

**RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASINDA WEIBULL VE RAYLEIGH
DAĞILIMLARININ KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilay BALPETEK

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR

ŞUBAT 2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASINDA WEIBULL VE
RAYLEIGH DAĞILIMLARININ KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilay BALPETEK

141120119

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Programı: Enerji

Projeyi Yöneten
Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR

ŞUBAT 2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASINDA WEIBULL VE
RAYLEIGH DAĞILIMLARININ KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nilay BALPETEK
(141120119)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.01.2017

Tezin Sunulduğu Tarih : 24.02.2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR (FÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nevin ÇELİK (FÜ)

: Yrd. Doç. Erdem IŞIK (MÜ)

ŞUBAT-2017

ÖN SÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca sabır ve özveriyle bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, hiçbir yardımını esirgemeyen kıymetli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım

Yüksek lisans tezim boyunca kullandığım programlar için bana yardımcı olan değerli hocam Arş. Gör. İsmail Hakkı ŞANLITÜRK 'e, değerli kuzenim İsmail BALPETEK'e ve arkadaşlarım Ercan ER'e ve Dilek TÜNÇ'e, tez aşamasındaki her türlü desteği için sevgili arkadaşım Ahmet Serdar KARAKURT'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamdaki istatistiksel analizler için ihtiyaç duyduğum rüzgâr hızı verilerini temin etmemi sağlayan Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü' ne, rüzgâr hızı verilerinin hesaplanmasında yardımcı olan arkadaşım Ercan TAHTKURANA' a kuzenlerim Ayşegül KOÇYİĞİT' e ve Ceylan KOÇYİĞİT' e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Nilay BALPETEK

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
TABLO LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. RÜZGÂR ENERJİSİ VE ÖZELLİKLERİ.....	6
3.1. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları	6
3.2. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları	7
3.3. Rüzgâr Enerjisinin Kullanım Alanları.....	7
4. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİNİN DURUMU	9
4.1. Dünya'da Rüzgâr Enerjisi.....	9
4.2. Türkiye' de Rüzgâr Enerjisi.....	11
5. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE ÖZELLİK.....	13
5.1. Rüzgâr Türbinleri ve Sınıflandırılması.....	13
5.1.1. Eksen Yapısına Göre Rüzgâr Türbinleri	13
5.1.1.1. Yatay Eksenli Türbinler.....	13
5.1.1.2. Düşey Eksenli Türbinler	14
5.1.1.3. Eğik Eksenli Türbinler	15
5.1.2. Pervane Kanat Sayısına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	15
5.1.2.1. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbini	16
5.1.2.2. İki Kanatlı Rüzgâr Türbini.....	16
5.1.2.3. Tek Kanatlı Rüzgâr Türbini.....	17
5.2. Rüzgâr Türbini Elemanları	17
5.2.1. Rotor Kanatları.....	17
5.2.2. Yaw Mekanizması.....	18
5.2.3. Kule	18

6.	MATERYAL VE METOT.....	19
6.1.	Rüzgâr Hızı Verilerinin Analizi.....	19
6.2.	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları.....	19
6.3.	Rüzgâr Gücünün Yoğunluk Fonksiyonu ve Ortalama Güç Yoğunluğu.....	20
7.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	22
7.1.	İskenderun İlçesinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi.....	22
7.2.	Elazığ İlının Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi.....	32
7.3.	Bursa İlının Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi	42
7.4.	Karaman İlının Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi	52
7.5.	Sinop İlının Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi	62
7.6.	Adıyaman İlının Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İstatistiksel Analizi.....	73
7.7.	Muğla İlının Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi.....	84
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
	KAYNAKLAR	97
	ÖZGEÇMİŞ.....	102

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi kullanımı son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir. Dünyadaki birçok ülke, yerli, sürekli, hammadde maliyeti olmayan, temiz enerji kaynağı olması, dışa olan bağımlılığı azaltması, türbin kuruluşunun hızla gerçekleştirilebilmesi gibi nedenlerle rüzgâr enerjisini tercih etmektedir. Rüzgâr enerjisinin fosil yakıtlara alternatif olabilmesi ve rekabet edebilmesi amacıyla, dünyada çeşitli teşvik uygulamaları yapılmaktadır. Bu teşvikler aracılığı ile hem rüzgâr enerjisine dayalı bir sanayi oluşmakta hem de kullanılabilirliği yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinin özellikleri, Dünyada ve Türkiye’deki rüzgâr enerjisinin durumu, rüzgâr türbinleri ve generatörler, istatistiksel olarak rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi araştırılmıştır. Örnek uygulama olarak, Türkiye’nin her bir bölgesinden bir il seçilerek, 2005–2014 yıllarında Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayanarak İskenderun, Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Muğla ve Adıyaman illerinin rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, rüzgâr enerjisi uygulamaları, rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak belirlenmesi

ABSTRACT

USING WEIBULL AND RAYLEIGH DISTRIBUTIONS IN THE INVESTIGATION OF WIND ENERGY POTENTIAL

The usage of wind energy that is one of the renewable energy sources shows an increase in the last years. Many countries in the world prefer wind energy for the reason of its domestic, continuous and clean energy source, it has no raw material cost, it decreases the foreign dependency and it has a fast tribune setting up process. There are various encouragement applications in the world about if wind energy can able to be an alternative for fossil fuels and can compete with it. Along with those encouragement applications, both an industry depending on wind energy is formed and its usability becomes prevalent. In this study, the characteristics of wind energy, the status of wind energy in the world and in Turkey, wind turbines and generators, and statistically analysis of the wind energy potential were investigated. As a case study, wind energy potential of İskenderun, Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Muğla ve Adıyaman cities in Turkey were analyzed statistically, based on the hourly measured data by Directorate of State Meteorological Station in 2005-2014 years.

Key Words: Wind energy, wind energy applications, statistically analysis of the wind energy potential

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1.	Dünya'nın rüzgâr enerji potansiyeli	9
Şekil 5.1.	Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü	13
Şekil 5.2.	Yatay eksenli türbin	14
Şekil 5.3.	Düşey eksenli türbin.....	15
Şekil 5.4.	Pervane sayılarına göre rüzgâr türbinleri.....	16
Şekil 5.5.	Bir rüzgâr türbininin elemanları.....	17
Şekil 7.1.	İskenderun ilçesi için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	23
Şekil 7.2.	İskenderun ilçesi için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi	24
Şekil 7.3.	İskenderun ilçesi için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	24
Şekil 7.4.	İskenderun ilçesi için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	26
Şekil 7.5.	İskenderun ilçesi için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	27
Şekil 7.6.	İskenderun ilçesi için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi	28
Şekil 7.7.	İskenderun ilçesi için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi.....	30
Şekil 7.8.	İskenderun ilçesi için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi	30
Şekil 7.9.	İskenderun ilçesi için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi	31
Şekil 7.10.	İskenderun ilçesi için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi.....	31
Şekil 7.11.	Elazığ ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	33
Şekil 7.12.	Elazığ ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	34
Şekil 7.13.	Elazığ ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	34
Şekil 7.14.	Elazığ ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	36
Şekil 7.15.	Elazığ ili için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	37
Şekil 7.16.	Elazığ ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı değerlerinin aylara göre değişimi	38
Şekil 7.17.	Elazığ ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri.....	40
Şekil 7.18.	Elazığ ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri.....	40

Şekil 7.19.	Elazığ ili için ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi.....	41
Şekil 7.20.	Elazığ ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi.....	41
Şekil 7.21.	Bursa ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	43
Şekil 7.22.	Bursa ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	44
Şekil 7.23.	Bursa ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	44
Şekil 7.24.	Bursa ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	46
Şekil 7.25.	Bursa ili için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi	47
Şekil 7.26.	Bursa ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı değerlerinin aylara göre değişimi	48
Şekil 7.27.	Bursa ili için Weibull dağılımına göre güç güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri.....	50
Şekil 7.28.	Bursa ili için Rayleigh dağılımına göre güç güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri.....	50
Şekil 7.29.	Bursa ili için ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi	51
Şekil 7.30.	Bursa ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi	51
Şekil 7.31.	Karaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	53
Şekil 7.32.	Karaman ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	54
Şekil 7.33.	Karaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	54
Şekil 7.34.	Karaman ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	56
Şekil 7.35.	Karaman ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	57
Şekil 7.36.	Karaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi	58
Şekil 7.37.	Karaman ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi	60
Şekil 7.38.	Karaman ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi	60
Şekil 7.39.	Karaman ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi	61
Şekil 7.40.	Karaman ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi	61
Şekil 7.41.	Sinop ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	64
Şekil 7.42.	Sinop ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişim	64
Şekil 7.43.	Sinop ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	65
Şekil 7.44.	Sinop ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	67
Şekil 7.45.	Sinop ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	68

Şekil 7.46. Sinop ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi	69
Şekil 7.47. Sinop ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi	71
Şekil 7.48. Sinop ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi	71
Şekil 7.49. Sinop ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi	72
Şekil 7.50. Sinop ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi	72
Şekil 7.51. Adıyaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	74
Şekil 7.52. Adıyaman ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişim	75
Şekil 7.53. Adıyaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	75
Şekil 7.54. Adıyaman ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	77
Şekil 7.55. Adıyaman ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	78
Şekil 7.56. Adıyaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi	79
Şekil 7.57. Adıyaman ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi	81
Şekil 7.58. Adıyaman ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi	81
Şekil 7.59. Adıyaman ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi	82
Şekil 7.60. Adıyaman ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi	82
Şekil 7.61. Muğla ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	85
Şekil 7.62. Muğla ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişim	85
Şekil 7.63. Muğla ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi.....	86
Şekil 7.64. Muğla ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi	88
Şekil 7.65. Muğla ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi.....	88
Şekil 7.66. Muğla ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi	90
Şekil 7.67. Muğla ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi	91
Şekil 7.68. Muğla ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi	92

Şekil 7.69. Muğla ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi	92
Şekil 7.70. Muğla ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi	93



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1.	Ülkelerin rüzgâr türbin güç kapasitesindeki değişimi.....	10
Tablo 4.2.	Türkiye'deki enerji santralleri.....	12
Tablo 7.1.	İskenderun ilçesine ve Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Muğla illerine ait konum, rakım ve hava yoğunluğu değerleri.....	22
Tablo 7.2.	İskenderun ilçesi için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.....	23
Tablo 7.3.	İskenderun ilçesi için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri	25
Tablo 7.4.	Weibull dağılımına göre İskenderun ilçesi için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	26
Tablo 7.5.	İskenderun ilçesi için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	28
Tablo 7.6.	İskenderun ilçesi için Weibull dağılımı parametreleri	29
Tablo 7.7.	İskenderun ilçesi için Rayleigh dağılımı parametreleri.....	29
Tablo 7.8.	Elazığ ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları	33
Tablo 7.9.	Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri.....	35
Tablo 7.10.	Weibull dağılımına göre Elazığ ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları	36
Tablo 7.11.	Elazığ ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2) , ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	38
Tablo 7.12.	Elazığ ili için Weibull dağılımı parametreleri.....	39
Tablo 7.13.	Elazığ ili için Rayleigh dağılımı parametreleri.....	39
Tablo 7.14.	Bursa ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.....	43
Tablo 7.15.	Bursa ili için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri.....	45
Tablo 7.16	Weibull dağılımına göre Bursa ili için 2005-2014 aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	46
Tablo 7.17.	Bursa ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2) , ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	48
Tablo 7.18.	Bursa ili için Weibull dağılımı parametreleri	49

Tablo 7.19. Bursa ili için Rayleigh parametreleri.....	49
Tablo 7.20. Karaman ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.....	53
Tablo 7.21. Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri.....	55
Tablo 7.22. Weibull dağılımına göre Karaman ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları	56
Tablo 7.23. Karaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	58
Tablo 7.24. Karaman ili için Weibull dağılımı parametreleri	59
Tablo 7.25. Karaman ili için Rayleigh dağılımı parametreleri.....	59
Tablo 7.26. Sinop ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.....	63
Tablo 7.27. Sinop ili için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerler.....	66
Tablo 7.28. Weibull dağılımına göre Sinop ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları	67
Tablo 7.29. Sinop ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	69
Tablo 7.30. Sinop ili için Weibull dağılımı parametreleri	70
Tablo 7.31. Sinop ili için Rayleigh dağılımı parametreleri.....	70
Tablo 7.32. Adıyaman ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.....	74
Tablo 7.33. Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi k ölçek parametresi c	76
Tablo 7.34. Weibull dağılımına göre Adıyaman ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları.....	77
Tablo 7.35. Adıyaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	79
Tablo 7.36. Adıyaman ili için Weibull dağılımı parametreleri	80
Tablo 7.37. Adıyaman ili için Rayleigh dağılımı parametreleri.....	80
Tablo 7.38. Muğla ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları.....	84
Tablo 7.39. Muğla ili için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri.....	86

Tablo 7.40. Weibull dağılımına göre Muğla ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları	87
Tablo 7.41. Muğla ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri	89
Tablo 7.42. Muğla ili için Weibull dağılımı parametreleri	90
Tablo 7.43. Muğla ili için Rayleigh dağılımı parametreleri.....	91



SEMBOLLER LİSTESİ

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_j	: Her bir rüzgâr hızı sınıfının oluş sıklığı
$f_R(v)$	: Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu
$f_W(v)$	: Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_R(v)$	: Rayleigh kümülatif dağılım 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_R	: Rayleigh fonksiyonu 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
χ^2	: Ki-Kare
V	: Rüzgâr hızı (m/s)
V_m	: Ortalama rüzgâr hızı (m/s)
$V_{\max E}$	: Maksimum rüzgâr hızı (m/s)
V_{mod}	: En büyük sıklığa sahip rüzgâr hızı (m/s)

KISALTMALAR LİSTESİ

CDF	: Kümülatif yoğunluk fonksiyonu (Cumulative density function)
EPDK	: Enerji Piyasa Düzenleme Kurulu
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
PDF	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu (Probability density function)
WAsP	: Rüzgâr atlası analizi ve uygulama programı (Wind Atlas Analysis and Application Program)
WWEA	: Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurumu (World Wind Energy Association)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve bunun yanı sıra gelişmekte olan dünya sanayisi ve ekonomisi, insanoğlunun enerji ihtiyacını her geçen gün artırmaktadır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil enerji kaynaklarının azalması, tüm dünya ülkelerini yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Rüzgâr enerjisi en çok bilinen ve en çok kullanılan enerji kaynaklarından biridir [1]. Rüzgârın iş yapabilme yetisi çok eski zamanlardan beri insanoğlunun dikkatini çekmiş ve tahılların öğütülmesi, suyun pompalanması yelkenli gemiyle ulaşım gibi günümüze kadar uzanan yeniliklerin kaynağı olmuştur [2]. Yel değirmenlerinin sulama veya tahıl öğütme amaçlı kullanımı Mezopotamya’da M.Ö. 1700’lü yıllara, Çin’de farklı iki kaynaktan elde edilen bilgilere göre M.S. 200’ lü yıllara veya 1000’li yıllara, Afganistan’da 700’lü yıllara, İran’da 900’lü yıllara kadar uzanmaktadır [3-4]. Yel değirmenlerinin Avrupa’daki ilk kullanımı ise M.S. 1100’ lü yıllara karşılık gelmekte ve doğudaki örneklerinden farklı olarak yatay eksenli yel değirmenleri kullanılmaktadır. 1800’lü yılların sonlarına kadar Hollanda ve Danimarka’da yatay eksenli yel değirmenlerinin çeşitli tipleri geliştirilmiştir [3,5].

Rüzgâr Enerjisi özellikle 1990’lı yıllardan itibaren önemli bir gelişme göstermiş, Amerika ve Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Yapılan araştırmalara göre şuan yürütülmekte olan politikaların devam etmesi durumunda dünya üzerindeki elektrik enerjisi üretimine rüzgâr enerjisinin payının hızla artacağı tahmin edilmektedir [6].

Rüzgâr, atmosferin ısınması ve soğumasından kaynaklanan sıcaklık ve basınç farkından oluşmaktadır. Rüzgâr, kararlı, güvenilir, sürekli, kinetik bir enerji kaynağıdır. Atmosferin rüzgârı oluşturan brüt kinetik gücü yaklaşık olarak 190×10^9 kW değerindedir. Dünyanın 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki 3×10^9 kW’ lık kinetik rüzgâr gücü potansiyelinin üçte birinin kullanılabileceği görüşü söz konusudur. Yeryüzünün aldığı toplam güneş enerjisinin yaklaşık olarak % 2’ sinin rüzgârın kinetik enerjisine dönüştüğü tahmin edilmektedir. Bu miktarın toplam dünya enerji tüketiminin 100’lerce katı olduğu düşünülürse, rüzgâr enerjisinin önemi anlaşılmaktadır [7].

Türkiye karasal rüzgâr açısından zengin sayılabilecek bir konumdadır. Rüzgâr potansiyeli bakımından zengin olan bölgelerimiz öncelikle Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz kıyılarıdır [8].

Bölgesel rüzgâr rejimlerinin önceden tahmin edilebilmesi için çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda rüzgâr hızı frekans dağılımı Gamma, log normal, Rayleigh gibi farklı dağılımlar kullanılarak gösterilmektedir. Buna karşılık son yıllarda iki parametrelili Weibull dağılımı ve bir parametrelili Rayleigh dağılımı dünyanın birçok bölgesinin rüzgâr dağılımını temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemlerin kullanılma nedeni, rüzgâr dağılımına çok iyi uymaları, dağılımlarının esnek bir yapıya sahip olmaları, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesinin ardından farklı yükseklikler için tahmin edilebilmesi gibi faktörlerdir [9]. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının hata analizleri R^2 , RMSE, χ^2 temsil yetenekleri Anderson–Darling, Kolmogorov–Smirnov testleri ile dağılımlarının güç yoğunlukları, ortalama hızları çeşitli şekillerde incelenmektedir [10–12].

Bu çalışmanın amacı İskenderun ilçesinin ve Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Adıyaman, Muğla illerinin Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak rüzgâr enerji potansiyelini belirlemektir. 2005–2014 yılları arasındaki rüzgâr hızı verileri Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. İstatistiksel analiz sırasında incelenen illerin Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu, Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, Rayleigh yoğunluk fonksiyon, Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu, ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr hızının standart sapması, maksimum rüzgâr hızı, rüzgâr gücü yoğunluğu belirlenmiştir. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansını değerlendirmek için ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) ve belirlilik katsayısı (R^2) uyum iyiliği testlerinden faydalanılmıştır. Çalışma sırasında Matlab ve Statistica programları kullanılmıştır.

2. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI

Türkiye’deki rüzgâr enerji potansiyeli, günümüze kadar birçok kişi tarafından araştırılmıştır [6, 13–28]. Bu araştırmalara örnek vermek gerekirse;

Devlet Meteoroloji İşleri tarafından 1993 yılında başlatılan rüzgâr atlası çalışmasında 43 meteoroloji istasyonunun verileri WASP bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. 10 metre ölçüm yüksekliğinde ortalama yıllık rüzgâr hızı baz alınarak yapılan değerlendirme sonucunda; Afyon, Antalya, Isparta, Samsun, Sarıyer, Akhisar, Malatya, Anamur’un ortalama rüzgâr hızı 2.7 – 3.5 m/s, Bergama, Bodrum, Çanakkale, Çorlu, Gökçeada, İnebolu, Sinop’un 3.5 – 4 m/s, Antakya, Bandırma ve Mardin’ in 4 – 6 m/s arasında tespit edilmiştir. En yüksek hız 6.2 m/s ile Bozcaada ‘ da saptanmıştır [6].

Çelik [13] çalışmasında Antakya ve İskenderun bölgesindeki rüzgâr potansiyelini iki parametrelili Weibull dağılımı kullanarak WASP paket programı yardımıyla değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada Antakya, İskenderun, Karataş, Yumurtalık, Dört Yol, Samandağ ve Adana meteoroloji istasyonundan elde edilen saatlik rüzgâr hızı ve yön bilgileri kullanılmış olup sonuç itibarıyla bölgeye yatırım yapılabilmesi ifade edilmiştir.

Tağıl [14] çalışmasında Sinop meteoroloji istasyonunun 1990–1996 yılları arasındaki 10 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hızı verilerini kullanmıştır. 24 saate ait rüzgâr hız verilerini saatlik ve aylık olarak değerlendirmiştir. Rüzgâr atlası istatistiklerini elde etmek için WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programını kullanmıştır. İncelenen bölgede rüzgâr hızının kış ve yaz aylarında yüksek, ilkbahar ve sonbahar aylarında ise düşük olduğunu tespit etmiştir.

Cerit ve diğ. [15] Isparta ili için rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi potansiyelini 1998-1999 yılları arasında araştırmışlardır. 10 metre yükseklikte en fazla rüzgâr hızı 2.4 m/s ile Mart ayında, 30 metre yükseklikte ise 2.75 m/s ile Kasım ayında tespit edilmiştir. Elde edilen değerler sonucunda, bu bölgenin rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için uygun olduğunu saptamışlardır.

Kavak Akpınar ve Akpınar [16] çalışmalarında 1988-2002 yılları arasında günlük saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerini kullanarak Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları ile Elazığ - Ağın’ın rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmişlerdir. Elektrik üretimi için rüzgâr enerji potansiyelinin yeterli olmadığını ancak analiz

sonuçlarına göre pil şarjı, su pompalaması gibi elektriksiz ve mekanik bağlantılı olmayan uygulamalar için uygun olabileceğini tespit etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre Weibull dağılımının Rayleigh dağılımına göre daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kavak Akpınar [17] çalışmasında 1988-2002 yılları arasında günlük saat olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerini kullanarak Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları ile Elazığ, Maden, Ağın ve Keban'ın rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmiştir. Ortalama rüzgâr hızlarını Maden için 5.66 m/s Ağın için 3.86 m/s Elazığ için 3.14 m/s Keban için 2.27 m/s olarak bulmuştur. Rüzgâr hızının yaz aylarında yüksek, kış ve ilkbahar aylarında düşük olduğunu gözlemlemiştir. Bütün istasyonlar için Weibull dağılım fonksiyonunun Rayleigh dağılım fonksiyonuna göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir.

Kurban ve diğ. [18] çalışmalarında 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında 15 sn aralıklarla ölçülen rüzgâr hızı verilerini kullanarak Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları ile Eskişehir ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmişlerdir. Bu dağılımların parametrelerinin bulunmasında Maximum Likelihood Metodunu kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucunda, Weibull dağılımının Rayleigh'e göre rüzgâr hızını daha iyi modellediğini belirlemişlerdir.

Albostan ve diğ. [19] çalışmalarında Bahçeşehir Üniversitesi Beşiktaş yerleşkesindeki rüzgâr ölçüm istasyonundan yarım saatlik aralıklarla alınan 2008 yılının Şubat-Temmuz aylarına ait rüzgâr hız verilerini kullanarak yerleşkenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel araştırmasını Weibull dağılımı ile yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda bölgenin rüzgâr enerjisi üretimi açısından iyi durumda olduğunu belirlemişlerdir.

Bilgili ve diğ. [20] çalışmalarında Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke bölgelerinin rüzgâr enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılmasında Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarını kullanmışlardır. İncelenen tüm istasyonlarda Weibull dağılımı, Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak incelenen bu bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyelleri oldukça yüksek bulunmuş ve rüzgâr türbini kurulmasına uygun bölgeler olduğu tespit edilmiştir.

Kaplan [21] çalışmasında 2013 yılında saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayanarak, Osmaniye' deki rüzgâr enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmiştir.

Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Weibull dağılımı ile elde edilen değerlerin, Rayleigh dağılımı ile elde edilen değerlerden daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Ayrıca Türkiye'nin birçok ilinde; Kütahya [22], Eskişehir [23], Van [24], Menemen [25], Belen – Gökçeada [26], Niğde [27] Antakya – Bilecik – Mardin – Nevşehir - Zonguldak [28] rüzgâr enerjisi potansiyeli iki parametrelili Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak araştırılmış ve istatistiksel analizler yapılmıştır.



3. RÜZGÂR ENERJİSİ VE ÖZELLİKLERİ

Yeryüzünün eşit olmayan ısınması ve soğuması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin etkisi ile oluşan hava hareketlerine rüzgâr denilmektedir. Rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisine ise rüzgâr enerjisi denilmektedir. Havanın dünya yüzeyi üzerinde hareket edebilmesini sağlayarak rüzgârı meydana getiren ve rüzgârın hızına etki eden atmosfer içindeki belli başlı kuvvetler bulunmaktadır. Bunlar; basınç gradyan kuvveti, Coriolis kuvveti, merkezkaç kuvveti ve sürtünme kuvvetidir. Basınç gradyan kuvveti, havayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru akıtmaya çalışacak şekilde etki eden kuvvet olarak bilinmektedir. Coriolis kuvveti ise, yer dönmesinin saptırıcı kuvveti olarak bilinmektedir. Rüzgârlar, genel olarak bir merkez etrafında dolanmaktadır. Bu hareketin neticesi olarak da, kendilerini dolanım merkezlerinden uzaklaştırmak isteyen bir kuvvet etkisi altında bulunmaktadır. Bu kuvvete, merkezkaç kuvveti denilmektedir. Rüzgâr hızını yavaşlatmaya çalışan kuvvete ise sürtünme kuvveti denilmektedir. Bu kuvvet, yer yakınında en büyüktür ve türbülanslar tarafından yukarıya taşınmaktadır. Rüzgârın sürtünmesinden doğan bu kuvvet, yer üstünde 450 – 600 m yüksekliğe kadar rüzgârı yavaşlatmaktadır [29].

3.1. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları

Rüzgâr enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Temizdir: Çevre kirliliğine olumsuz etkilerinin olmaması hava kirliliği sorununu azaltmaktadır.
- Ucuzdur ve yakıt fiyatı riski bulunmamaktadır.
- Sürekli ve yerel enerji kaynağıdır. Dışa bağımlılığı bulunmamaktadır.
- Arazi dostudur: Rüzgâr santrali içinde veya etrafında tarım/sanayi faaliyetleri yapılabilir.
- Uygulama esnekliği bulunmaktadır: Büyük ölçekli ticari santraller veya ev tipi uygulamaları mümkün olmaktadır.
- Kırsal alanlarda elektrik ağını geliştirmektedir. İstihdamı ve bölgesel kalkınmayı sağlamaktadır.

- Uzun dönem işletme maliyetleri diğer tüm enerji kaynaklarının içinde en az olanıdır. Sadece periyodik bakımların yapılması ile 20 – 30 yıl süreyle kullanılabilir.
- Rüzgâr türbinlerinin yeri belirlendikten sonra inşaatın başlaması ve türbinin üretime geçmesi üç ay gibi kısa bir süre almaktadır [30-31].

3.2. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları

Rüzgâr enerjisinin dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Enerji üretimi rüzgâra bağımlı olduğundan rüzgâr kesilmesi veya azalması ile enerji kaybı oluşmaktadır.
- Türbin maliyetleri yüksek olabilmektedir. Ancak gittikçe azalan bir maliyet durumu söz konusudur.
- Büyük dönel bir makine olduğu için çevrede kuş ölümlerine neden olmaktadır.
- Rüzgâr türbinlerinin meydana getirdiği ses şiddeti çevreye gürültü olarak yansımaktadır.
- Türbinler; elektromanyetik dalgayı etkilemektedir [32].

3.3. Rüzgâr Enerjisinin Kullanım Alanları

Rüzgâr enerjisi pek çok alanda tercih edilmektedir. Hatta rüzgâr enerjisi sayesinde pek çok kişi kendi elektriğini üretebilmektedir. Bu sayede insanlar düşük maliyetlerle elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Rüzgâr enerjisinin kullanım alanlarından bazıları şunlardır;

- Su pompalama alanları
- Tahıl öğütme sistemleri
- Soğutma sistemleri
- Bahçe aydınlatması
- Şarj sistemleri
- Su depolama alanları
- Taşımacılık sektörü

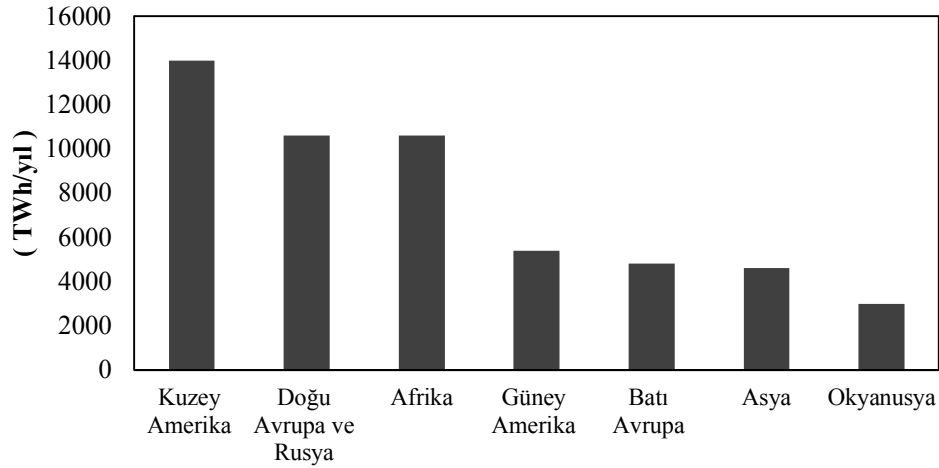
Rüzgâr enerjisi rüzgâr türbinleri sayesinde elde edilmektedir. Bu rüzgâr türbinleri sadece kentin elektriğini sağlamakla sınırlı kalmaz ve evlerde de ev tipi rüzgâr türbinleri kullanılırsa evlerin elektrik ihtiyacı da karşılamaktadır. Ayrıca bu sistem oldukça basit ve masrafsız kurulan bir sistemdir. Basit bir düzeni olan ev tipi türbinlerin arızası kolayca giderilmektedir. Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrikten; kırsal kesimlerde, ormanlık ve dağlık alanlarda, çiftliklerde, deniz fenerlerinde, park ve bahçelerde, adalarda yararlanılmaktadır [33].



4. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİNİN DURUMU

4.1. Dünya'da Rüzgâr Enerjisi

Dünya rüzgâr enerji potansiyelini belirleyebilmek amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, 5.1 m/s üzerinde rüzgâr kapasitesine sahip bölgelerin, uygulamaya dönük toplumsal kısıtlar nedeni ile % 4'ünün kullanılacağı öngörüsüne dayanarak, dünya teknik rüzgâr potansiyeli 53000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünya'nın rüzgâr enerji potansiyeli Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Rüzgâr enerji potansiyeli yüksek olan bölgeler sırasıyla; Kuzey Amerika (14000 TWh/yıl), Doğu Avrupa ve Rusya (10600 TWh/yıl), Afrika (10600 TWh/yıl), Güney Amerika (5400 TWh/yıl), Batı Avrupa (4800 TWh/yıl), Asya (4600 TWh/yıl) ve Okyanusya (3000 TWh/yıl) dır [30].



Şekil 4.1. Dünya'nın rüzgâr enerji potansiyeli

Ülkelerin Rüzgâr Türbin Güç Kapasitesindeki Değişimi Tablo 4.1' de verilmiştir. Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurumu'nun (WWEA) yayınladığı rüzgâr enerjisi raporuna göre 2014 yılı Temmuz ayı itibari ile rüzgâr enerjisi kurulu gücü en yüksek olan ülkeler sırasıyla; Çin (98588 MW), ABD (61946 MW), Almanya (36488 MW), İspanya (22970 MW) ve Hindistan (21262 MW)'dır. Özellikle Çin' in 2014 yılı ilk altı aylık döneminde rüzgâr türbini kurulu gücünü 7175 MW artırması, Çin'in rüzgâr enerjisine

yönelik yatırımcılara uyguladığı teşvik edici politikaların bir sonucu olarak değerlendirilmektedir [34].

Tablo 4.1. Ülkelerin rüzgâr türbin güç kapasitesindeki değişimi

Sıralama	Ülkeler	2014 Yılı Kapasite(MW)	2013 Yılı Kapasite(MW)	2012 Yılı Kapasite(MW)
1	Çin	98588	91413	75324
2	ABD	61946	61108	59882
3	Almanya	36488	34660	31315
4	İspanya	22970	22959	22796
5	Hindistan	21262	20150	18321
6	İngiltere	11180	10531	8445
7	Fransa	8592	8551	7499
8	İtalya	8586	8254	8144
9	Kanada	8526	7698	6201
10	Danimarka	4855	4772	4162
11	Portekiz	4829	4724	4525
12	İsveç	4824	4470	3745
13	Brezilya	4700	3399	2507
14	Avustralya	3748	3049	2584
15	Polonya	3727	3390	2497
16	Türkiye	3424,4	2959	2312
	Diğerleri	28081,6	26443	22349
	Toplam	336327	318530	282608

Rüzgâr türbin teknolojisi alanında önde gelen ülkelerden olan Çin, ABD, Almanya, İspanya ve Hindistan'ın 2014 yılı toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü, dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücünün % 72' sini oluşturmuştur. Bu durum rüzgâr türbin teknolojisinin geliştiği bölgelerde rüzgâr enerjisine yönelik yapılan yatırımların daha fazla olduğunu göstermektedir. Rüzgâr enerjisine yönelik yoğun teşviklerin uygulandığı Avrupa' da 2014 yılında rüzgâr türbini kurulu gücünü en fazla artıran ülke Almanya, en az artıran ülke ise İspanya olmuştur. Bu durum, Almanya'nın 2021 yılına kadar ülkedeki tüm nükleer santrallerin kapatılarak yenilenebilir enerjiye öncelik verilmesine yönelik uyguladığı politikadan kaynaklanmaktadır. İspanya'da rüzgâr enerji sektöründe yaşanan bu duraklamanın ise ekonomik kriz etkisiyle gerçekleştiği öngörülmektedir [35-36].

4.2. Türkiye’ de Rüzgâr Enerjisi

Ülkemizde rüzgâr enerjisiyle ilgili çalışmaların başlangıç tarihi çok eskilere dayanmamaktadır. Bu konudaki çalışmaları ilk başlatan kurum 1980' li yılların ortalarında Elektrik İşleri Etüt İdaresi olmuştur. Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından hazırlanan Türkiye Atlasına göre rüzgâr hızları; Marmara, Batı Karadeniz ve Doğu Akdeniz kıyılarında 6.0 – 7.0 m/s, iç kesimlerinde ise 5.5 – 6.5 m/s arasında, Batı Akdeniz kıyılarında 5.0 – 6.0 m/s, iç kesimlerinde ise 4.5 – 5.5 m/s arasında, Ege kıyılarında 7.0 – 8.5 m/s, iç kesimlerinde ise 6.5 – 7.0 m/s arasında tespit edilmiştir [37].

Türkiye'de ilk rüzgâr santrali 1998 yılında İzmir'de kurulmuştur. Devreye alınan 165 santralin bir kısmı henüz lisans kurulu gücü kadar kurulu güce erişmemiş olup inşası devam etmektedir. Bu kapsamda bir kısmı devreye alınan santrallerin tam kapasite olarak devreye girmesi ile 670 MW kapasiteli rüzgâr türbini devreye girmiş olacak ve kurulu güç 6394 MW kapasiteye ulaşacaktır. Türkiye’deki enerji santrallerinin bir kısmı Tablo 4.2’ de verilmiştir. Ayrıca Türkiye’ de henüz hiçbir ünitesi devreye alınmayan fakat 2016 Ocak itibariyle kurulumunda ilerleme kaydedilen (yani yatan lisanslar hariç) 66 santralin lisans kapasitesi de 1506 MW' dır. Bu bağlamda kısmen devreye alınan ve inşaatında ilerleme kaydedilen projelerin tümü tamamlandığında Türkiye rüzgâr santrali kurulu gücünün 7900 MW düzeyine çıkacağı ön görülmektedir. Temmuz 2016 itibariyle EPDK' dan lisans alan tüm santrallerin devreye girmesiyle ülkemizin rüzgâr kurulu gücü 9985.82 MW 'a ulaşmıştır ve bu da ülkenin elektrik tüketiminin %10.6' sının rüzgâr santrallerinden karşılandığı anlamına gelmektedir. Ayrıca EPDK tarafından 2018 yılı sonuna kadar 3000 MW daha rüzgâr santrali başvurusu kabul edilecektir [38].

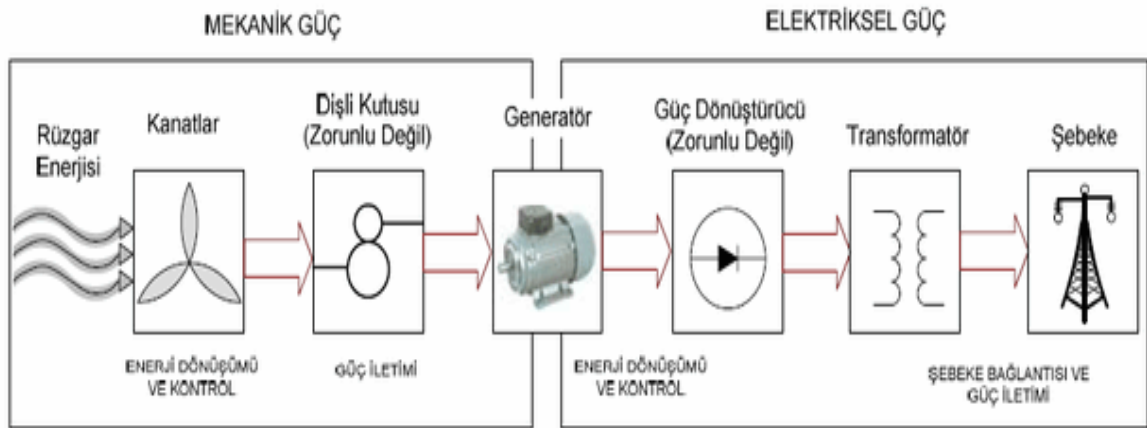
Tablo 4.2. Türkiye’deki enerji santralleri

Sıralama	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MW)
1	Soma Rüzgâr Santrali	Manisa	Polat Enerji	240 MW
2	Geycek Rüzgâr Santrali	Kırşehir	Polat Enerji	168 MW
3	Balıkesir Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Enerjisa Elektrik	143 MW
4	Osmaniye Gökçedağ RES	Osmaniye	Zorlu Enerji	135 MW
5	Bergama Rüzgâr Santrali	İzmir	Bilgin Enerji	120 MW
6	Bilgin Enerji Soma Rüzgâr Santrali	Manisa	Bilgin Enerji	120 MW
7	Karaburun Rüzgâr Santrali	İzmir	Alto Holding	120 MW
8	Dinar Rüzgâr Santrali	Afyonkarahisar	Güriş Holding	115 MW
9	Şamlı Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Aksa Enerji	114 MW
10	Çatalca Rüzgâr Santrali	İstanbul	Sanko Enerji	93 MW
11	Şah Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Doğan Enerji	93 MW
12	Bandırma Kurşunlu RES	Balıkesir	Borusan EnBW Enerji	87 MW
13	Kayseri Yahyalı Rüzgâr Santrali	Kayseri	FC Enerji	79 MW
14	Kangal Rüzgâr Santrali	Sivas	Ece Tur İnşaat	78 MW
15	Edincik Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Edincik Enerji	77 MW
16	Ziyaret (Türbe) Rüzgâr Santrali	Hatay	Fina Enerji	76 MW
17	Aksu Rüzgâr Santrali	Kayseri	Ayen Enerji	72 MW
18	Poyraz Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Polat Enerji	67 MW
19	İÇDAŞ Biga RES	Çanakkale	İÇDAŞ Enerji	60 MW
20	Sebenoba Rüzgâr Santrali	Hatay	Aksa Enerji	60 MW
21	Süloğlu Rüzgâr Santrali	Edirne	Steag Wind Enerji	60 MW
22	Susurluk Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Eksim Enerji	60 MW
23	Uluborlu Rüzgâr Santrali	İsparta	Fina Enerji	60 MW
24	Yuntdağ Rüzgâr Santrali	İzmir	Dost Enerji	60 MW
25	Çerçikaya RES	Hatay	ZT Enerji	57 MW
26	Mazi 1 Rüzgâr Santrali	İzmir	Demirer Enerji	56 MW
27	İntepe Anemon RES	Çanakkale	Demirer Enerji	56 MW
28	Sayalar Rüzgâr Santrali	Manisa	Polat Enerji	54 MW
29	Uşak Rüzgâr Santrali	Uşak	Bereket Enerji	54 MW
30	Sancak Enerji Yahyalı RES	Kayseri	Sancak Enerji	53 MW
31	Düzova Rüzgâr Santrali	İzmir	Fina Enerji	52 MW
32	Subaşı Kaniye RES	Edirne	Güriş Holding	51 MW
33	Balabanlı Rüzgâr Santrali	Tekirdağ	Borusan EnBW Enerji	50 MW
34	Bandırma RES	Balıkesir	Bilgin Enerji	50 MW
35	Harmanlık RES	Bursa	Borusan EnBW Enerji	50 MW
36	Hasanbeyli Rüzgâr Santrali	Osmaniye	Eksim Enerji	50 MW
37	Kavaklı Rüzgâr Santrali	Balıkesir	Erciyas Holding	50 MW
38	Koru Rüzgâr Santrali	Çanakkale	Borusan EnBW Enerji	50 MW
39	Mut Rüzgâr Santrali	Mersin	Borusan EnBW Enerji	50 MW
40	Sarıtepe RES (Rotor 2)	Osmaniye	Zorlu Enerji	50 MW
41	Zeytineli RES	İzmir	Bilgin Enerji	50 MW
42	Belen Rüzgâr Santrali	Hatay	Güriş Holding	48 MW
43	Kınık Rüzgâr Santrali	İzmir	Özbolat Enerji Grubu	48 MW
44	Bağarası Rüzgâr Santrali	Aydın	Erdem Holding	46 MW
45	Kurtkaya RES	Kayseri	Are Elektrik Üretim	45 MW
46	Silivri Rüzgâr Santrali	İstanbul	Eksim Enerji	45 MW
47	Söke RES	Aydın	Bereket Enerji	45 MW
48	Tekirdağ Kıyıköy RES	Tekirdağ	Beşiktepe Üretim	44 MW
49	Akhisar Rüzgâr Santrali	Manisa	Karesi Enerji	44 MW
50	Çanta Rüzgâr Santrali	İstanbul	Boydak Enerji	43 MW
51	Amasya Rüzgâr Enerji Santrali	Amasya	Mina Group	42 MW
52	Bandırma 3 RES	Balıkesir	Bursa Temiz Enerji	41 MW

5. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE ÖZELLİK

5.1. Rüzgâr Türbinleri ve Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşmaktadır. Şekil 5.1’ de rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünün şematik görünümü verilmiştir. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilmektedir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılmaktadır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılmaktadır [39] .



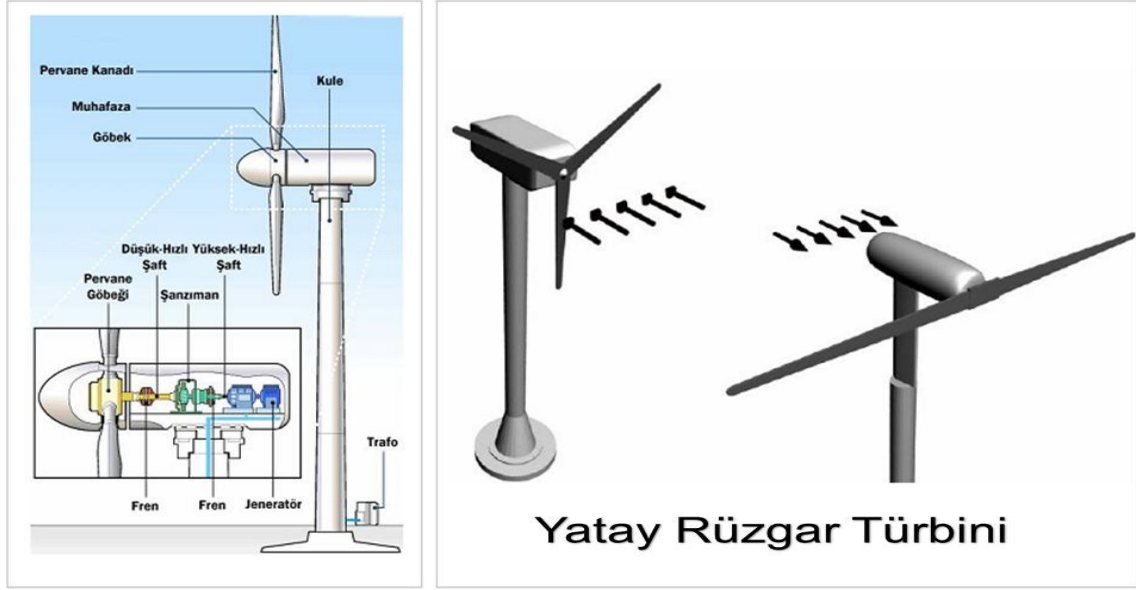
Şekil 5.1. Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılmaktadır.

5.1.1. Eksen Yapısına Göre Rüzgâr Türbinleri

5.1.1.1. Yatay Eksenli Türbinler

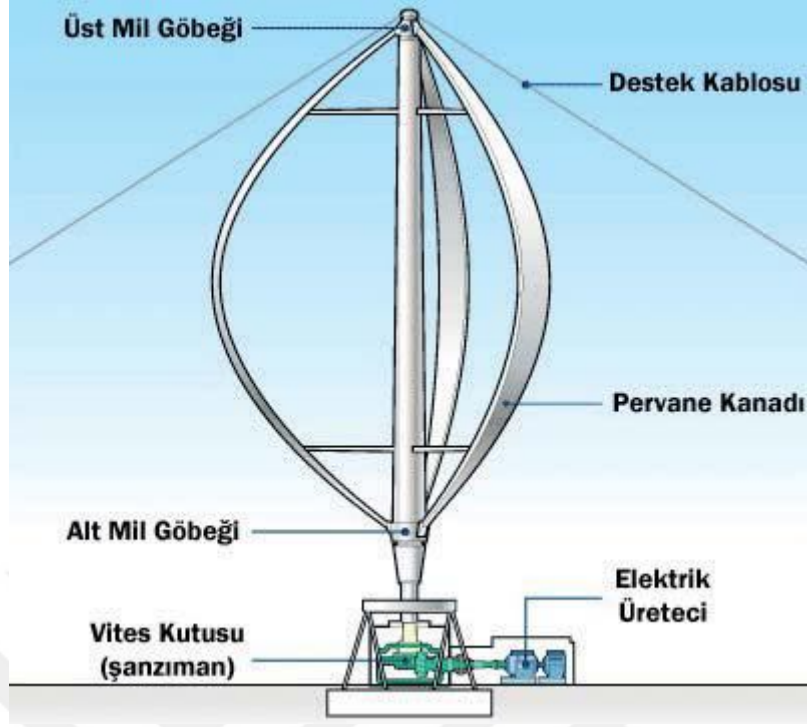
Yatay eksenli türbinler, dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel, kanatları ise rüzgâr yönüne dik olarak çalışmaktadır. Bu tür türbinler bu konuma, rotor kule üzerinde döndürülerek getirilmektedir. Şekil 5.2’ de yatay eksenli türbini gösterilmiştir [40].



Şekil 5.2. Yatay eksenli türbin

5.1.1.2. Düşey Eksenli Türbinler

Dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. Bu türbinlerin rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğü bulunmaktadır. Giromill açısı değiştirilebilen kanatlara sahip olduğundan, kendi başına çalışmaya başlayabilmektedirler. Günümüzde çeşitli ülkelerdeki elektrik enerjisi üretimi uygulamalarının çoğunluğunu 2 veya 3 kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinden oluşturmaktadır. Şekil 5.3' de düşey eksenli türbin gösterilmiştir [41].



Şekil 5.3. Düşey eksenli türbin

5.1.1.3. Eğik Eksenli Türbinler

Dönme eksenleri düşeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı değeri bulunmaktadır [41].

5.1.2. Pervane Kanat Sayısına Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri farklı kanat sayılarına sahiptir. Kanat sayısı azaldıkça dönüş hızı artmaktadır. Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denilmektedir. Eğer;

$\lambda = 1-5$ Çok kanatlı rotor

$\lambda = 6-8$ Üç kanatlı rotor,

$\lambda = 9-15$ İki kanatlı rotor,

$\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılmaktadır. Şekil 5.4' de pervane kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri gösterilmiştir [42-43].



Şekil 5.4. Pervane sayılarına göre rüzgâr türbinleri

5.1.2.1. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbini

Modern rüzgâr türbinlerinde en çok üç kanatlı rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bunun temel nedeni, pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu yönden daha avantajlıdır. Ayrıca, üç kanatlı pervane bu avantajından dolayı rüzgâr türbinleri üzerinde ek bir yük getirmemektedir [42–43].

5.1.2.2. İki Kanatlı Rüzgâr Türbini

İki kanatlı rüzgâr türbini, üç kanatlı rüzgâr türbininden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, iki kanatlı rüzgâr türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar gerektirdiğinden, üç kanatlı rüzgâr ile aynı maliyete gelmektedir. Üç kanatlı rüzgâr türbininden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgâr türbini üzerinde ek bir yüklenme meydana getirmekte ve sadece sallanan göbek ile giderilebilmektedir. Sallanan göbek

kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektir. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgâr hızlarında (örneğin 3 m/s) pervane devreye girememektedir [44].

5.1.2.3. Tek Kanatlı Rüzgâr Türbini

Tek kanatlı rüzgâr türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek hızın düşürülmesidir. Tek kanatlı rüzgâr türbini aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olmaktadır. Bu mekanizmayı kontrol etmek için göbek kısmına ek yapılar gerektirmektedir. Diğer dezavantajlarından bir diğeri de yüksek aerodinamik gürültü seviyesine sahip olmasıdır [44].

5.2. Rüzgâr Türbini Elemanları

Bir rüzgâr türbini genel olarak; kule, elektrik jeneratörü, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve rüzgâr pervanesinden oluşmaktadır [45]. Rüzgâr türbini elemanları Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Bir rüzgâr türbininin elemanları

5.2.1. Rotor Kanatları

Modern kanatların çoğu güçlendirilmiş fiber glass malzemeden yapılmaktadır. Karbon fiber kullanımı da diğeri bir seçenektir. Ancak bu malzemeler türbin kanadı için ekonomik bir seçenek değildir. Ağaç, ağaç-epoxy karışımı veya bunlar gibi değişik

karışımlar kullanılmamaktadır. Alüminyum ve çelik kanatlar da sağlamlıklarına karşın ağırlıkları ile dezavantajlıdır. Bu tip malzemelerde yaşanan diğer bir problem de metal yorgunluğu oluşumudur. Bu tip kanatlar sadece küçük rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadır [45].

5.2.2. Yaw Mekanizması

YAW mekanizması türbinlerde rüzgârın sürekli rotora doğru yönelmesini sağlayan sistemdir. Rüzgâr türbinlerinde eğer rüzgâr yönü rotora dik konumda ise bu duruma YAW hatası denilir. Bu hata sonucu rotor enerjiden daha iyi şekilde yararlanır. Bu durum çıkış gücünün kontrolü ile belirlenmektedir. Diğer yandan YAW mekanizması rotoru bu konumdan alarak rüzgâra doğru yöneltmektedir [45].

5.2.3. Kule

Kule, rüzgâr türbinlerinde rotoru taşımaktadır. Kuleler genellikle tüp şeklinde çelik, kafes yapılı veya betonarme olarak inşa edilmektedir. Tüp şeklindeki kuleler en çok tercih edilen kule şeklidir. Kafes yapılı kuleler çelik profillerin kaynaklanarak birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. En temel avantajları maliyetlerinin düşük olmasıdır. Birçok küçük türbin halat destekli direk tipi kule kullanılarak inşa edilmektedir. En büyük avantajı ağırlığının çok az ve maliyetlerinin çok düşük olmasıdır. Dezavantajı ise araziye kurulum zorluğudur [46].

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Rüzgâr Hızı Verilerinin Analizi

Rüzgâr gözlem istasyonlarından belli bir yükseklikten alınan rüzgâr hızı verilerinin frekans dağılımları elde edilerek veri analizi yapılmaktadır. Bu frekans dağılımı yardımıyla hangi rüzgâr hızı değerlerinin sık gözlendiği belirlenebilir. Rüzgâr türbinleri seçilirken bu tür dağılımlardan yararlanılmaktadır. Rüzgâr hızı verilerinin standart sapması 0 ile 3 m/s arasında olması gerekmektedir. Herhangi bir alandaki standart sapmanın küçük olması demek o alandaki rüzgâr rejiminin son derece düzenli olması anlamına gelmektedir [47].

6.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları

Rüzgâr hızının dağılımın belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım bulunmaktadır. İki parametrelili Weibull ve Weibull'un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları en yaygın kullanılan dağılımlardır. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull' a göre daha az esnektir; ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Yıllık ortalama rüzgâr hızının 4.5' den büyük olduğu durumda, rüzgâr hızı dağılımının Rayleigh dağılımına yaklaştığı bilinmektedir [47].

Rüzgâr hızı için iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi

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

şeklindedir. Weibull dağılımının ölçek parametresi olan c , aynı zamanda rüzgâr verilerinde referans bir değere sahiptir.

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu,

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

ifadesiyle belirlenmektedir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgâr hızının belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını vermektedir.

Rayleigh yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

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

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu,

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

İfade edilmektedir. Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgâr hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Rayleigh dağılımının rüzgâr çalışmalarında geçerliliği pek çok referansta gösterilmiştir [48–53]. Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında en küçük kareler metodu kullanılmıştır. Metot detayları için [54-55] referans alınmıştır.

Ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr hızının standart sapması, sırasıyla Eşitlik (4.5) ve (4.6) kullanılarak hesaplanmaktadır.

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

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

Weibull dağılımına dayanarak, en büyük sıklığa sahip rüzgâr hızı (4.7) eşitliğinden hesaplanmaktadır [52].

$$V_{\text{mod}} = c\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (4.7)$$

Maksimum rüzgâr hızı şu ifadeyle bulunmaktadır [56]:

$$V_{\text{maxE}} = c\left(\frac{k+2}{k}\right)^{1/k} \quad (4.8)$$

Yukarda ifade edilen formüllerde $k=2$ alındığında Rayleigh dağılımı için hesaplamalar gerçekleşmektedir.

6.3. Rüzgâr Gücünün Yoğunluk Fonksiyonu ve Ortalama Güç Yoğunluğu

Ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu en genel halde aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır:

$$P_m = \int_0^{\infty} P(v)f(v)dv \quad (4.9)$$

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu Eşitlik (4.10)' dan aşağıdaki gibi elde edilmektedir [57].

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma(1 + \frac{3}{k}) \quad (4.10)$$

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu Eşitlik (4.11) ile belirlenmektedir:

$$P_R = \frac{3}{k} \rho v^3 m \quad (4.11)$$

İstatistiksel analiz kriterleri:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (yi - zi)^2 - \sum_{i=1}^N (xi - yi)^2}{\sum_{i=1}^N (yi - zi)^2} \quad (4.12)$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (yi - xi)^2}{N - n} \quad (4.13)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (yi - xi)^2 \right]^{1/2} \quad (4.14)$$

olarak seçilmiştir.

Burada, yi gerçek data, xi , Weibull ya da Rayleigh dağılımından tahmin edilen data, zi , yi 'lerin ortalama değeri, N gözlem sayısı, n Weibull ve Rayleigh dağılımlarındaki parametre sayısıdır. Bu kriterlerden R^2 dışındakiler, en küçük değerlerine göre en iyi dağılımı belirlemektedir. R^2 ise, bir modelin tahmin gücünün bir ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değişmektedir ve 1'e yaklaşması modelin tahmin gücünün arttığının göstergesidir [57].

7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, 2005 – 2014 yıllarında saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayanarak İskenderun ilçesinin ve Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Adıyaman, Muğla illerinin rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Saatlik olarak ölçülen 2005 ve 2014 yıllarına ait rüzgâr verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanmıştır.

Seçilen ilçe ve illerin rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. İncelenen ilçe ve illerin konumları, rakımı ve rakıma göre hesaplanan hava yoğunluğu değerleri Tablo 7.1’ de verilmiştir [58-59].

Tablo 7.1. İskenderun ilçesine ve Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Muğla illerine ait konum, rakım ve hava yoğunluğu değerleri

İller	Enlem - Boylam	Rakım (m)	Hava Yoğunluğu (kg/m ³)
İskenderun	36° 32' N - 36° 10' E	3	1.224
Elazığ	38° 37' N - 39° 14' E	1015	1.104
Bursa	40° 15' N - 29° 05' E	100	1.213
Karaman	37° 14' N - 33° 13' E	1250	1.076
Sinop	42° 01' N - 35° 11' E	32	1.221
Adıyaman	38° 17' N - 37° 46' E	669	1.145
Muğla	37° 15' N - 28° 22' E	646	1.148

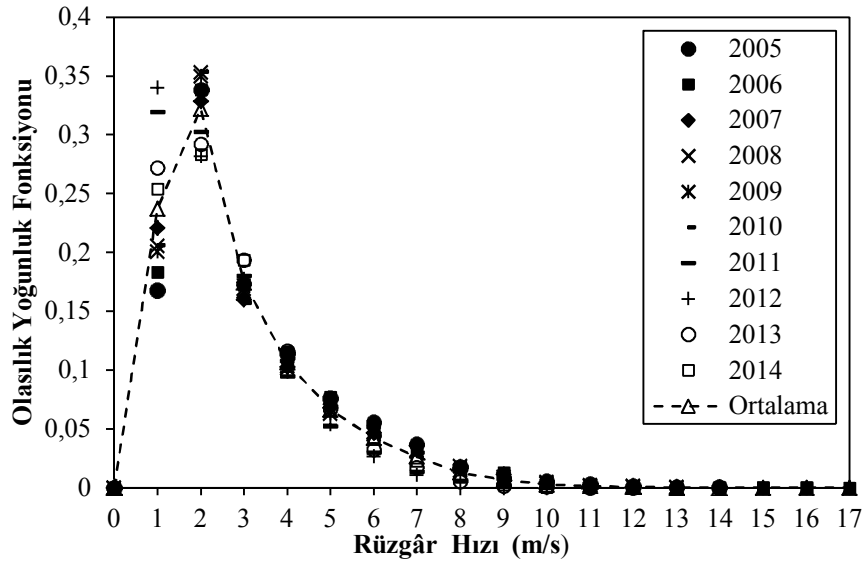
7.1. İskenderun İlçesinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

2005-2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.2’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 19386, 16 – 17 m/s arasında 3, toplam 82601 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 5.2’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

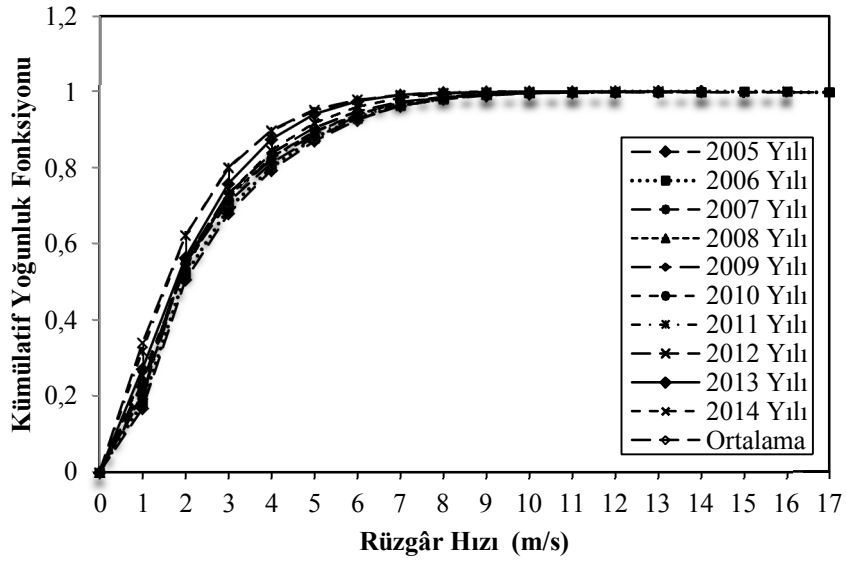
Tablo 7.2. İskenderun ilçesi için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0,5	19386	0.237035	0.2583538	0.246992
2	1-2	1,5	26797	0.322080	0.28322252	0.319957
3	2-3	2,5	14301	0.174329	0.20880076	0.234864
4	3-4	3,5	8757	0.106378	0.1188635	0.117163
5	4-5	4,5	5491	0.066436	0.05500391	0.042434
6	5-6	5,5	3508	0.042292	0.02132916	0.011554
7	6-7	6,5	2221	0.026378	0.00709704	0.002415
8	7-8	7,5	1083	0.012818	0.00206958	0.000393
9	8-9	8,5	568	0.006576	0.00053935	5.02E-05
10	9-10	9,5	253	0.002911	0.00012785	5.08E-06
11	10-11	10,5	131	0.001508	2.7194E-05	4.13E-07
12	11-12	11,5	63	0.000743	5.5975E-06	2.69E-08
13	12-13	12,5	19	0.000219	1.0851E-06	1.42E-09
14	13-14	13,5	13	0.000155	1.8227E-07	5.79E-11
15	14-15	14,5	3	3.96E-05	2.437E-08	4.2E-13
16	15-16	15,5	4	6.29E-05	4.3102E-09	9.66E-15
17	16-17	16,5	3	1.12E-05	4.0759E-12	1.61E-16

İskenderun ilçesi için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 7.1’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.2’ de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

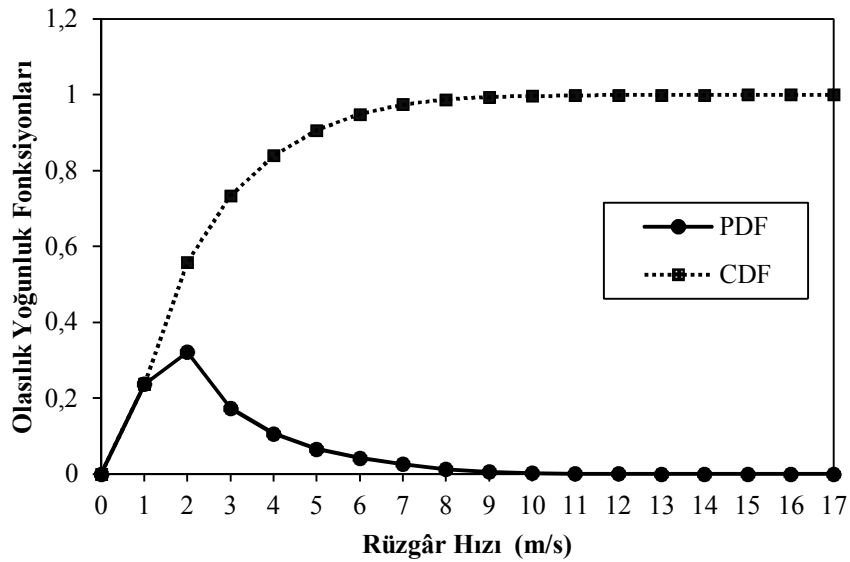


Şekil 7.1. İskenderun ilçesi için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.2. İskenderun ilçesi için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişimi

Rüzgar hızı verilerinden derlenen PDF (Probability density function) olasılık yoğunluk ve CDF (Cumulative density function) kümülatif yoğunluk fonksiyonlarına göre elde edilen dağılımlar Şekil 7.3’ de on yıllık verilere dayanarak çizilmiştir.



Şekil 7.3. İskenderun ilçesi için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.3’ de Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c)’nin değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.29 – 3.58 arasında, ölçek

parametresi değerleri ise 1.62 – 5.24 arasında değişim göstermiştir. Şekil parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs, Kasım ve Aralık aylarında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır. Şekil ve ölçek parametrelerinin tahmininde rüzgâr şiddetinin ortalaması ve standart sapma değerleri önem göstermiştir.

Tablo 7.3. İskenderun ilçesi için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (*k*) ölçek parametresi (*c*) değerleri

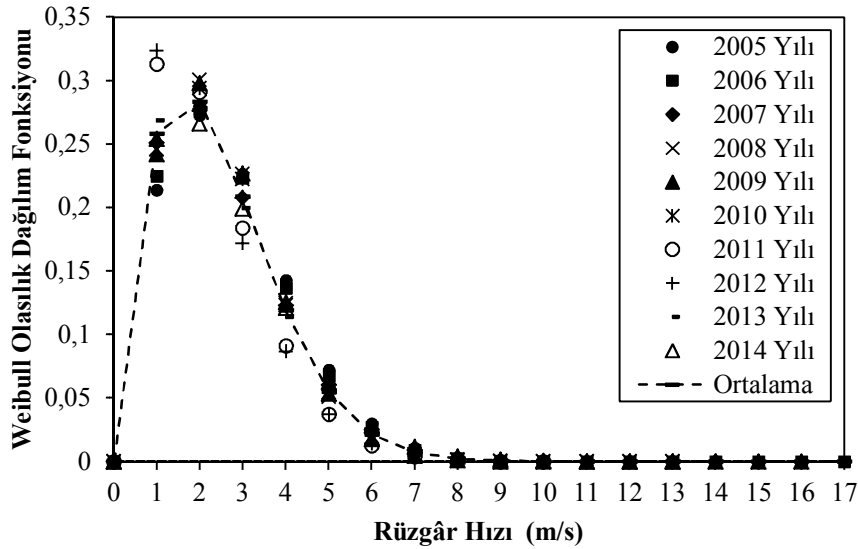
Aylar	Par am etre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	2.4512	2.2108	3.5785	2.8585	1.9174	2.1019	2.3671	1.9119	1.9964	2.4247
	c	2.8307	3.1570	2.3214	2.5841	3.2242	3.1415	2.1717	2.6240	2.7603	2.0805
Şubat	k	1.9506	2.1996	1.9388	2.5939	2.0845	1.9543	2.2371	2.5387	1.6649	2.2522
	c	3.2923	2.6906	2.4717	2.3425	2.9955	3.0818	2.0908	2.3938	2.3641	2.1104
Mart	k	2.1113	2.0290	1.5409	1.8903	2.2995	1.9791	1.8141	1.5596	1.4400	1.8641
	c	2.5916	2.5341	2.3476	2.5804	2.4885	2.4899	2.0027	2.2806	2.4659	2.4453
Nisan	k	1.5596	1.7736	1.7139	1.5366	1.6864	2.0221	1.5662	1.4261	1.7399	1.9426
	c	3.0573	2.8612	2.7999	2.3534	2.2597	2.4295	2.1166	1.8265	2.1706	2.7492
Mayıs	k	1.6160	1.4625	1.6060	1.5015	1.5196	1.6779	1.5545	1.2872	1.6351	-
	c	3.0860	2.8656	2.5131	2.6620	2.8158	3.0997	2.3335	2.2309	2.4194	-
Haziran	k	1.3479	1.4408	1.3193	1.3768	1.4599	1.6579	1.3814	1.4526	1.9691	1.6355
	c	3.4023	3.7421	3.3404	3.0626	2.9734	3.6939	3.3499	2.8943	3.7347	3.7491
Temmuz	k	1.9364	1.7968	1.5568	1.6135	1.6574	1.4984	1.7108	1.5440	1.8609	2.2947
	c	5.0337	5.1036	3.5721	4.1780	3.7805	4.0350	3.4433	3.1459	4.1242	4.7710
Ağustos	k	1.5795	1.8847	1.4000	1.7023	1.4194	1.3018	1.4538	1.4702	1.9374	2.2788
	c	4.1124	4.6173	5.2444	4.0553	3.0686	2.8114	3.7310	3.0563	3.5363	4.1836
Eylül	k	1.9740	1.5893	1.3349	1.4678	2.3183	1.4614	1.5274	1.3075	1.7209	1.6277
	c	2.7015	2.6829	2.2181	2.7439	2.5263	2.6294	2.9692	2.1170	2.7988	2.8606
Ekim	k	3.3422	2.6067	2.0743	3.0539	2.1664	3.1266	2.0930	1.8323	2.4472	2.1748
	c	2.2526	2.3053	2.2015	2.0811	2.2167	2.1861	1.9564	1.6205	1.9984	1.9371
Kasım	k	2.9967	3.0820	2.7098	3.4076	3.4355	3.1261	2.3947	1.9720	1.7343	-
	c	2.3023	2.1857	2.3392	2.1573	2.2605	2.0517	1.9961	1.6842	1.8813	-
Aralık	k	2.4767	3.8469	2.5636	2.2207	2.2678	3.0906	2.1295	2.3446	2.8012	-
	c	2.4365	2.2229	2.8320	2.9945	2.6377	2.2633	2.1471	2.3060	2.3390	-

İskenderun ilçesi için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.4 ‘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.

Tablo 7.4. Weibull dağılımına göre İskenderun ilçesi için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

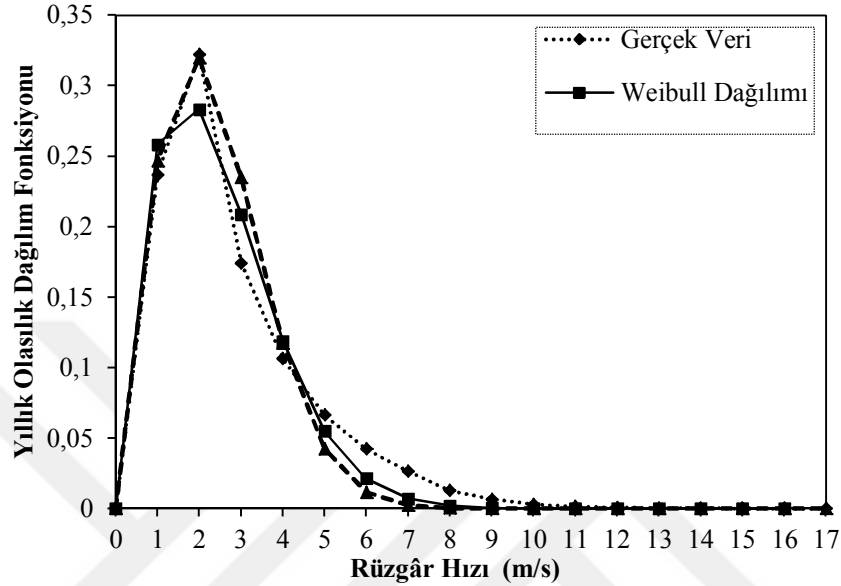
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	2.5104	2.7960	2.0911	2.3028	2.8602	2.7825	1.9247	2.3278	2.4463	1.8447
	σ	1.0934	1.3357	0.6487	0.8740	1.5530	1.3909	0.8649	1.2632	1.2808	0.8113
Şubat	V _m	2.9193	2.3829	2.1920	2.0805	2.6533	2.7325	1.8518	2.1248	2.1126	1.8692
	σ	1.5608	1.1435	1.1783	0.8613	1.3363	1.4584	0.8753	0.8968	1.3036	0.8782
Mart	V _m	2.2953	2.2453	2.1127	2.2902	2.2046	2.2071	1.7803	2.0498	2.2380	2.1713
	σ	1.1428	1.1586	1.3994	1.2596	1.0167	1.1647	1.0163	1.3427	1.5779	1.2094
Nisan	V _m	2.7479	2.5464	2.4969	2.1186	2.0173	2.1527	1.9017	1.6601	1.9338	2.4380
	σ	1.8001	1.4835	1.5006	1.4069	1.2304	1.1142	1.2410	1.1810	1.1465	1.3083
Mayıs	V _m	2.7637	2.5953	2.2525	2.4028	2.5381	2.7682	2.0982	2.0646	2.1650	-
	σ	1.7529	1.8037	1.4365	1.6299	1.7028	1.6962	1.3786	1.6164	1.3582	-
Haziran	V _m	3.1207	3.3961	3.0763	2.7989	2.6935	3.3018	3.0598	2.6236	3.3109	3.3549
	σ	2.3400	2.3933	2.3535	2.0574	1.8751	2.0454	2.2423	1.8350	1.7551	2.1042
Temmuz	V _m	4.4643	4.5390	3.2113	3.7430	3.3794	3.6430	3.0710	2.8306	3.6623	4.2266
	σ	2.4025	2.6135	2.1071	2.3768	2.0940	2.4758	1.8488	1.8715	2.0429	1.9529
Ağustos	V _m	3.6916	4.0983	4.7799	3.6180	2.7909	2.5959	3.3818	2.7661	3.1362	3.7060
	σ	2.3902	2.2599	3.4596	2.1879	1.9943	2.0111	2.3634	1.9131	1.6870	1.7230
Eylül	V _m	2.3948	2.4069	2.0382	2.4838	2.2383	2.3816	2.6748	1.9529	2.4952	2.5609
	σ	1.2667	1.5497	1.5423	1.7206	1.0248	1.6564	1.7860	1.5067	1.4942	1.6132
Ekim	V _m	2.0219	2.0478	1.9501	1.8599	1.9631	1.9558	1.7328	1.4399	1.7722	1.7155
	σ	0.6669	0.8441	0.9864	0.6653	0.9551	0.6849	0.8695	0.8145	0.7730	0.8317
Kasım	V _m	2.0558	1.9542	2.0804	1.9383	2.0318	1.8356	1.7695	1.4930	1.6764	-
	σ	0.7479	0.6933	0.8283	0.6283	0.6538	0.6429	0.7869	0.7904	0.9967	-
Aralık	V _m	2.1613	2.0104	2.5144	2.6521	2.3361	2.0238	1.9015	2.0434	2.0828	-
	σ	0.9326	0.5843	1.0520	1.2619	1.0910	0.7162	0.9395	0.9261	0.8050	-

Şekil 7.4’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.32 olarak 2012 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.4. İskenderun ilçesi için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.5’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir. Rayleigh dağılımının olasılık oranı Weibull dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



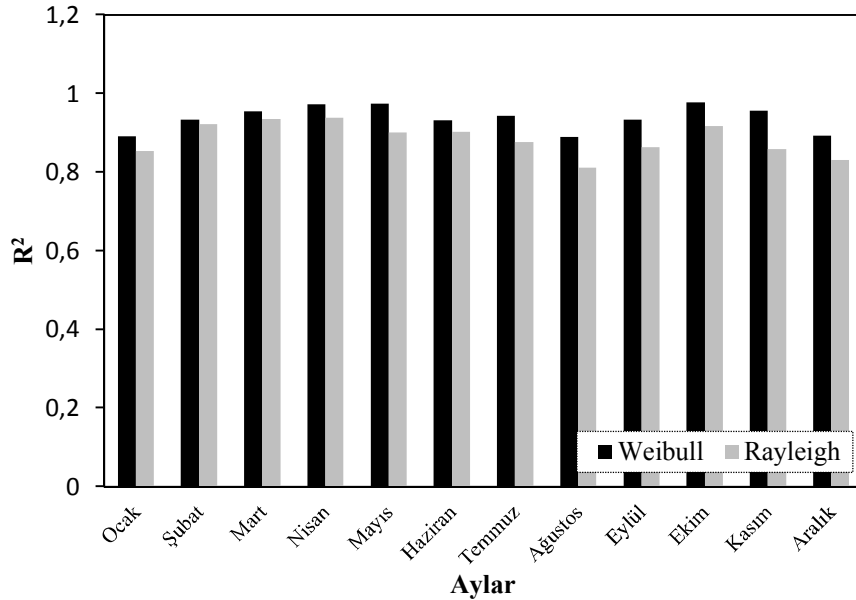
Şekil 7.5. İskenderun ilçesi için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.5’ de İskenderun ilçesi için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.91-0.99 arasında olduğu, Rayleigh dağılımında ise 0.90 – 0.97 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında $9.73 \times 10^{-3} - 5.91 \times 10^{-5}$ arasında, Rayleigh dağılımında ise $9.54 \times 10^{-4} - 3.78 \times 10^{-4}$ arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında $4.17 \times 10^{-3} - 2.59 \times 10^{-5}$ arasında, Rayleigh dağılımında $4.43 \times 10^{-4} - 1.77 \times 10^{-4}$ arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının İskenderun ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.5. İskenderun ilçesi için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.906513	0.004171	0.009732	0.900714	0.000443	0.000954
2006	0.924443	0.000312	0.000707	0.917687	0.000340	0.000722
2007	0.939135	0.000282	0.000659	0.919316	0.000374	0.000806
2008	0.922906	0.000403	0.000952	0.919796	0.000419	0.000908
2009	0.922521	0.000395	0.000933	0.919259	0.000412	0.000891
2010	0.916327	0.000435	0.001029	0.910612	0.000470	0.001017
2011	0.994048	4.13E-05	0.000103	0.957541	0.000295	0.000654
2012	0.994048	3.74E-05	8.829E-05	0.940725	0.000372	0.000806
2013	0.995724	2.21E-05	5.167E-05	0.966092	0.000175	0.000377
2014	0.994108	2.59E-05	5.914E-05	0.959655	0.000177	0.000378

Şekil 7.6’ da on yıllık veriler kullanılarak İskenderun ilçesi için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında 0.88 ile 0.97 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.81 ile 0.93 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1’ e daha çok yakın olmasından dolayı, İskenderun ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.6. İskenderun ilçesi için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi

Tablo 7.6’ da Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.7’ de ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 2.52 – 4.45 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 13.99 – 23.87 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 3.28 – 4.15 m/s, P güç yoğunluğu ise 10.18 – 20.56 W/m² arasında değişim göstermiştir.

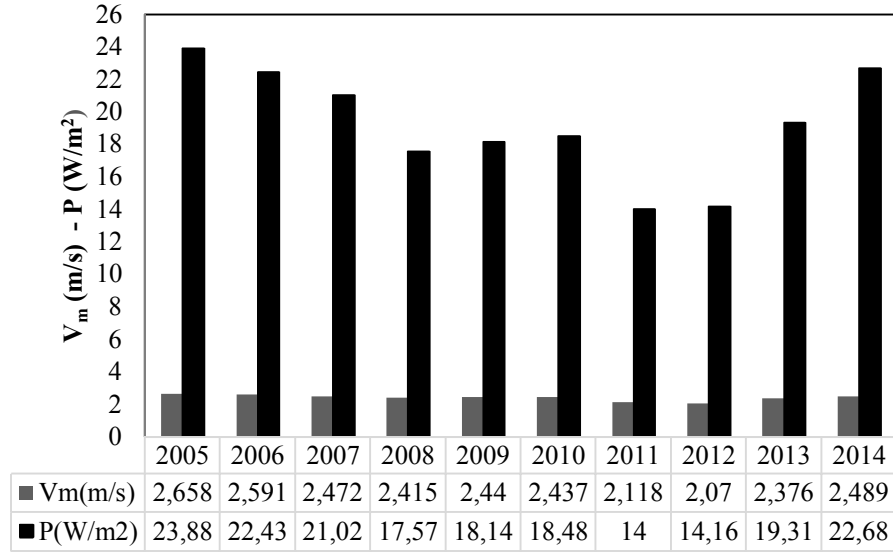
Tablo 7.6. İskenderun ilçesi için Weibull dağılımı parametreleri

Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_w (W/m ²)
2005	1.8460	2.9917	2.6575	1.4932	1.9605	4.4524	23.877
2006	1.8232	2.9147	2.5905	1.4720	1.8845	4.3751	22.4286
2007	1.7104	2.7713	2.4717	1.4882	1.6581	4.3583	21.0183
2008	1.8784	2.7199	2.4145	1.3355	1.8148	4.0010	17.5662
2009	1.8771	2.7485	2.4399	1.3505	1.8325	4.0451	18.1425
2010	1.8401	2.7430	2.4369	1.3733	1.7914	4.0913	18.4778
2011	1.6369	2.3674	2.1184	1.3276	1.3299	3.8556	13.9974
2012	1.5430	2.3002	2.0698	1.3692	1.1690	3.9420	14.1570
2013	1.6654	2.6589	2.3759	1.4657	1.5327	4.2699	19.3091
2014	1.6378	2.7814	2.4887	1.5589	1.5638	2.5277	22.6792

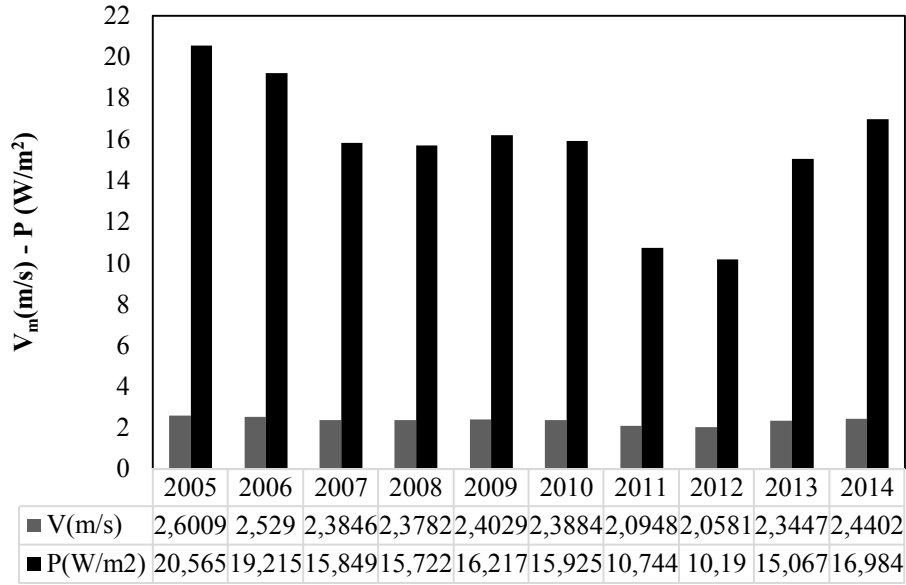
Tablo 7.7. İskenderun ilçesi için Rayleigh dağılımı parametreleri

Yıl	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{maxE} (m/s)	P_w (W/m ²)
2005	2.9348	2.6009	1.3596	2.0752	4.1504	20.5648
2006	2.8537	2.5290	1.7476	2.0179	4.0357	18.9060
2007	2.6907	2.3846	1.5537	1.9026	3.8052	15.8489
2008	2.6835	2.3782	1.5454	1.8975	3.7950	15.7216
2009	2.7114	2.4029	1.5776	1.9172	3.8345	16.2166
2010	2.6951	2.3884	1.5587	1.9057	3.8114	15.9248
2011	2.3638	2.0948	1.1991	1.6715	3.3429	10.7444
2012	2.3224	2.0581	1.1574	1.6422	3.2844	10.1895
2013	2.6458	2.3447	1.5022	1.8709	3.7417	15.0666
2014	2.7535	2.4402	1.6270	1.9470	3.8940	16.9836

Şekil 7.7’ de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.8’ de ise Rayleigh güç yoğunluğu ile ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2005 yılında 23.88 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2011 yılında 14.00 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2011 yılında 18.38 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2008 yılında 13.64 W/m² olarak tespit edilmiştir.

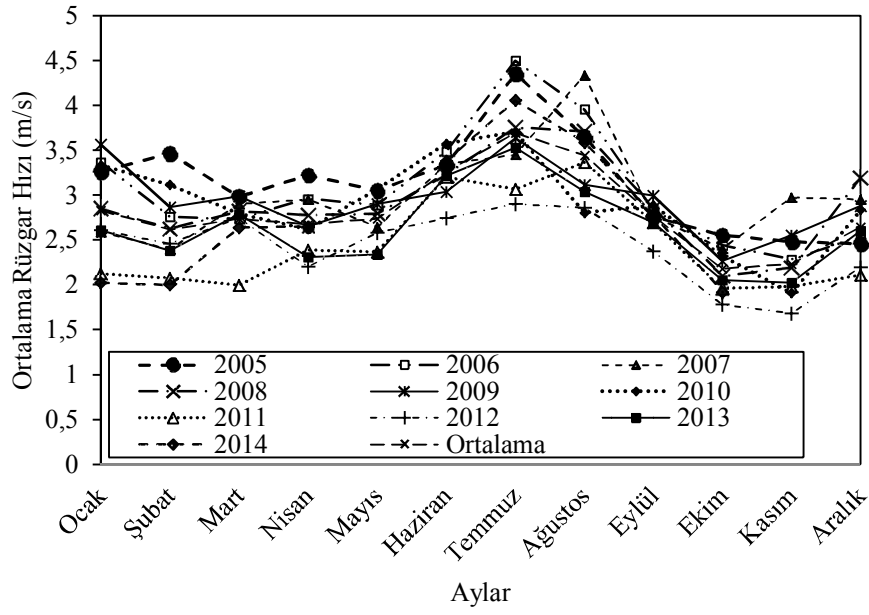


Şekil 7.7. İskenderun ilçesi için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi



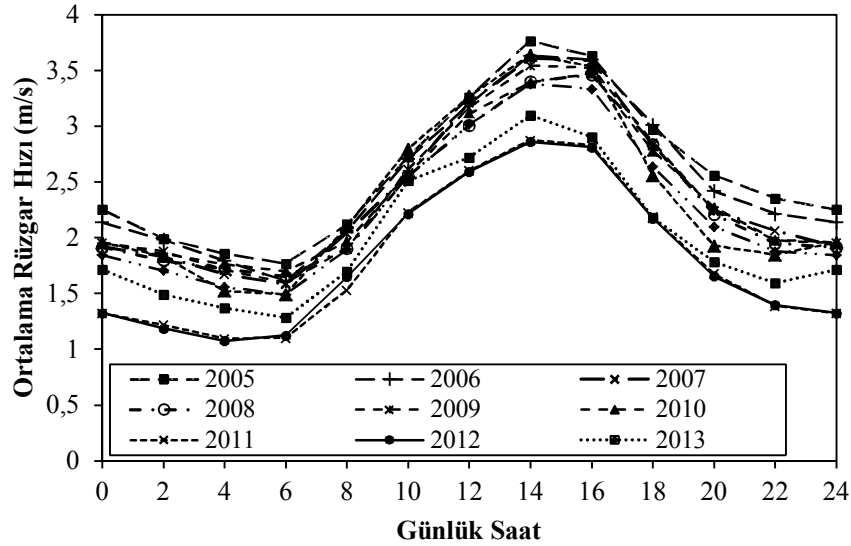
Şekil 7.8. İskenderun ilçesi için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi

İskenderun ilçesine ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.9’ da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2012 yılının Kasım ayında 1.68 m/s, en yüksek ise 2006 yılının Temmuz ayında 4.5 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.9. İskenderun ilçesi için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi

Şekil 7.10' da ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2012 yılında 04:⁰⁰–05:⁰⁰ saatleri arasında 1.08 m/s, en yüksek 2005 yılında 14:⁰⁰–15:⁰⁰ saatleri arasında 3.81 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.10. İskenderun ilçesi için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

İskenderun ilçesindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005-2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2012 yılında 04:⁰⁰ – 05:⁰⁰ saatleri arasında 1.08 m/s, en yüksek 2005 yılında 14:⁰⁰ – 15:⁰⁰ saatleri arasında 3.81 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2012 yılının Kasım ayında 1.68 m/s, en yüksek ise 2006 yılının Temmuz ayında 4.5 m/s olarak elde edilmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.07 m/s olarak 2012 yılında, güç yoğunluğu 14.00 W/m² olarak 2011 yılında, en yüksek ortalama hız 2.66 m/s ve güç yoğunluğu 23.88 W /m² olarak 2005 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 2.06 m/s ve güç yoğunluğu 10.19 W/m² olarak 2012 yılında, en yüksek ortalama hız 2.60 m/s ve güç yoğunluğu 20.56 W/m² olarak 2005 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı tüm yıllarda, RMSE 2005 yılı dışındaki tüm yıllarda, χ^2 ise 2005, 2008, 2009 ve 2010 yılları dışında Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı İskenderun ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının daha iyi olacağı görülmüştür.

Sonuç itibarıyla İskenderun ilçesinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m²' den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın günlük ve aylık bazda çoğunlukla 3 m/s den yüksek olması ise rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin uygun olduğunu göstermiştir.

7.2. Elazığ İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

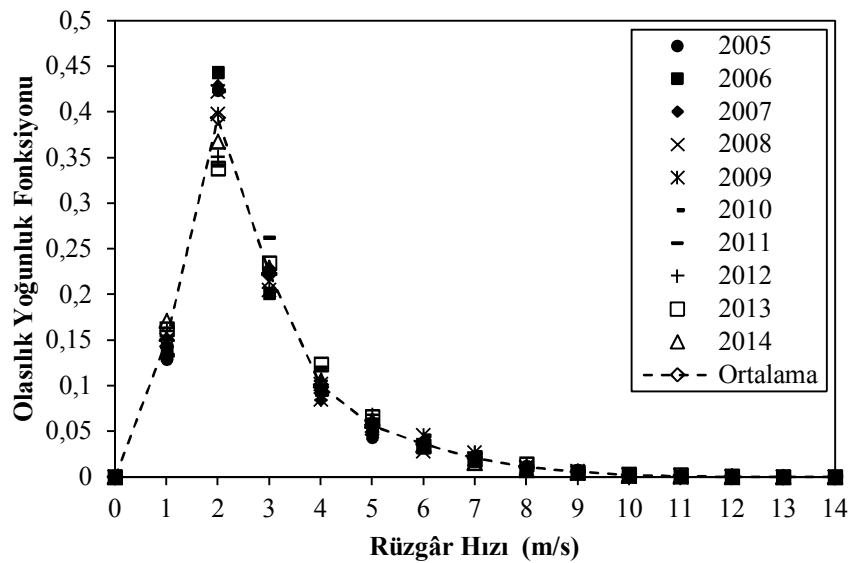
2005-2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.8' de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri

verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 12610, 13 – 14 m/s arasında 2, toplam 84690 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 5.8’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

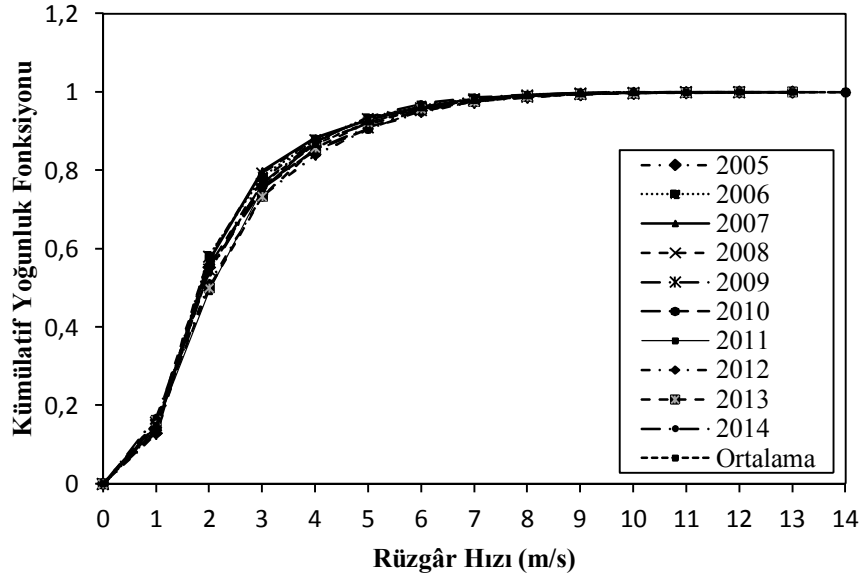
Tablo 7.8. Elazığ ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0.5	12610	0.149363	0.202177	0.227319
2	1-2	1.5	33531	0.393539	0.370941	0.307964
3	2-3	2.5	18731	0.222772	0.281974	0.241714
4	3-4	3.5	8419	0.100702	0.107573	0.130566
5	4-5	4.5	4800	0.056588	0.025077	0.051362
6	5-6	5.5	3073	0.035879	0.004448	0.015133
7	6-7	6.5	1789	0.020843	0.000609	0.0034
8	7-8	7.5	916	0.010692	6.07E-05	0.000591
9	8-9	8.5	488	0.005713	4.34E-06	8.02E-05
10	9-10	9.5	179	0.002102	2.22E-07	8.59E-06
11	10-11	10.5	100	0.001168	7.96E-09	7.32E-07
12	11-12	11.5	41	0.000481	1.97E-10	4.98E-08
13	12-13	12.5	11	0.000133	3.36E-12	2.59E-09
14	13-14	13.5	2	2.37E-05	3.08E-36	1.68E-12

Elazığ ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonun değişimi Şekil 7.11’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.12’ de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

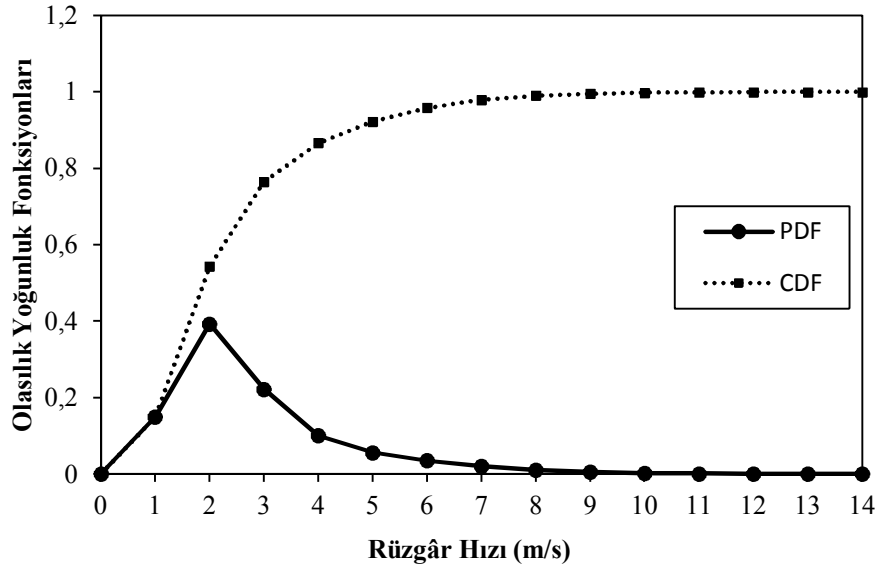


Şekil 7.11. Elazığ ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.12. Elazığ ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Rüzgâr hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk dağılımları Şekil 7.13’ de on yıllık verilere dayanarak çizdirilmiştir.



Şekil 7.13. Elazığ ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.9’ da Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.34 – 4.23 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 2.19 – 4.05 arasında değişim göstermiştir. Ölçek parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs, ayında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Tablo 7.9. Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri

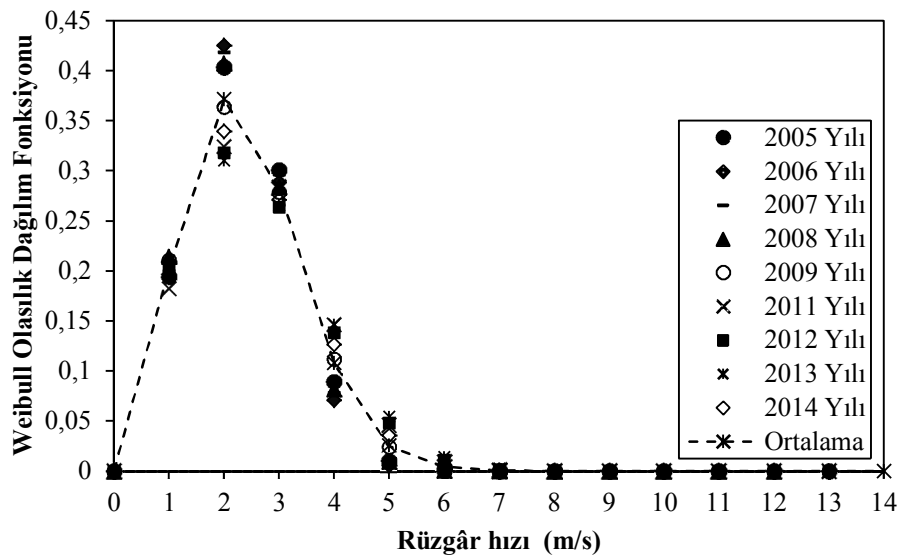
Aylar	Par am etre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	2.1319	2.0619	2.7372	2.6429	1.5888	1.3408	2.3834	1.4095	1.7837	2.6534
	c	2.4077	2.2793	2.1919	2.5638	2.6351	3.1468	2.6880	2.6160	2.3490	2.3473
Şubat	k	1.6267	1.4875	2.1099	1.7423	1.3564	1.4337	1.5929	2.2394	1.8068	2.6844
	c	2.6529	3.7365	2.1944	2.1765	3.1180	3.6507	2.8938	2.5763	2.4347	2.6593
Mart	k	1.7629	1.7379	2.0117	1.5249	1.6835	2.0130	2.1275	1.4383	1.7691	2.0901
	c	3.8196	3.1615	3.2703	3.2974	3.8435	3.4497	3.3281	3.9140	3.5118	3.1072
Nisan	k	2.4488	2.0063	2.2657	1.8951	2.3965	2.1334	1.7024	2.0246	2.2591	1.6031
	c	3.0277	2.9724	3.0535	3.3618	2.8736	2.8977	3.6391	2.9322	2.9702	3.4809
Mayıs	k	2.6596	2.8272	2.4790	2.4663	2.7837	2.9094	2.4291	2.3169	2.5777	-
	c	2.7297	2.5755	2.6532	2.7482	2.6610	2.4891	2.7240	2.5838	2.7348	-
Haziran	k	2.8510	3.3631	3.1951	2.5578	2.8659	2.8555	2.5222	2.6402	2.4017	2.3387
	c	2.7672	2.3984	2.5963	3.1485	2.5838	2.4403	3.0577	3.0745	3.1958	3.2607
Temmuz	k	3.0536	3.2613	3.0413	2.9088	2.4934	2.6661	3.3146	2.1922	2.6439	2.2950
	c	2.7467	2.6261	2.8526	2.7296	3.0197	2.8519	3.2411	3.4479	4.0453	3.2451
Ağustos	k	3.4532	4.0177	3.3240	3.6077	2.9391	3.3359	2.7171	2.8676	2.4694	2.9118
	c	2.6124	2.3259	2.4119	2.4500	2.7337	2.5505	3.0786	2.8759	3.2783	2.8181
Eylül	k	3.9681	2.9501	4.2257	3.1406	3.1379	3.3429	2.6198	3.1161	2.3696	2.3528
	c	2.4006	2.5108	2.4497	2.3658	2.3672	2.3616	2.8334	2.6997	3.1044	2.7793
Ekim	k	3.6343	3.1566	3.3708	3.7451	3.6243	3.1620	2.7267	2.9424	2.9554	3.2174
	c	2.3610	2.2217	2.2751	2.2556	2.2943	2.3294	2.6281	2.3534	2.8372	2.2420
Kasım	k	3.1888	2.9623	2.7087	3.1062	2.9375	4.1812	2.3025	3.0869	2.7096	2.2002
	c	2.2559	2.3999	2.5532	2.2450	2.3427	2.3640	2.5859	2.2399	2.5089	2.3773
Aralık	k	2.6353	3.6625	2.0608	2.3675	1.6073	2.7122	2.3078	1.3728	2.5337	1.7285
	c	2.2769	2.4512	2.8180	2.3437	2.5906	2.3280	2.4097	3.0509	2.0476	2.4471

Elazığ ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.10’ de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Mart ve Nisan aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Kasım ve Aralık aylarında tespit edilmiştir.

Tablo 7.10. Weibull dağılımına göre Elazığ ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

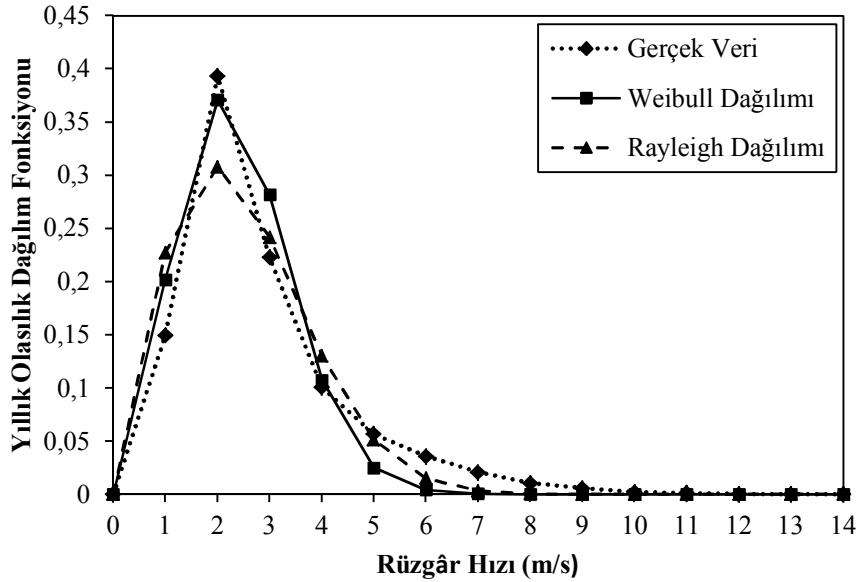
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	2.1323	2.0190	1.9502	2.2783	2.3641	2.8891	2.3826	3.2922	2.0899	2.0863
	σ	1.0524	1.0269	0.7695	0.9276	1.5226	2.1770	1.0640	2.3679	1.2113	0.8464
Şubat	V _m	2.3750	3.3766	1.9435	1.9389	2.8568	3.3154	2.5955	2.2818	2.1648	2.3644
	σ	1.4970	2.3103	0.9683	1.1481	2.1295	2.3472	1.6676	1.0776	1.2402	0.9493
Mart	V _m	3.4004	2.8169	2.8980	2.9710	3.4317	3.0569	2.9475	3.5529	3.1257	2.7521
	σ	1.9921	1.6717	1.5069	1.9868	2.0964	1.5886	1.4575	2.5078	1.8253	1.3827
Nisan	V _m	2.6851	2.6341	2.7047	2.9834	2.5474	2.5663	3.2466	2.5981	2.6308	3.1203
	σ	1.1705	1.3730	1.2640	1.6371	1.1321	1.2658	1.9633	1.3432	1.2327	1.9932
Mayıs	V _m	2.4263	2.2942	2.3536	2.4376	2.3689	2.2198	2.4153	2.2893	2.4285	-
	σ	0.9823	0.8793	1.0148	1.0558	0.9207	0.8293	1.0605	1.0486	1.0111	-
Haziran	V _m	2.4658	2.1535	2.3252	2.7952	2.3028	2.1746	2.7136	2.7321	2.8331	2.8894
	σ	0.9380	0.7064	0.7986	1.1718	0.8719	0.8261	1.1520	1.1133	1.2566	1.3125
Temmuz	V _m	2.4547	2.3542	2.5488	2.4343	2.6791	2.5351	2.9080	3.0535	3.5949	2.8748
	σ	0.8781	0.7939	0.9151	0.9096	1.1491	1.0241	0.9664	1.4698	1.4631	1.3281
Ağustos	V _m	2.3488	2.1087	2.1644	2.2079	2.4389	2.2891	2.7383	2.5632	2.9079	2.5133
	σ	0.7523	0.5892	0.7175	0.6799	0.9029	0.7564	1.0876	0.9700	1.2581	0.9382
Eylül	V _m	2.1749	2.2405	2.2274	2.1171	2.1182	2.1198	2.5172	2.4149	2.7513	2.4630
	σ	0.6146	0.8266	0.5946	0.7385	0.7395	0.6991	1.0330	0.8483	1.2352	1.1128
Ekim	V _m	2.1286	1.9886	2.0430	2.0369	2.0681	2.0852	2.3380	2.0998	2.5319	2.0086
	σ	0.6511	0.6905	0.6688	0.6065	0.6342	0.7229	0.9256	0.7765	0.9326	0.6856
Kasım	V _m	2.0202	2.1419	2.2708	2.0079	2.0901	2.1481	2.2909	2.0028	2.2314	2.1054
	σ	0.6951	0.7873	0.9044	0.7074	0.7741	0.5790	1.0553	0.7095	0.8885	1.0101
Aralık	V _m	2.0232	2.2109	2.4963	2.0771	2.3217	2.0706	2.1349	2.7895	1.8174	2.1810
	σ	0.8258	0.6716	1.2702	0.9332	1.4795	0.8237	0.9814	2.0561	0.7684	1.3007

Şekil 7.14’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.43 olarak 2006 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.14. Elazığ ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.15’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımının olasılık oranı Rayleigh dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



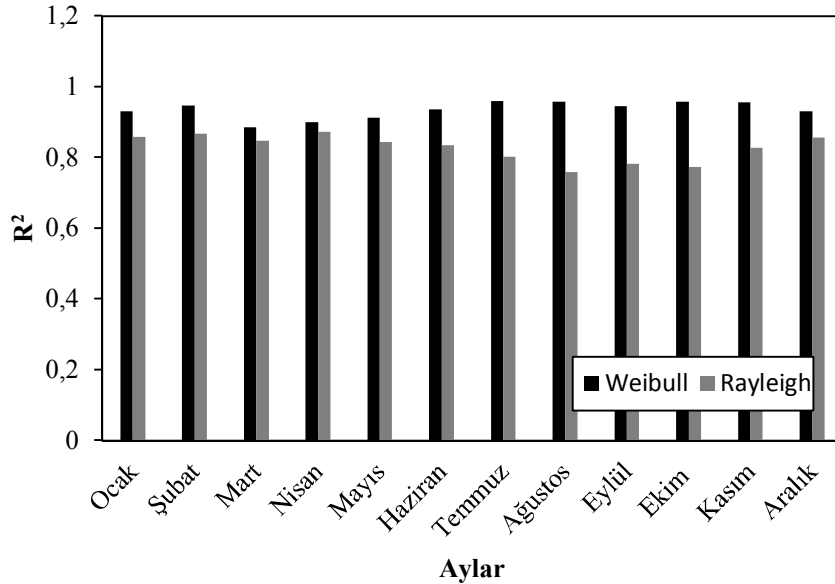
Şekil 7.15. Elazığ ili için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.11’ de Elazığ ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değeri 0.90 – 0.98 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.85 – 0.96 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında 3.32×10^{-4} – 1.69×10^{-3} arasında, Rayleigh dağılımında ise 4.37×10^{-4} – 2.63×10^{-3} arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında 1.40×10^{-4} – 7.07×10^{-4} arasında, Rayleigh dağılımında 2.02×10^{-4} – 1.21×10^{-3} arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Elazığ ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.11. Elazığ ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2) , ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.927619	0.000509	0.001204	0.862038	0.000971	0.002104
2006	0.909086	0.000707	0.001697	0.844965	0.001205	0.002630
2007	0.941288	0.000429	0.001015	0.871254	0.000941	0.002039
2008	0.934954	0.000479	0.001150	0.884258	0.000852	0.001860
2009	0.909467	0.000588	0.001410	0.885330	0.000744	0.001624
2010	0.901512	0.000638	0.001489	0.853406	0.000950	0.002046
2011	0.975630	0.000140	0.000332	0.954295	0.000263	0.000570
2012	0.943948	0.000302	0.000713	0.938244	0.000332	0.000720
2013	0.968689	0.000168	0.000397	0.962459	0.000202	0.000437
2014	0.960753	0.000236	0.000558	0.947936	0.000313	0.000679

Şekil 7.16’ de on yıllık veriler kullanılarak Elazığ için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında R^2 0.88 ile 0.96 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.76 ile 0.87 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1’ e daha çok yakın olmasından dolayı, Elazığ ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.16. Elazığ ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı değerlerinin aylara göre değişimi

Tablo 7.12’ de Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.13’ de ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 3.08 – 3.92 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 9.05 – 16.27 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 3.76 – 4.16 m/s, P ise 13.64 – 18.38 W/m² arasında değişim göstermiştir.

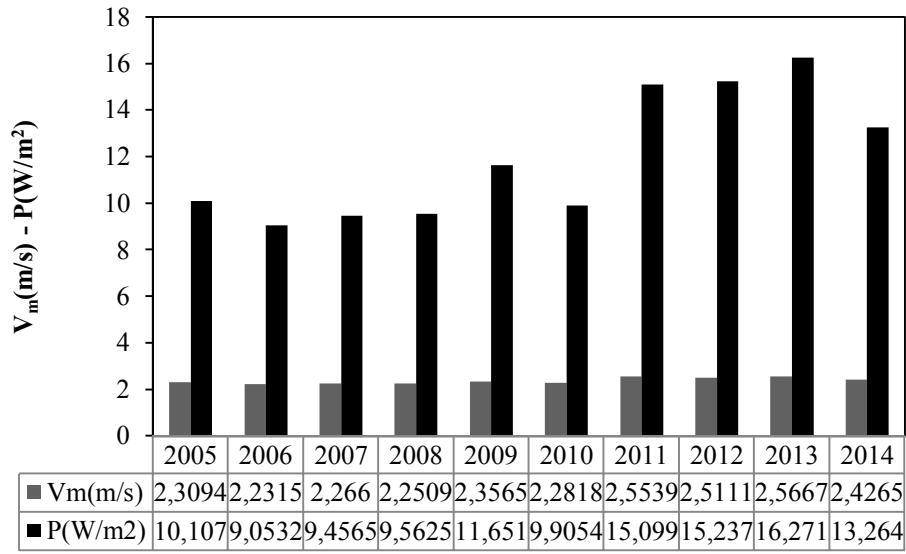
Tablo 7.12. Elazığ ili için Weibull dağılımı parametreleri

Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_W (W/m ²)
2005	2.6625	2.5981	2.3094	0.9340	2.1769	3.2067	10.1073
2006	2.6915	2.5095	2.2315	0.8938	2.1118	3.0849	9.0532
2007	2.7024	2.5481	2.2660	0.9044	2.1476	3.1278	9.4565
2008	2.5794	2.5348	2.2509	0.9366	2.0958	3.1665	9.5625
2009	2.3779	2.6587	2.3565	1.0546	2.1136	3.4367	11.6505
2010	2.6003	2.5689	2.2818	0.9426	2.1315	3.1992	9.9054
2011	2.3248	2.8824	2.5539	1.1663	2.2631	3.7645	15.0988
2012	2.1668	2.8355	2.5111	1.2215	2.1309	3.8344	15.2374
2013	2.1667	2.8982	2.5667	1.2486	2.1779	3.9193	16.2714
2014	2.2583	2.7395	2.4265	1.1373	2.1145	3.6278	13.2642

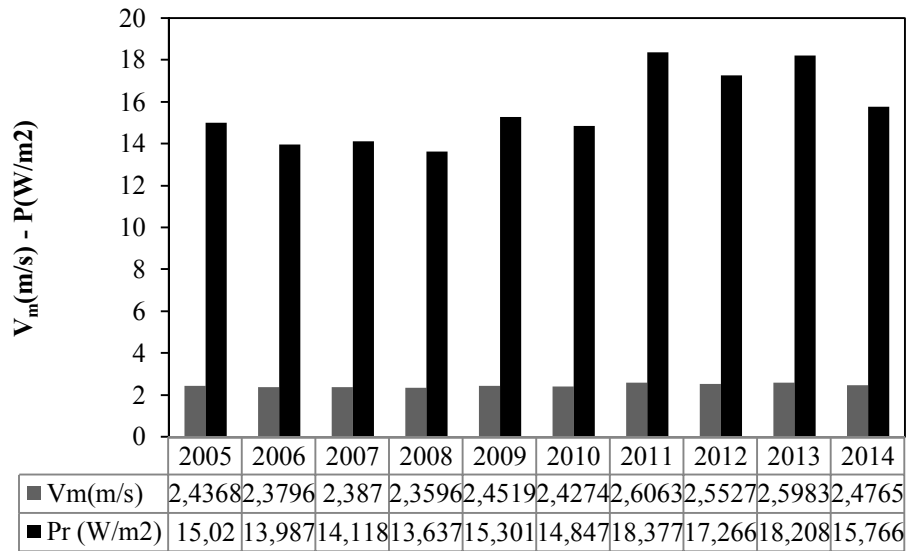
Tablo 7.13. Elazığ ili için Rayleigh dağılımı parametreleri

Yıl	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{maxE} (m/s)	P_R (W/m ²)
2005	2.7496	2.4368	1.2738	1.94429	3.8885	15.0197
2006	2.6850	2.3796	1.2439	1.89862	3.7972	13.9866
2007	2.6934	2.3870	1.2477	1.90453	3.8090	14.1175
2008	2.6625	2.3596	1.2334	1.88269	3.7653	13.6369
2009	2.7666	2.4519	1.2816	1.95629	3.9125	15.3006
2010	2.7389	2.4274	1.2688	1.93674	3.8734	14.8465
2011	2.9409	2.6063	1.3624	2.07955	4.1591	18.3770
2012	2.8803	2.5527	1.3343	2.03674	4.0734	17.2663
2013	2.9318	2.5983	1.3582	2.07312	4.1462	18.2083
2014	2.7944	2.4765	1.2945	1.97597	3.9519	15.7658

Şekil 7.17’ de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.18’ de ise Rayleigh güç yoğunluğu ise ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2013 yılında 16.27 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2006 yılında 9.05 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2011 yılında 18.38 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2008 yılında 13.64 W/m² olarak tespit edilmiştir.

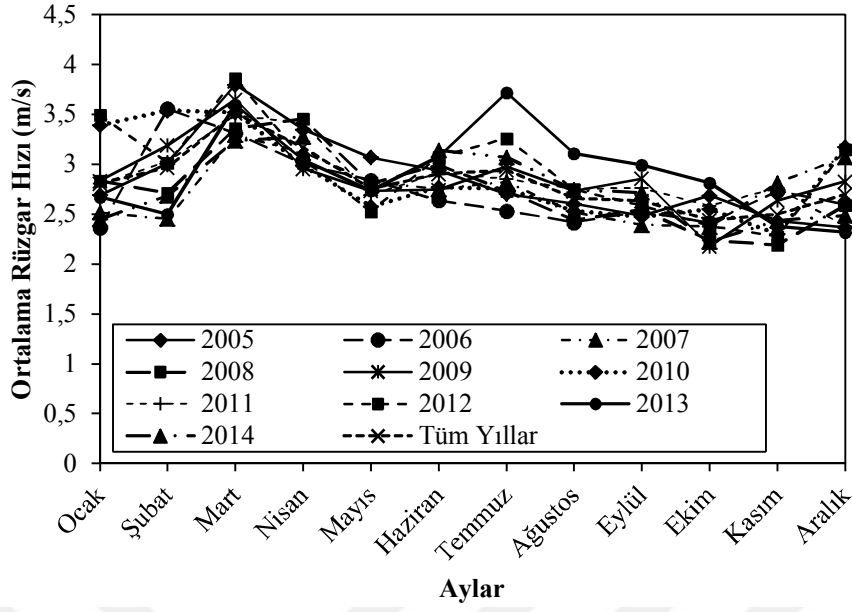


Şekil 7.17. Elazığ ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri



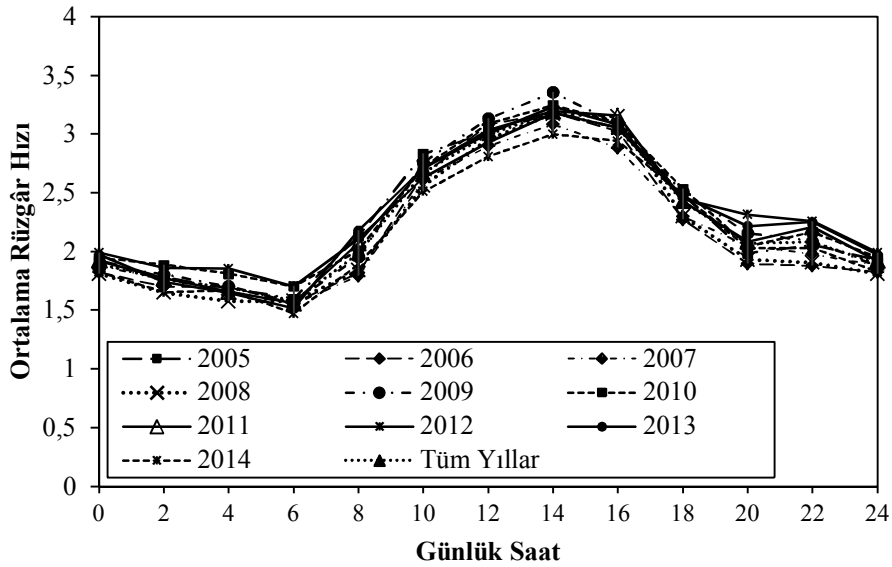
Şekil 7.18. Elazığ ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri

Elazığ iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.19' da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2009 yılının Ekim ayında 2.18 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Mart ayında 3.79 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.19. Elazığ ili için ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 7.20’ de ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2007 yılında 07:⁰⁰–08:⁰⁰ saatleri arasında 1.52 m/s, en yüksek 2009 yılında 14:⁰⁰–15:⁰⁰ saatleri arasında 3.35 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.20. Elazığ ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

Elazığ ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005 – 2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2007 yılında 07:⁰⁰ – 08:⁰⁰ saatleri arasında 1.52 m/s, en yüksek 2009 yılında 14:⁰⁰ – 15:⁰⁰ saatleri arasında 3.35 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2009 yılının Ekim ayında 2.18 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Mart ayında 3.79 m/s olarak elde edilmiştir

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.23 m/s ve güç yoğunluğu 9.05 W/m² olarak 2006 yılında, en yüksek ortalama hız 2.57 m/s ve güç yoğunluğu 16.27 W /m² olarak 2013 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 2.35 m/s ve güç yoğunluğu 13.63 W/m² olarak 2008 yılında, en yüksek ortalama hız 2.61 m/s ve güç yoğunluğu 18.37 W/m² olarak 2011 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı, RMSE ve χ^2 tüm yıllarda Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı İskenderun ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının daha iyi olacağı görülmüştür.

Sonuç itibarıyla Elazığ ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m²'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın günlük ve aylık bazda çoğunlukla 2 m/s den yüksek olması ise rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin ümit verici olduğunu göstermiştir.

7.3. Bursa İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

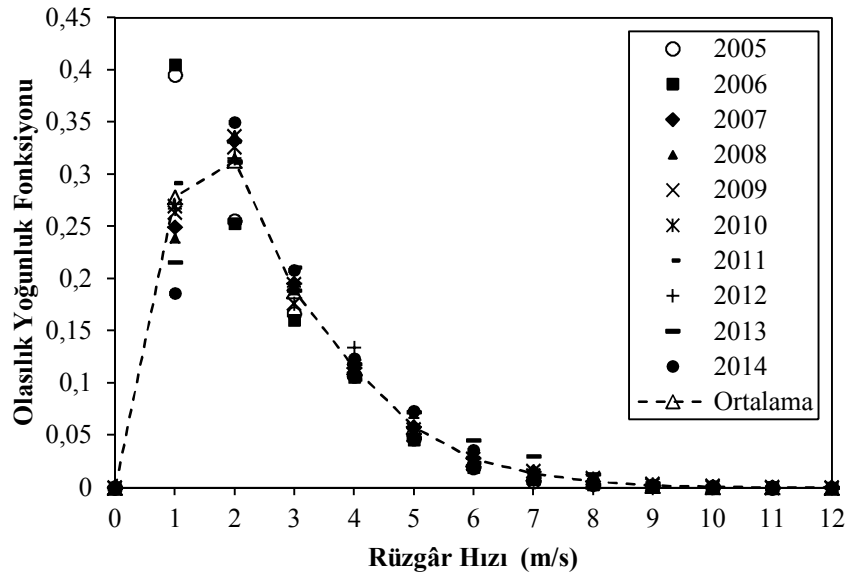
2005 – 2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.14' de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 23517, 11 – 12 m/s arasında 1, toplam

80218 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 7.14' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

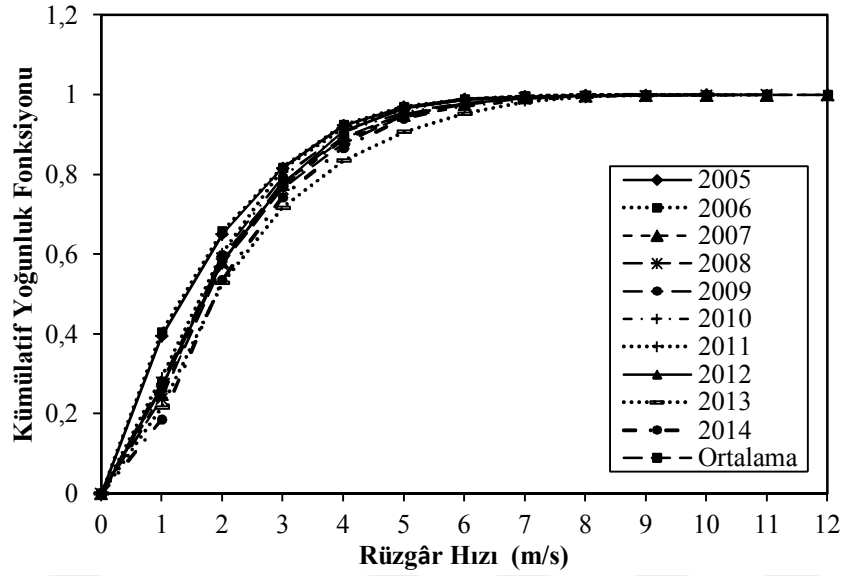
Tablo 7.14. Bursa ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0.5	23517	0.2781531	0.270744	0.264929
2	1-2	1.5	24689	0.3128835	0.291588	0.325551
3	2-3	2.5	14781	0.1882032	0.208612	0.224068
4	3-4	3.5	9036	0.1147501	0.111478	0.106469
5	4-5	4.5	4466	0.0577683	0.046330	0.038245
6	5-6	5.5	2067	0.0269376	0.015397	0.010965
7	6-7	6.5	1043	0.0133181	0.004229	0.002611
8	7-8	7.5	421	0.0055712	0.001002	0.000533
9	8-9	8.5	141	0.0017528	0.000215	9.51E-05
10	9-10	9.5	42	0.0004891	4.14E-06	1.38E-05
11	10-11	10.5	14	0.0001617	2.0E-060	1.83E-06
12	11-12	11.5	1	0.0000112	1.21E-08	2.52E-10

Bursa ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonun değişimi Şekil 7.21' de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.22' de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

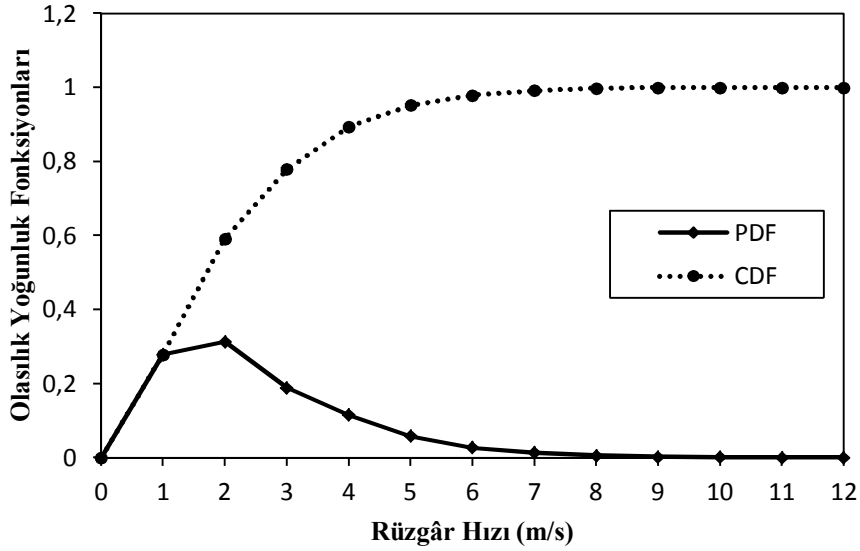


Şekil 7.21. Bursa ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.22. Bursa ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Rüzgâr hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk dağılımları Şekil 7.23’ de on yıllık verilere dayanarak çizdirilmiştir.



Şekil 7.23. Bursa ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.15’ de Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.38 – 2.50 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 1.29 – 4.24 arasında değişim göstermiştir. Şekil parametresi değerleri yıllara

göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs Kasım ve Aralık ayında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Tablo 7.15. Bursa ili için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri

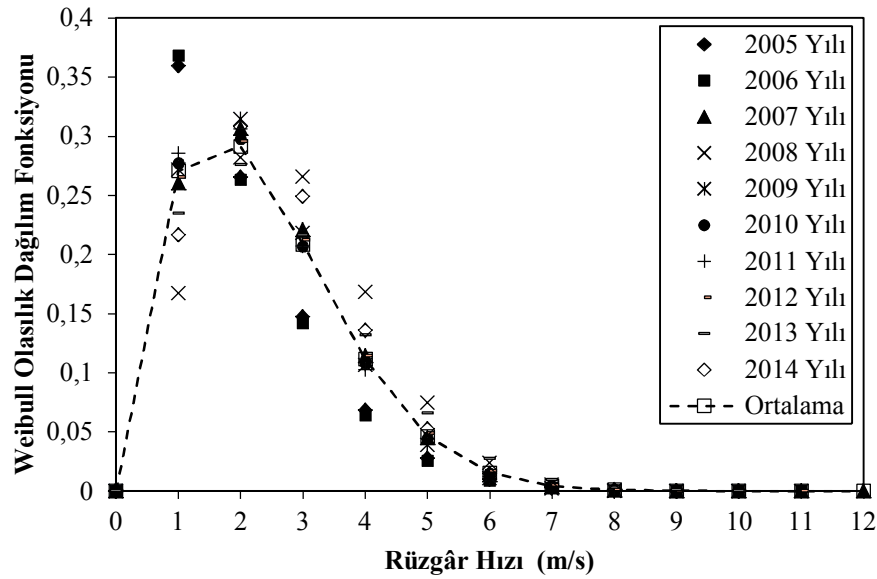
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	1.4592	1.5951	1.8651	2.0799	2.0861	2.4981	1.7279	1.7610	2.0104	2.1151
	c	1.8621	2.3998	2.3456	2.5920	2.5962	2.9895	2.3260	2.6100	2.9903	3.4722
Şubat	k	1.4720	1.7611	1.9110	1.9063	2.4492	1.9072	1.7652	2.2673	2.3104	1.7297
	c	2.2960	2.5700	2.7152	2.9212	2.8158	2.8173	2.5768	3.1989	2.9123	2.4021
Mart	k	1.3823	1.4199	2.0058	1.5704	1.6358	1.9766	1.5844	1.7487	1.8059	2.2258
	c	2.3878	2.1930	2.9784	3.4587	2.9955	2.8701	2.7054	2.5792	1.9639	2.8748
Nisan	k	1.4376	1.3614	1.6481	1.8175	2.0351	1.8639	2.0659	1.6176	1.7798	1.8956
	c	2.6932	2.2126	2.5841	2.7713	2.6885	2.6265	3.0649	3.0298	2.5791	2.7481
Mayıs	k	1.5022	1.5861	1.8875	1.9385	1.5945	1.5886	1.8296	1.8278	2.0888	-
	c	2.2495	2.2850	2.7552	2.6570	2.2321	2.3880	2.6484	2.4625	2.9035	-
Haziran	k	1.4727	1.4360	1.7489	1.9645	2.0498	1.8443	1.5426	1.7962	2.0842	2.2689
	c	2.3391	2.0248	2.4391	2.7618	2.7882	2.4729	2.3232	2.8215	2.9879	2.8840
Temmuz	k	1.3893	1.6432	1.9865	1.8783	2.1486	1.7399	1.7864	1.8532	1.8442	2.1188
	c	1.9028	3.3321	3.0204	3.2007	3.1971	2.7724	2.6610	3.1218	4.2358	3.0493
Ağustos	k	1.4185	1.2970	1.7547	1.9215	2.2550	1.8443	1.9573	1.8672	1.8072	1.8896
	c	2.2663	2.2511	2.9260	3.1526	3.2121	2.4729	2.8308	2.7361	4.2432	3.0021
Eylül	k	1.5060	1.4642	1.8317	1.9898	1.9067	1.6110	2.0507	1.7301	1.8191	2.3324
	c	1.9795	1.9213	2.8175	2.5048	2.2409	2.3126	2.3930	2.4760	2.5993	2.3928
Ekim	k	1.5279	1.5974	2.3221	2.0561	1.8464	1.8401	2.1734	1.7526	1.6086	2.2754
	c	1.7264	1.5716	2.0030	2.0615	1.8948	2.1999	2.2998	1.7938	1.7565	2.6586
Kasım	k	1.5946	1.9735	1.9484	1.8451	1.9555	1.3130	1.6131	2.2293	1.9386	-
	c	1.5248	1.2868	2.5211	2.0271	1.6428	1.6174	1.9241	2.0992	2.4985	-
Aralık	k	1.6735	1.8082	2.2614	2.5201	2.2247	1.9757	2.1479	2.0308	1.7594	-
	c	1.9400	1.5148	2.6135	2.4355	2.4196	2.4676	2.2131	3.0169	3.8125	-

Bursa ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.16 ‘da verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Ekim ve Kasım aylarında tespit edilmiştir.

Tablo 7.16. Weibull dağılımına göre Bursa ili için 2005-2014 aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

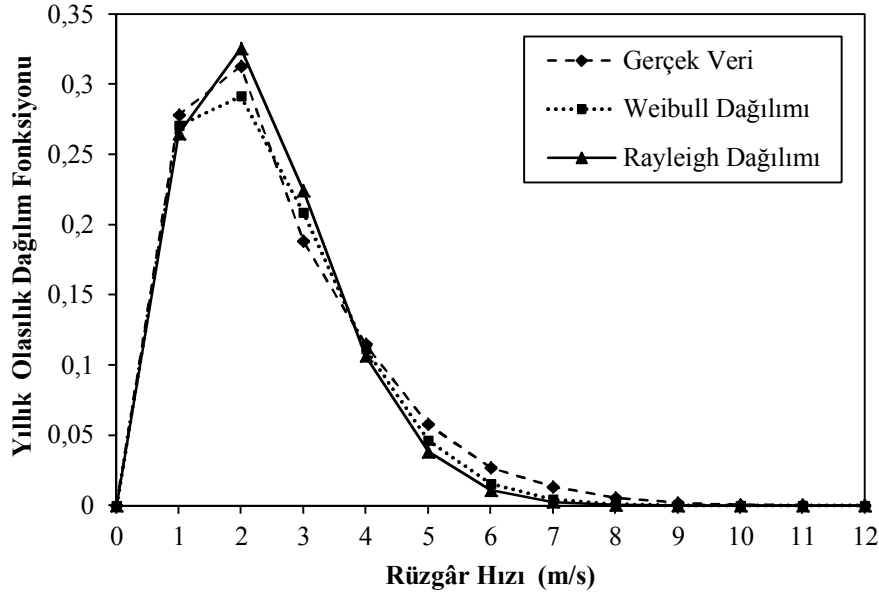
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	1.6870	2.1522	2.0827	2.2959	2.2995	2.6525	2.0732	2.3237	2.6498	3.0751
	σ	1.1749	1.3811	1.1594	1.1586	1.1573	1.1358	1.2368	1.3626	1.3787	1.5286
Şubat	V _m	2.0776	2.2880	2.4089	2.5919	2.4972	2.4997	2.2938	2.8336	2.5802	2.1409
	σ	1.4354	1.3416	1.3119	1.4147	1.0884	1.3638	1.3422	1.3234	1.1849	1.2760
Mart	V _m	2.1807	1.9944	2.6394	3.1065	2.6805	2.5442	2.4278	2.2972	1.7462	2.5461
	σ	1.5972	1.4246	1.3761	2.0222	1.6810	1.3441	1.5675	1.3557	1.0009	1.2090
Nisan	V _m	2.4450	2.0260	2.3110	2.4634	2.3820	2.3322	2.7149	2.7138	2.2948	2.4387
	σ	1.7266	1.5050	1.4394	1.4038	1.2258	1.2991	1.3784	1.7192	1.3328	1.339
Mayıs	V _m	2.0304	2.0504	2.4454	2.3563	2.0019	2.1424	2.3535	2.1883	2.5717	-
	σ	1.3767	1.3226	1.3467	1.2668	1.2851	1.3799	1.3331	1.2407	1.2928	-
Haziran	V _m	2.1165	1.8384	2.1724	2.4485	2.4700	2.1967	2.0905	2.5094	2.6466	2.5546
	σ	1.4616	1.2996	1.2819	1.3007	1.2629	1.2354	1.3833	1.4453	1.3330	1.1924
Temmuz	V _m	1.7364	2.9806	2.6771	2.8413	2.8314	2.4700	2.3673	2.7726	3.7628	2.7006
	σ	1.2657	1.8614	1.4080	1.5717	1.3877	1.4643	1.3703	1.5525	2.1162	1.3403
Ağustos	V _m	2.0614	2.0800	2.6056	2.7966	2.8451	2.1967	2.5099	2.4294	3.7727	2.6644
	σ	1.4739	1.6170	1.5329	1.5155	1.3352	1.2354	1.3377	1.3511	2.1609	1.4659
Eylül	V _m	1.7862	1.7398	2.5036	2.2200	1.9883	2.0721	2.1200	2.2067	2.3104	2.1202
	σ	1.2038	1.2079	1.4167	1.1658	1.0850	1.3177	1.0835	1.3150	1.3155	0.9654
Ekim	V _m	1.5551	1.4093	1.7747	1.8262	1.6831	1.9544	2.0367	1.5974	1.5740	2.3550
	σ	1.0381	0.9031	0.8113	0.9311	0.9455	1.1013	0.9880	0.9408	1.0023	1.0964
Kasım	V _m	1.3675	1.1407	2.2355	1.8007	1.4566	1.4908	1.7238	1.8593	2.2157	-
	σ	0.8777	0.6035	1.1964	1.0123	0.7770	1.1457	1.0949	0.8816	1.1912	-
Aralık	V _m	1.7329	1.3468	2.3149	2.1614	2.1429	2.1874	1.9599	2.6730	3.3944	-
	σ	1.0644	0.7711	1.0837	0.9183	1.0180	1.1560	0.9609	1.3781	1.9922	-

Şekil 7.24’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.38 olarak 2006 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.24. Bursa ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.25’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir. Rayleigh dağılımının olasılık oranı Weibull dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



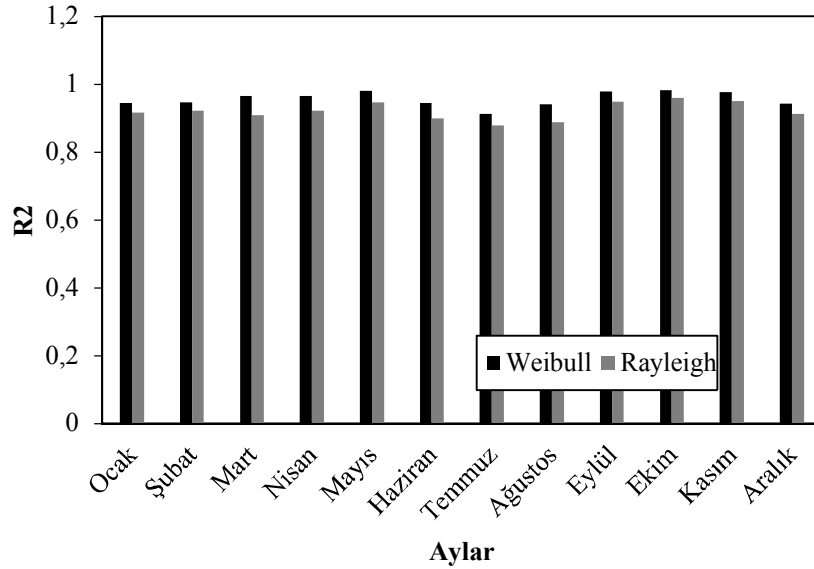
Şekil 7.25. Bursa ili için olasılık dağılım fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.17’ de Bursa ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değeri 0.67 – 0.99 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.88 – 0.98 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında 4.57×10^{-5} – 0.005 arasında, Rayleigh dağılımında ise 2.36×10^{-4} – 4.60×10^{-3} arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında 1.78×10^{-5} – 2.05×10^{-3} arasında, Rayleigh dağılımında 1.1×10^{-4} – 2.09×10^{-3} arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise çoğunlukla daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Bursa ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.17. Bursa ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.977646	0.000182	0.000455	0.884559	0.000940	0.002090
2006	0.976678	0.000187	0.000458	0.886140	0.000915	0.002012
2007	0.986407	8.19E-05	0.000197	0.981744	0.000110	0.000240
2008	0.665497	0.002046	0.005001	0.658175	0.002090	0.004599
2009	0.988633	7.74E-05	0.000193	0.984401	0.000106	0.000236
2010	0.983112	0.000105	0.000256	0.967705	0.000200	0.000441
2011	0.997522	1.78E-05	4.57E-05	0.984024	0.000114	0.000257
2012	0.990642	5.89E-05	0.000144	0.976935	0.000145	0.000320
2013	0.965031	0.000179	0.000447	0.947410	0.000269	0.000597
2014	0.950801	0.000305	0.000784	0.950118	0.000309	0.000695

Şekil 7.26’ de on yıllık ortalama veriler kullanılarak Bursa için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında 0.91 ile 0.98 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.87 ile 0.95 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1’ e daha çok yakın olmasından dolayı, Bursa ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.26. Bursa ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı değerlerinin aylara göre değişimi

Tablo 7.18’ de Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.19’ da ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 3.66 – 4.40 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 10.42 – 22.62 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 2.92 – 4.55 m/s, P ise 7.06 – 26.85 W/m² arasında değişim göstermiştir.

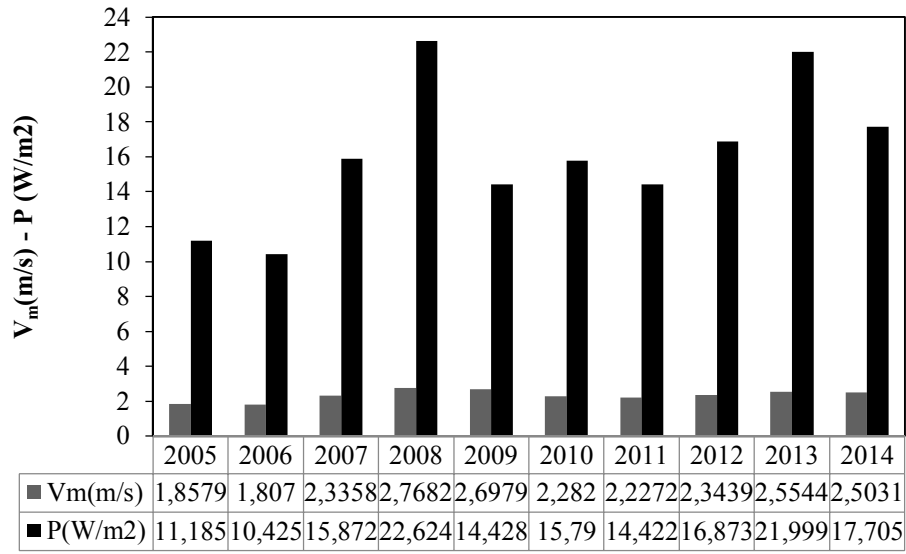
Tablo 7.18. Bursa ili için Weibull dağılımı parametreleri

Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_W (W/m ²)
2005	1.4433	2.0477	1.8579	1.3021	0.9037	3.7404	11.1850
2006	1.4314	1.9893	1.8070	1.2812	0.8606	3.6641	10.4245
2007	1.8623	2.6304	2.3358	1.3021	1.7397	3.8916	15.8717
2008	2.1774	3.1258	2.7682	1.3406	2.3568	4.2161	22.6235
2009	1.8741	2.5546	2.6979	1.2571	1.7005	3.7637	14.4281
2010	1.7604	2.5631	2.2820	1.3386	1.5910	3.9448	15.7895
2011	1.7869	2.5036	2.2272	1.2889	1.5821	3.8116	14.4215
2012	1.7812	2.6344	2.3439	1.3603	1.6586	4.0198	16.8731
2013	1.7702	2.8699	2.5544	1.4909	1.7935	4.3991	21.9993
2014	2.0480	2.8255	2.5031	1.2808	2.0371	3.9408	17.7046

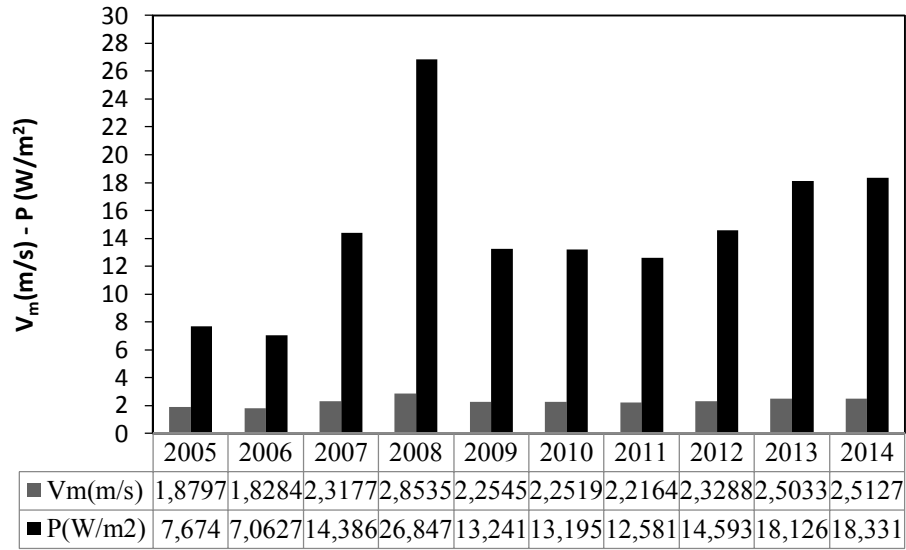
Tablo 7.19. Bursa ili için Rayleigh parametreleri

Yıl	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{maxE} (m/s)	P_R (m/s)
2005	2.1211	1.8797	0.9826	1.4998	2.9996	7.6740
2006	2.0631	1.8284	0.9557	1.4588	2.9176	7.0627
2007	2.6153	2.3177	1.2115	1.8493	3.6986	14.3856
2008	3.2198	2.8535	1.4916	2.2767	4.5535	26.8467
2009	2.5439	2.2545	1.1785	1.7988	3.5977	13.2406
2010	2.5410	2.2519	1.1771	1.7968	3.5935	13.1948
2011	2.5010	2.2164	1.1586	1.7685	3.5369	12.5806
2012	2.6278	2.3288	1.2173	1.8581	3.7163	14.5933
2013	2.8247	2.5033	1.3086	1.9974	3.9948	18.1257
2014	2.8352	2.5127	1.3134	2.0048	4.0096	18.3307

Şekil 7.27’ de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.28’ de ise Rayleigh güç yoğunluğu ile ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2008 yılında 22.62 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2006 yılında 10.43 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2008 yılında 26.85 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2006 yılında 7.06 W/m² olarak tespit edilmiştir.

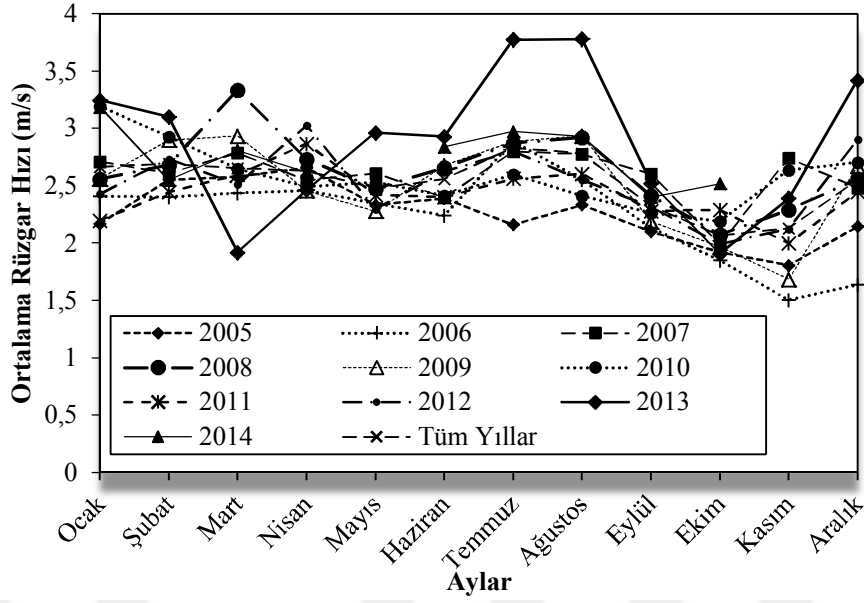


Şekil 7.27. Bursa ili için Weibull dağılımına göre güç güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri



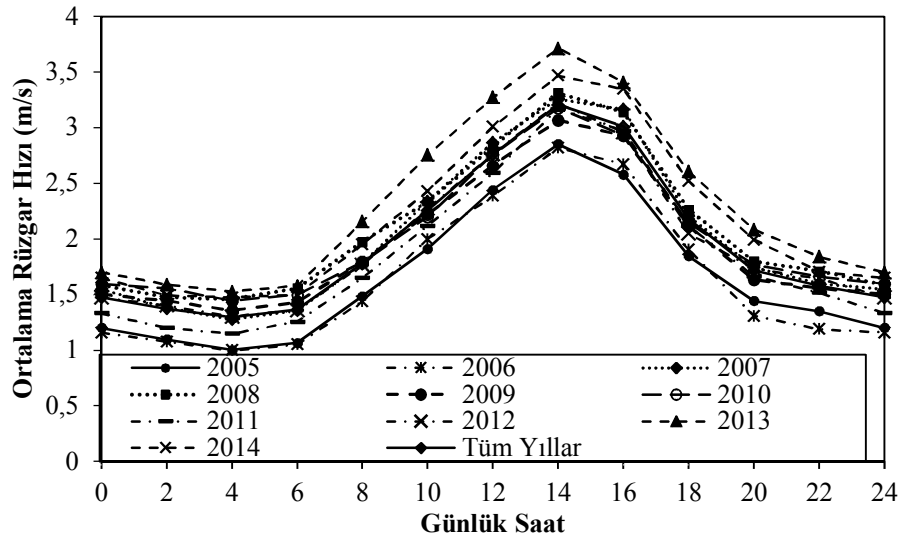
Şekil 7.28. Bursa ili için Rayleigh dağılımına göre güç güç yoğunluğu ve rüzgâr hızı değerleri

Bursa iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.29‘ da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2006 yılının Kasım ayında 1.53 m/s, en yüksek 2013 yılının Ağustos ayında 3.78 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.29. Bursa ili için ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi

Şekil 7.30’ da ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2006 yılında 04:⁰⁰– 05:⁰⁰ saatleri arasında 1.02 m/s, en yüksek 2013 yılında 14:⁰⁰ – 15:⁰⁰ saatleri arasında 3.71 m/s olarak elde edilmiştir



Şekil 7.30. Bursa ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

Bursa ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005-2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2006 yılında 04:⁰⁰ – 05:⁰⁰ saatleri arasında 1.02 m/s, en yüksek 2013 yılında 14:⁰⁰ – 15:⁰⁰ saatleri arasında 3.71 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2006 yılının Kasım ayında 1.53 m/s, en yüksek ise 2013 yılının Ağustos ayında 3.78 m/s olarak elde edilmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 1.81 m/s ve güç yoğunluğu 10.42 W/m² olarak 2006 yılında, en yüksek ortalama hız 2.76 m/s ve güç yoğunluğu 22.62 W /m² olarak 2008 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 1.83 m/s ve güç yoğunluğu 7.06 W/m² olarak 2006 yılında, en yüksek ortalama hız 2.85 m/s ve güç yoğunluğu 26.85 W/m² olarak 2008 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı, RMSE ve χ^2 tüm yıllarda Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı Bursa ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının daha iyi olacağı görülmüştür.

Sonuç itibarıyla Bursa ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m²'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın günlük ve aylık bazda çoğunlukla 2 m/s den yüksek olması ise rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin ümit verici olduğunu göstermiştir.

7.4. Karaman İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

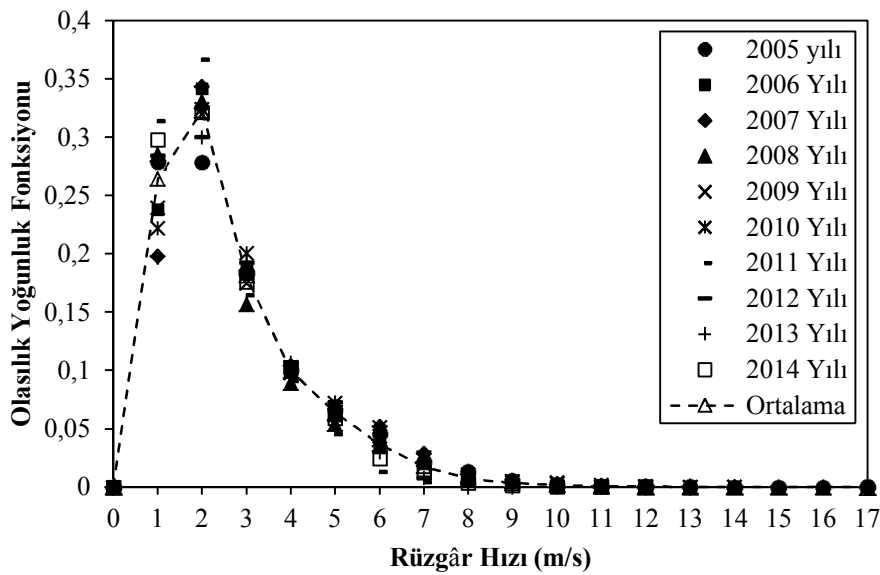
2005-2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.20' de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 22202, 16 – 17 m/s arasında 2, toplam 85428

adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 7.20' ye göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

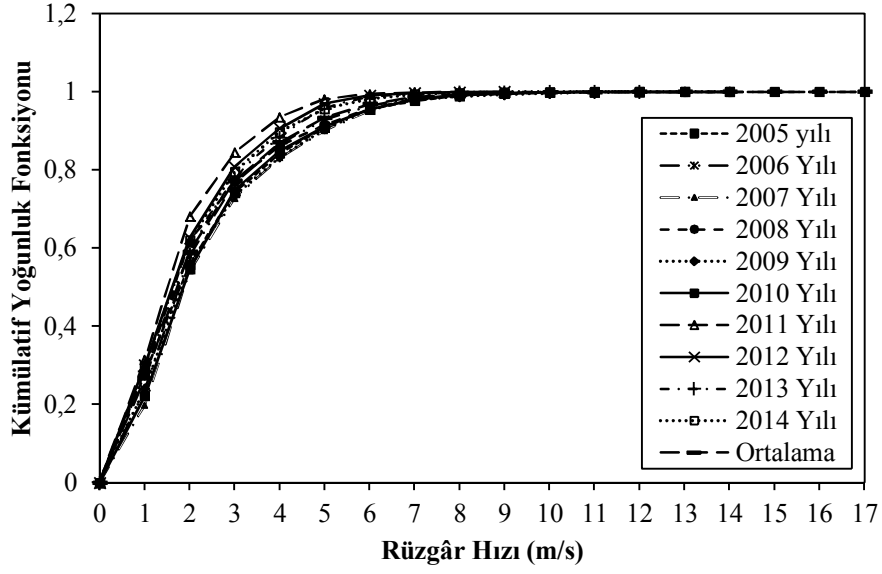
Tablo 7.20. Karaman ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0.5	22202	0.260724	0.271544	0.263687
2	1-2	1.5	27944	0.326831	0.295631	0.330827
3	2-3	2.5	15573	0.181694	0.209525	0.229700
4	3-4	3.5	8588	0.100304	0.113613	0.105599
5	4-5	4.5	5388	0.06301	0.050781	0.034280
6	5-6	5.5	3086	0.036192	0.019732	0.008141
7	6-7	6.5	1498	0.01767	0.00696	0.001447
8	7-8	7.5	607	0.007139	0.002303	0.000196
9	8-9	8.5	278	0.003299	0.000723	2.04E-05
10	9-10	9.5	154	0.00181	0.000221	1.63E-06
11	10-11	10.5	61	0.000738	6.56E-05	1.03E-07
12	11-12	11.5	32	0.000378	1.86E-05	5.12E-09
13	12-13	12.5	10	0.000121	4.64E-06	1.96E-10
14	13-14	13.5	5	6.4E-05	1.22E-06	1.76E-12
15	14-15	14.5	0	0	0	0
16	15-16	15.5	0	0	0	0
17	16-17	16.5	2	2.48E-05	2.26E-09	1.62E-19

Karaman ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonun değişimi Şekil 7.31' de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.32' de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

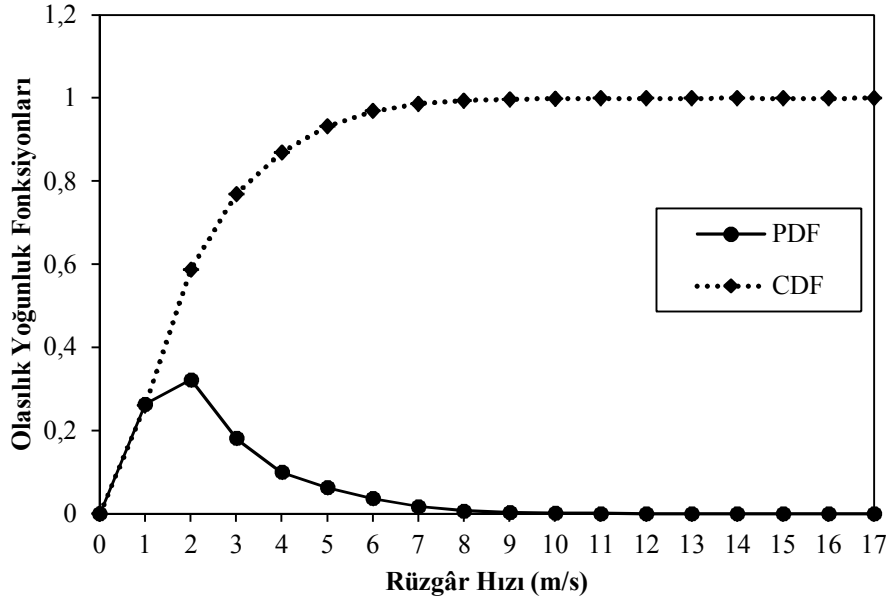


Şekil 7.31. Karaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.32. Karaman ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Rüzgar hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk dağılımları Şekil 5.33’ de on yıllık verilere dayanarak çizdirilmiştir.



Şekil 7.33. Karaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.21’ de Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c) değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.22 – 2.95 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 1.49 – 4.12 arasında değişim göstermiştir. Şekil parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs, ayında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Tablo 7.21. Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri

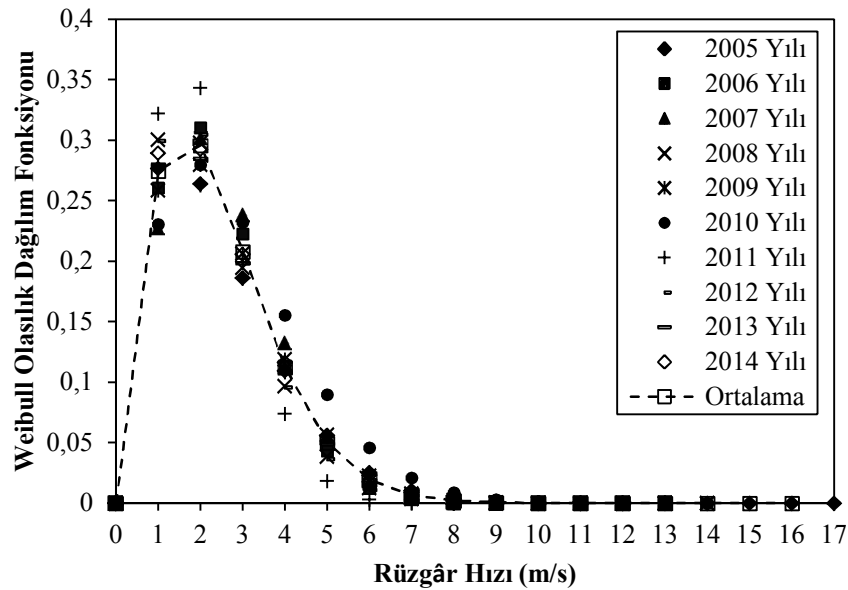
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	1.4648	3.0456	1.4259	1.5308	1.4234	1.6207	1.5672	1.6204	1.3184	1.5089
	c	2.7026	2.4438	2.7437	1.6310	2.5307	3.2520	1.8100	2.7400	2.8264	1.5218
Şubat	k	1.2166	1.4014	2.9363	1.6662	1.4825	1.6496	1.7343	1.4227	1.4805	1.8404
	c	2.9859	2.6709	2.4216	1.4855	3.1699	4.0842	2.0338	1.7786	2.7776	1.8671
Mart	k	1.3319	1.3739	2.1818	1.5954	1.4710	1.5190	1.8842	1.5990	1.6516	1.6838
	c	3.1068	3.3134	3.6825	4.1209	4.1225	3.1658	2.3234	2.8324	3.0106	3.1709
Nisan	k	1.3760	1.6210	2.1822	1.7362	1.8493	2.0273	1.8297	1.6385	2.0606	1.8802
	c	3.0515	3.3084	2.8826	3.1910	2.6970	2.5802	2.7265	2.6318	2.6112	3.2745
Mayıs	k	1.5417	2.1600	1.6867	2.1516	2.1194	2.3369	2.2704	1.9267	2.1374	1.7588
	c	2.8291	2.8556	3.4112	2.6360	2.6691	2.4965	2.4658	2.6515	2.6790	3.1374
Haziran	k	1.8676	2.6480	2.3241	1.7413	2.1905	2.0358	2.7660	2.3687	1.8924	2.4049
	c	2.6395	2.7642	2.7663	2.9625	2.7965	3.0019	2.3306	2.6162	2.8882	2.4891
Temmuz	k	2.0185	2.4631	1.9252	2.1636	2.1278	2.9515	2.8144	2.2809	2.2826	2.6526
	c	2.5999	2.8913	3.0593	3.0683	3.0190	2.8121	2.6077	2.7128	2.9187	2.7833
Ağustos	k	1.7390	2.6751	2.4190	2.3197	1.9727	2.4813	2.3361	2.5475	2.1900	2.6919
	c	2.8270	2.5778	2.6546	2.8118	2.5885	2.6654	2.5614	2.5509	2.6345	2.4282
Eylül	k	1.9124	2.0640	2.1303	2.1921	2.3516	2.2389	2.6294	1.8853	2.1033	1.9610
	c	2.4839	2.7514	2.3599	2.5403	2.4058	2.5594	2.1201	2.2642	2.5396	2.7279
Ekim	k	1.8480	1.8610	1.5527	2.0894	1.5787	2.0446	1.5666	1.7174	1.3278	1.5108
	c	2.3490	2.3247	2.2470	2.0076	2.2423	2.3669	1.9850	1.8202	1.7660	1.7611
Kasım	k	1.2708	1.5357	1.4101	1.7990	1.5901	1.4053	1.8570	1.6983	1.6029	1.6015
	c	1.9043	1.7815	2.3918	1.9209	2.0938	1.4601	1.6531	1.7894	1.6125	1.7985
Aralık	k	1.7831	1.6898	1.6276	1.9678	1.3423	1.7616	1.4743	1.4276	1.4101	1.4383
	c	2.2536	1.3747	2.4480	1.7556	2.3700	2.4399	1.7604	2.1451	1.8329	1.7492

Karaman ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.22’ 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.

Tablo 7.22. Weibull dağılımına göre Karaman ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

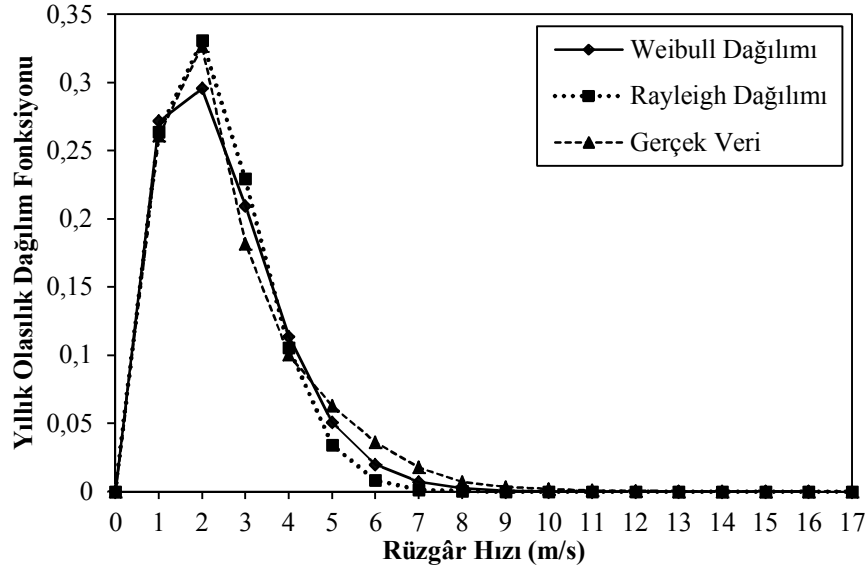
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	2.4471	2.1837	2.4937	1.4689	2.3007	2.9123	1.6260	2.4538	2.6032	1.3728
	σ	1.6983	0.7830	1.7742	0.9789	1.6397	1.8419	1.0604	1.5522	1.9929	0.9270
Şubat	V _m	2.7991	2.4339	2.1604	1.3274	2.8658	3.6522	1.8123	1.6170	2.5115	1.6587
	σ	2.3121	1.7599	0.8004	0.8185	1.9670	2.2728	1.0776	1.1529	1.7260	0.9346
Mart	V _m	2.8559	3.0292	3.2612	3.6957	3.7308	2.8537	2.0623	2.5396	2.6919	2.8311
	σ	2.1654	2.2312	1.5765	2.3711	2.5793	1.9153	1.1376	1.6261	1.6734	1.7292
Nisan	V _m	2.7890	2.9628	2.5529	2.8433	2.3956	2.2861	2.4228	2.3547	2.3131	2.9067
	σ	2.0513	1.8734	1.2339	1.6889	1.3439	1.1805	1.3723	1.4744	1.1771	1.6065
Mayıs	V _m	2.5459	2.5290	3.0453	2.3344	2.3639	2.2121	2.1842	2.3519	2.3726	2.7934
	σ	1.6856	1.2336	1.8570	1.1427	1.1729	1.0055	1.0188	1.2714	1.1683	1.6399
Haziran	V _m	2.3436	2.4566	2.4510	2.6393	2.4766	2.6596	2.0744	2.3188	2.5632	2.2066
	σ	1.3031	0.9984	1.1196	1.5635	1.1930	1.3682	0.8108	1.0413	1.4083	0.9776
Temmuz	V _m	2.3038	2.5645	2.7136	2.7173	2.6737	2.5094	2.3225	2.4031	2.5855	2.4736
	σ	1.1943	1.1121	1.4680	1.3235	1.3219	0.9254	0.8938	1.1164	1.2003	1.0038
Ağustos	V _m	2.5187	2.2916	2.3536	2.4913	2.2946	2.3645	2.6996	2.2645	2.3331	2.1591
	σ	1.4940	0.9230	1.0373	1.1399	1.2143	1.0186	1.0320	0.9528	1.1241	0.8647
Eylül	V _m	2.2037	2.4373	2.0900	2.2497	2.1320	2.2669	1.8838	2.0097	2.2493	2.4185
	σ	1.1994	1.2384	1.0323	1.0830	0.9637	1.0707	0.7705	1.1079	1.1237	1.2868
Ekim	V _m	2.0865	2.0643	2.0206	1.7782	2.0129	2.0969	1.7833	1.6230	1.6243	1.5885
	σ	1.1713	1.1515	1.3290	0.8937	1.3040	1.0745	1.1634	0.9737	1.2352	1.0714
Kasım	V _m	1.7672	1.6039	2.1775	1.7083	1.8784	1.3300	1.4681	1.5967	1.4455	1.6124
	σ	1.4005	1.0657	1.5655	0.9826	1.2088	0.9592	0.8205	0.9677	0.9235	1.0309
Aralık	V _m	2.0050	1.2271	2.1915	1.5564	2.1755	2.1722	1.5927	1.9494	1.6687	1.5878
	σ	1.1625	0.7471	0.8824	0.8255	1.6375	1.2734	1.0988	1.3855	1.1997	1.1208

Şekil 7.34’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.34 olarak 2011 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.34. Karaman ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.35’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir. Rayleigh dağılımının olasılık oranı Weibull dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



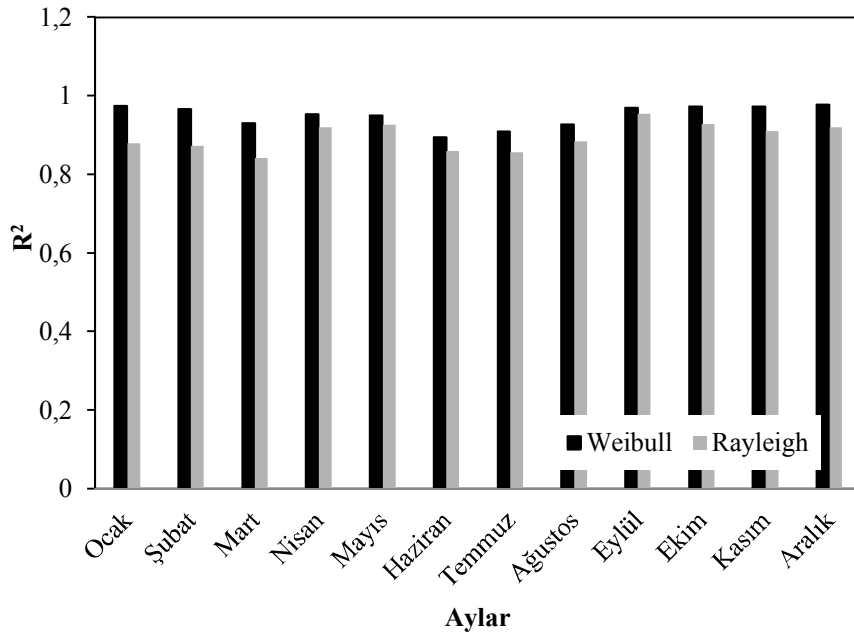
Şekil 7.35. Karaman ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.23’ de Karaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0,94 – 0,99 arasında olduğu, Rayleigh dağılımında ise 0,94 – 0,98 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında $7,01 \times 10^{-5}$ – $7,41 \times 10^{-4}$ arasında, Rayleigh dağılımında ise $3,24 \times 10^{-4}$ – $5,82 \times 10^{-4}$ arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında $3,09 \times 10^{-5}$ – $3,13 \times 10^{-4}$ arasında, Rayleigh dağılımında $1,5 \times 10^{-4}$ – $3,66 \times 10^{-4}$ arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Karaman ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.23. Karaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.992893	3.095E-05	7.016E-05	0.942841	0.000249	0.000529
2006	0.972551	0.000150	0.000349	0.969654	0.000165	0.000356
2007	0.939058	0.000313	0.000741	0.936734	0.000366	0.000705
2008	0.963774	0.000190	0.000444	0.952069	0.000251	0.000542
2009	0.965522	0.000169	0.000394	0.944765	0.000270	0.000582
2010	0.974426	0.000128	0.000299	0.969969	0.000150	0.000324
2011	0.981823	0.000161	0.000413	0.980437	0.000173	0.000389
2012	0.988493	0.000085	0.000217	0.969949	0.000221	0.000497
2013	0.993012	0.000041	9.916E-05	0.963597	0.000215	0.000470
2014	0.989746	6.603E-05	0.000158	0.970127	0.000192	0.000419

Şekil 7.36 ' da on yıllık veriler kullanılarak Karaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında 0.89 ile 0.98 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.84 ile 0.95 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1' e daha çok yakın olmasından dolayı, İskenderun ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.36. Karaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi

Tablo 7.24 ‘de Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.25’ de ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 3.57 – 4.63 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 10.79 – 19.88 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 3.21 – 3.91 m/s, P güç yoğunluğu ise 5.62 – 14.11 W/m² arasında değişim göstermiştir.

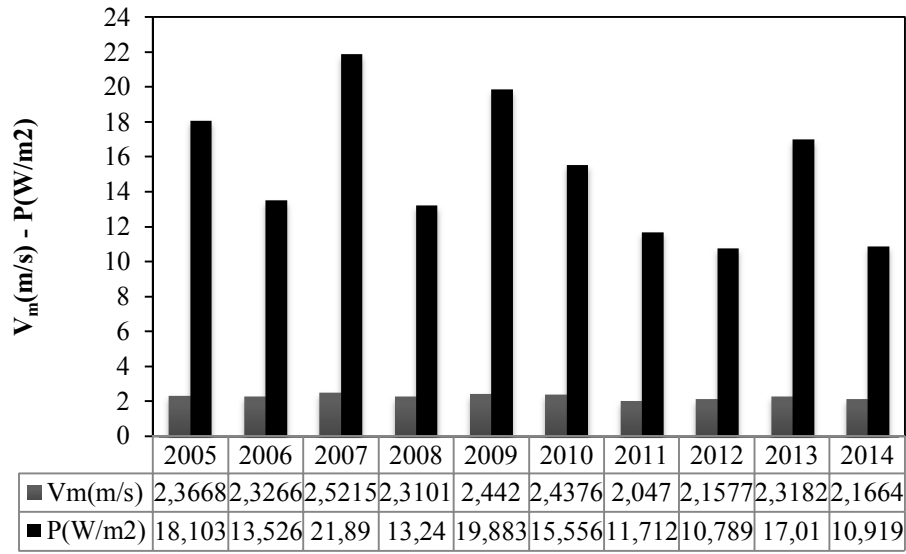
Tablo 7.24. Karaman ili için Weibull dağılımı parametreleri

Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_W (W/m ²)
2005	1.5527	2.6320	2.3668	1.5568	1.3532	4.4855	18.1027
2006	1.8828	2.6212	2.3266	1.2842	1.7530	3.8498	13.5263
2007	1.8979	2.7971	2.4822	1.3602	1.8856	4.0869	15.4222
2008	1.7662	2.6025	2.3101	1.2751	1.7406	3.8225	13.2399
2009	1.7071	2.7156	2.4420	1.6062	1.3962	4.6280	19.8832
2010	1.8595	2.7462	2.4376	1.3455	1.8367	4.0336	15.5563
2011	1.9202	2.2764	2.0470	1.3465	1.1704	3.8795	11.7123
2012	1.7456	2.4309	2.1577	1.1910	1.6257	3.5704	10.7888
2013	1.6728	2.5780	2.3182	1.5248	1.3254	4.3934	17.0097
2014	1.7156	2.4406	2.1664	1.1957	1.6323	3.5846	10.9190

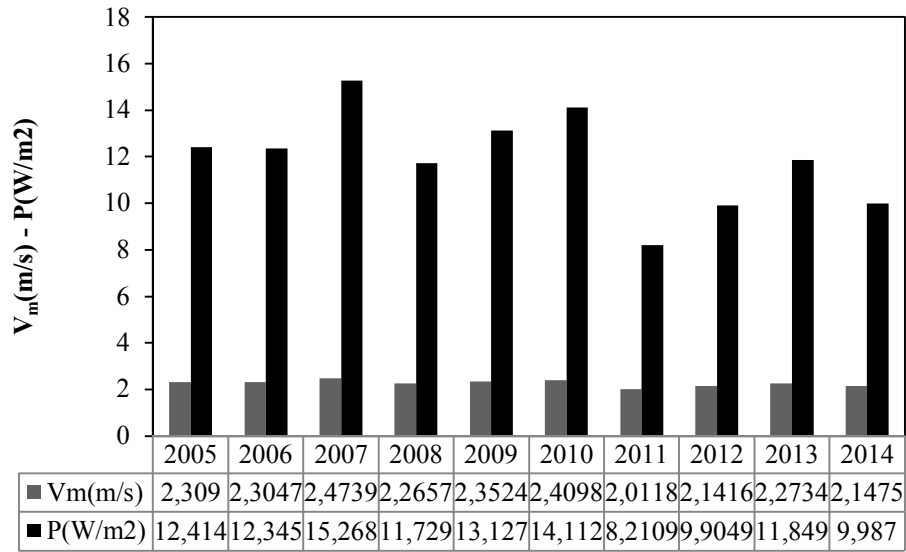
Tablo 7.25. Karaman ili için Rayleigh dağılımı parametreleri

Yıl	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{maxE} (m/s)	P_R (W/m ²)
2005	2.6054	2.3090	1.2070	1.8423	3.6846	12.4139
2006	2.6005	2.3047	1.2047	1.8388	3.6777	12.3446
2007	2.7679	1.7725	0.9265	1.9572	3.9144	5.6156
2008	2.5565	2.2657	1.1843	1.8077	3.6155	11.7285
2009	2.6544	2.3524	1.2296	1.8769	3.7538	13.1271
2010	2.7191	2.4098	1.2596	1.9227	3.8454	14.1117
2011	2.2701	2.0118	1.0516	1.6052	3.2104	8.2109
2012	2.4165	2.1416	1.1194	1.7087	3.4175	9.9049
2013	2.5652	2.2734	1.1884	1.8139	3.6278	11.8485
2014	2.4332	2.1475	1.1226	1.7135	3.4269	9.9870

Şekil 7.37’ de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.38’ de ise Rayleigh güç yoğunluğu ile ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2007 yılında 21.89 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2012 yılında 10.79 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2007 yılında 15.27 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2011 yılında 8.21 W/m² olarak tespit edilmiştir.

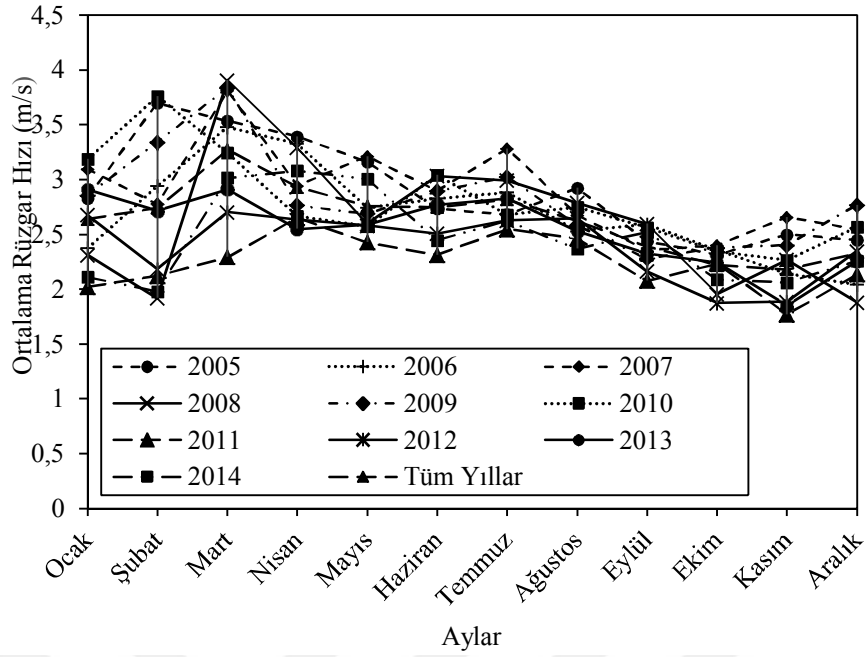


Şekil 7.37. Karaman ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi



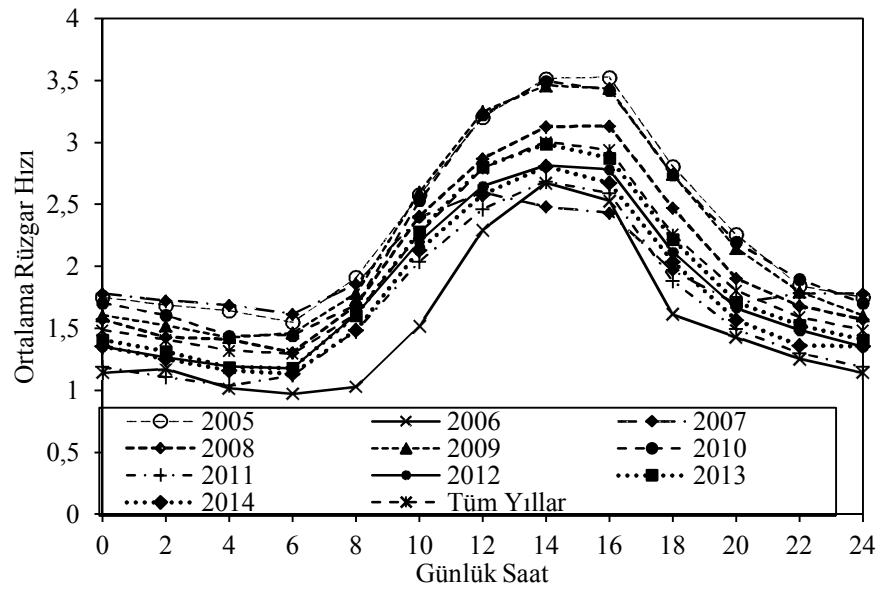
Şekil 7.38. Karaman ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi

Karaman iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.39' da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2011 yılının Kasım ayında 1.77 m/s, en yüksek ise 2008 yılının Mart ayında 3.91 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.39. Karaman ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi

Şekil 7.40' da ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2006 yılında 07:⁰⁰ –08:⁰⁰ saatleri arasında 0.89 m/s, en yüksek 2005 yılında 15:⁰⁰ – 16:⁰⁰ saatleri arasında 3.55 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.40. Karaman ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

Karaman ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005 – 2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2006 yılında 07:⁰⁰ – 08:⁰⁰ saatleri arasında 0.89 m/s, en yüksek 2005 yılında 15:⁰⁰ – 16:⁰⁰ saatleri arasında 3.55 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2011 yılının Kasım ayında 1.77 m/s, en yüksek ise 2008 yılının Mart ayında 3.91 m/s olarak elde edilmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.05 m/s olarak 2011 yılında, güç yoğunluğu 10.79 W/m² olarak 2012 yılında, en yüksek ortalama hız 2.48 m/s olarak 2007 yılında, güç yoğunluğu 19.88 W /m² olarak 2009 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 1.77 m/s ve güç yoğunluğu 5.61 W/m² olarak 2007 yılında, en yüksek ortalama hız 2.41 m/s ve güç yoğunluğu 14.11 W/m² olarak 2010 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı ve RMSE tüm yıllarda, χ^2 ise 2007 ve 2011 yılları dışında Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı İskenderun ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının daha iyi olacağı görülmüştür.

Sonuç itibariyle Karaman ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m²'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın 2 m/s den yüksek olması ise rüzgâr enerjisi potansiyelinin ümit verici olduğunu göstermiştir

7.5. Sinop İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

2005 – 2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.26' da frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde

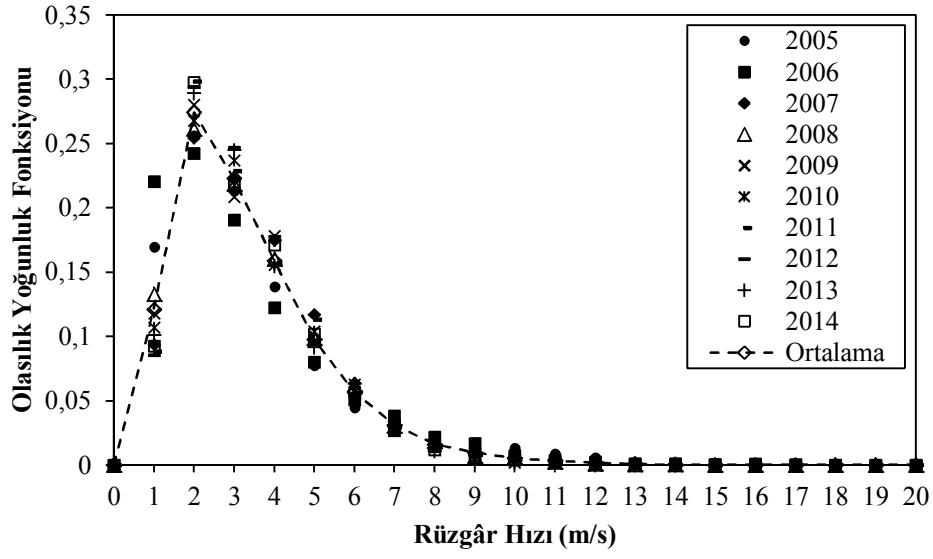
edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri

verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 10262, 19 – 20 m/s arasında 1, toplam 83402 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 7.26’ ya göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

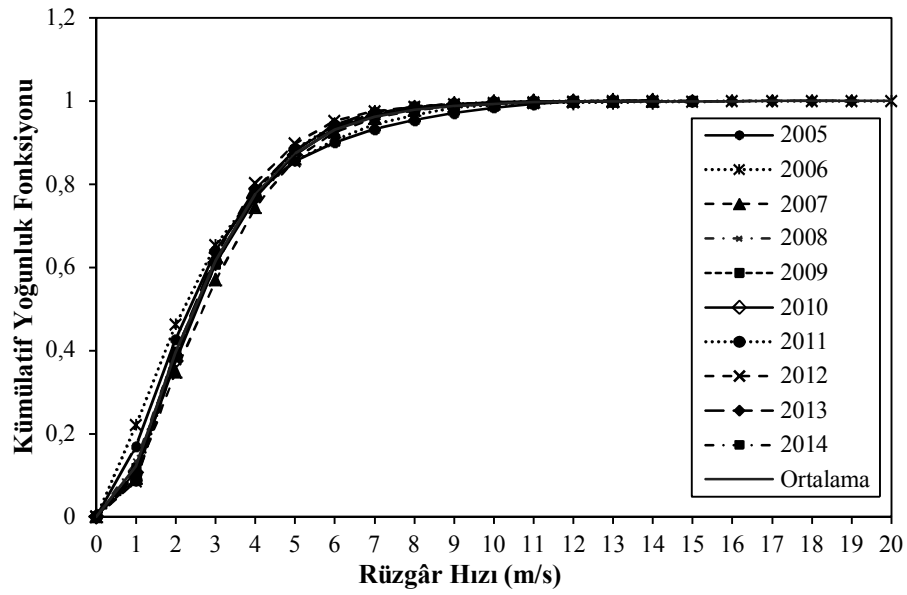
Tablo 7.26. Sinop ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0.5	10262	0.120892	0.153598	0.155466
2	1-2	1.5	22848	0.274176	0.239059	0.24075
3	2-3	2.5	18635	0.222812	0.238165	0.236103
4	3-4	3.5	13138	0.158936	0.176315	0.174135
5	4-5	4.5	8029	0.097479	0.101911	0.102129
6	5-6	5.5	4730	0.057069	0.047457	0.048914
7	6-7	6.5	2571	0.031054	0.018396	0.019433
8	7-8	7.5	1364	0.016134	0.006189	0.006472
9	8-9	8.5	810	0.009546	0.001906	0.001821
10	9-10	9.5	456	0.005325	0.000572	0.000435
11	10-11	10.5	279	0.003284	0.000177	8.89E-05
12	11-12	11.5	153	0.001806	5.77E-05	1.56E-05
13	12-13	12.5	65	0.000757	1.97E-05	2.36E-06
14	13-14	13.5	36	0.000437	6.76E-06	3.08E-07
15	14-15	14.5	10	0.000117	2.25E-06	6.23E-09
16	15-16	15.5	7	7.8E-05	7.59E-07	9.45E-11
17	16-17	16.5	5	0.000056	2.47E-07	6.01E-12
18	17-18	17.5	2	2.24E-05	7.71E-08	3.23E-13
19	18-19	18.5	1	1.12E-05	2.32E-08	1.46E-14
20	19-20	19.5	1	1.12E-05	6.75E-09	3.97E-19

Sinop ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 7.41’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.42’ de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

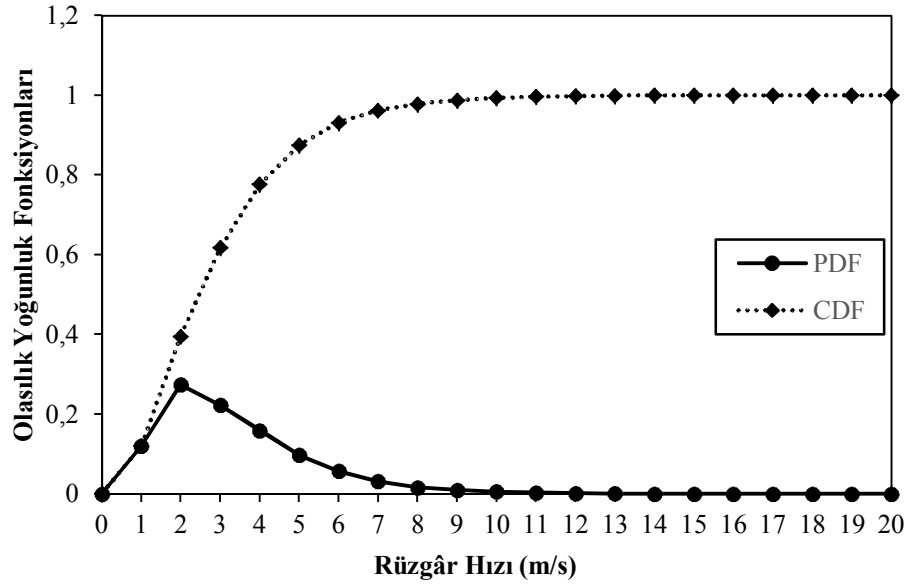


Şekil 7.41. Sinop ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.42. Sinop ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişim

Rüzgâr hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk fonksiyonlarına göre elde edilen dağılımlar Şekil 5.43' de on yıllık verilere dayanarak çizilmiştir.



Şekil 7.43. Sinop ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.27’de Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c)’nin değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.10 – 3.43 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 2.68 – 4.60 arasında değişim göstermiştir. Şekil parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs ayında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Tablo 7.27. Sinop ili için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerler

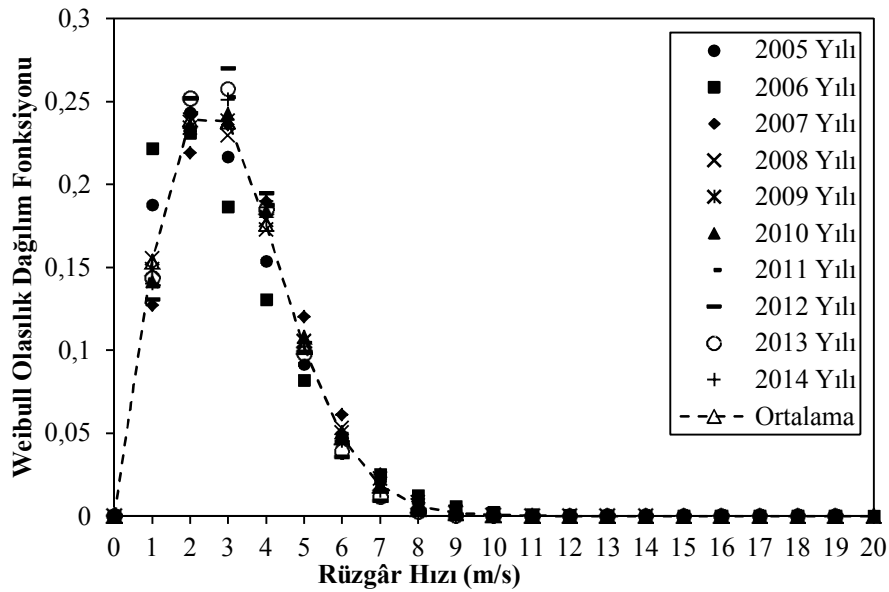
Aylar	Par am etre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	1.8586	1.6932	2.3122	1.7292	2.0699	2.1739	2.1250	2.3903	3.4254	1.9032
	c	3.0103	4.0482	3.5082	3.8493	3.3543	3.7034	3.0308	3.4951	3.5521	3.1987
Şubat	k	2.0112	1.3046	2.1248	2.0516	2.3588	2.2369	1.9790	2.1397	2.2284	2.4442
	c	3.6249	2.6802	3.6426	3.6702	4.0814	4.6040	4.3163	3.7259	4.2763	3.0575
Mart	k	1.9809	2.5702	2.0375	2.4212	2.1312	1.9181	1.9807	2.2494	2.3482	2.4326
	c	3.3972	3.2480	4.2151	3.6823	4.4867	3.9930	3.6667	4.1062	2.6969	4.3996
Nisan	k	2.0248	1.6608	2.2009	2.4282	1.9902	1.8959	2.4815	2.4765	2.1067	2.5513
	c	3.5900	3.3512	3.8237	3.7285	3.4530	4.0526	4.0752	3.7933	3.8678	3.8451
Mayıs	k	1.9237	1.9480	2.2448	2.2401	2.4328	2.2334	2.7523	2.5992	2.4133	-
	c	3.0658	2.8394	3.4369	3.5786	3.5124	3.3086	3.0845	2.8560	3.2307	-
Haziran	k	1.6724	1.4746	2.1583	2.0411	2.1618	2.1647	2.4237	2.4108	2.4032	2.2569
	c	3.2458	3.2061	4.0053	3.4505	3.2642	3.4892	3.3011	3.3207	3.2983	3.4099
Temmuz	k	2.0210	1.1580	2.2850	1.9507	2.0067	2.1731	2.1859	2.2734	1.9406	2.2493
	c	2.9197	3.6570	3.5656	3.5125	3.2887	3.1440	4.0618	3.2483	3.3960	3.9206
Ağustos	k	1.5064	1.9443	2.1048	1.8930	2.0048	1.8947	2.1526	2.1669	2.0322	2.1617
	c	3.4389	3.3048	3.5172	3.3444	3.1099	3.3854	3.3716	3.4124	3.4137	3.0705
Eylül	k	1.6582	1.3872	1.6772	1.7565	2.2428	2.4686	2.1363	2.1653	2.4052	2.1646
	c	3.1461	2.8689	4.0049	3.2740	2.7851	2.9959	2.9711	3.0377	3.4181	3.2379
Ekim	k	1.7377	1.6137	2.0906	1.7398	1.9980	2.3614	2.0795	2.3088	1.9184	2.5048
	c	3.4703	2.7217	3.1758	2.7622	3.1294	3.1494	3.9213	3.2135	3.2374	2.8449
Kasım	k	1.6332	1.3806	2.2221	1.6863	1.8197	2.2977	2.0358	2.2861	2.3018	1.7853
	c	3.6035	2.7015	3.9880	2.9435	3.3078	2.9198	3.0100	3.0982	2.9557	3.6039
Aralık	k	1.8310	1.0964	1.8856	1.9342	2.1535	2.0782	2.3411	2.4908	1.8732	2.0344
	c	2.8650	2.3756	3.8476	3.9451	4.0737	3.8397	3.1185	3.7812	3.4789	3.5466

Sinop ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.28’ de verilmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı değerleri Şubat ve Mart aylarında, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerleri ise Eylül ve Ekim aylarında tespit edilmiştir.

Tablo 7.28. Weibull dağılımına göre Sinop ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

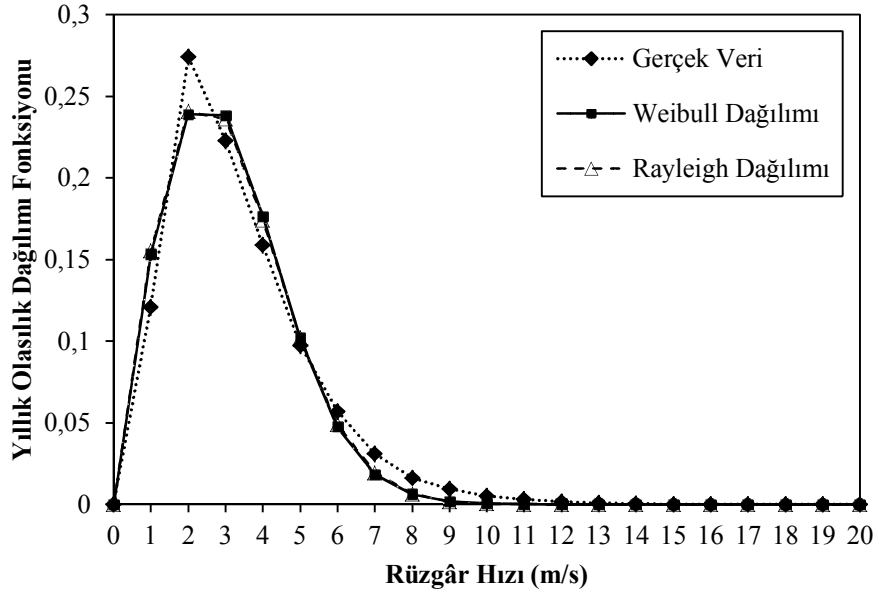
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	2.6733	3.6131	3.1082	3.4307	2.9713	3.2798	2.6843	3.0981	3.1924	2.8383
	σ	1.4929	2.1956	1.4263	2.0453	1.5059	1.5906	1.3287	1.3800	1.0300	1.5514
Şubat	V _m	3.2122	2.4736	3.2260	3.2514	3.6170	4.0778	3.8261	3.2998	3.7875	2.7114
	σ	1.6707	1.9124	1.5970	1.6610	1.6304	1.9276	2.0190	1.6233	1.7965	1.1839
Mart	V _m	3.0113	2.8840	3.7345	3.2649	3.9736	3.5423	3.2502	3.6370	2.3900	3.9012
	σ	1.5877	1.2039	1.9197	1.4377	1.9617	1.9226	1.7138	1.7107	1.0817	1.7107
Nisan	V _m	3.1810	2.9952	3.3865	3.3060	3.0605	3.5964	3.6152	3.3649	3.4256	3.4134
	σ	1.6444	1.8525	1.6243	1.4520	1.6069	1.9726	1.5573	1.4521	1.7089	1.4343
Mayıs	V _m	2.7195	2.5178	3.0441	3.1696	3.1145	2.9305	2.7449	2.5368	2.8643	-
	σ	1.4722	1.3477	1.4345	1.4964	1.3656	1.3872	1.0777	1.0483	1.2650	-
Haziran	V _m	2.8994	2.9006	3.5472	3.0570	2.8909	3.0901	2.9270	2.9440	2.9240	3.0203
	σ	1.7818	2.0006	1.7315	1.5689	1.4091	1.5043	1.2877	1.3014	1.2962	1.4164
Temmuz	V _m	2.5871	3.4735	3.1586	3.1145	2.9144	2.7844	3.5972	2.8774	3.0117	3.4726
	σ	1.3397	3.0079	1.4649	1.6650	1.5189	1.3508	1.7360	1.3406	1.6176	1.6335
Ağustos	V _m	3.1029	2.9307	3.1152	2.9681	2.7560	3.0044	2.9860	3.0221	3.0246	2.7193
	σ	2.0984	1.5714	1.5553	1.6303	1.4375	1.6489	1.4610	1.4699	1.5584	1.3255
Eylül	V _m	2.8122	2.6186	3.5768	2.9153	2.4668	2.6574	2.6313	2.6902	3.0302	2.8676
	σ	1.7418	1.9114	2.1924	1.7135	1.1633	1.1500	1.2963	1.3093	1.3423	1.3961
Ekim	V _m	3.0920	2.4384	2.8129	2.4609	2.7734	2.7911	3.4733	2.8470	2.8720	2.5244
	σ	1.8351	1.5482	1.4129	1.4590	1.4510	1.2569	1.7530	1.3082	1.5586	1.0783
Kasım	V _m	3.2250	2.4678	3.5321	2.6278	2.9402	2.5867	2.6668	2.7446	2.6186	3.2062
	σ	2.0253	1.8094	1.6796	1.6028	1.6736	1.1938	1.3719	1.2724	1.2065	1.8569
Aralık	V _m	2.5459	2.2948	3.4151	3.4989	3.6077	3.4011	2.7634	3.3546	3.0885	3.1422
	σ	1.4411	2.0952	1.8824	1.8848	1.7646	1.7175	1.2541	1.4402	1.7126	1.6175

Şekil 7.44’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.27 olarak 2012 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.44. Sinop ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.45’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir. Rayleigh dağılımının olasılık oranı Weibull dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



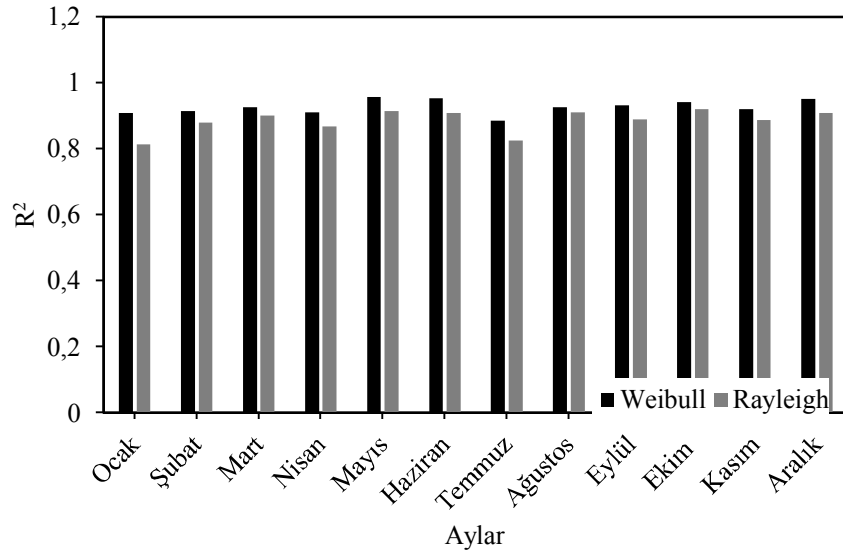
Şekil 7.45. Sinop ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.29’ de Sinop ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.94 – 0.99 arasında olduğu, Rayleigh dağılımında ise 0.93 – 0.98 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında $3,59 \times 10^{-5}$ – $5,97 \times 10^{-4}$ arasında, Rayleigh dağılımında ise $1,49 \times 10^{-4}$ – $6,12 \times 10^{-4}$ arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında $1,62 \times 10^{-5}$ – $2,58 \times 10^{-4}$ arasında, Rayleigh dağılımında $6,94 \times 10^{-5}$ – $2,84 \times 10^{-4}$ arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Sinop ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.29. Sinop ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.982794	6.02E-05	0.000140	0.969319	0.000107	0.000231
2006	0.994607	1.62E-05	3.59E-05	0.930356	0.000209	0.000439
2007	0.969575	0.000110	0.000256	0.966937	0.000120	0.000257
2008	0.969575	6.64E-05	0.000155	0.981090	6.94E-05	0.000149
2009	0.962910	0.000146	0.000340	0.962674	0.000147	0.000316
2010	0.966839	0.000128	0.000298	0.965070	0.000135	0.000290
2011	0.937314	0.000258	0.000597	0.931186	0.000284	0.000608
2012	0.957814	0.000191	0.000446	0.937430	0.000284	0.000612
2013	0.961380	0.000140	0.000314	0.955095	0.000164	0.000345
2014	0.941889	0.000237	0.000547	0.936830	0.000258	0.000552

Şekil 7.46’ da on yıllık veriler kullanılarak Sinop ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında 0.89 ile 0.96 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.81 ile 0.92 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1’ e daha çok yakın olmasından dolayı, Sinop ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.46. Sinop ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi

Tablo 7.30’ da Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.31’ de ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 4.48 – 5.46 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 28.30 – 39.20 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 4.39 – 5.26 m/s, P güç yoğunluğu ise 24.27 – 41.66 W/m² arasında değişim göstermiştir.

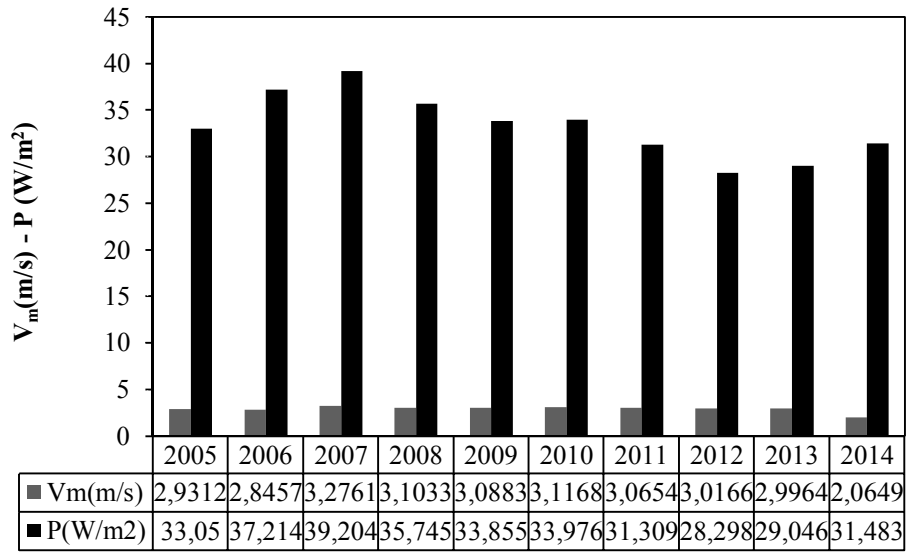
Tablo 7.30. Sinop ili için Weibull dağılımı parametreleri

Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_W (W/m ²)
2005	1.7913	3.2953	2.9312	1.6924	2.0884	5.0079	33.0496
2006	1.5274	3.1589	2.8457	1.9002	1.5747	5.4641	37.2138
2007	2.0927	3.6988	3.2761	1.6441	2.7115	5.0963	39.2036
2008	1.9491	3.4998	3.1033	1.6603	2.4193	5.0278	35.7453
2009	2.0273	3.4855	3.0883	1.5947	2.4926	4.8898	33.8552
2010	2.0785	3.5187	3.1168	1.5737	2.5663	4.8666	33.9759
2011	2.1514	3.4613	3.0654	1.5006	2.5886	4.6982	31.3093
2012	2.2873	3.4052	3.0166	1.3978	2.6485	4.4815	28.2981
2013	2.1675	3.3834	2.9964	1.4570	2.5432	4.5744	29.0460
2014	2.1371	3.4607	2.0649	1.5094	2.5760	4.71405	31.4826

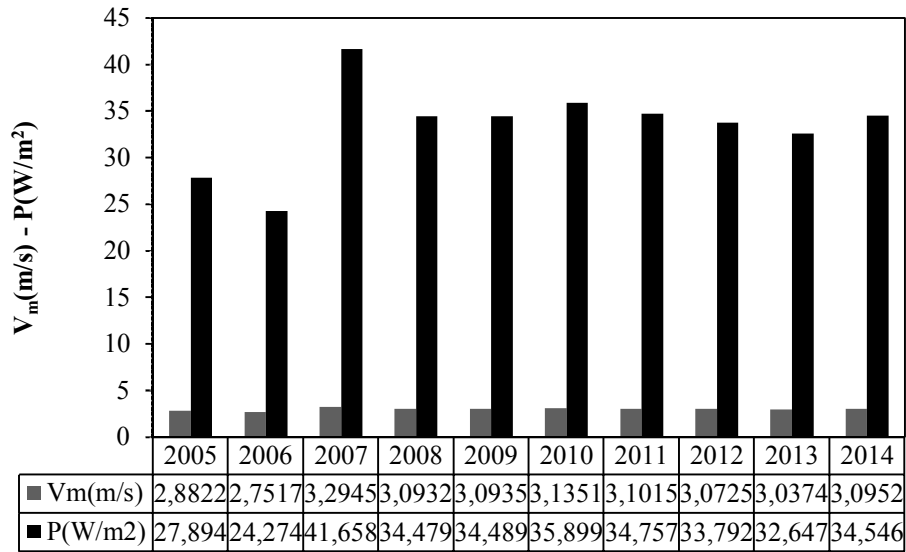
Tablo 7.31. Sinop ili için Rayleigh dağılımı parametreleri

Yıl	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{maxE} (m/s)	P_R (W/m ²)
2005	3.2522	2.8822	1.5066	2.2996	4.5993	27.8935
2006	3.1050	2.7517	1.4384	2.1955	4.3911	24.2736
2007	3.7174	3.2945	1.7221	2.6286	5.2572	41.6581
2008	3.4903	3.0932	1.6169	2.4680	4.9361	34.4790
2009	3.4906	3.0935	1.6171	2.4682	4.9365	34.4891
2010	3.5375	3.1351	1.6388	2.5014	5.0028	35.8993
2011	3.4996	3.1015	1.6212	2.4746	4.9493	34.7573
2012	3.4669	3.0725	1.6061	2.4515	4.9030	33.7915
2013	3.4273	3.0374	1.5877	2.4235	4.8470	32.6465
2014	3.4926	3.0952	1.6180	2.4696	4.9393	34.5460

Şekil 7.47’ de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.48’ de ise Rayleigh güç yoğunluğu ile ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2007 yılında 39.20 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2012 yılında 28.30 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2007 yılında 41.66 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2006 yılında 24.27 W/m² olarak tespit edilmiştir.

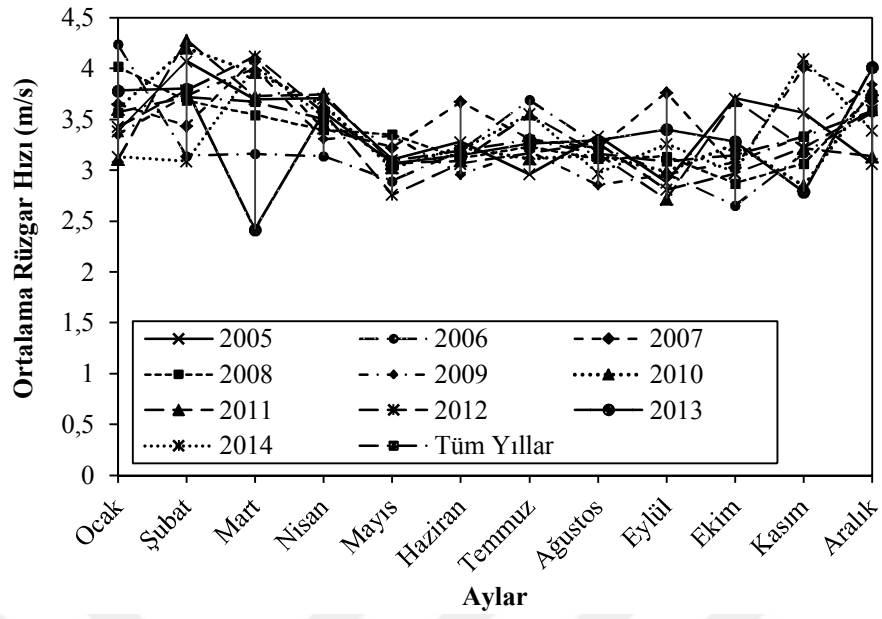


Şekil 7.47. Sinop ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi



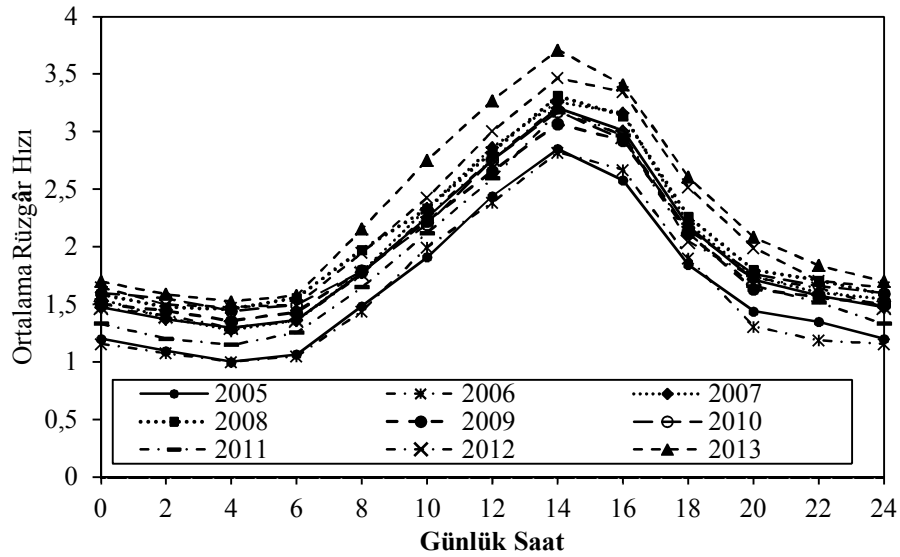
Şekil 7.48. Sinop ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi

Sinop iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.49' da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2010 yılının Kasım ayında 2.85 m/s, en yüksek ise 2011 yılının Mart ayında 4.28 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.49. Sinop ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi

Şekil 7.50' de ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2006 yılında 05:00 – 06:00 saatleri arasında 2.15 m/s, en yüksek 2007 yılında 13:00 – 14:00 saatleri arasında 3.89 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.50. Sinop ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

Sinop ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005-2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2006 yılında 05: ⁰⁰ – 06: ⁰⁰ saatleri arasında 2.15 m/s, en yüksek 2007 yılında 13: ⁰⁰ -14: ⁰⁰ saatleri arasında 3.89 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2010 yılının Kasım ayında 2.85 m/s, en yüksek ise 2011 yılının Mart ayında 4.28 m/s olarak elde edilmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.06 m/s olarak 2014 yılında, güç yoğunluğu 28.30 W/m² olarak 2012 yılında, en yüksek ortalama hız 3.28 m/s ve güç yoğunluğu 39.20 W /m² olarak 2007 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 2.75 m/s ve güç yoğunluğu 24.27 W/m² olarak 2006 yılında, en yüksek ortalama hız 3.29 m/s ve güç yoğunluğu 41.66 W/m² olarak 2007 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı 2008 yılı dışında, RMSE 2010 yılı dışındaki tüm yıllarda, χ^2 ise 2008, 2009 ve 2010 yılları dışında Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı Sinop ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımının kullanılmasının daha iyi olacağı görülmüştür.

Sonuç itibariyle Sinop ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m²'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın 3 m/s den yüksek olması ise rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin uygun olduğunu göstermiştir.

7.6. Adıyaman İlinin Rüzgâr Enerji Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

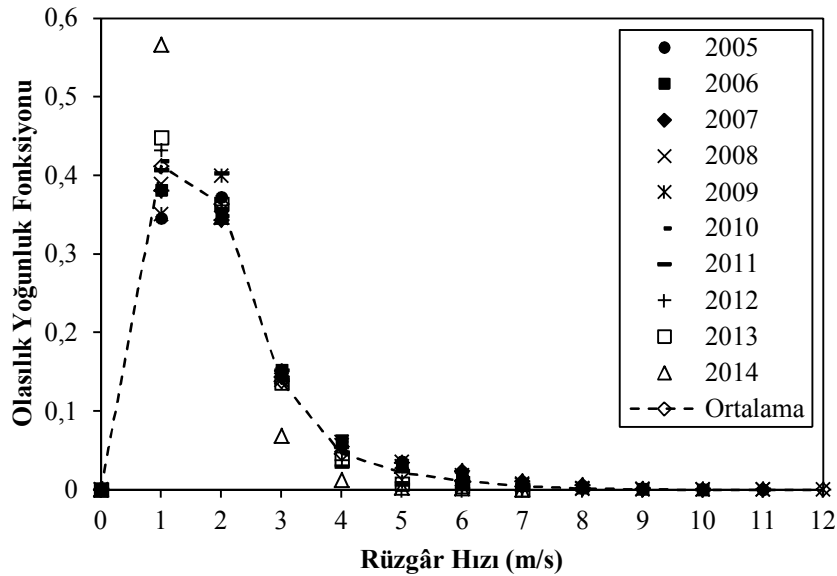
2005 – 2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.32' de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri

verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 35720, 11 – 12 m/s arasında 1, toplam 87020 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 7.32' e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

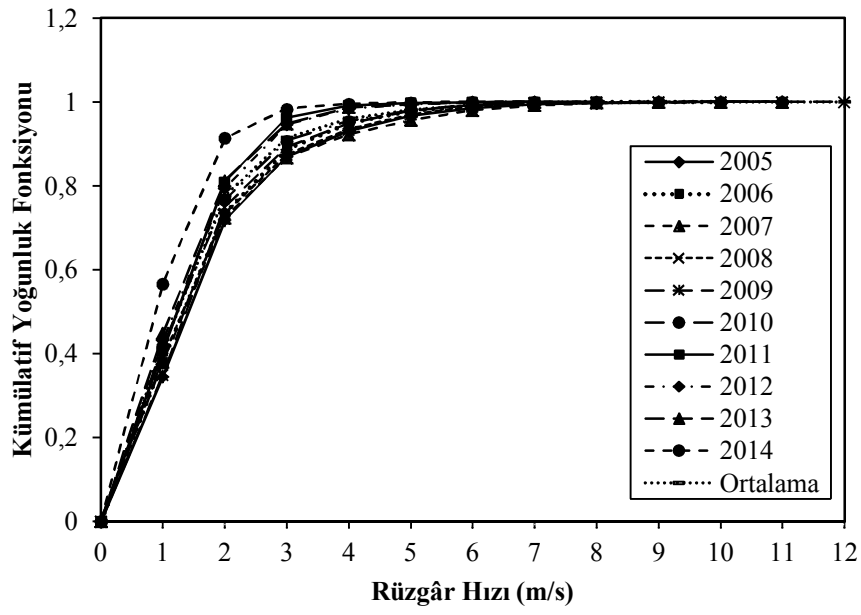
Tablo 7.32. Adıyaman ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0.5	35720	0.411844	0.390685	0.408912
2	1-2	1.5	31711	0.363897	0.351609	0.359335
3	2-3	2.5	12024	0.137811	0.166818	0.145646
4	3-4	3.5	4042	0.046277	0.068209	0.033288
5	4-5	4.5	1896	0.021637	0.045719	0.004587
6	5-6	5.5	993	0.01131	0.03851	0.000393
7	6-7	6.5	407	0.004629	0.028828	2.15E-05
8	7-8	7.5	145	0.001652	0.030262	7.59E-07
9	8-9	8.5	59	0.000682	0.017591	1.76E-08
10	9-10	9.5	16	0.000184	0.065647	2.86E-10
11	10-11	10.5	6	6.76E-05	0.038875	3.10E-12
12	11-12	11.5	1	1.12E-05	1.67E-19	2.05E-15

Adıyaman ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 7.51' de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.52' de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

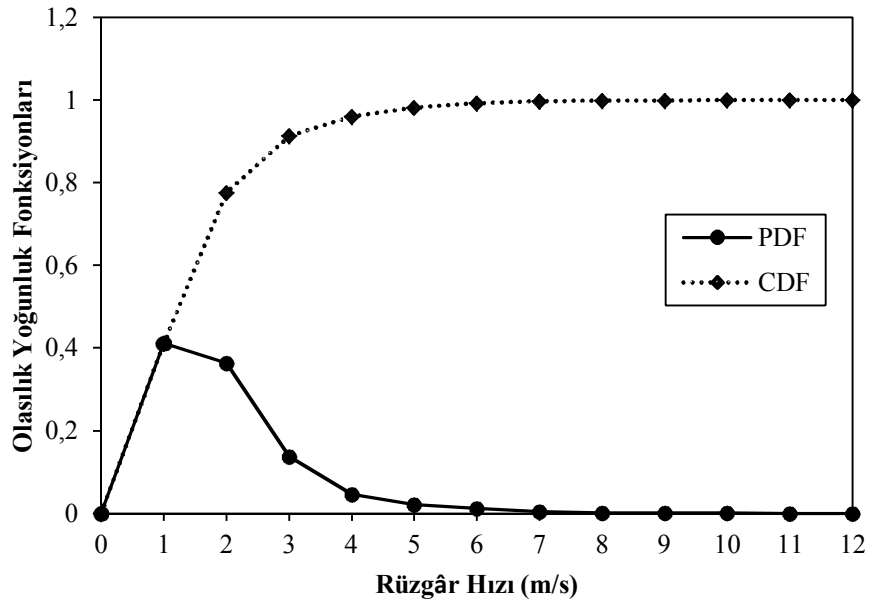


Şekil 7.51. Adıyaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.52. Adıyaman ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişim

Rüzgar hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk fonksiyonlarına göre elde edilen dağılımlar Şekil 5.53' de on yıllık verilere dayanarak çizilmiştir.



Şekil 7.53. Adıyaman ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.33‘ de Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c)’ nin değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.12 – 2.65 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 1.36 – 4.12 arasında değişim göstermiştir. Şekil parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2008 yılının Ocak ve Aralık aylarında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Tablo 7.33. Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi k ölçek parametresi c

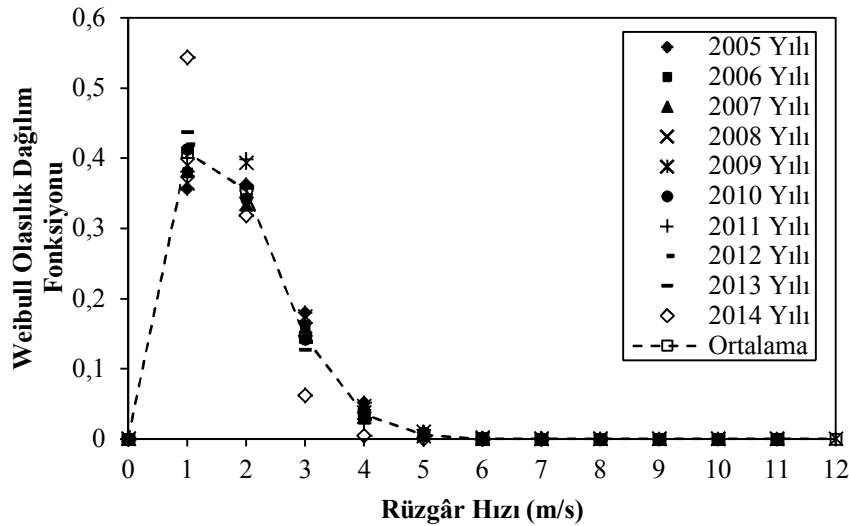
Aylar	Par am etre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	2.0006	1.9837	1.8235	-	1.4233	1.9382	2.2746	2.0208	2.3512	2.3564
	c	1.9852	1.8999	1.5803	-	2.5307	2.0675	1.7522	2.1287	1.8194	1.3627
Şubat	k	1.9440	1.5868	2.3404	1.6662	1.4825	1.8323	2.2508	2.0643	2.1993	2.2055
	c	2.0325	1.6666	1.9473	1.4855	3.1699	2.1389	2.1059	1.8714	1.6908	1.6110
Mart	k	2.0714	1.9064	1.7463	1.5954	1.4709	2.2434	2.0984	1.7820	1.8353	2.1292
	c	2.3612	2.0156	2.1957	4.1209	4.1226	2.0764	1.9626	2.1799	2.1036	1.7793
Nisan	k	2.3910	2.0688	2.0439	1.7362	1.8493	2.1342	2.3018	1.9362	2.2737	2.4392
	c	2.2205	2.4942	2.1552	3.1910	2.6970	2.1861	2.2390	1.9458	1.9562	1.8787
Mayıs	k	2.1185	2.2635	2.3360	2.1516	2.1194	2.1128	2.3863	1.9624	2.0241	2.2401
	c	2.3242	2.3254	2.2194	2.6360	2.6691	2.2093	1.9900	1.7768	1.7576	1.8367
Haziran	k	1.8808	2.1018	1.1228	1.7413	2.1906	1.6755	2.1019	2.2038	1.8762	2.3935
	c	2.6388	2.1635	2.2598	2.9625	2.7965	2.3298	2.2823	2.3738	2.2770	1.2979
Temmuz	k	2.1814	1.9578	1.6461	2.1636	2.1278	1.9420	2.3947	2.6172	2.5269	2.5131
	c	2.5457	2.4592	2.8172	3.0683	3.0190	2.1927	2.0697	2.3582	2.5727	1.9011
Ağustos	k	1.8341	1.6127	1.9769	2.3197	1.9727	1.6691	2.3704	2.1214	2.2561	2.2979
	c	2.2962	1.5923	2.2194	2.8118	2.5885	2.0935	2.0466	1.9883	1.9812	1.7212
Eylül	k	1.7930	1.8701	1.6609	2.1921	2.3516	1.7706	2.1348	2.2989	2.0388	2.2459
	c	2.2103	2.2150	1.7748	2.5403	2.4058	1.6452	1.8923	1.7434	1.7549	1.7235
Ekim	k	2.1999	2.3056	2.1878	2.0894	1.5787	2.0629	2.3082	1.8488	1.9168	2.3795
	c	1.9900	2.0266	2.0035	2.0076	2.2423	1.5438	1.7393	1.6432	1.8288	1.4705
Kasım	k	2.0818	2.0074	1.9194	1.7990	1.5901	2.6476	1.9144	2.4284	2.4252	2.4992
	c	1.7226	1.7772	1.7572	1.9209	2.0938	1.4949	1.7393	1.4267	1.4684	1.4575
Aralık	k	2.3440	1.7414	2.0226	-	1.3423	2.0242	2.1097	1.8920	2.0758	2.6260
	c	1.5773	1.6596	1.7712		2.3700	1.6146	1.6407	1.6954	1.4438	1.3930

Adıyaman ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.34‘ 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.

Tablo 7.34. Weibull dağılımına göre Adıyaman ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

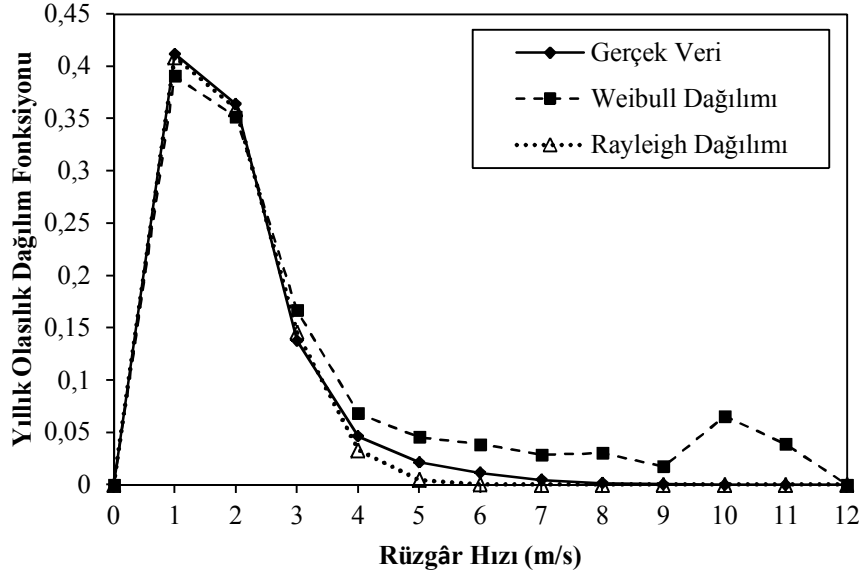
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	1.7593	1.6841	1.4045	-	2.3007	1.8335	1.5521	1.8861	1.6123	1.2076
	σ	0.9194	0.8868	0.7980	-	1.6397	0.9859	0.7228	0.9768	0.7289	0.5449
Şubat	V _m	1.8024	1.4954	1.7255	1.3274	2.8658	1.9006	1.8653	1.6577	1.4974	1.4267
	σ	0.9666	0.9642	0.7833	0.8185	1.9670	1.0751	0.8769	0.8422	0.7187	0.6831
Mart	V _m	2.0915	1.7884	1.9558	3.6957	3.7308	1.8391	1.7383	1.9396	1.8691	1.5758
	σ	1.0594	0.9761	1.1556	2.3711	2.5793	0.8671	0.8702	1.1252	1.0557	0.7786
Nisan	V _m	1.9683	2.2093	1.9093	2.8433	2.3956	1.9361	1.9836	1.7257	1.7329	1.6659
	σ	0.8765	1.1203	0.9787	1.6889	1.3439	0.9547	0.9140	0.9288	0.8073	0.7288
Mayıs	V _m	2.0584	2.0597	1.9666	2.3344	2.3639	1.9567	1.7639	1.5752	1.5573	1.6268
	σ	1.0217	0.9634	0.8942	1.1427	1.1729	0.9736	0.7869	0.8376	0.8053	0.7680
Haziran	V _m	2.3424	1.9162	2.1663	2.6393	2.4766	2.0809	2.0214	2.1023	2.0214	1.1505
	σ	1.2941	0.9579	1.9328	1.5635	1.1930	1.2767	1.0105	1.0072	1.1193	0.5119
Temmuz	V _m	2.2545	2.1804	2.5197	2.7173	2.6737	1.9445	1.8139	2.0950	2.2833	1.6870
	σ	1.0901	1.1618	1.5711	1.3235	1.3219	1.0437	0.8159	0.8604	0.9677	0.7185
Ağustos	V _m	2.0403	1.4266	1.9673	2.4913	2.2946	1.8704	1.6758	1.7609	1.7548	1.5249
	σ	1.1531	0.9063	1.0392	1.1399	1.2143	1.1515	0.8141	0.8730	0.8232	0.7036
Eylül	V _m	1.9659	1.9666	1.5862	2.2497	2.1320	1.4643	1.6758	1.5445	1.5548	1.5266
	σ	1.1341	1.0921	0.9810	1.0830	0.9637	0.8544	0.8261	0.7124	0.7988	0.7190
Ekim	V _m	1.7624	1.7955	1.7744	1.7782	2.0129	1.3676	1.6264	1.4596	1.6224	1.3033
	σ	0.8457	0.8260	0.8556	0.8937	1.3040	0.6952	0.7475	0.8190	0.8811	0.5829
Kasım	V _m	1.5258	1.5749	1.5588	1.7083	1.8784	1.3285	1.5431	1.2650	1.3020	1.2931
	σ	0.7694	0.8205	0.8456	0.9826	1.2088	0.5400	0.8390	0.5556	0.5725	0.5535
Aralık	V _m	1.3977	1.4785	1.5694	-	2.1755	1.4306	1.4531	1.5047	1.2789	1.2376
	σ	0.6336	0.8758	0.8121	-	1.6375	0.7397	0.7240	0.8269	0.6465	0.5068

Şekil 7.54’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.56 olarak 2014 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.54. Adıyaman ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.55’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir. Weibull dağılımının olasılık oranı Rayleigh dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



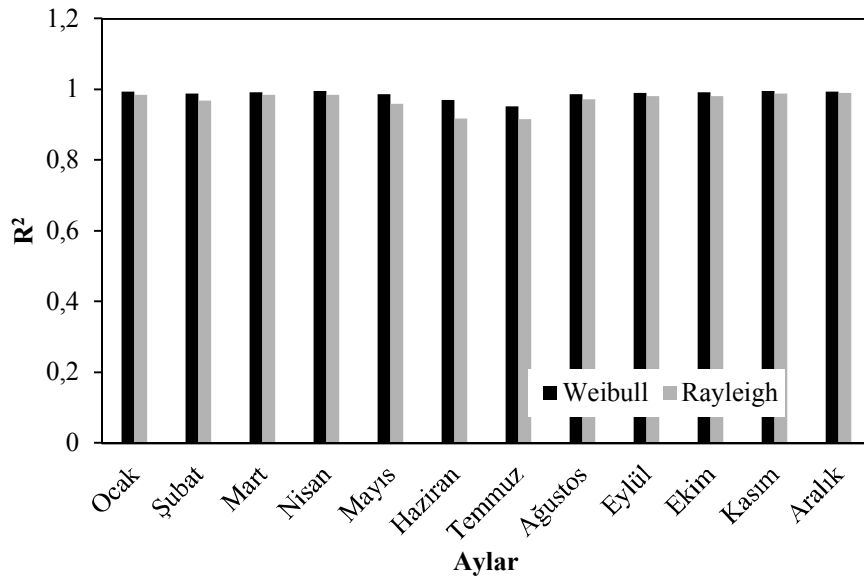
Şekil 7.55. Adıyaman ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.35’ de Adıyaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.95 – 0.99 arasında olduğu, Rayleigh dağılımında ise 0.92 – 0.99 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında 2.82×10^{-5} – 2.53×10^{-4} arasında, Rayleigh dağılımında ise 8.24×10^{-5} – 2.79×10^{-4} arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında 1.06×10^{-5} – 1.03×10^{-4} arasında, Rayleigh dağılımında 3.6×10^{-5} – 1.28×10^{-4} arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının Adıyaman ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.35. Adıyaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı(R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.992947	0.000103	0.000253	0.984902	0.000104	0.000229
2006	0.989036	4.88E-05	0.000122	0.968300	8.14E-05	0.000181
2007	0.992309	7.29E-05	0.000178	0.985444	0.000125	0.000276
2008	0.995003	7.39E-05	0.000181	0.984220	0.000124	0.000273
2009	0.986321	0.000101	0.000243	0.959702	0.000128	0.000279
2010	0.971030	3.72E-05	9.09E-05	0.918093	6.48E-05	0.000143
2011	0.951829	1.06E-05	2.82E-05	0.916747	7.97E-05	0.000182
2012	0.985690	3.20E-05	8.52E-05	0.971974	3.60E-05	8.24E-05
2013	0.990441	4.04E-05	0.000113	0.981295	4.17E-05	9.72E-05
2014	0.992437	2.54E-05	0.000112	0.981510	0.000106	0.000248

Şekil 7.56’ da on yıllık veriler kullanılarak İskenderun ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında 0.95 ile 0.99 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.91 ile 0.98 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1’ e daha çok yakın olmasından dolayı, Adıyaman ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.56. Adıyaman ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi

Tablo 7.36' da Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.37' de ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 2.13 – 3.04 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 2.74 – 7.25 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 2.21 – 2.99 m/s, P güç yoğunluğu ise 2.87 – 7.16 W/m² arasında değişim göstermiştir.

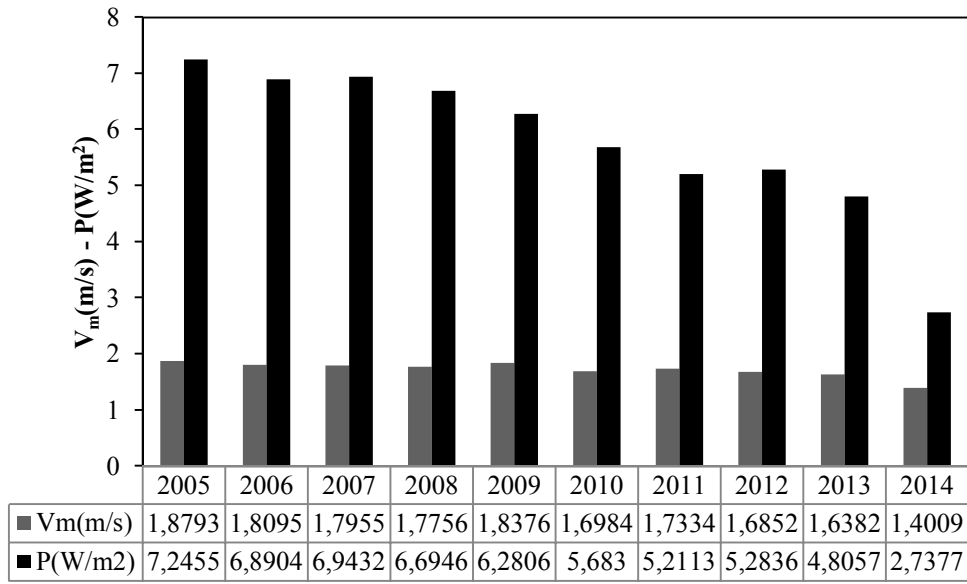
Tablo 7.36. Adıyaman ili için Weibull dağılımı parametreleri

Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_W (W/m ²)
2005	1.9807	2.1202	1.8793	0.9909	1.4867	3.0159	7.2455
2006	1.8653	2.0378	1.8095	1.0072	1.3500	3.0117	6.8904
2007	1.8148	2.0198	1.7955	1.0246	1.2992	3.0416	6.9432
2008	1.8197	1.9977	1.7756	1.0107	1.2888	3.0026	6.6946
2009	2.1428	2.0749	1.8376	0.9028	1.5473	2.8224	6.2806
2010	1.8700	1.9130	1.6984	0.9433	1.2705	2.8225	5.6830
2011	2.1705	1.9573	1.7334	0.8419	1.4726	2.6444	5.2113
2012	1.9591	1.9008	1.6852	0.8974	1.3201	2.7220	5.2836
2013	1.9780	1.8481	1.6382	0.8649	1.2944	2.6311	4.8057
2014	2.1826	1.5819	1.4009	0.6770	1.1946	2.1310	2.7377

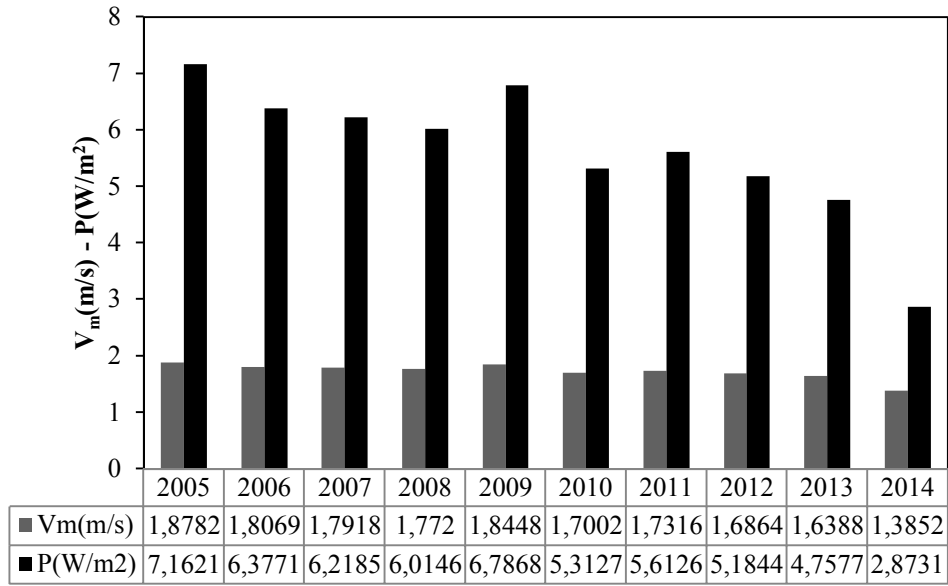
Tablo 7.37. Adıyaman ili için Rayleigh dağılımı parametreleri

Yıl	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{maxE} (m/s)	P_R (W/m ²)
2005	2.1193	1.8782	0.9818	1.4986	2.9971	7.1621
2006	2.0389	1.8069	0.9445	1.4417	2.8834	6.3771
2007	2.0219	1.7918	0.9366	1.4297	2.8594	6.2185
2008	1.9995	1.7720	0.9263	1.4138	2.8277	6.0146
2009	2.0817	1.8448	0.9643	1.4720	2.9440	6.7868
2010	1.9185	1.7002	0.8887	1.3566	2.7131	5.3127
2011	1.9539	1.7316	0.9051	1.3816	2.7632	5.6126
2012	1.9029	1.6864	0.8815	1.3455	2.6910	5.1844
2013	1.8492	1.6388	0.8566	1.3076	2.6151	4.7577
2014	1.5631	1.3852	0.7241	1.1053	2.2105	2.8731

Şekil 7.57' de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.58' de ise Rayleigh güç yoğunluğu ile ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2005 yılında 7.25 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2014 yılında 2.74 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2005 yılında 7.16 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2014 yılında 2.87 W/m² olarak tespit edilmiştir.

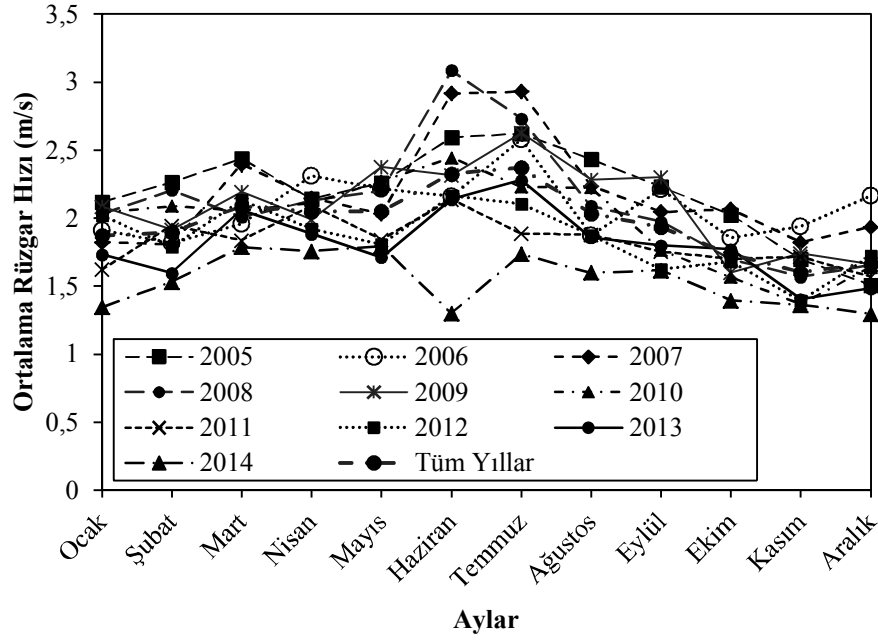


Şekil 7.57. Adıyaman ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının aylara göre değişimi



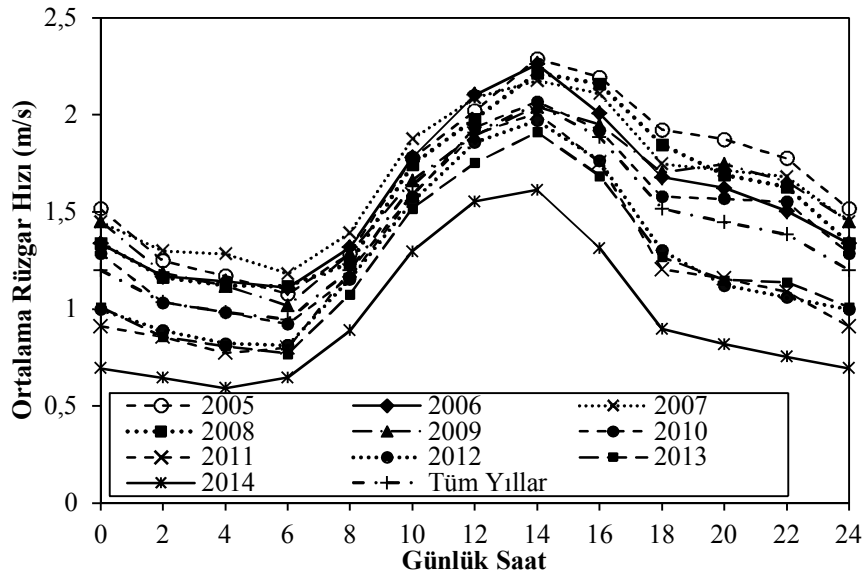
Şekil 7.58. Adıyaman ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi

Adıyaman iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.59' da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2014 yılının Ocak ayında 1.34 m/s, en yüksek ise 2008 yılının Haziran ayında 3.09 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.59. Adıyaman ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi

Şekil 7.60' da ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2014 yılında 04:⁰⁰ –05:⁰⁰ saatleri arasında 0.64 m/s, en yüksek 2005 yılında 14:⁰⁰ – 15:⁰⁰ saatleri arasında 2.29 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.60. Adıyaman ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

Adıyaman ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005-2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2014 yılında 04:⁰⁰ – 05:⁰⁰ saatleri arasında 0.64 m/s, en yüksek 2005 yılında 14:⁰⁰ – 15:⁰⁰ saatleri arasında 2.29 m/s olarak elde edilmiştir

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2014 yılının Ocak ayında 1.34 m/s, en yüksek ise 2008 yılının Haziran ayında 3.09 m/s olarak elde edilmiştir

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 1.40 m/s olarak ve güç yoğunluğu 2.73 W/m² olarak 2014 yılında, en yüksek ortalama hız 1.88 m/s ve güç yoğunluğu 7.25 W /m² olarak 2005 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 1.39 m/s ve güç yoğunluğu 2.87 W/m² olarak 2008 yılında, en yüksek ortalama hız 1.88 m/s ve güç yoğunluğu 7.16 W/m² olarak 2005 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı ve RMSE tüm yıllarda, χ^2 ise 2005, yılları dışında Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı Adıyaman ilinin rüzgâr

Sonuç itibarıyla Adıyaman ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m²'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın 2 m/s den altında olması ise rüzgâr enerjisi potansiyelinin pek ümit verici olmadığını göstermektedir.

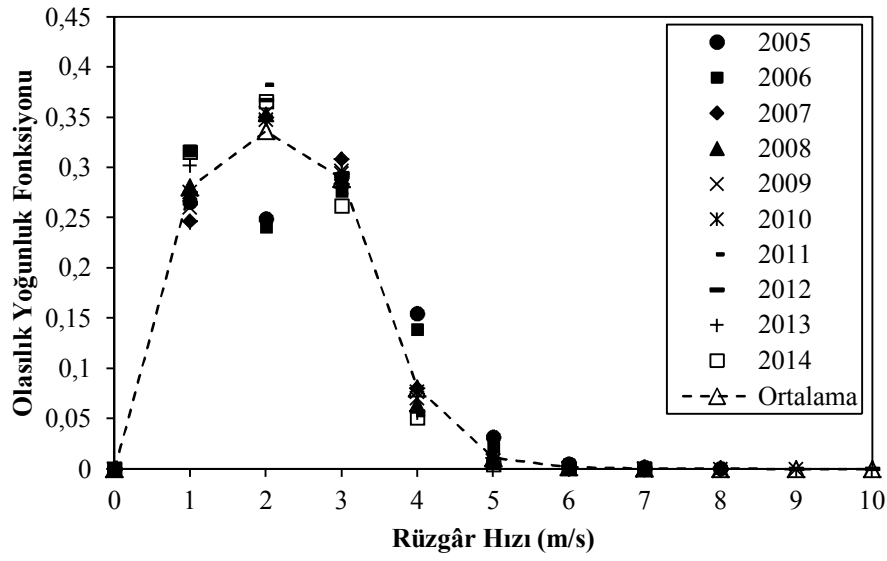
7.7. Muğla İlinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin İstatistiksel Analizi

2005 – 2014 yıllarına ait saatlik rüzgâr hızı verileri Tablo 7.38’ de frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. İncelenen yıllara ait ölçülen hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekans değerleri verilmiştir. Rüzgâr hızı önce sınıflara bölünmüş ve her rüzgâr sınıf aralığındaki rüzgâr frekansı belirlenmiştir. 0 – 1 m/s arasında 22325, 9 – 10 m/s arasında 1, toplam 81392 adet ölçüm yapılmıştır. Tablo 7.38’ e göre en büyük olasılık yoğunluk değerinin 1 – 2 m/s hız aralığında olduğu görülmüştür.

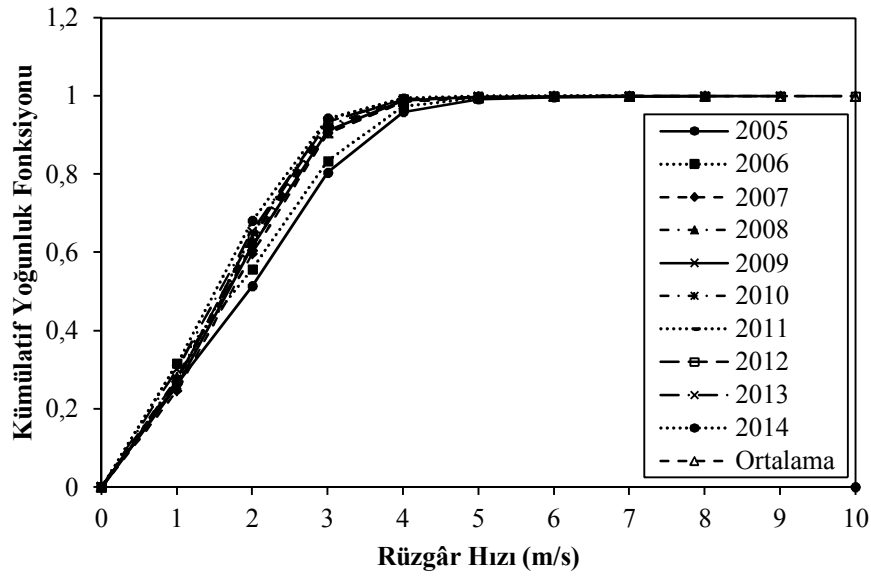
Tablo 7.38. Muğla ili için 2005-2014 yıllarındaki rüzgâr hızı frekans dağılımları

I	V _i	V _{m,j}	f _i	f _A (v _i)	f _w (v _i)	f _R (v _i)
1	0-1	0.5	22325	0.280453	0.255126	0.272058
2	1-2	1.5	27318	0.336366	0.362641	0.335770
3	2-3	2.5	23877	0.288935	0.24316	0.226462
4	3-4	3.5	6717	0.080589	0.092112	0.099764
5	4-5	4.5	930	0.010983	0.022796	0.030668
6	5-6	5.5	171	0.002014	0.004781	0.006860
7	6-7	6.5	39	0.000482	0.001049	0.001092
8	7-8	7.5	12	0.000145	9.7E-05	0.000104
9	8-9	8.5	2	0.000023	4.35E-09	1.23E-06
10	9-10	9.5	1	0.000012	2.59E-12	1.82E-08

Muğla ili için yıllara göre rüzgar hızı ile olasılık yoğunluk fonksiyonunun değişimi Şekil 7.61’ de, kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile değişimi ise Şekil 7.62’ de verilmiştir. Çizgilerin birbirine yakın olmasından benzerlik oranının yüksek olduğu anlaşılmıştır.

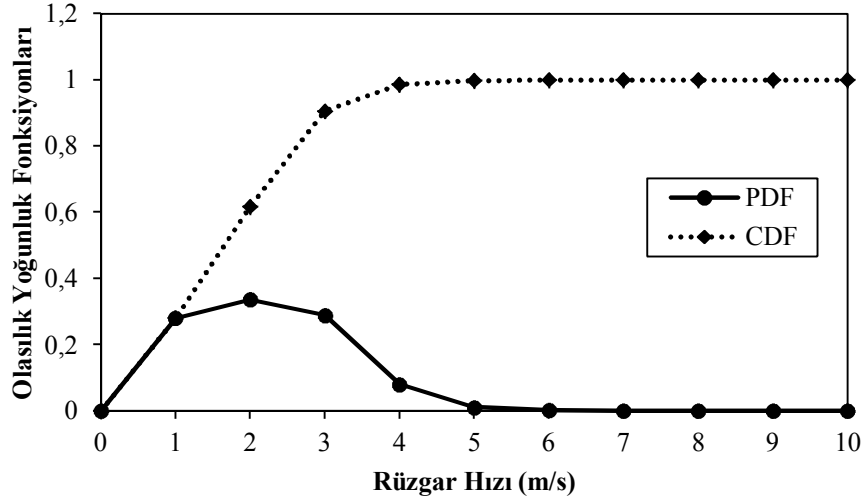


Şekil 7.61. Muğla ili için olasılık yoğunluk fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi



Şekil 7.62. Muğla ili için kümülatif yoğunluk fonksiyonu değerlerinin rüzgâr hızı ile değişim

Rüzgâr hızı verilerinden derlenen PDF olasılık yoğunluk ve CDF kümülatif yoğunluk fonksiyonlarına göre elde edilen dağılımlar Şekil 7.63’ de on yıllık verilere dayanarak çizilmiştir.



Şekil 7.63. Muğla ili için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.39’ da Weibull dağılımının şekil parametresi (k) ve ölçek parametresi (c)’nin değerleri verilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.43 – 4.17 arasında, ölçek parametresi değerleri ise 1.51 – 3.17 arasında değişim göstermiştir. Ölçek parametresi değerleri yıllara göre daha küçük değişimler göstermiştir. 2014 yılının Mayıs, Kasım ve Aralık aylarında şekil ve ölçek parametrelerinin eksik olmasının nedeni Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verilerin çeşitli nedenlerden dolayı alınamamış olmasıdır.

Tablo 7.39. Muğla ili için Weibull dağılımına göre 2005-2014 yıllarına ait şekil parametresi (k) ölçek parametresi (c) değerleri

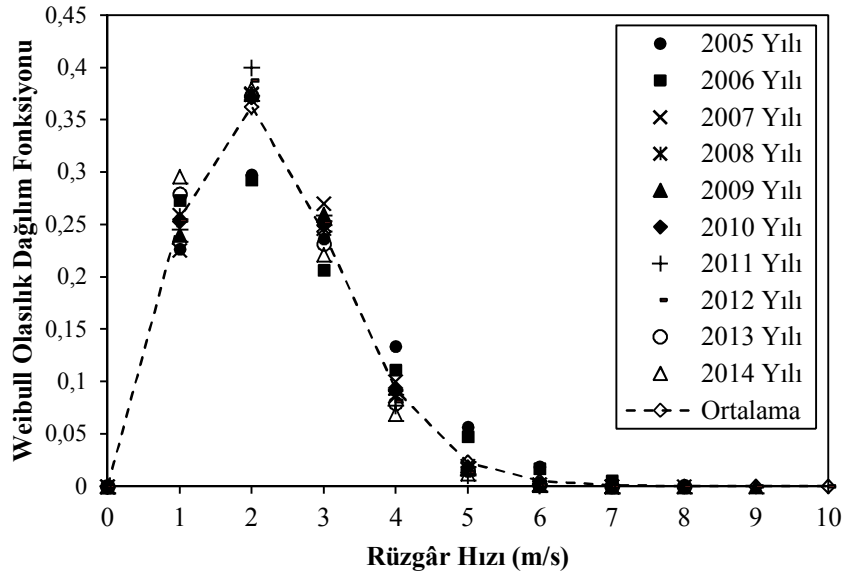
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	k	1.7008	1.9401	2.0385	1.7488	2.3516	2.0493	2.2328	2.1394	2.1750	2.0536
	c	2.4686	2.6290	2.4441	2.1571	2.1261	2.2545	2.2124	2.4547	2.6072	1.6111
Şubat	k	1.8787	1.5563	2.5649	2.1008	2.5755	2.2630	2.3015	2.1867	2.2370	1.8758
	c	3.1725	2.3685	2.3962	2.3274	2.4167	2.5608	2.1823	2.3526	2.3162	1.8617
Mart	k	1.5501	1.4271	2.1909	1.9602	2.0444	2.1875	2.1408	2.5212	2.5523	2.0781
	c	2.5575	2.4501	2.7090	2.3712	2.8528	2.6679	2.4229	2.5552	1.5149	2.3736
Nisan	k	1.7563	2.0338	3.0195	1.8011	1.7179	2.0174	2.6213	1.9417	2.3964	1.7668
	c	2.6635	3.1458	2.8757	2.1014	2.5563	2.3954	2.5505	2.4132	2.4633	2.1393
Mayıs	k	1.8396	1.5859	1.9023	2.9067	1.7146	2.2285	2.0154	1.9085	2.0645	-
	c	2.8395	2.3939	2.5128	2.7800	2.3884	2.3799	2.3441	2.2410	2.3689	-
Haziran	k	2.5615	2.8712	3.3375	3.1985	2.7113	2.8448	3.4148	2.7942	2.7736	2.5095
	c	3.0005	3.1485	2.8800	2.8126	2.6564	2.5881	2.7291	2.6420	2.6799	2.4815
Temmuz	k	3.0574	2.9219	3.0349	3.9389	4.1738	3.3888	3.9117	4.0930	4.1014	3.1298
	c	3.1098	2.9369	2.8586	2.9011	2.9451	2.8106	2.8957	2.8211	2.8545	2.7931
Ağustos	k	2.8374	1.9282	3.4244	3.0417	3.3922	2.9494	3.4622	3.3208	3.7040	3.3917
	c	3.0840	2.9460	2.8423	2.6493	2.7239	2.7338	2.8158	2.8041	2.7455	2.7031
Eylül	k	2.1617	2.2586	3.0056	2.3647	2.9639	2.0363	2.6760	2.9457	2.9211	2.8003
	c	2.9883	2.9075	2.7311	2.4953	2.5138	2.6189	2.4518	2.5545	2.8123	2.4737
Ekim	k	1.6035	1.5710	1.9561	2.5325	2.0153	2.4450	2.2314	2.0112	2.1031	2.0151
	c	2.3921	1.8523	2.2345	2.2928	2.2168	2.4041	2.2532	2.0724	2.2503	2.0729
Kasım	k	1.7951	1.5514	2.0471	1.9694	1.8887	1.8385	2.4347	1.8321	1.9424	-
	c	2.6374	1.7999	1.9642	1.8986	2.1785	1.9505	2.2609	1.8590	1.8656	-
Aralık	k	1.5479	1.3523	1.9455	1.7189	2.3011	1.7821	1.8671	2.2763	1.6282	-
	c	2.2514	1.7471	1.9877	2.0141	2.2456	2.1775	1.8221	2.1393	1.5669	-

Muğla ili için günlük saatlik olarak 2005 – 2014 yıllarını kapsayan 10 yıllık periyod için Weibull dağılımına göre elde edilen aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları Tablo 7.40’ 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.

Tablo 7.40. Weibull dağılımına göre Muğla ili için 2005-2014 yıllarındaki aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapmaları

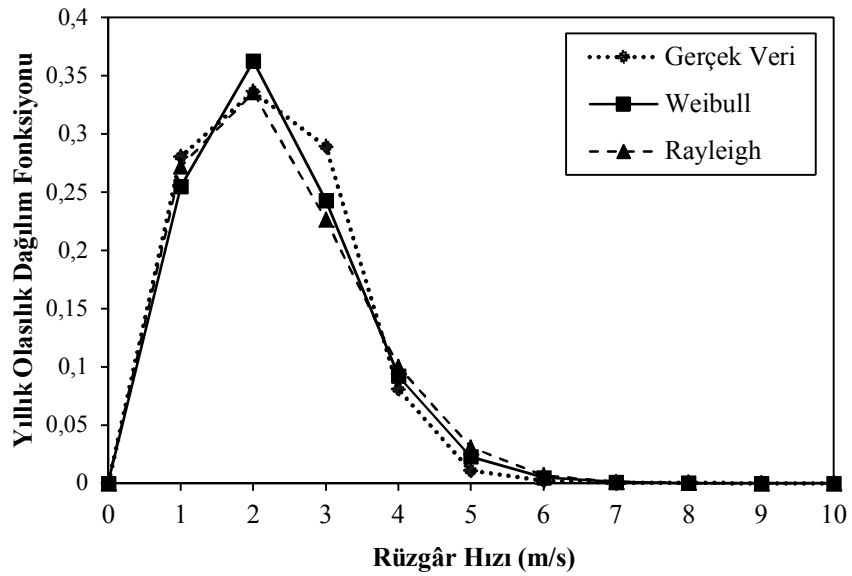
Aylar	Parametre	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ocak	V _m	2.2026	2.3315	2.1655	1.9213	1.8842	1.9973	1.9595	2.1740	2.3090	1.4273
	σ	1.3331	1.2525	1.1127	1.1338	0.8516	1.0214	0.9278	1.0696	1.1193	0.7285
Şubat	V _m	2.8162	2.1293	2.1275	2.0614	2.1460	2.2683	1.9334	2.0835	2.0515	1.6528
	σ	1.5575	1.3975	0.8897	1.0309	0.8941	1.0612	0.8909	1.0052	0.9697	0.9153
Mart	V _m	2.3002	2.2266	2.3992	2.1024	2.5274	2.3627	2.1458	2.2676	1.3449	2.1025
	σ	1.5152	1.5831	1.1554	1.1190	1.2953	1.1395	1.0551	0.9630	0.5649	1.0618
Nisan	V _m	2.3717	2.7872	2.5687	1.8688	2.2793	2.1226	2.2660	2.1401	2.1836	1.9044
	σ	1.3941	1.4351	0.9282	1.0737	1.3669	1.1009	0.9293	1.1488	0.9705	1.1134
Mayıs	V _m	2.5227	2.1482	2.2297	2.4792	2.1299	2.1079	2.0771	1.9883	2.0985	-
	σ	1.4219	1.3858	1.2193	0.9269	1.2796	0.9998	1.0783	1.0841	1.0660	-
Haziran	V _m	2.6640	2.8064	2.5849	2.5191	2.3627	2.3061	2.4524	2.3524	2.3855	2.2020
	σ	1.1154	1.0609	0.8537	0.8644	0.9402	0.8790	0.7935	0.9112	0.9301	0.9390
Temmuz	V _m	2.7794	2.6196	2.5541	2.6273	2.6760	2.5246	2.6214	2.5604	2.5910	2.4990
	σ	0.9931	0.9748	0.9187	0.7474	0.7224	0.8225	0.7504	0.7035	0.7106	0.8744
Ağustos	V _m	2.7476	2.6131	2.5544	2.3673	2.4468	2.4394	2.5321	2.5161	2.4779	2.4281
	σ	1.0497	1.4116	0.8244	0.8498	0.7964	0.9002	0.8092	0.8348	0.7451	0.7904
Eylül	V _m	2.6465	2.5754	2.4390	2.2115	2.2436	2.3204	2.1797	2.2794	2.5085	2.2028
	σ	1.2900	1.2069	0.8850	0.9946	0.8243	1.1934	0.8776	0.8421	0.9337	0.8516
Ekim	V _m	2.1443	1.6637	1.9813	2.0350	1.9643	2.1320	1.9957	1.8365	1.9931	1.8369
	σ	1.3694	1.0825	1.0565	0.8608	1.0198	0.9306	0.9455	0.9551	0.9958	0.9537
Kasım	V _m	2.3457	1.6187	1.7610	1.6832	1.9336	1.7329	2.0049	1.6519	1.6544	-
	σ	1.3518	1.0655	0.9014	0.8921	1.0642	0.9773	0.8785	0.9345	0.8879	-
Aralık	V _m	2.0252	1.6017	1.7418	1.7958	1.9894	1.9374	1.6179	1.8950	1.4027	-
	σ	1.3359	1.1973	0.9334	1.0764	0.9169	1.1239	0.8998	0.8819	0.8834	-

Şekil 7.64’ de Weibull olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi yıllara göre çizilmiştir. Weibull olasılık dağılımı fonksiyonuna göre en yüksek olasılık değeri 0.39 olarak 2011 yılında elde edilmiştir.



Şekil 7.64. Muğla ili için Weibull olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Şekil 7.65’ de on yıllık verilerin ortalamasına göre, gerçek verinin olasılık dağılımının, Weibull olasılık dağılımının ve Rayleigh olasılık dağılımının rüzgâr hızı ile değişimi çizilmiştir. Weibull dağılımının olasılık oranı Rayleigh dağılımına göre daha yüksek olmuştur.



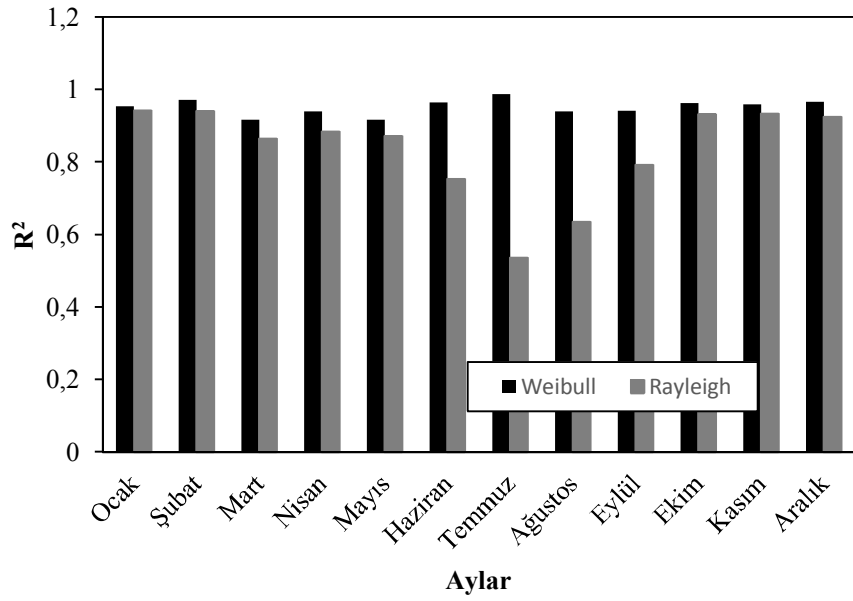
Şekil 7.65. Muğla ili için yıllık olasılık dağılım fonksiyonunun rüzgâr hızı ile değişimi

Tablo 7.41’ de Muğla ili için Weibull ve Rayleigh dağılımına göre elde edilen belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri incelenen yıllar için hesaplanmıştır. Weibull dağılımına göre R^2 değerinin 0.90 – 0.99 arasında olduğu, Rayleigh dağılımında ise 0.88 – 0.98 arasında olduğu tespit edilmiştir. χ^2 değerleri Weibull dağılımında 3.78×10^{-4} – 2.24×10^{-3} arasında, Rayleigh dağılımında ise 6.32×10^{-4} – 2.316×10^{-3} arasında değişim göstermiştir. RMSE değerleri ise Weibull dağılımında 1.47×10^{-4} – 7.99×10^{-4} arasında, Rayleigh dağılımında 2.71×10^{-4} – 9.93×10^{-4} arasında değişmiştir. Tüm yıllarda Weibull dağılımında elde edilen R^2 değerlerinin Rayleigh dağılımından elde edilenlerden daha yüksek olmasından, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise çoğunlukla daha düşük olmasından dolayı Weibull dağılımının İskenderun ili için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 7.41. Muğla ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri

Yıllar	Weibull Dağılımı			Rayleigh Dağılımı		
	R^2	RMSE	χ^2	R^2	RMSE	χ^2
2005	0.930878	0.000506	0.001349	0.929855	0.000513	0.001173
2006	0.900146	0.000799	0.002236	0.875871	0.000993	0.002316
2007	0.981546	0.000185	0.000493	0.952303	0.000478	0.001092
2008	0.976539	0.000252	0.000704	0.961027	0.000418	0.000975
2009	0.985036	0.000147	0.000378	0.964992	0.000344	0.000774
2010	0.975453	0.000257	0.00072	0.964992	0.000420	0.000979
2011	0.981784	0.000212	0.000635	0.934934	0.000757	0.001816
2012	0.983687	0.000163	0.000407	0.963283	0.000367	0.000815
2013	0.977409	0.000243	0.000647	0.970461	0.000317	0.000725
2014	0.983707	0.000188	0.000528	0.976579	0.000271	0.000632

Şekil 7.66’ da on yıllık veriler kullanılarak Muğla ili için Weibull ve Rayleigh dağılımlarından elde edilen belirlilik katsayısı (R^2) değerlerinin aylara göre değişimi gösterilmiştir. Belirlilik katsayısı değerleri Weibull dağılımında 0.91 ile 0.99 arasında, Rayleigh dağılımında ise 0.53 ile 0.94 arasında değişim göstermiştir. Weibull dağılımında R^2 değerinin 1’ e daha çok yakın olmasından dolayı, Muğla ili için rüzgâr verilerinin modellenmesinde Weibull dağılımının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 7.66. Muğla ili için Weibull ve Rayleigh dağılımından elde edilen belirlilik katsayısının aylara göre değişimi

Tablo 7.42’ de Weibull dağılımı parametrelerinin, Tablo 7.43’ de ise Rayleigh dağılımı parametrelerinin yıllara göre aldığı değerler verilmiştir. Weibull dağılımında maksimum ortalama hız (V_{max}) 3.15 – 4.07 m/s, ortalama güç yoğunluğu (P) 8.81 – 17.54 W/m² arasında değişmiştir. Rayleigh dağılımında ise V_{max} 3.28 – 4.00 m/s, P güç yoğunluğu ise 9.41 – 17.12 W/m² arasında değişim göstermiştir.

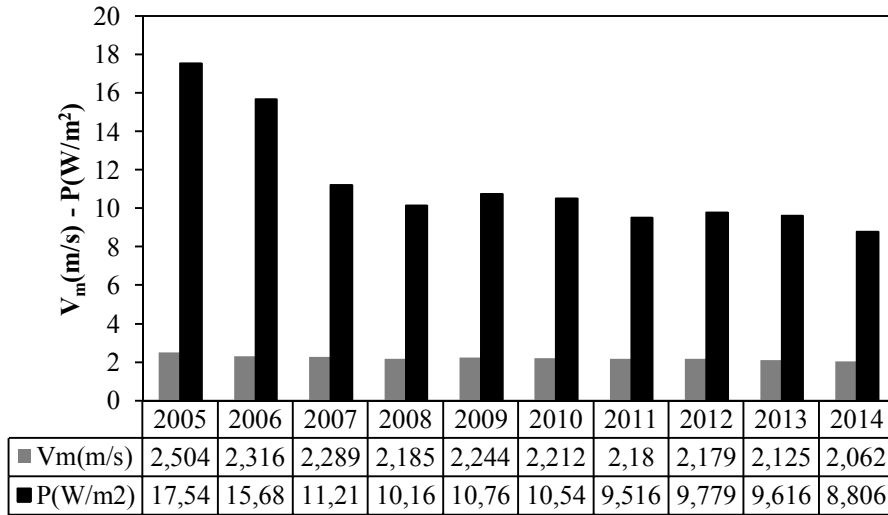
Tablo 7.42. Muğla ili için Weibull dağılımı parametreleri

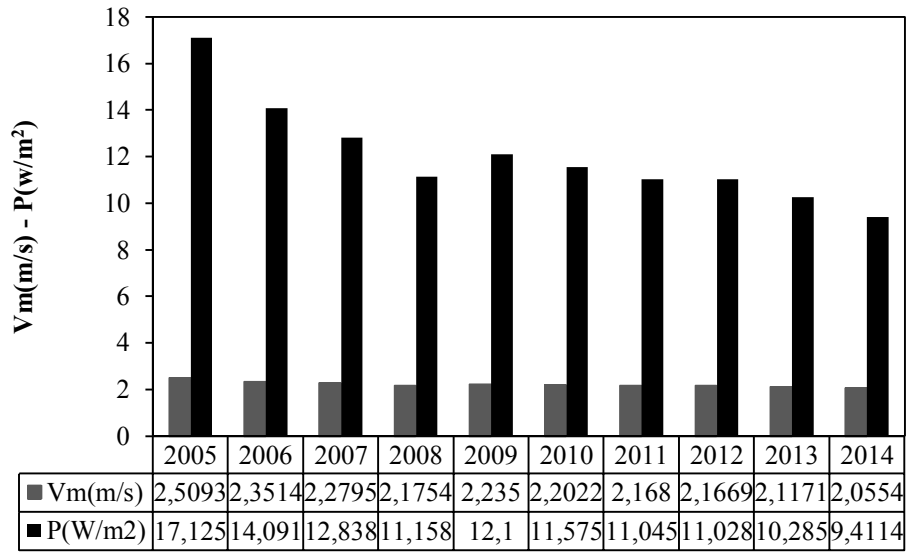
Yıl	k	c (m/s)	V_m (m/s)	σ (m/s)	V_{mod} (m/s)	V_{max} (m/s)	P_W (W/m ²)
2005	1.9418	2.8236	2.5040	1.3442	1.9453	4.0658	17.5374
2006	1.7413	2.5991	2.3155	1.3717	1.5917	4.0324	15.6765
2007	2.3632	2.5832	2.2894	1.0303	2.0467	3.3485	11.2092
2008	2.2462	2.4668	2.1850	1.0290	1.8977	3.2754	10.1579
2009	2.3093	2.5330	2.2442	1.0310	1.9812	3.3186	10.7558
2010	2.2446	2.4971	2.2118	1.0423	1.9202	3.3167	10.5425
2011	2.4168	2.4592	2.1803	0.9617	1.9716	3.1560	9.5156
2012	2.3274	2.4588	2.1787	0.9939	1.9317	3.2097	9.7787
2013	2.1729	2.3993	2.1249	1.0310	1.8065	3.2397	9.6156
2014	1.1675	2.3282	2.0619	1.8956	1.7501	3.1479	8.8057

Tablo 7.43. Muğla ili için Rayleigh dağılımı parametreleri

Yıl	c (m/s)	V _m (m/s)	σ (m/s)	V _{mod} (m/s)	V _{maxE} (m/s)	P _R (W/m ²)
2005	2.8314	2.5093	1.3116	2.0021	4.0042	17.1248
2006	2.6532	2.3514	1.2291	1.8761	3.7522	14.0912
2007	2.5721	2.2795	1.1915	1.8187	3.6375	12.8377
2008	2.4546	2.1754	1.1371	1.7357	3.4714	11.1580
2009	2.5219	2.2350	1.1683	1.7832	3.5665	12.1004
2010	2.4848	2.2022	1.1511	1.7570	3.5141	11.5754
2011	2.4462	2.1680	1.1332	1.7297	3.4595	11.0445
2012	2.4451	2.1669	1.1327	1.7289	3.4579	11.0277
2013	2.3889	2.1171	1.1067	1.6892	3.3784	10.2847
2014	2.3192	2.0554	1.0744	1.6399	3.2799	9.4114

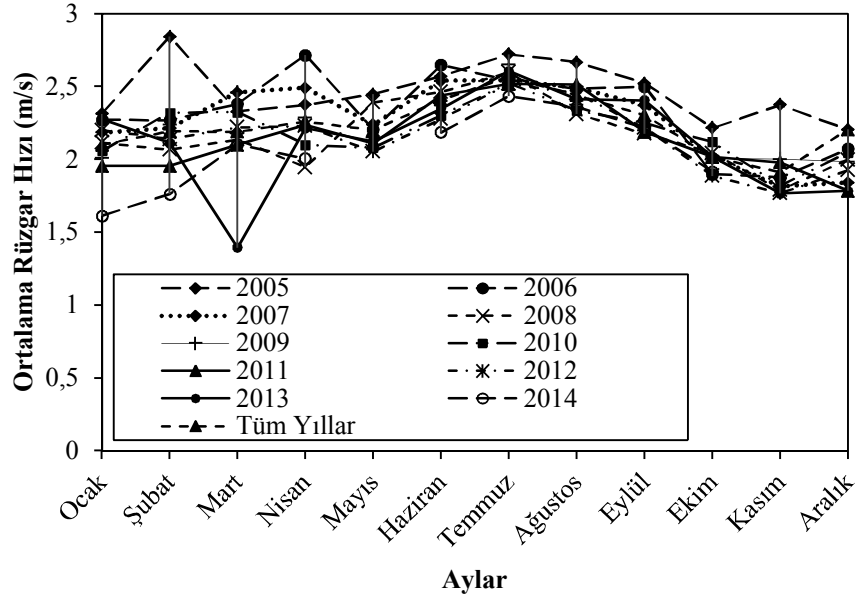
Şekil 7.67’ de Weibull güç yoğunluğu, Şekil 7.68’ de ise Rayleigh güç yoğunluğu ile ortalama rüzgâr hızının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Weibull dağılımına göre en yüksek güç yoğunluğu 2005 yılında 17.54 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2011 yılında 9.52 W/m² olarak elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre ise en yüksek güç yoğunluğu 2005 yılında 17.13 W/m², en düşük güç yoğunluğu 2014 yılında 9.41 W/m² olarak tespit edilmiştir.

**Şekil 7.67.** Muğla ili için Weibull dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızının yıllara göre değişimi



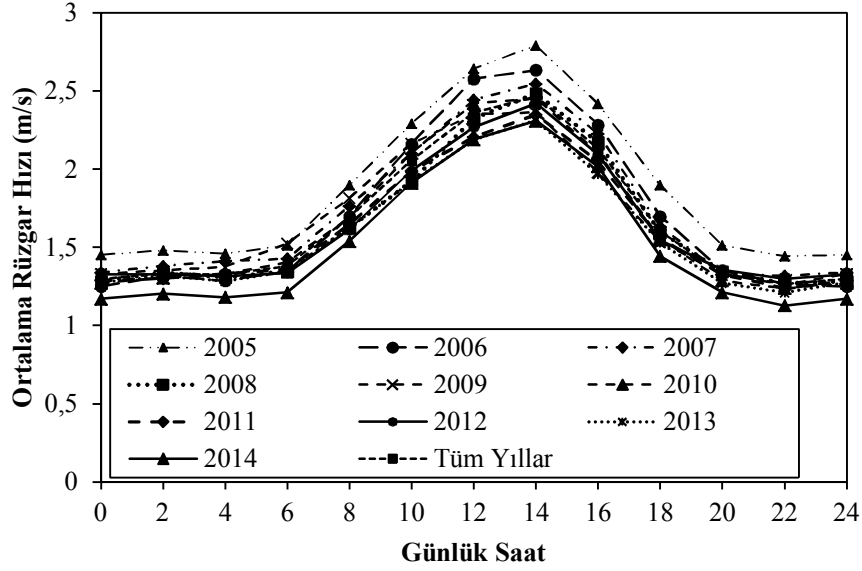
Şekil 7.68. Muğla ili için Rayleigh dağılımına göre güç yoğunluğu ile rüzgâr hızın aylara göre değişimi

Muğla iline ait on yıllık veriye göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızı değerlerinin aylara göre değişimi her bir yıl için Şekil 7.69’ da gösterilmiştir. Rüzgâr hızı en düşük 2013 yılının Mart ayında 1.39 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Şubat ayında 2.84 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.69. Muğla ili için ortalama rüzgâr hızlarının aylara göre değişimi

Şekil 7.70’ de ortalama rüzgâr hızı değerlerinin 24 saatlik değişimi çizilmiştir. Yıllık ortalama sonuçlara göre rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2014 yılında 22:00 -23:00 saatleri arasında 1.12 m/s, en yüksek 2005 yılında 13:00 -14:00 saatleri arasında 2.82 m/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 7.70. Muğla ili için on yıllık ortalama rüzgâr hızının 24 saatlik değişimi

Muğla ilindeki rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2005 – 2014 yılları arasında ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak araştırılmıştır. Modelleme için Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmış ve bu modelleme işleminin başarısı R^2 , RMSE ve χ^2 parametrelerine göre değerlendirilmiştir. On yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre;

Rüzgâr hızı günlük bazda en düşük 2014 yılında 22:00 – 23:00 saatleri arasında 1,12 m/s, en yüksek 2005 yılında 13:00 – 14:00 saatleri arasında 2.82 m/s olarak elde edilmiştir.

Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2013 yılının Mart ayında 1.39 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Şubat ayında 2.84 m/s olarak elde edilmiştir.

Weibull dağılımına göre yıllık bazda en düşük ortalama hız 2.06 m/s ve güç yoğunluğu 8.81 W/m² olarak 2014 yılında, en yüksek ortalama hız 2.50 m/s ve güç yoğunluğu 17.54 W /m² olarak 2005 yılında elde edilmiştir. Rayleigh dağılımına göre en düşük ortalama hız 2.05 m/s ve güç yoğunluğu 9.41 W/m² olarak 2014 yılında, en yüksek ortalama hız 2.51 m/s ve güç yoğunluğu 17.12 W/m² olarak 2005 yılında tespit edilmiştir.

Weibull dağılımında R^2 belirlilik katsayısı ve RMSE tüm yıllarda, χ^2 ise 2005 yılı dışında Rayleigh dağılımına göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı Muğla ilinin rüzgâr verileri analizlerinde Weibull dağılımın kullanılmasının daha iyi olacağı görülmüştür.

Sonuç itibarıyla Muğla ilinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m^2 , den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini, ortalama hızın 2 m/s den üstünde olması ise rüzgâr enerjisi potansiyelinin ümit verici olduğunu göstermektedir.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeryüzünde gün geçtikçe artan nüfusu göz önüne alırsak ve enerjinin temel bir gereksinim olduğu düşünürsek, her geçen gün enerji ihtiyacımız daha çok artmaktadır. Kömürün 230 yıl, petrolün 38 ve doğal gazın 60 yıl sonra tükeneceğini göz önüne alırsak alternatif enerji kaynaklarına süratle yönelmemiz gerekmektedir. Rüzgâr da bu alternatif enerji kaynaklarından bir tanesidir. Bu yüzden, dünya açısından çevreyi kirletmeyen, ekonomik olan, ülkemiz açısından da dış ülkelere bağımlılığı olmayan rüzgâr enerjisine, yatırımların arttırılması rüzgâr potansiyelinden faydalanılması bir zorunluluk haline gelmektedir.

Bu çalışmada, 2005 – 2014 yıllarında saatlik olarak ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayanarak İskenderun, Elazığ, Bursa, Karaman, Sinop, Muğla ve Adıyaman ilinin rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Saatlik olarak ölçülen 2005 ve 2014 yıllarına ait rüzgâr verileri Türkiye Meteoroloji Müdürlüğünden sağlanmıştır. Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansını değerlendirmek için ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ki-kare (χ^2) ve belirlilik katsayısı (R^2) uyum iyiliği testlerinden faydalanılmıştır. Weibull dağılımındaki uyum iyiliği testleri Rayleigh dağılımındaki uyum iyiliği testlerine göre daha iyi sonuç vermiştir.

İskenderun ilinde Rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2012 yılının Kasım ayında 1.68 m/s, en yüksek ise 2006 yılının Temmuz ayında 4.5 m/s olarak elde edilmiştir. Sinop ilinde rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2010 yılının Kasım ayında 2.85 m/s, en yüksek ise 2011 yılının Mart ayında 4.28 m/s olarak elde edilmiştir. İskenderun ve Sinop illerinde ortalama hız günlük ve aylık bazda çoğunlukla 3 m/s den yüksek olduğu için rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin uygun olduğu belirlenmiştir. Sinop ve İskenderun illerinde aylık ve yıllık ortalama güç yoğunlukları 100 W/m^2 'den küçük olduğu için rüzgâr enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün olmadığı, daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Elazığ ilinde rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2009 yılının Ekim ayında 2.18 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Mart ayında 3.79 m/s olarak elde edilmiştir. Muğla ilinde rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2013 yılının Mart ayında 1.39 m/s, en yüksek ise 2005 yılının Şubat ayında 2.84 m/s olarak elde edilmiştir. Karaman ilinde rüzgâr hızı aylık bazda en

düşük 2011 yılının Kasım ayında 1.77 m/s, en yüksek ise 2008 yılının Mart ayında 3.91 m/s olarak elde edilmiştir. Bursa ilinde rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2006 yılının Kasım ayında 1.53 m/s, en yüksek ise 2013 yılının Ağustos ayında 3.78 m/s olarak elde edilmiştir. Elazığ, Muğla, Karaman ve Bursa illerinde ortalama hızın çoğunlukla 2 m/s den üstünde olması rüzgâr enerjisi potansiyelinin ümit verici olduğunu, bununla birlikte yapılan çalışmaların sürdürülerek bu iller içerisindeki farklı yüksekliklerde detaylı olarak tüm bölgenin araştırılması sonucunda daha doğru ve kesin değerlendirmeler yapılması gerekmektedir.

Adıyaman ilinin rüzgâr hızı aylık bazda en düşük 2014 yılının Ocak ayında 1.34 m/s, en yüksek ise 2008 yılının Haziran ayında 3.09 m/s olarak elde edilmiştir. Ortalama hızının aylık ve yıllık olarak 2 m/s altında çıkması rüzgâr enerji potansiyelinin ümit verici olmadığını göstermektedir.

Ülkemizde rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin hızlandırarak benzer çalışmaların yapılması ve üretime katılması geleceğimiz için büyük önem taşımaktadır. İlerideki çalışmaların yeni veriler eklenerek sürekli güncelleştirilmesi gerekmektedir. Ölçüm istasyonlarının sayılarının artırılması, mümkün olduğunca uzun bir zaman aralığını kapsayan rüzgâr hızı ölçüm verilerinin kullanılması ve bölgelerin coğrafi özelliklerinin rüzgâr profilleri üzerindeki etkilerini açığa çıkaracak ölçüm ve hesaplamaların yapılması çalışmaları geliştirecektir. Ticari paket programların kullanımı; kullanılan hesap yönteminin gizli tutulması, yapılan kabullerin bilinmemesi, değişikliklerin sadece program geliştiricilerin öngördüğü şekilde yapılabilmesi ve hesap tekniğindeki gelişmelerin takip edilememesi gibi dezavantajları beraberinde getirmektedir. Ticari paket programların kullanımı yanında yeni yazılımların geliştirilmesi kullanıcıların hesaplamalar ve sonuçlar üzerindeki hakimiyetlerini arttıracak, teknik gelişmelerden geride kalmamalarını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Birinç S. G.**, 2008. Değişken Hızlı Rüzgar Santrallerini Dinamik Modellemesi ve Karşılaştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [2] **Bin W., Yongqiang L., Navid Z. and Samir K.**, 2011. Power Conversion and control of wind energy systems, Canada, **1**:9-26.
- [3] **Gasch R. and Twele J.**, 2012. Wind Power Plants Fundamentals Design Construction and Operation, **2**:18-25.
- [4] **Tong W.**, 2010. Wind Power Generation and Wind Turbine Design, Boston.
- [5] **Hepbaşlı A. and Özgener, Ö.**, 2004. A Review on the Development of Wind Energy in Turkey, *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, **8**:257-276.
- [6] **Sülün M.**, 2007. Rüzgar Enerjisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Bitirme Projesi*, İzmir.
- [7] **Lipman N. H. and Musgrove, P. J.**, 1982. Wind Energy for the Eighties, England.**1**:39-60.
- [8] **Albostan A., Eren L. ve Çekiç Y.**, 2008. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [9] **Jaramillo O. A. and Borja M. A.**, 2004. Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bimodal probability distribution case, *Renewable Energy*, **29**: 1613-1630.
- [10] **Dorvlo A. S. S.**, 2002. Estimating wind speed distribution, *Energy Conversion and Management*, **43**: 2311-2318
- [11] **Seguro J. V. and Lambert T. W.**, 2000. Modern estimation of the parameter for the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *Wind Energy and Industrial Aerodynamics*, **85**: 75-84.
- [12] **Ramirez P. and Carta J.A.**, 2005. Influence of the data sampling interval in the estimation of the parameters of the Weibull wind speed probability density distribution: a case study, *Energy Conversion and Management*, **46**: 2419-2438.

- [13] **Çelik A. N.**, 2003. Energy output estimation for small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **91**: 693-707
- [14] **Tağıl Ş.**, 1997. Sinop ve Çevresinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 8. Enerji Kongresi*.
- [15] **Cerit B., Onural A. Ş. ve Doğdu N.**, 2004. Rüzgar Enerjisi ve Orta Akdeniz Bölgesinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma, *Teknoloji Dergisi*, **7(4)**: 591-597.
- [16] **Kavak Akpınar E. and Akpınar.**, 2004. Statistical Analysis of Wind Energy Potential on the basis of the weibull and Rayleigh Distribution for Ağın-Elazığ, Turkey.
- [17] **Kavak Akpınar E.**, 2006. A Statistical Investigation of Wind Energy Potential, *Energy Sources, Part A*, **28**:807–82.
- [18] **Kurban M., Hocaoglu F. O., Kantar ve Mert Y.**, 2007. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi, *Afyon Kocatepe Bilim Dergisi*, **7(2)**: 205-218.
- [19] **Albostan A., Eren L. ve Çekiç Y.**, 2008. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, *Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [20] **Bilgili M., Şahin B. ve Şimşek E.**, 2010. Türkiye'nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **30(1)**: 01-12.
- [21] **Kaplan Y. A.**, 2016. Rayleigh ve Weibull Dağılımları kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi*, **20(1)**: 62-71
- [22] **Özgür M. A.**, 2006. Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Eskişehir.
- [23] **Bulut Y. M. ve Açikkalp E.**, 2009. Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanmasında Parametre Tahmin Yöntemlerinin İncelenmesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir.

- [24] **Almalı M. N., ve Ete T.**, 2009. Ortalama Rüzgar Hızı ve Güç Yoğunluğunun Hesaplanması, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır.
- [25] **Gülersoy T. ve Çetin S. N.**, 2010. Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması, *Politeknik Dergisi*, **(13)3**: 209-213.
- [26] **Eskin N., Artar H. ve Tolun S.**, 2008. Wind Energy Potential of Gökçeada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**: 839-851.
- [27] **Yıldırım U., Gazibey Y. ve Güngör A.**, 2012. Niğde İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **1(2)**: 37-47.
- [28] **Yılmaz V., Doğan M. ve Tepeyurt N.**, 2013. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, **3**: 174-188
- [29] **Avcı B.**, 2012. Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, *Bitirme Ödevi*, İzmir.
- [30] **Mutlu, Ö., Akpınar S. E. ve Balıkçı A.**, 2009. Power Quality Analysis of Wind Farm Connected to Alaçatı Substation in Turkey, *Renewable Energy*, **34(5)**: 1312-1318.
- [31] **Alboyacı, B. ve Dursun B.**, 2008. Electricity Restructuring in Turkey and the Share of Wind Energy Production, *Renewable Energy*, **33(11)**: 2499-2505.
- [32] **Onar, O. C., Uzunoğlu. M. ve Alam M. S.**, 2008. Modeling Control and Simulation of an Autonomous Wind Turbine/Photovoltaic/Fuel Cell/Ultra-Capacitor Hybrid Power System. *Journal of power Sources*, **185(2)**: 1273-1283.
- [33] <http://www.solar-academy.com>, Rüzgâr Enerjisi Nereelerde Kullanılır, 10/1/2017.
- [34] www.iea.org.tr, *International Energy Agency*, 16/3/2015.
- [35] Renewable 2014 Global Status Report, *Renewables Energy*, Policy Network for the 21 st Century, REN219, Paris.

- [36] World Wind Energy Association Half Year Report, 2014, Almanya.
- [37] <http://www.eie.gov.tr>, *Türkiye Rüzgâr Atlası*, 10/1/ 2017.
- [38] <http://www.enerjiatlası.com/ruzgar>, *Rüzgâr Enerji Santralleri*, 10/1/2017.
- [39] www.wikipedia.org.tr, *Rüzgâr Türbinleri*, 18/4/2015.
- [40] <http://www.elektrikport.com.tr>, *Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması*, 18/4/2015.
- [41] <http://www.elektrikuretimi.org.tr>, *Rüzgâr Türbinleri ve Sınıflandırılması*, 19/4/2015.
- [42] Nurbay, N., Çınar, A., 2005. Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.
- [43] Emniyetli, G., 2007. Elektrik İhtiyacının Karşılanması için Rüzgar Türbini Tasarımı. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, *Yüksek Lisans Tezi*, 102, Edirne.
- [44] Tekin K., 2006. Rüzgar Santrali İçeren Elektrik Sistemlerinde Etkilenmeler ve Kısa Devre İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [45] Demir, F. N., 2007. Rüzgar Türbinleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, *Bitirme Ödevi*, İzmir.
- [46] Ozaktürk, M., 2007. Rüzgar Enerjisinin Güç Kalitesi Açısından incelenmesi, Sakarya Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya.
- [47] Cliff, W. C., 1977. The Effect of Generalized Wind Characteristics on Annual Power Estimates from Wind Turbine Generators, PNL-2436, Richland, Washington: Battele Pacific Northwest Laboratory.
- [48] Akpınar, K. E., ve Akpınar S., 2004. Determination of the Wind Energy Potential for Maden, Turkey, *Energy Convers Manage*, **45(18)**: 2901-14.

- [49] **Weisser, D. A.**, 2003. Wind Energy Analysis of Grenada: an Estimation Using the Weibull Density Function, *Renewable Energy*, **28**:1803-1812.
- [50] **Deaves, D. M. and Lines I. G.**, 1997. On the Fitting of Low Mean Wind Speed Data to the Weibull Distribution, **66**:169-78.
- [51] **Haralambopoulos, D. A.**, 1995. Analysis of Wind Characteristics and Potential in the East Mediterranean-the Lesvos Case, *Renewable Energy*, **6**:445-54.
- [52] **Çelik, A. N.**, 2004. A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models at Southern Region of Turkey, *Renewable Energy*, **29**:593-604.
- [53] **Ülgen, K. ve Hepbaşlı A.**, Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of İzmir.
- [54] **Genç, A., Murat E., Pekgör A., Oturanç G. Hepbaşlı A. ve Ülgen K.**, 2005. Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution, **27**: 809-822.
- [55] **Swain, J., Venkatraman S., Wilson J.**, 1988. Least-squares Estimation of Distribution Function in Johnson's Translation Systems, *J. Statistic Comput. Simulation*, **29**: 271-210.
- [56] **Cheng, R. C. H. and Amin N. A. K.**, 1983. Estimating Parameters in Continuous Univariate Distributions with a Shifted Origin. *J. Roy. Statistic*, **45**: 394-403.
- [57] **Chang T. P.**, 2011. Performance Comparison of Six Numerical Methods in Estimating Weibull Parameters for Wind Energy Application, *Appl Energy*, **88**: 272-282.
- [58] <http://www.turkeyforum.com/satforum/archive/index.php/t-308449.html>
Türkiye il, ilçe enlem ve boylmları 18/04/2015
- [59] <http://www.ozelliklerinedir.com/illerin-yukseklık-ozellikleri-rakımları>
İllerin yükseklik özellikleri 18/04/2015

ÖZGEÇMİŞ

Nilay BALPETEK, 04.02.1988 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Diyarbakır'da tamamladı. 2006 yılında Ziya Gökalp Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında eğitime başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladı. Yüksek Lisansının üçüncü dönemini Polonya, West Pomeranian University de tamamladı. Eğitime Fırat Üniversitesinde halen devam etmektedir. C sınıfı iş güvenliği uzmanı belgesine sahiptir.

