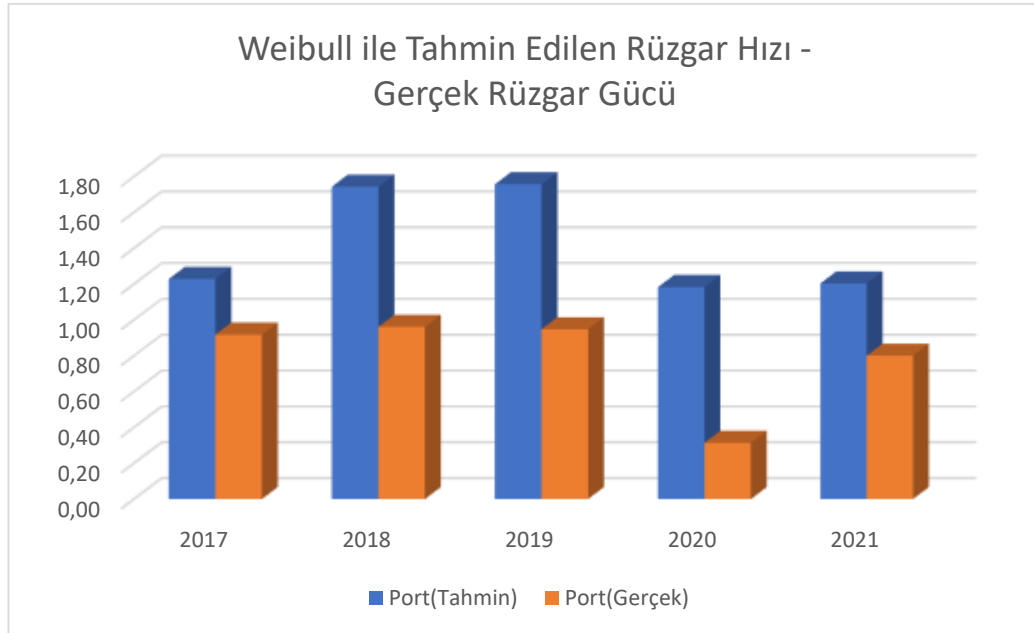
Çizelge 4.33 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımı parametreleri

	KAHRAMANMARAŞ				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,11	0,90	0,90	0,95	0,95
c	0,79	0,68	0,68	0,64	0,64
V_{ort} (Tahmin)	0,76	0,72	0,71	0,66	0,66
V_{ort} (Gerçek)	1,15	1,17	1,16	0,80	1,10
P_{ort} (Tahmin)	1,23	1,74	1,76	1,18	1,20
P_{ort} (Gerçek)	0,92	0,96	0,95	0,31	0,80



Şekil 4.54 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Kahramanmaraş iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.55’de gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 1.28 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.04 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.55 Kahramanmaraş ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Kahramanmaraş ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.8.11’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Mart ayında 0 m/s, en yüksek ise 2019 yılının Ocak ayında 8 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 1.28 m/s olarak 2020 yılında, güç yoğunluğu 1.18 W/m^2 olarak 2020 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 0.80 m/s olarak 2019 yılında, güç yoğunluğu 1.18 W /m^2 olarak 2020 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Kahramanmaraş ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

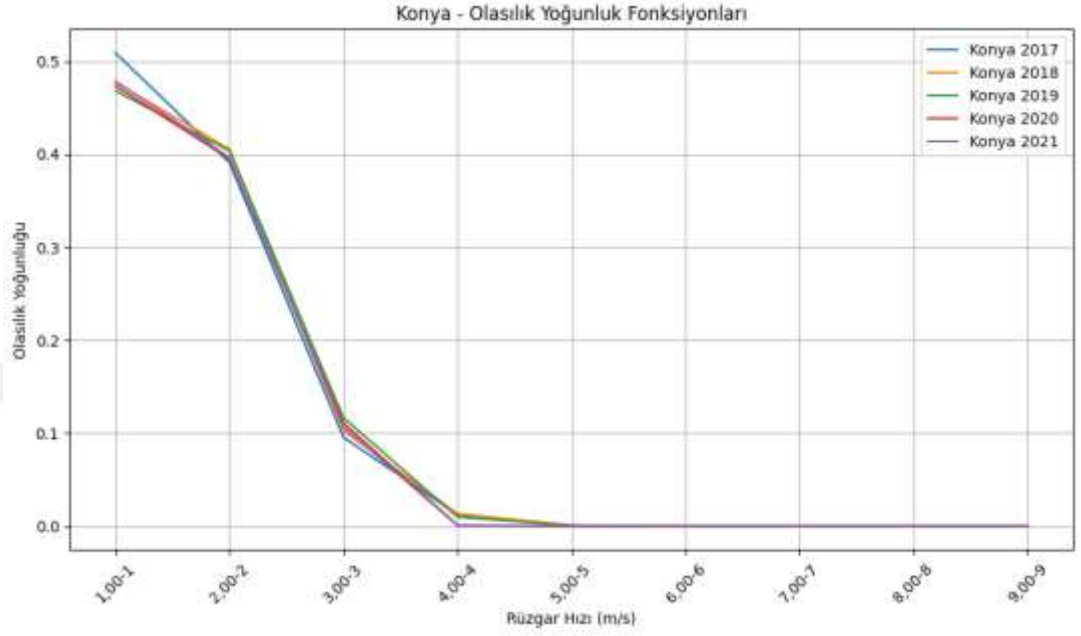
4.9 Konya ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.9.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 24209, 7-8 m/s arasında 9, toplam 39161 adet ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.34 e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

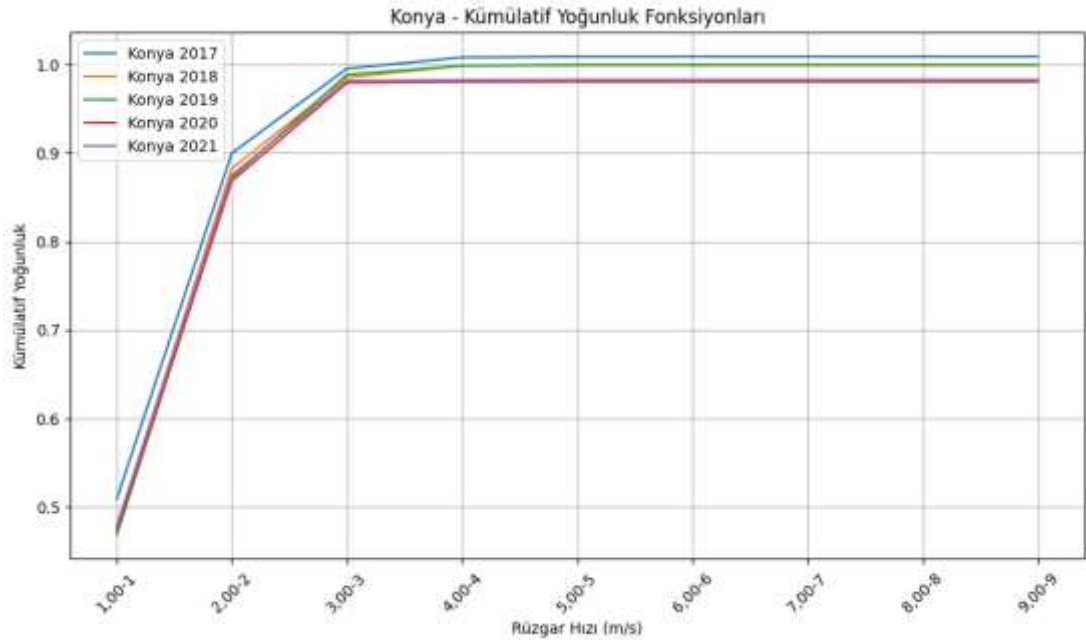
Çizelge 4.34 Konya ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	$v_i \text{ m/s}$	$v_i * \text{m/s}$	$f_i \text{ 2017-2021}$	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	24209	0,618	0,618
2	1-2	1,5	6662	0,17	0,788
3	2-3	2,5	5744	0,147	0,935
4	3-4	3,5	2238	0,057	0,992
5	4-5	4,5	258	0,007	0,999
6	5-6	5,5	33	8E-04	1
7	6-7	6,5	8	2E-04	1
8	7-8	7,5	9	2E-04	1
9	8-9	8,5	0	0	1
Toplam			39161		

Konya ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.56’ da, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.9.3’de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

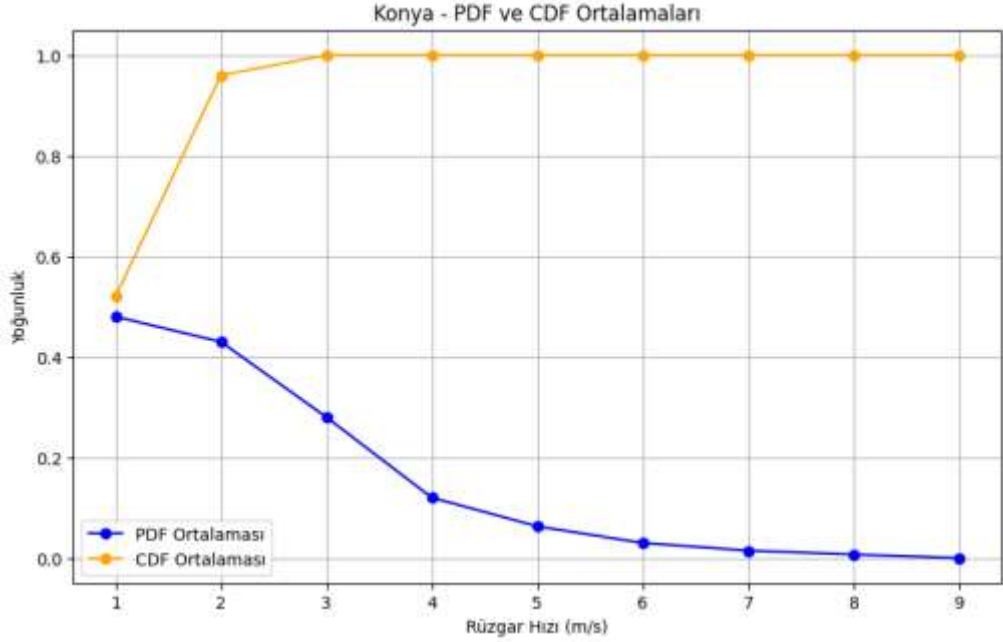


Şekil 4.56 Konya ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.57 Konya ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Beş yıllık rüzgar hızı verilerinin olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonları açısından analiz edilmesiyle elde edilen dağılımlar, Şekil 4.58'de sunulmuştur.



Şekil 4.58 Konya ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgar hızı ile değişimi

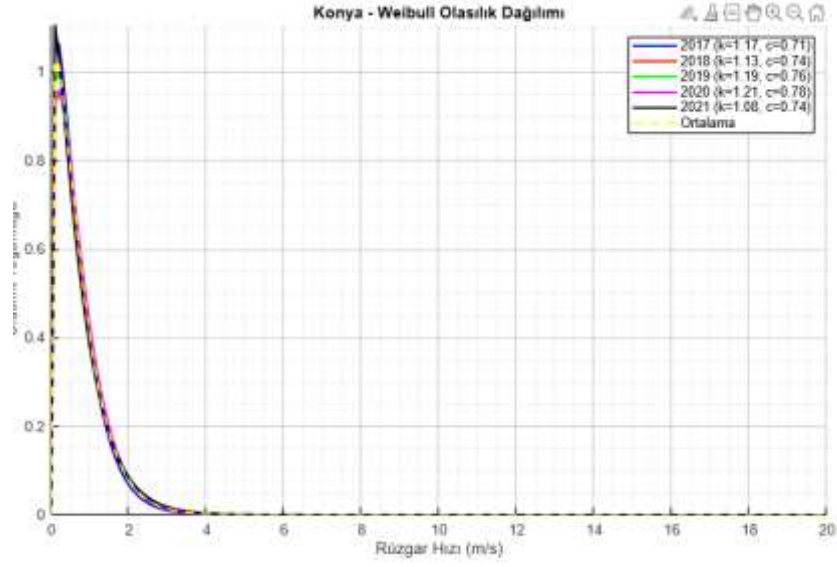
Konya ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.36'da verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Kasım ve Aralık aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.36 Konya ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	1,04	1,21	1,15	1,22	1,08
	σ	0,70	0,80	0,75	0,73	1,00
ŞUBAT	V_m	1,02	1,15	1,18	1,38	1,14
	σ	0,77	0,77	0,68	0,85	0,79
MART	V_m	1,26	1,33	1,43	1,38	1,29
	σ	0,74	0,79	0,83	0,94	0,67

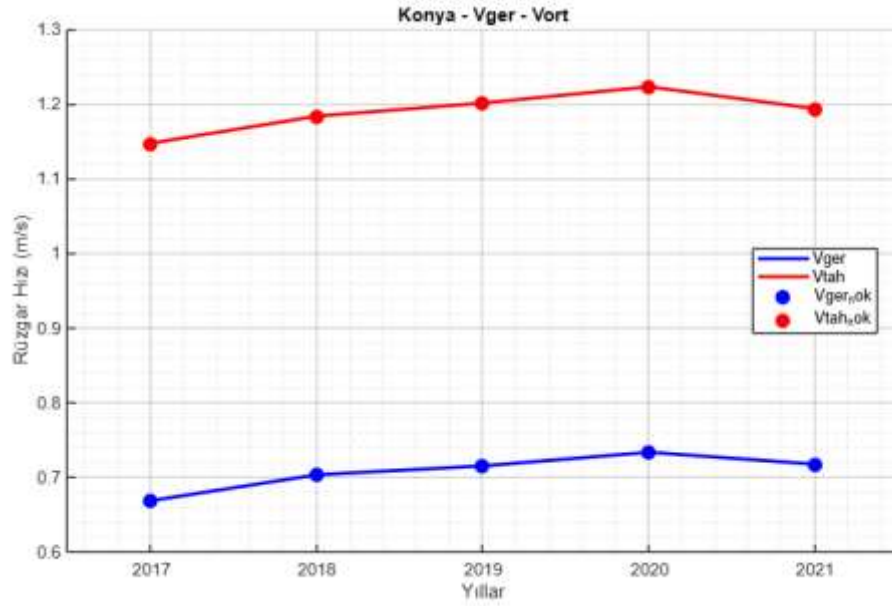
NİSAN	V_m	1,32	1,28	1,26	1,36	1,39
	σ	0,74	0,79	0,74	0,76	0,81
MAYIS	V_m	1,28	1,07	1,22	1,26	1,31
	σ	0,74	0,57	0,64	0,74	0,70
HAZİRAN	V_m	1,23	1,25	1,34	1,24	1,20
	σ	0,65	0,58	0,63	0,63	0,57
TEMMUZ	V_m	1,43	1,41	1,43	1,45	1,48
	σ	0,65	0,61	0,63	0,66	0,69
AĞUSTOS	V_m	1,31	1,40	1,49	1,27	1,31
	σ	0,60	0,64	0,69	0,68	0,68
EYLÜL	V_m	0,92	1,18	1,11	1,09	1,18
	σ	0,52	0,65	0,63	0,62	0,61
EKİM	V_m	1,06	0,92	0,97	0,86	0,93
	σ	0,69	0,58	0,55	0,53	0,57
KASIM	V_m	0,84	0,92	0,73	1,04	0,95
	σ	0,54	0,60	0,39	0,69	0,76
ARALIK	V_m	0,96	1,05	1,03	0,82	0,88
	σ	0,65	0,54	0,68	0,49	0,60
YILLIK	V_m	1,15	1,18	1,20	1,21	1,19
	σ	0,70	0,69	0,69	0,74	0,72

Şekil 4.59’da Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 1.24 olarak 2019 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.59 Konya ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.60’da beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.60. Konya ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.37’de Konya ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.98- 0.99 arasında olduğu olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.08 – 0.11 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0-0.01 arasında değiştiği, MAE

değerlerinin ise 0.06-0.11 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1'e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sifıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Konya ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

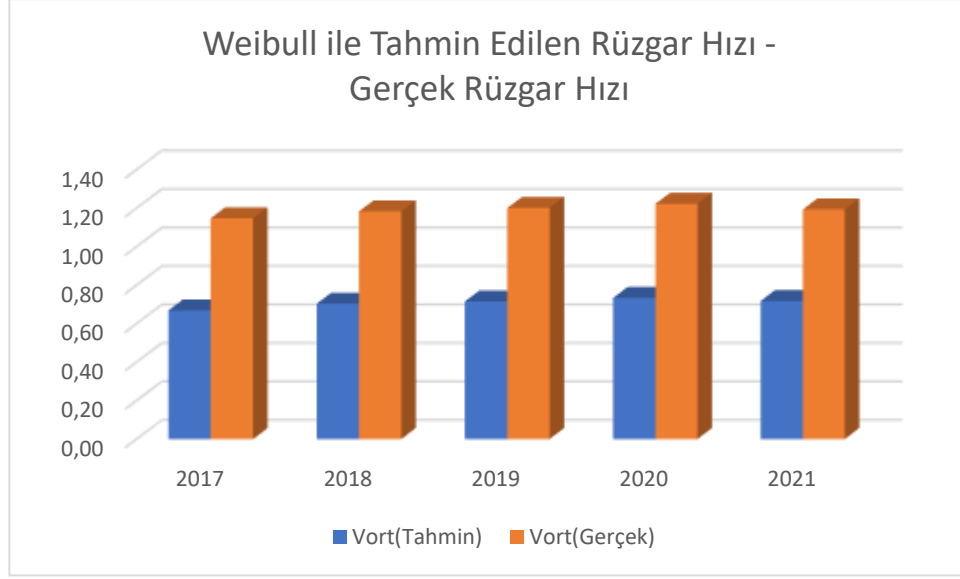
Çizelge 4.37 Konya ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,11	0,08	0,11	0,10	0,07
R^2	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99
MSE	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
MAE	0,10	0,07	0,11	0,09	0,06

Çizelge 4.38'de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 0.67 – 0.73 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 0.75 – 1.11 W/m² arasında değişmiştir.

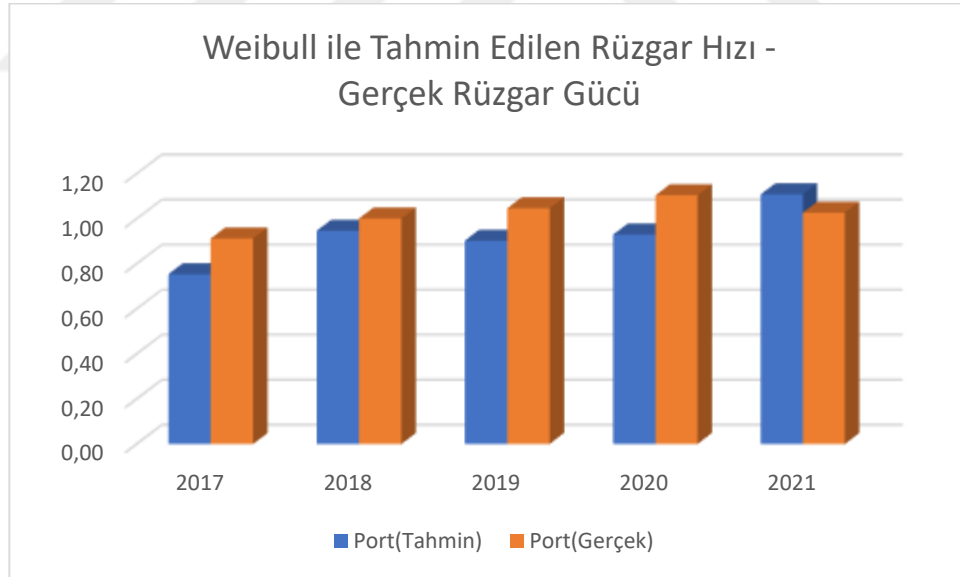
Çizelge 4.38 Konya ili için Weibull dağılımı parametreleri

	KONYA				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,17	1,13	1,19	1,21	1,08
c	0,71	0,74	0,76	0,78	0,74
V_{ort} (Tahmin)	0,67	0,70	0,72	0,73	0,72
V_{ort} (Gerçek)	1,15	1,18	1,20	1,22	1,19
P_{ort} (Tahmin)	0,75	0,95	0,90	0,93	1,11
P_{ort} (Gerçek)	0,91	1,00	1,05	1,10	1,03



Şekil 4.61 Konya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Konya iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.61’de gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 1.28 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.04 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.62 Konya ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Konya ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.62’de verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu

modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Mart ayında 0 m/s, en yüksek ise 2021 yılının Ocak ayında 15 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 0.67 m/s olarak 2017 yılında, güç yoğunluğu 0.91 W/m^2 olarak 2017 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 1.22 m/s olarak 2020 yılında, güç yoğunluğu 1.05 W/m^2 olarak 2018 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Konya ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

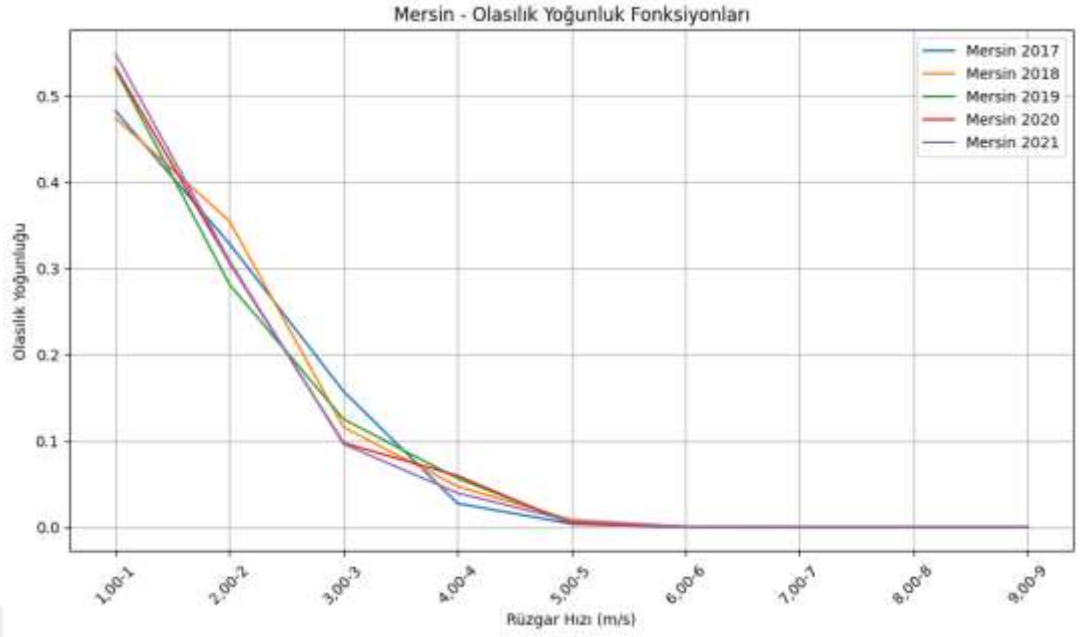
4.10 Mersin ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatiksel Analizi

2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.10.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 20219, 8-9 m/s arasında 19, toplam 39382 adet ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.39’ a göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

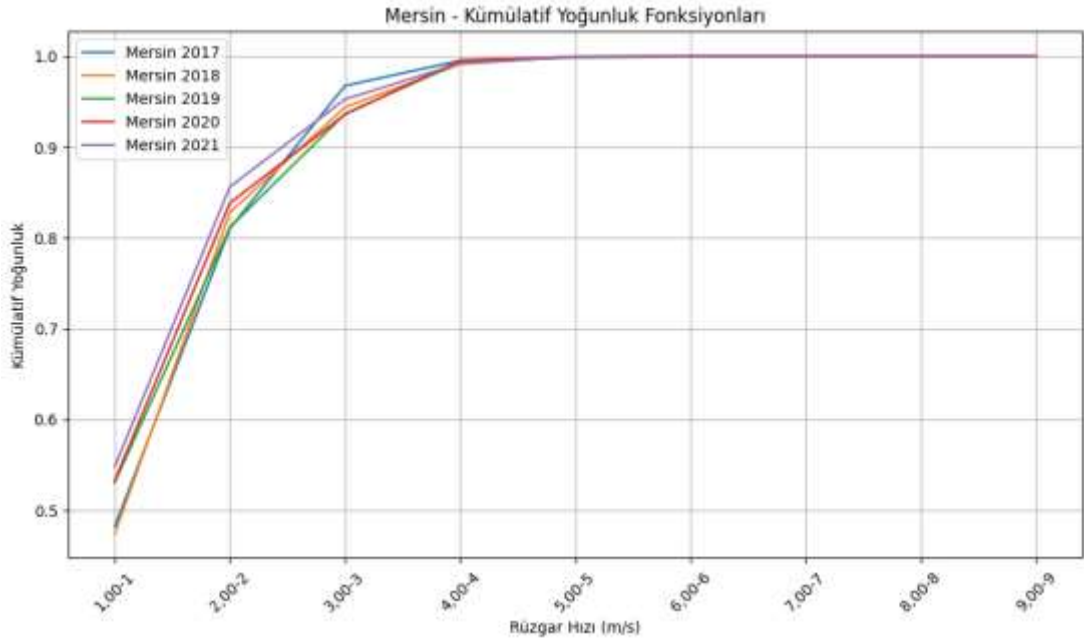
Çizelge 4.39 Mersin ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	$v_i \text{ m/s}$	$v_i * \text{m/s}$	$f_i \text{ 2017-2021}$	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	20219	0,513	0,513
2	1-2	1,5	12876	0,327	0,84
3	2-3	2,5	5096	0,129	0,97
4	3-4	3,5	840	0,021	0,991
5	4-5	4,5	197	0,005	0,996
6	5-6	5,5	49	0,001	0,997
7	6-7	6,5	45	0,001	0,998
8	7-8	7,5	41	0,001	1
9	8-9	8,5	19	5E-04	1
Toplam			39382		

Mersin ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.63’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.10.3’de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

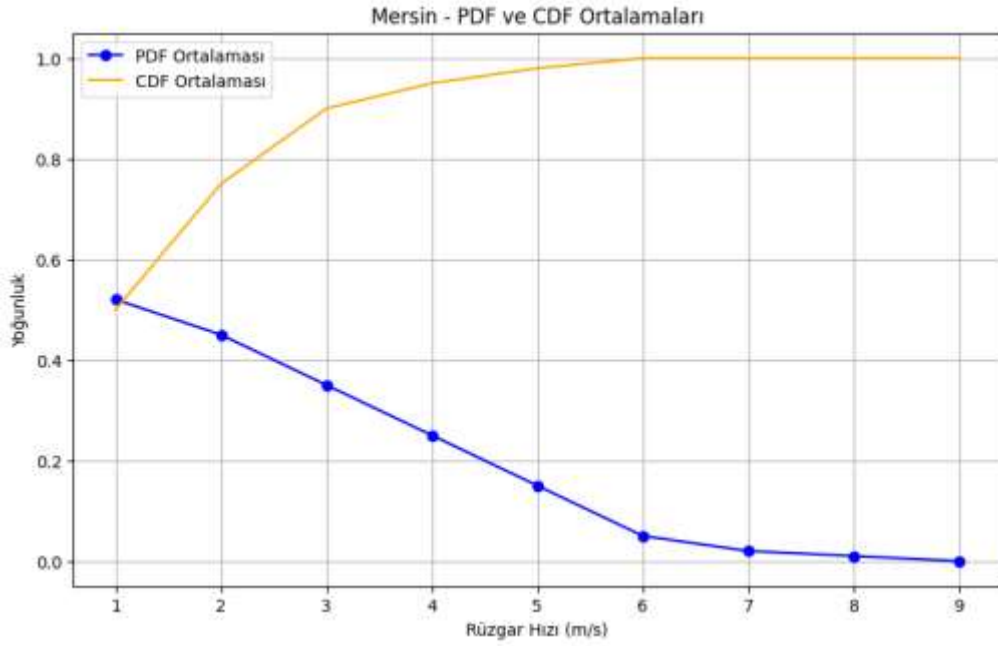


Şekil 4.63 Mersin ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.64 Mersin ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.65, beş yıllık bir süre zarfında toplanan rüzgar hızı verilerinden elde edilen olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımlarını göstermek için hazırlanmıştır.



Şekil 4.65 Mersin ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgâr hızı ile değişimi

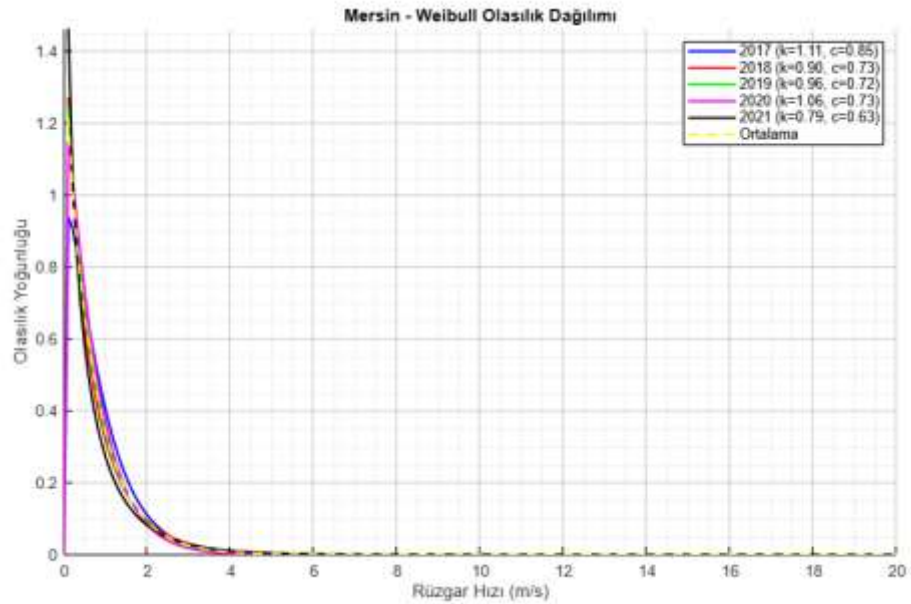
Mersin ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Çizelge 4.40 ‘ta verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Mart ve Nisan aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.40 Mersin ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	1,07	1,27	1,44	0,78	0,75
	σ	0,68	0,75	0,97	0,90	0,92
ŞUBAT	V_m	1,09	1,10	1,26	1,22	0,90
	σ	0,83	0,74	0,92	1,25	0,79
MART	V_m	1,37	1,49	1,22	1,21	1,83
	σ	1,05	1,42	0,90	0,93	1,88
NİSAN	V_m	1,51	1,29	1,16	1,28	1,37
	σ	1,40	0,77	0,98	0,97	1,08
MAYIS	V_m	1,42	1,33	1,02	1,18	1,46
	σ	1,05	0,69	0,96	0,80	0,87

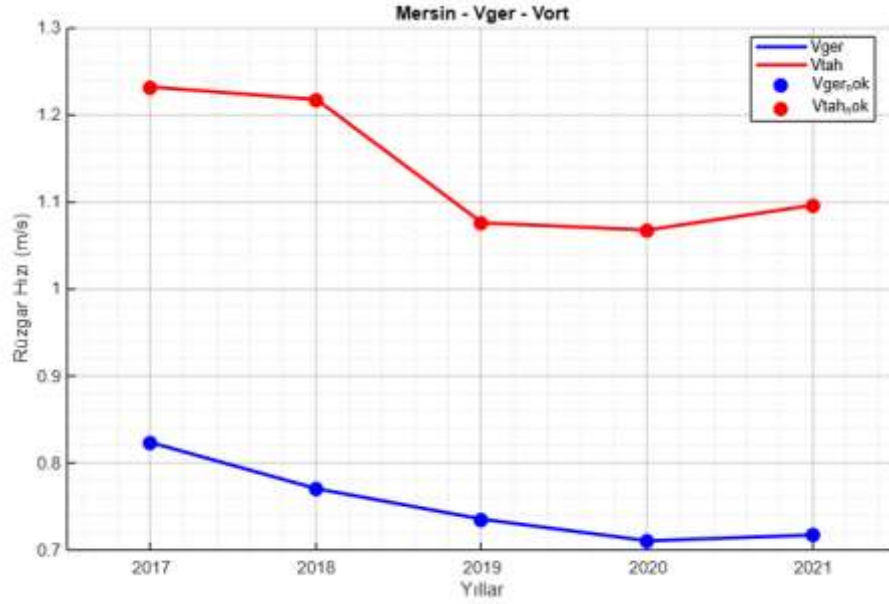
HAZİRAN	V_m	1,50	1,54	1,04	1,25	1,47
	σ	0,90	0,82	0,82	0,78	1,04
TEMMUZ	V_m	1,51	1,49	1,33	1,19	1,45
	σ	0,80	0,71	0,79	0,59	0,71
AĞUSTOS	V_m	1,36	1,45	1,17	1,05	1,06
	σ	0,79	0,81	0,76	0,83	0,79
EYLÜL	V_m	1,09	0,97	1,00	1,16	1,01
	σ	0,86	0,84	0,92	0,76	0,77
EKİM	V_m	1,00	0,63	0,86	0,86	0,77
	σ	0,82	0,69	1,01	0,62	0,73
KASIM	V_m	1,04	0,80	0,49	0,66	0,52
	σ	0,71	0,76	0,71	0,61	0,60
ARALIK	V_m	0,76	1,22	0,89	0,97	0,50
	σ	0,72	1,14	0,89	0,67	0,75
YILLIK	V_m	1,23	1,22	1,08	1,07	1,10
	σ	0,94	0,92	0,92	0,85	1,05

Şekil 4.66’da Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.82 olarak 2017 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.66 Mersin ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.67’de beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.67. Mersin ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.41’de Mersin ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.80- 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.06– 0.47 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0-0.22 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.06-0.24 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sıfıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Mersin ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

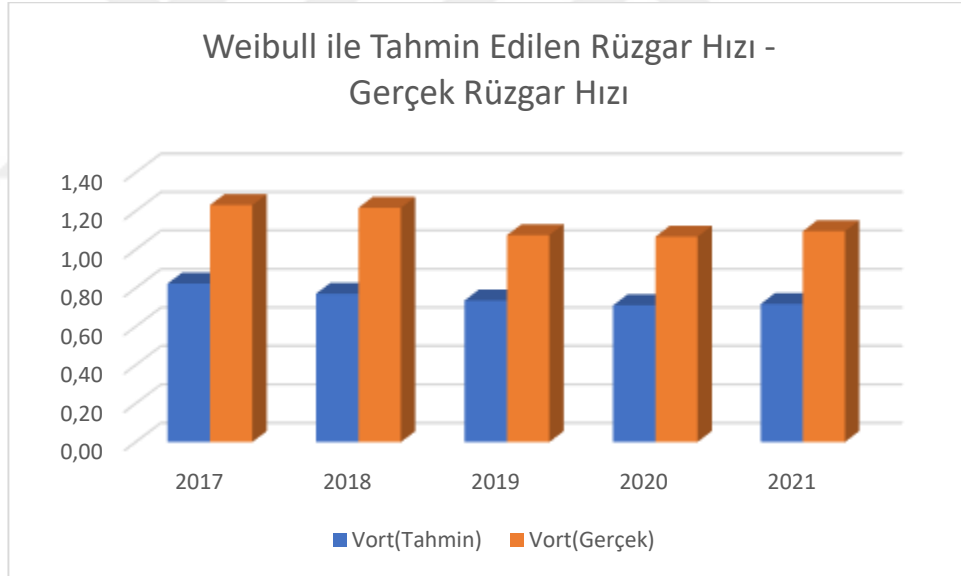
Çizelge 4.41 Mersin ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,47	0,13	0,09	0,43	0,06
R^2	0,80	0,97	0,99	0,81	0,99
MSE	0,22	0,02	0,01	0,18	0,00
MAE	0,24	0,11	0,08	0,21	0,06

Çizelge 4.42’de Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 0.71 – 0.82 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 1.13 – 2.63 W/m² arasında değişmiştir.

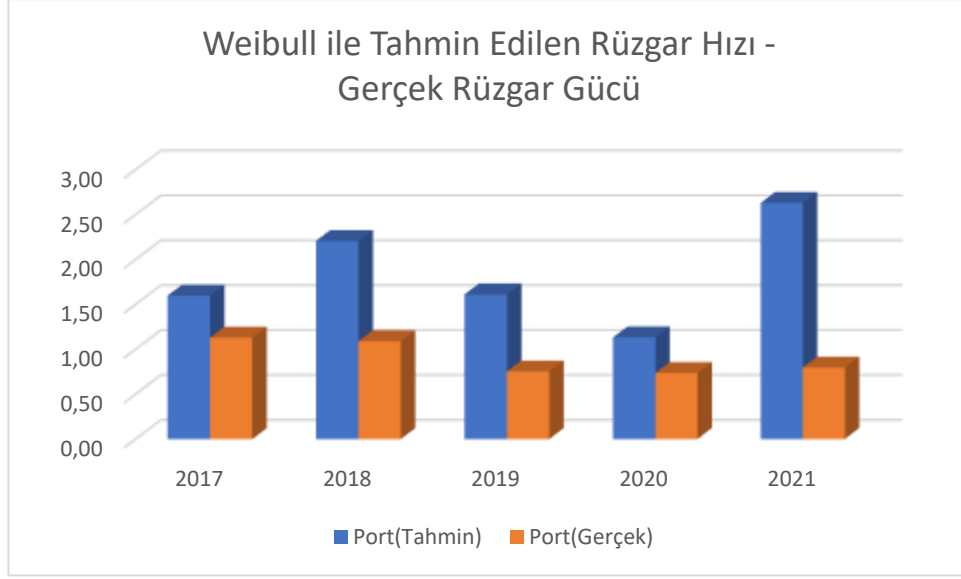
Çizelge 4.42 Mersin ili için Weibull dağılımı parametreleri

	MERSİN				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	1,11	0,90	0,96	1,06	0,79
c	0,85	0,73	0,72	0,73	0,63
V_{ort} (Tahmin)	0,82	0,77	0,74	0,71	0,72
V_{ort} (Gerçek)	1,23	1,22	1,08	1,07	1,10
P_{ort} (Tahmin)	1,60	2,21	1,61	1,13	2,63
P_{ort} (Gerçek)	1,13	1,09	0,75	0,73	0,80



Şekil 4.68 Mersin ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Mersin iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.68’de gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2020 yılında 1.28 m/s, en yüksek ise 2019 yılında 2.04 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.69 Mersin ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Mersin ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.69’da verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Ocak ayında 0 m/s, en yüksek ise 2018 yılının Ocak ayında 9.9 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 0.82 m/s olarak 2017 yılında, güç yoğunluğu 0.73 W/m² olarak 2020 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 1.23 m/s olarak 2017 yılında, güç yoğunluğu 1.13 W/m² olarak 2017 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Mersin ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.

4.11 Osmaniye ilinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

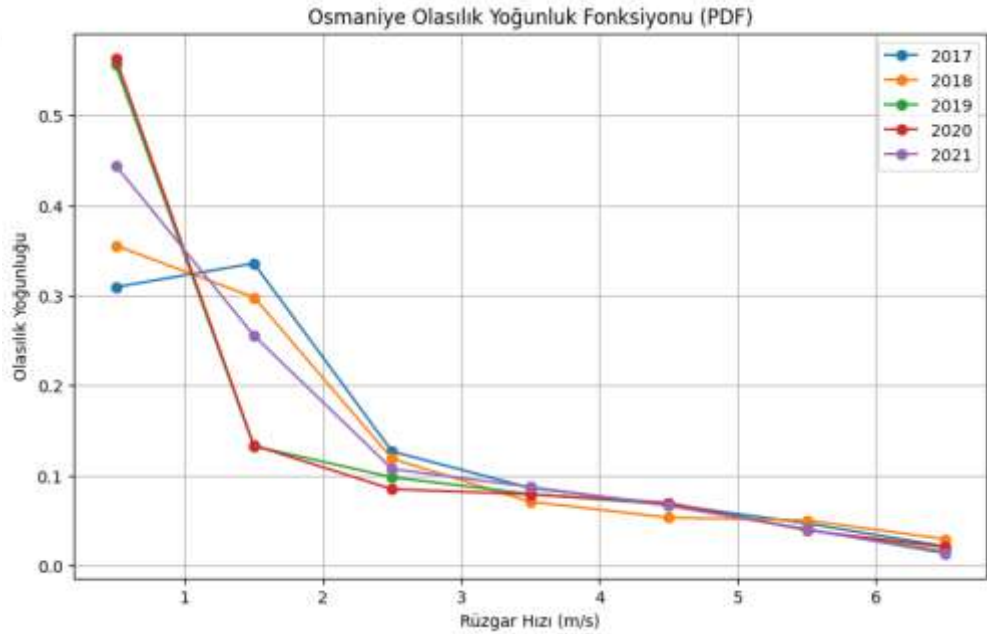
2017-2021 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 4.11.1’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 17025,8-9 m/s arasında 43, toplam 38403

adet ölçüm yapılmıştır. Çizelge 4.43' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 0 – 1 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

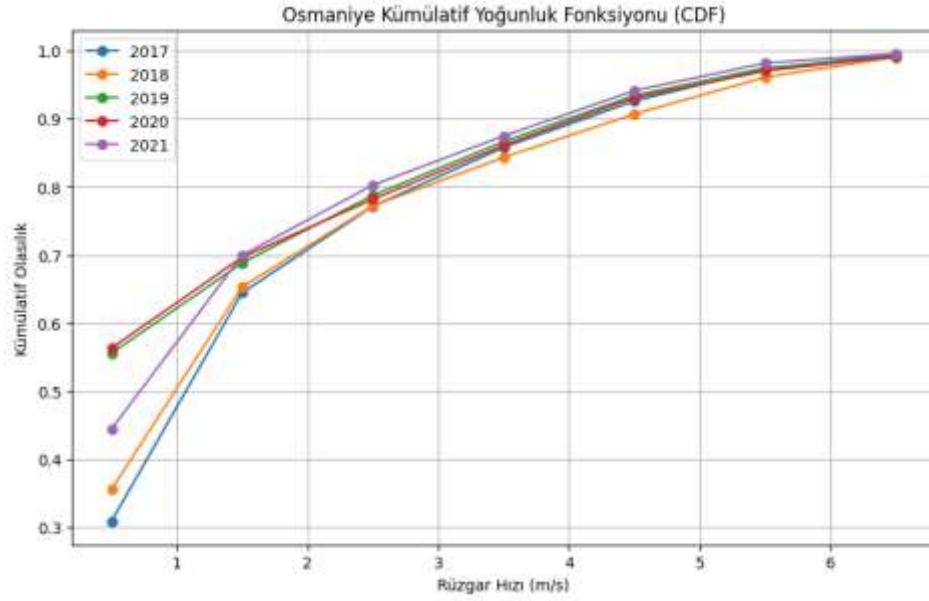
Çizelge 4.43 Osmaniye ili için 2017-2021 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	vi m/s	vi* m/s	fi 2017-2021	p(vi)	P(vi)
1	0-1	0,5	17025	0,443	0,443
2	1-2	1,5	8952	0,233	0,676
3	2-3	2,5	4098	0,107	0,783
4	3-4	3,5	2982	0,078	0,861
5	4-5	4,5	2577	0,067	0,928
6	5-6	5,5	1709	0,045	0,972
7	6-7	6,5	778	0,02	0,993
8	7-8	7,5	239	0,006	0,999
9	8-9	8,5	43	0,001	1
Toplam			38403		

Osmaniye ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 4.70' de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 4.11.3'de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

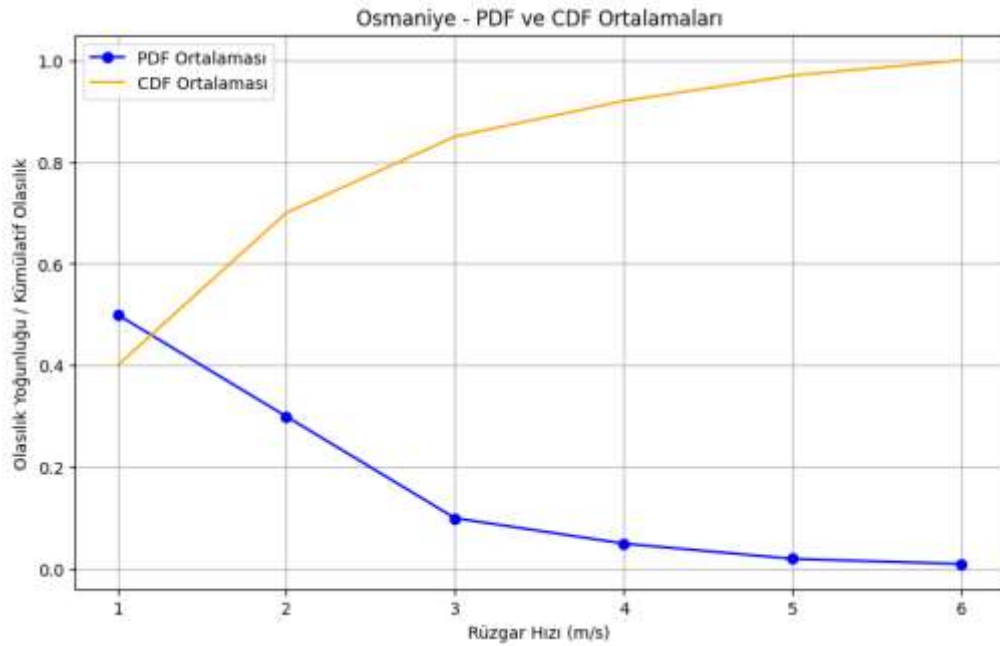


Şekil 4.70 Osmaniye ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 4.71 Osmaniye ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Beş yıllık rüzgâr hızı ölçümlerine dayanan olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarının dağılımları, Şekil 4.72'de kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.



Şekil 4.72 Osmaniye ili için 5 yıllık CDF ve PDF ortalamalarının rüzgâr hızı ile değişimi

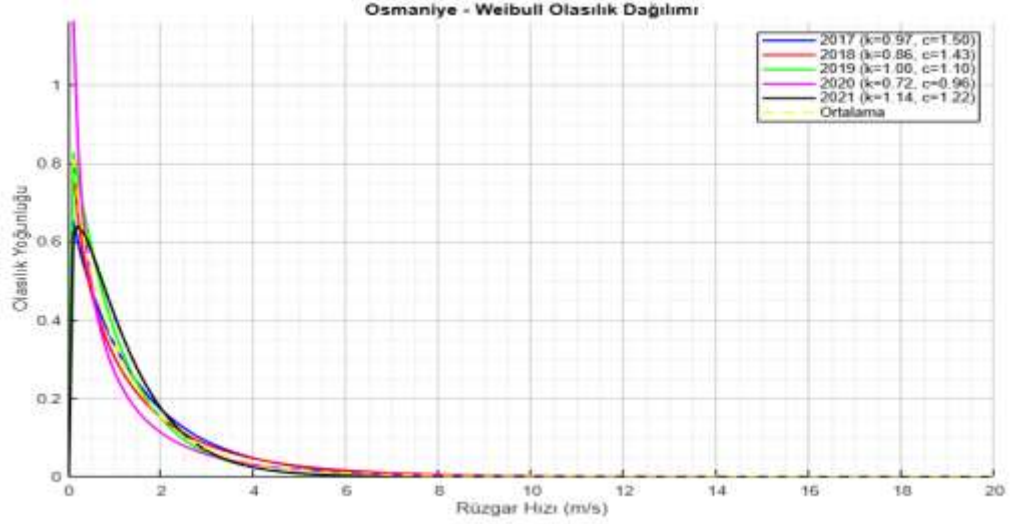
Osmaniye ili için günlük saatlik olarak 2017 – 2021 yıllarını kapsayan 5 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart

sapmaları Çizelge 4.44 ‘de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Mart ve Nisan aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.44 Osmaniye ili için 2017-2021 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

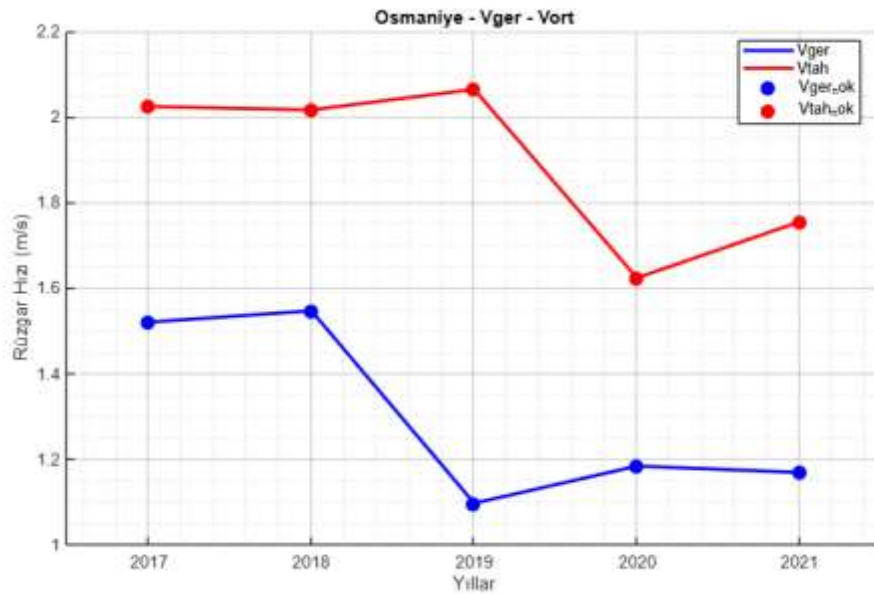
AYLAR	PARAMETRE	2017	2018	2019	2020	2021
OCAK	V_m	1,63	1,30	1,48	1,35	0,96
	σ	1,06	0,83	0,97	2,27	1,30
ŞUBAT	V_m	1,58	1,29	1,41	1,56	1,21
	σ	1,08	0,70	0,89	1,68	1,18
MART	V_m	1,40	1,34	1,45	2,01	2,01
	σ	0,72	1,07	0,98	2,17	1,87
NİSAN	V_m	1,57	1,23	1,35	1,63	1,73
	σ	0,93	0,77	0,97	1,75	1,59
MAYIS	V_m	1,51	1,38	1,63	1,66	1,99
	σ	0,83	0,76	0,84	1,78	1,72
HAZİRAN	V_m	1,56	1,49	1,64	2,07	2,46
	σ	0,79	0,91	0,84	2,02	1,93
TEMMUZ	V_m	1,69	1,78	1,70	1,88	2,31
	σ	0,86	0,92	1,02	1,79	1,78
AĞUSTOS	V_m	1,62	1,61	1,58	2,08	2,11
	σ	0,93	0,98	0,99	2,07	1,68
EYLÜL	V_m	1,33	1,34	1,48	1,55	2,03
	σ	0,89	0,87	0,81	1,66	1,63
EKİM	V_m	1,18	1,27	1,39	1,01	1,49
	σ	0,68	0,69	0,74	1,26	1,21
KASIM	V_m	1,33	1,15	1,39	0,76	1,05
	σ	0,78	0,79	0,64	1,66	1,14
ARALIK	V_m	1,22	1,27	1,37	1,59	1,58
	σ	0,64	0,81	0,66	1,53	1,47
YILLIK	V_m	1,47	1,38	1,49	1,62	1,75
	σ	1,06	0,87	0,88	1,87	1,64

Şekil 4.73’de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0,20 olarak 2021 yılında elde edilmiştir.



Şekil 4.73 Osmaniye ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 4.74’de beş yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir.



Şekil 4.74. Osmaniye ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Çizelge 4.45’de Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre elde edilen R^2 , RMSE, MSE, MAE değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.59- 0.97 arasında olduğu tespit edilmiştir. RMSE değerleri ise 0.13– 0.68 arasında değiştiği, MSE değerlerinin 0.02-0.46 arasında değiştiği, MAE değerlerinin ise 0.10-0.38 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin yüksek ve 1’e yakın olması, RMSE ve diğer hata metrik değerlerinin ise düşük olmasından ve sifıra yakın olmasından dolayı Weibull dağılımının Osmaniye ili için uygun olduğuna karar verilmiştir.

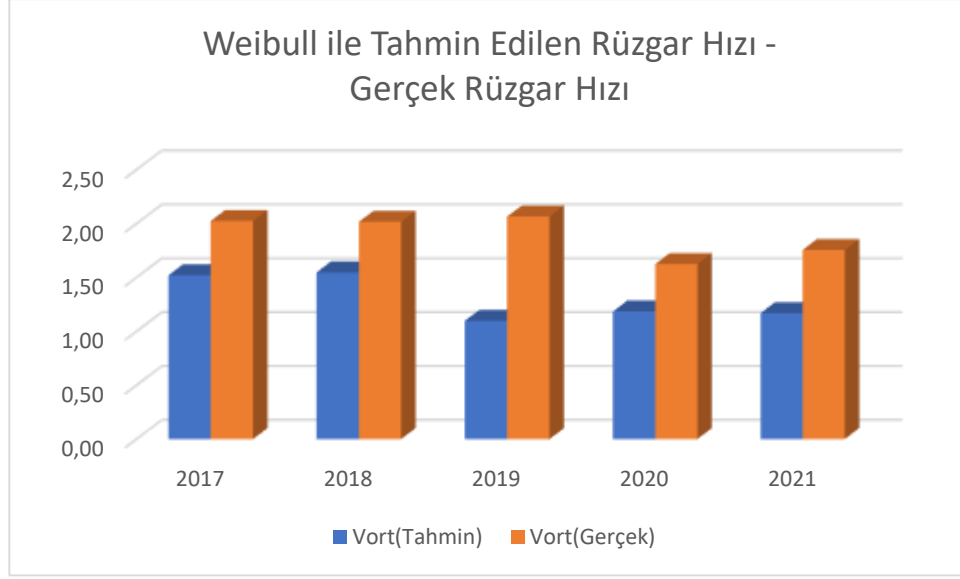
Çizelge 4.45 Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre Hata Metrikleri

	2017	2018	2019	2020	2021
RMSE	0,13	0,13	0,68	0,23	0,62
R^2	0,97	0,97	0,59	0,87	0,70
MSE	0,02	0,02	0,46	0,06	0,39
MAE	0,10	0,10	0,38	0,21	0,36

Çizelge 4.46’da Weibull dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız 1.10 – 1.55 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 2.59 – 3.31 W/m² arasında değişmiştir.

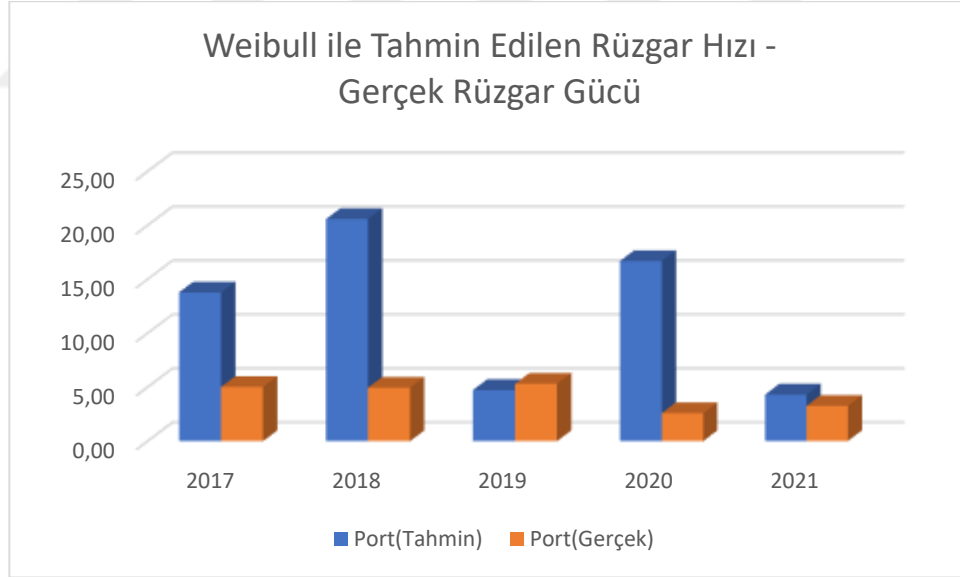
Çizelge 4.46 Osmaniye ili için Weibull dağılımı parametreleri

	OSMANİYE				
	2017	2018	2019	2020	2021
k	0,97	0,86	1,01	0,72	1,14
c	1,50	1,43	1,10	0,96	1,22
V_{ort} (Tahmin)	1,52	1,55	1,10	1,18	1,17
V_{ort} (Gerçek)	2,02	2,02	2,06	1,62	1,75
P_{ort} (Tahmin)	13,77	20,58	4,73	16,68	4,31
P_{ort} (Gerçek)	5,01	4,95	5,31	2,59	3,26



Şekil 4.75 Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar hızı ve gerçek rüzgar hızı

Osmaniye iline ait beş yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin yıllara göre değişimi her bir yıl için Şekil 4.76’da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2019 yılında 1,10 m/s, en yüksek ise 2018 yılında 1,55 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.76 Osmaniye ili için Weibull dağılımına göre tahmin edilen rüzgar gücü ve gerçek rüzgar gücü

Osmaniye ilindeki rüzgâr gücü ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Şekil 4.76’da verilmiştir. 2017 – 2021 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull dağılımı kullanılmış ve bu

modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE, MSE, MAE parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Beş yıllık ortalama rüzgâr hızı ve rüzgar gücü verilerine göre;

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2017 yılının Ocak ayında 0 m/s, en yüksek ise 2017 yılının Mart ayında 9.9 m/s olarak elde edilmiştir. Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 1.10 m/s olarak 2019 yılında, güç yoğunluğu 4.73 W/m^2 olarak 2019 yılında, en yüksek gerçek ortalama hız 2.02 m/s olarak 2017 yılında, güç yoğunluğu 3.31 W /m^2 olarak 2019 yılında elde edilmiştir. Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı ve RMSE, MSE, MAE tüm yıllarda, Osmaniye ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının iyi sonuçlar çıkarılacağı görülmüştür.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artması ve enerjinin temel bir gereksinim olması göz önüne alındığında, enerji ihtiyacımız her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı ömrü (kömür 230 yıl, petrol 38 yıl, doğal gaz 60 yıl) dikkate alındığında, alternatif enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, çevreye zarar vermeyen ve dışa bağımlılığı azaltan rüzgâr enerjisi, Türkiye için stratejik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 2017-2021 yılları arasında Türkiye'nin 11 farklı ilinden (Adana, Alanya, Ankara, Antalya, Çanakkale, Gaziantep, İzmir, Kahramanmaraş, Konya, Mersin ve Osmaniye) elde edilen saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Araştırmamızın temel amacı, makine öğrenmesi yöntemlerinden destek vektör makineleri (DVM) kullanarak rüzgâr hızı tahminlerinin etkinliğini değerlendirmek ve bu yöntemin farklı coğrafi bölgelerde ve değişen rüzgâr koşullarındaki performansını incelemektir. Metodoloji olarak, rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için Weibull dağılımları kullanılmış ve modelin performansı çeşitli istatistiksel ölçütlerle (RMSE, MSE, MAE ve belirlilik katsayısı) değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu önemli bulguları ortaya koymuştur:

1. Seçilen bölgelerin ortalama rüzgâr hızları arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiş, bu da DVM modelinin çeşitli rüzgâr rejimlerindeki adaptasyon yeteneğini test edilmesinelerak sağlamıştır.
2. DVM yöntemi, farklı rüzgâr hızı aralıklarında tutarlı bir performans sergileyerek, geniş bir veri yelpazesinde güvenilir tahminler üretebileceğini göstermiştir.
3. Kullanılan istatistiksel ölçütler, DVM modelinin tahmin doğruluğunun kabul edilebilir bir başarı seviyesine ulaştığını ortaya koymuştur.
4. Model, farklı illerdeki ve yıllardaki rüzgâr hızı verilerini başarıyla işleyerek, bölgesel ve zamansal değişkenlikleri etkin bir şekilde yakalayabilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma DVM tabanlı makine öğrenmesi yaklaşımının, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki rüzgâr hızı tahmininde etkili bir araç olabileceğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, bu yöntemin rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde ve rüzgâr çiftliklerinin planlanmasında değerli bir katkı sağlayabileceğini ortaya

koymaktadır. Gelecekteki çalışmalar için, farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile karşılaştırmalı analizler yapılması ve daha uzun süreli veri setleriyle modelin performansının test edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, rüzgâr enerjisine yapılan yatırımların artırılması ve Türkiye'nin rüzgâr potansiyelinden daha fazla faydalanılması, ülkenin enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilir kalkınması açısından kritik öneme sahiptir



KAYNAKÇA

1. Sayın, S., Ve Koç, İ., Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri S.Ü. Müh. -Mim. Fak. Dergisi, Mersin, 17 (3): 1-7, (2011).
2. Türkiye Elektrik Üretim Tablosu <https://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/> Erişim Tarihi : 18.06.2024
3. İlkılıç, Z. (2016). Türkiye’de rüzgar enerjisi ve rüzgar enerji sistemlerinin gelişimi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 6(2/2), 1-13.
4. ALAHMAD, H., TAŞKESEN, E., DUMRUL, H., & ARLI, F. (2024). Türkiye 2023 Yılı Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Üretim Gücü Araştırılması.
5. Türkiye Rüzgar Enerjisi Kapasitesi <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/> Erişim Tarihi : 24.06.2024
6. Rüzgar Enerjisi Santralleri Profili <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>
7. dos Santos, F. S., do Nascimento, K. K. F., da Silva Jale, J., Júnior, S. F. A. X., & Ferreira, T. A. (2024). Brazilian wind energy generation potential using mixtures of Weibull distributions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113990.
8. Selimli, S., Shtewı, F. A., Fahed, A. K. A., Koymatcık, Ç. Y., & Özkaymak, M. (2021). Investigation of Wind Energy Potential of Four Different Sites of Libya by Using Weibull Distribution. *Mersin Journal of Engineering Sciences*, 9(3), 766-786.
9. Wan, J., Zheng, F., Luan, H., Tian, Y., Li, L., Ma, Z., ... & Li, Y. (2021). Assessment of wind energy resources in the urat area using optimized weibull distribution. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101351.
10. Serban, A., Paraschiv, L. S., & Paraschiv, S. (2020). Assessment of wind energy potential based on Weibull and Rayleigh distribution models. *Energy Reports*, 6, 250-267.

11. AlQdah, K. S., Alahmdi, R., Alansari, A., Almoghamisi, A., Abualkhair, M., & Awais, M. (2021). Potential of wind energy in Medina, Saudi Arabia based on Weibull distribution parameters. *Wind Engineering*, 45(6), 1652-1661.
12. Aljeddani, S. M., & Mohammed, M. A. (2023). A novel approach to Weibull distribution for the assessment of wind energy speed. *Alexandria Engineering Journal*, 78, 56-64.
13. Alanazi, M. A., Aloraini, M., Islam, M., Alyahya, S., & Khan, S. (2023). Wind energy assessment using Weibull distribution with different numerical estimation methods: a case study. *Emerging Science Journal*, 7(6), 2260-2278.
14. Safari, M. A. M., Masseran, N., & Majid, M. H. A. (2022). Wind energy potential assessment using Weibull distribution with various numerical estimation methods: a case study in Mersing and Port Dickson, Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(3), 1085-1110.
15. Shu, Z. R., & Jesson, M. (2021). Estimation of Weibull parameters for wind energy analysis across the UK. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13(2).
16. Mahmood, F. H., Resen, A. K., & Khamees, A. B. (2020). Wind characteristic analysis based on Weibull distribution of Al-Salman site, Iraq. *Energy reports*, 6, 79-87.
17. Shoib, A. R., Didane, D. H., Mohammed, A. N., Abdullah, K., & Ali, M. F. M. (2021). Technical Assessment of Wind Energy Potentiality in Malaysia Using Weibull Distribution Function. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 86(1), 1-13.
18. Wadi, M., & Elmasry, W. (2021). Statistical analysis of wind energy potential using different estimation methods for Weibull parameters: a case study. *Electrical Engineering*, 103(6), 2573-2594.
19. Yaniktepe, B., Kara, O., Aladag, I., & Ozturk, C. (2023). Comparison of eight methods of Weibull distribution for determining the best-fit distribution parameters with wind data measured from the met-mast. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 9576-9590.

20. Deep, S., Sarkar, A., Ghawat, M., & Rajak, M. K. (2020). Estimation of the wind energy potential for coastal locations in India using the Weibull model. *Renewable energy*, 161, 319-339.
21. Sukkiramathi, K., & Sessaiah, C. V. (2020). Analysis of wind power potential by the three-parameter Weibull distribution to install a wind turbine. *Energy Exploration & Exploitation*, 38(1), 158-174.
22. Patidar, H., Shende, V., Baredar, P., & Soni, A. (2022). Comparative study of offshore wind energy potential assessment using different Weibull parameters estimation methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(30), 46341-46356.
23. Gungor, A. F. Ş. İ. N., Gokcek, M., Uçar, H., Arabacı, E., & Akyüz, A. (2020). Analysis of wind energy potential and Weibull parameter estimation methods: a case study from Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(2), 1011-1020.
24. Bousla, M., Haddi, A., El Mourabit, Y., Sadki, A., Mouradi, A., El Kharrim, A., ... & Bossoufi, B. (2023). Analysis and Comparison of Wind Potential by Estimating the Weibull Distribution Function: Application to Wind Farm in the Northern of Morocco. *Sustainability*, 15(20), 15087.
25. Erisoglu, U., Aras, N., & Yildizay, H. D. (2020). Optimum method for determining Weibull distribution parameters used in wind energy estimation. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 635-648.
26. Larico, E. R. A. (2021). Wind Energy Potential by the Weibull Distribution at High-Altitude Peruvian Highlands. *International Journal of Smart Grid-ijSmartGrid*, 5(3), 113-120.
27. Jabbar, R. I. (2021, February). Statistical analysis of wind speed data and assessment of wind power density using Weibull distribution function (case study: four regions in Iraq). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1804, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.

28. Galarza, J., Condezo, D., Camayo, B., & Mucha, E. (2020). Assessment of wind power density based on weibull distribution in region of junin, peru. *Energy and Power Engineering*, 12(01), 16-27.
29. Daoudi, M., Mou, A. A. S., & Naceur, L. A. (2022). Evaluation of wind energy potential at four provinces in Morocco using two-parameter Weibull distribution function. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 13(2), 1209.
30. Ahmadi, A., Nabipour, M., Mohammadi-Ivatloo, B., Amani, A. M., Rho, S., & Piran, M. J. (2020). Long-term wind power forecasting using tree-based learning algorithms. *IEEE Access*, 8, 151511-151522.
31. Korkmaz, M., Doğan, A., & Kırmacı, V. (2022). Karşıt akışlı ranque–hilsch vorteks tüpünün lineer regresyon, destek vektör makineleri ve gauss süreç regresyonu yöntemi ile performans analizi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 361-370.
32. Alkan, O., Özçelik, R., & Kalkanlı, Ş. (2023). Almus yöresi doğal doğu kayını meşcerelerinin çap dağılımının Weibull dağılımı ile modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 24(3), 197-207.
33. Teimourian, H., Abubakar, M., Yildiz, M., & Teimourian, A. (2022). A comparative study on wind energy assessment distribution models: A case study on Weibull distribution. *Energies*, 15(15), 5684.
34. Zambak, M. F., Cahyadi, C. I., Helmi, J., Sofie, T. M., & Suwarno, S. (2023). Evaluation and analysis of wind speed with the Weibull and Rayleigh distribution models for energy potential using three models. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(2), 427-432.
35. Ghasemi Cherati, M., Baloui Jamkhaneh, E., & Deiri, E. (2021). Some estimation procedures of the PDF and CDF of the generalized inverted Weibull distribution with comparison. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 12(1), 1017-1036.
36. Abbas, G., Gu, J., Asad, M. U., Balas, V. E., Farooq, U., & Khan, I. A. (2022, December). Estimation of Weibull Distribution Parameters by Analytical

- Methods for the Wind Speed of Jhimpir, Pakistan-A Comparative Assessment. In *2022 International Conference on Emerging Trends in Electrical, Control, and Telecommunication Engineering (ETECTE)* (pp. 1-5). IEEE.
37. Karadeniz, A., Eker, M. K., & Metodu, M. BALYA METEOROLOJİ İSTASYONU VERİLERİ KULLANILARAK WEİBULL FONKSİYONU PARAMETRELERİNİN 6 FARKLI METODLA BELİRLENMESİ. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(51).
38. BİNGÖL, O., & BULUT, A. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi.
39. <https://www.emadenerji.com/wp-content/uploads/2019/09/İllerin-Dilim-Orta-Meridyenleri.pdf>
40. Yi, J., Suresh, K., Moghiseh, A., & Wehn, N. (2023). Variational Quantum Linear Solver enhanced Quantum Support Vector Machine. *arXiv preprint arXiv:2309.07770*.
41. Akbar, W., Wu, W. P., Saleem, S., Farhan, M., Saleem, M. A., Javeed, A., & Ali, L. (2020). Development of hepatitis disease detection system by exploiting sparsity in linear support vector machine to improve strength of adaboost ensemble model. *Mobile Information Systems*, 2020(1), 8870240.
42. Hussain, Z. F., Ibraheem, H. R., Alsajri, M., Ali, A. H., Ismail, M. A., Kasim, S., & Sutikno, T. (2020). A new model for iris data set classification based on linear support vector machine parameter's optimization. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(1), 1079.
43. Ghosh, S., Dasgupta, A., & Swetapadma, A. (2019, February). A study on support vector machine based linear and non-linear pattern classification. In *2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)* (pp. 24-28). IEEE.

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : VOLKAN UYDURAN
2. Ünvanı : Elektrik Elektronik Mühendisi
3. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Balıkesir Üniversitesi	2019
Yüksek Lisans	Enerji Sistemleri Müh.	Osmaniye Korkutata Üniversitesi	Devam ediyor

5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
İşletme Mühendisi	AKSA DOĞALGAZ / HATAY-OSMANİYE	2021-2023
Yapım E&I mühendisi	TANAP Doğalgaz Boru Hattı	2023- Devam ediyor