ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜZGÂR HIZININ İSTATİSTİKSEL MODELLENMESİ

Tuğba NİKSARLI

İSTATİSTİK ANABİLİM DALI

ANKARA
2019

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Tuğba NİKSARLI tarafından hazırlanan **"Rüzgâr Hızının İstatistiksel Modellenmesi"** adlı tez çalışması 14/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Birdal ŞENOĞLU
Ankara Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı

Eş Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Fatma Gül AKGÜL
Artvin Çoruh Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Meral ÇETİN
Hacettepe Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Birdal ŞENOĞLU
Ankara Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Halil AYDOĞDU
Ankara Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdürü Vekili

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez için bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

14.06.2019



Tuğba NİKSARLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RÜZGÂR HIZININ İSTATİSTİKSEL MODELLENMESİ

Tuğba NİKSARLI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Birdal ŞENOĞLU
Eş Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Fatma Gül AKGÜL

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin doğru bir şekilde modellenmesi, rüzgâr türbininin kurulacağı yerin seçiminde uygun dağılımı belirlerken önem arz etmektedir.

Weibull dağılımı literatürde rüzgar hızını modellemek için en yaygın olarak kullanılan dağılımdır. Ancak, bu dağılım doğada karşılaşılan tüm rüzgâr karakteristiklerini uygun şekilde modellemeyebilir. Bu araştırma kapsamında farklı rüzgâr karakteristiklerini modellemek için, Weibull dağılımına alternatif olarak Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının da kullanılması önerilmiştir.

Bu çalışmada, Balıkesir/Bandırma, Bodrum/Turgutreis, İzmir/Karaburun, İzmir/Seferihisar, Afyon/Sandıklı ve Çanakkale/Gelibolu'ya ait 2015 yılı rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlardan elde edilen rüzgâr hızı verileri önerilen dağılımlar kullanılarak modellenmiştir. Bu dağılımların bilinmeyen parametrelerini tahmin etmek için ML yöntemi kullanılmıştır. Rüzgâr hızını modellerken en uygun dağılımı belirlemek için RMSE ve R^2 kriterlerine başvurulmuştur.

Haziran 2019, 63 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr hızı, İstatistiksel dağılımlar, İstatistiksel modelleme, En Çok Olabilirlik.

ABSTRACT

Master Thesis

STATISTICAL MODELING OF WIND SPEED

Tuğba NİKSARLI

Ankara University
Graduate School of Natural And Applied Science
Department of Statistics

Supervisor : Prof. Dr. Birdal ŞENOĞLU
Co-Supervisor : Assist.Prof.Dr. Fatma Gül AKGÜL

Correct modelling of wind energy, one of the renewable energy sources, is important in determining the appropriate distribution in the selection of the location of the wind turbine.

The Weibull distribution is the most widely used distribution for modelling the wind speed in literature. However, this distribution may not model all the wind characteristics encountered in nature appropriately. In order to model different wind characteristics, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL and NWL distributions have been proposed as an alternative to Weibull distribution.

In this study, 2015 wind speed data of Balıkesir / Bandırma, Bodrum / Turgutreis, Izmir / Karaburun, İzmir / Seferihisar, Afyon / Sandıklı and Çanakkale / Gelibolu were used. Wind speed data obtained from these stations were modeled using the proposed distributions. The ML method was used to estimate the unknown parameters of these distributions. The RMSE and R^2 criteria are used to determine the optimal distribution for modelling wind speed.

June 2019, 63 pages

Key Words : Wind speed, Statistical Distributions, Statistical Modelling, Maximum Lİkelihood.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana gösterdiği büyük emek, sabır ve destekten dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Birdal ŞENOĞLU'na (Ankara Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı) en içten duygularımla teşekkür ederim.

Çalışmamın ilerlemesinde benden bilgi birikimlerini esirgemeyen, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan eş danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma Gül AKGÜL'e (Artvin Çoruh Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı) en kalbi duygularımla teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde desteklerini her an yanımda hissettiğim annem Yıldız SARICA ve babam Hüseyin SARICA'ya şükranlarımı sunarım. Tezimin başından sonuna kadar desteğini esirgemeyen, gösterdigi sabır ve ilgiden dolayı eşim Can NİKSARLI'ya, varlıklarıyla bana güç veren oğlum Kutay NİKSARLI ve kızım Umay NİKSARLI'ya sonsuz teşekkür ederim.

Tuğba NİKSARLI
Ankara, Haziran 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI
ETİK ..... **i**
ÖZET ..... **ii**
ABSTRACT ..... **iii**
TEŞEKKÜR ..... **iv**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vi**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Taraması **5**
1.2 Çalışmanın Amacı **10**
2. RÜZGÂR HIZI DAĞILIMLARI **12**
2.1 Weibull Dağılımı **12**
2.2 Burr III Dağılımı **14**
2.3 Ters Weibull Dağılımı **16**
2.4 Genelleştirilmiş Lindley Dağılımı **18**
2.5 Power Lindley Dağılımı **20**
2.6 Genelleştirilmiş Ters Lindley Dağılımı **22**
2.7 Ağırlıklandırılmış Lindley Dağılımı **24**
2.8 Yeni Ağırlıklandırılmış Lindley Dağılımı **26**
3.UYGULAMALAR **29**
3.1 Balıkesir/Bandırma rüzgâr hızı verisi **30**
3.2 Bodrum /Turgutreis rüzgâr hızı verisi **34**
3.3 İzmir/Karaburun rüzgâr hızı verisi **38**
3.4 İzmir/Seferihisar rüzgâr hızı verisi **42**
3.5 Afyon/Sandıklı rüzgâr hızı verisi **46**
3.6 Çanakkale/Gelibolu rüzgâr hızı verisi **50**
4.SONUÇLAR **54**
KAYNAKLAR **57**
EKLER **62**
EK 1 Türkiye Rüzgar Haritası **62**
ÖZGEÇMİŞ **63**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

IW	Ters Weibull
GL	Genelleştirilmiş Lindley
PL	Power Lindley
GIL	Genelleştirilmiş Ters Lindley
WL	Ağırlıklandırışmış Lindley
NWL	Yeni Ağırlıklandırılmış Lindley
ML	En Çok Olabilirlik
LS	En Küçük Karaler
oyf	olasılık yoğunluk fonksiyonu
df	dağılım fonksiyonu
RMSE	Hata Kareler Ortalamasının Karekökü
R^2	Belirtme Katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum durumu 3
Şekil 1.2 Rüzgâr enerjisinin bölgelere göre dağılımı.....3
Şekil 1.3 Rüzgâr enerjisinin illere göre dağılımı 4
Şekil 2.1 Farklı parametre değerleri için Weibull oyf grafikleri; β =1 13
Şekil 2.2 Farklı parametre değerleri için Burr III oyf grafikleri 15
Şekil 2.3 Farklı parametre değerleri için IW oyf grafikleri; β =1 17
Şekil 2.4 Farklı parametre değerleri için GL oyf grafikleri; β =1.....19
Şekil 2.5 Farklı parametre değerleri için PL oyf grafikleri; β =1 21
Şekil 2.6 Farklı parametre değerleri için GIL oyf grafikleri; β =1 23
Şekil 2.7 Farklı parametre değerleri için WL oyf grafikleri; β =1 25
Şekil 2.8 Farklı parametre değerleri için NWL oyf grafikleri; β =1 27
Şekil 3.1 Balıkesir/Bandırma rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler. 33
Şekil 3.2 Bodrum/Turgutreis rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler. 37
Şekil 3.3 İzmir/ Karaburun rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler. 41
Şekil 3.4 İzmir/ Seferihisar rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler. 45
Şekil 3.5 Afyon / Sandıklı rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler. 49
Şekil 3.6 Çanakkale/Gelibolu rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler. 53

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 2016 yılında Dünya Rüzgâr Enerjisi Santrali Durumu 2
Tablo 3.1 Balıkesir/Bandırma için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerine ait betimsel istatistikler 30
Tablo 3.2 Balıkesir/Bandırma rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri 31
Tablo 3.3 Bodrum/Turgutreis için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri 34
Tablo 3.4 Bodrum/Turgutreis rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri 35
Tablo 3.5 İzmir/Karaburun için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri 38
Tablo 3.6 İzmir/Karaburun rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri 39
Tablo 3.7 İzmir/Seferihisar için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri 42
Tablo 3.8 İzmir/Seferihisar rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri 43
Tablo 3.9 Afyon/Sandıklı için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri 46
Tablo 3.10 Afyon/Sandıklı rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri 47
Tablo 3.11 Çanakkale/Gelibolu için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri 50
Tablo 3.12 Çanakkale/Gelibolu rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri 51

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve artan nüfus ile insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı günden güne arttırmaktadır. Enerjiye olan bu ihtiyaç genellikle fosil yakıtlar kullanılarak sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak, petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve rezervlerin giderek azalması insanları yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına yöneltmeye başlamıştır. Dolayısıyla insanlar zaman içinde enerjinin bir biçimini başka bir biçimine dönüştürmeyi bulmuşlardır. Bugün, birçok ülke fosil yakıtlar kadar kullanışlı ama çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları aramaktadır. Bu yüzden doğada tükenmeyen ve yenilenebilir olan enerji kaynakları, elektrik üretimi ve tüketimi hususunda önemli bir yer tutmaktadır. Bu enerji kaynakları rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi doğada bulunan çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların birçoğu, fosil yakıtların aksine doğada limitsiz olarak bulunur ve bu da fiyatın yükselmesi riskini elimine eder (Akgül ve Şenoğlu 2017).

Bu çalışmada, sözü edilen yenilenebilir çevre dostu enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi ile ilgilenilecektir. Dünya'da birçok ülke tarafından tercih edilen en önemli yenilenebilir enerji kaynağından biride rüzgârdır. Rüzgâr enerjisi, fosil yakıt kullanımına ihtiyaç duymadığından çevre dostu bir enerjidir. Doğada bulunması, çevre dostu olması, kullanılabilirliği, tükenmeyen bir kaynak olması, düşük maliyet ve yüksek gelir getirmesi gibi nedenlerden dolayı rüzgâr enerji sistemleri giderek daha çok önem kazanmaktadır.

Dünyada rüzgâr enerjisinden elde edilen enerji 486,749 MW'tır. Çin, 168,690 MW'lık kurulu gücü ile dünya pazarının %34.7'sini elinde bulundurmaktadır. ABD 82,184 MW'lık kurulu güç ile ikinci sırada yer almaktadır. İlk 10 ülkenin sonunda yer alan İtalya'nın 9,257 MW ile %1.9'lik pazar payı vardır (GWEC, 2017), bkz. Tablo 1.1.

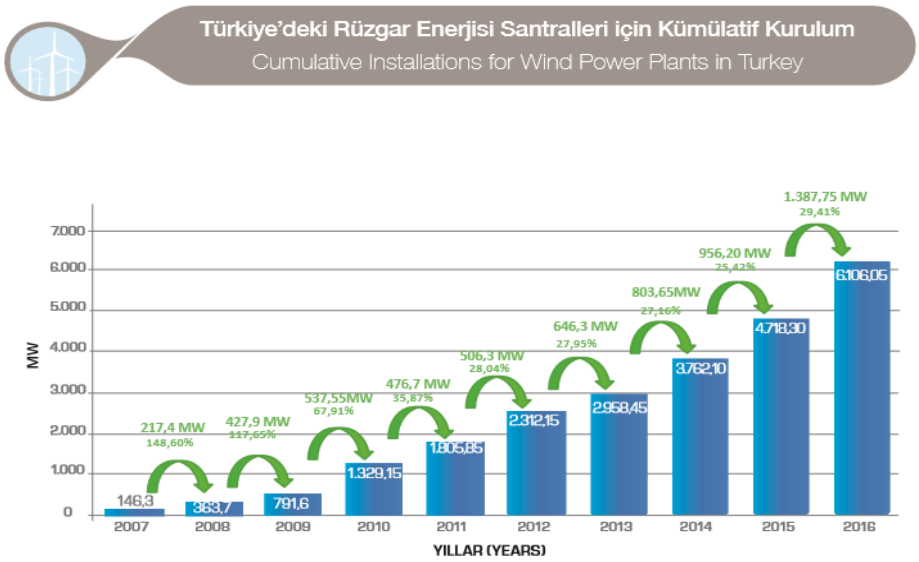
Türkiye'de ilk Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) 1998 yılında Çeşme'de kurulmuştur. Sonrasında RES'lerin ülkemizde 2005 yılında, aynı tarihli ve 5246 nolu 'Yenilenebilir

Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun' ile önemi artmıştır (Solmaz ve Turan, 2015). Bu kanundan sonra ülkemiz de rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum yıllara göre artış göstermektedir. Türkiye'de 2007 – 2016 yılları arasında rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum artışı Şekil 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.1 2016 yılında dünya rüzgâr enerjisi santrali durumu

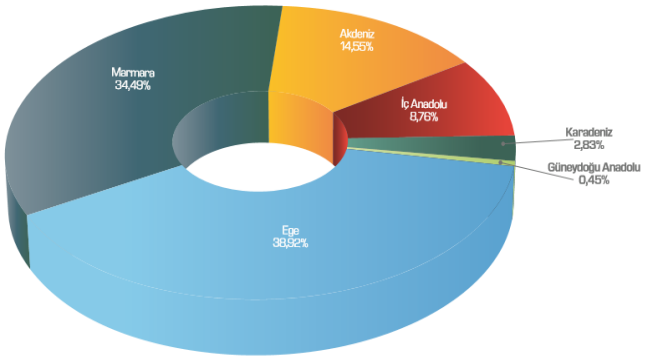
Ülke	**MW**	**Yüzde (%)**
Çin	168,690	34.7
ABD	82,184	16.9
Almanya	50,018	10.3
Hindistan	28,700	5.9
İspanya	23,074	4.7
İngiltere	14,543	3.0
Fransa	12,066	2.5
Kanada	11,900	2.4
Brezilya	10,740	2.2
İtalya	9,257	1.9
Diğer	75,577	15.5
İlk 10 Ülke toplam	**411,172**	**84.5**
Toplam Dünya	**486,749**	**100**

2016 yılsonu verilerine göre ülkemizde 6,106.05 MW'lık rüzgâr enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. 2015-2016 yılları arasında %29.41'lik bir artış olduğu Şekil 1.1'de görülmektedir (TUREB, 2017).



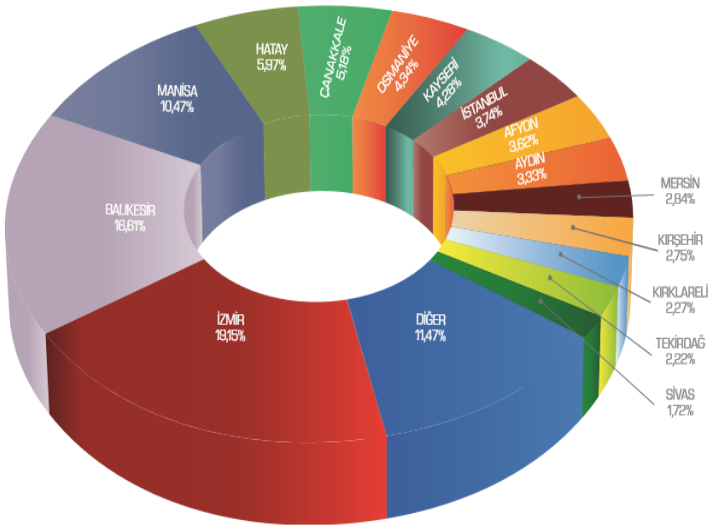
Şekil 1.1 Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santralleri için kümülatif kurulum durumu

Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgeler Ege ve Marmara bölgeleridir. Bundan dolayı yatırımcıların çoğu yüksek rüzgâr enerji potansiyeli olan bu bölgeleri tercih etmektedir. 2016 yılsonu verilerine göre rüzgâr enerjisi sistemlerine yapılan yatırımın %38.92'si Ege bölgesinde ve %34.49'u Marmara bölgesinde bulunmaktadır. En az yatırım %0.45 ile Güney Doğu Anadolu bölgesinde yapılmıştır (TUREB, 2017), bkz. Şekil 1.2.



Şekil 1.2 Rüzgâr enerjisinin bölgelere göre dağılımı

Rüzgâr enerjisi potansiyeline göre iller sıralamasında, Ege bölgesinde bulunan İzmir %19.15 ile ilk sırada, Marmara bölgesinde bulunan Balıkesir %16.61 ile ikinci sırada yer almaktadır. Manisa %10.47 ile üçüncü sırada, Hatay %5.97 ile dördüncü sırada ve Çanakkale %5.18 ile beşinci sırada bulunmaktadır (TUREB, 2017), bkz. Şekil 1.3.



Şekil 1.3 Rüzgâr enerjisinin illere göre dağılımı

Rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olan bölgelerin bu potansiyeli hakkında bilgi elde edebilmek için en az bir yıllık rüzgâr hızı ölçümlerinin bulunması gerekmektedir. Rüzgâra ait hız ve frekansın dağılımı doğru tahmin edilebildiğinde, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli de belirlenmektedir (Akkoyunlu, 2015). Bu bölgelerde rüzgâr türbinlerinin kurulmadan önce bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin istatistiksel olarak hesaplanması gerekmektedir (Yılmaz vd., 2013). Yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olan bölgeler için en uygun dağılımın belirlenmesi, bölgedeki rüzgâr enerjisinden doğru bir biçim de faydalanılmasını sağlayacaktır. Yatırımcıların doğru yönlendirilmesi açısından rüzgâr hızının doğru modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Analizler sonucunda elde edilen bilgiler, kurulan türbinlerin hem zaman hem de maddi kaynaklar açısından verimli kullanılmasını sağlayacak ve ülkemizin rüzgâr enerjisi kaynaklarından daha çok faydalanabilmesinin önünü açacaktır (Süzek, 2007).

1.1 Literatür Taraması

Doğada rüzgâr hızı karakteristiklerine göre belirlenmiş farklı rüzgâr rejimleri mevcuttur. Bunlar sakin (calm), hafif (light), orta (moderate) veya şiddetli (extreme) şeklinde sıralanabilir. Örneğin, eğer 10 m yükseklikteki rüzgar hızı 0.0 m/s ve 0.4 m/s arasında ise rüzgar rejimi sakin olarak adlandırılır (Akgül ve Şenoğlu, 2019). Rüzgâr enerjisinden en optimum şekilde faydalanabilmek için rüzgâr türbinlerinin kurulacağı yerin belirlenmesi kadar rüzgâr hızı verilerinin de doğru bir şekilde modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Rüzgâr hızı karakteristiğinin belirlenmesinde, istatistiksel dağılımlar önemli rol oynamaktadır.

Literatürde rüzgâr hızını modellemek için en yaygın olarak kullanılan dağılım Weibull dağılımıdır. Süzek (2007), Akdağ (2008), Kartal (2010), Oral (2010) ve Yıldırım vd. (2012) çalışmalarında rüzgâr hızını modellemek için Weibull dağılımını kullanmışlardır.

Çelik (2003), Akpınar ve Akpınar (2004), Kurban vd. (2007), Celayir (2008), Gülersoy ve Çetin (2010), Kaplan (2016) ve Ozay vd. (2016) rüzgâr hızını modellemek için Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanmış ve Weibull dağılımının rüzgâr hızı verisini modellemede daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

Kartal (2010) rüzgâr hızını modellemek için Weibull dağılımını kullanmıştır. Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek için literatürde yaygın olarak kullanılan momentler, en küçük kareler (least squares, LS) ve en çok olabilirlik (maximum likelihood, ML) yöntemlerini kullanmıştır. Momentler ve ML tahmin edicilerinin LS tahmin edicilerine göre daha etkin olduğunu göstermiştir.

Oral (2010) tarafından Sakarya – Esentepe bölgesinde yapılan çalışmada rüzgâr hızını modellemek için Weibull dağılımı kullanılmıştır. Weibull dağılımının parametrelerini tahmin etmek için ML ve grafik yöntemleri kullanılmıştır.

Akkoyunlu (2015) Muğla ilinin Bodrum, Menteşe, Milas ve Yatağan ilçelerinin 2000-2015 yılları arasında gözlenen 15 yıllık rüzgâr hızı verilerini modellemek için Weibull, Rayleigh, Normal ve Gumbell dağılımlarını kullanmıştır. Weibull dağılımının rüzgâr hızını en iyi şekilde modellediğini belirtmiştir.

Köse vd. (2015) rüzgâr hızını modellemek için Weibull, Rayleigh ve Lognormal dağılımlarını kullanmışlarıdır. Dağılımların parametrelerini tahmin etmek için ML, LS ve momentler yöntemlerini kullanmışlardır. Rüzgâr hızının modellenmesinde en yaygın olarak kullanılan Weibull dağılımının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Emeksiz vd. (2016) Tokat bölgesinin rüzgâr hızı verisini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında Weibull, Rayleigh, Log-normal ve Gamma dağılımlarını kullanmışlardır. Weibull dağılımının diğer dağılımlara göre daha iyi bir performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Katinas vd. (2017) Litvanya'nın sahil bölgesinin rüzgâr karakteristiğini modellemek için Weibull dağılımını kullanmıştır. Weibull dağılımının bilinmeyen parametrelerini tahmin etmek için ML, uyarlanmış ML, güç yoğunluk, grafik ve farklı betimsel istatistik yöntemlere başvurmuştur. Benzer şekilde, rüzgâr hızının modellenmesi kapsamında Weibull dağılımının bilinmeyen parametrelerinin tahmini için bkz. Jowder (2009), Rocha vd. (2012), Khahro vd. (2014), Shu vd. (2015), Haralambos vd. (2016) ve Akdag ve Guler (2015).

Her ne kadar Weibull dağılımı rüzgâr hızını modellemek için yaygın olarak kullanılsa da, bu dağılım doğada karşılaşılan tüm rüzgâr karakteristiklerini uygun şekilde modelleyemeyebilir bkz. Kantar ve Usta (2015) ve Quarda vd. (2015). Bu nedenle, farklı istatistiksel dağılımlar rüzgâr hızını modellemek için kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, gamma, lognormal, ters Weibull (Inverse Weibull, IW), iki modlu Weibull mixture vb. şeklindedir (Akgül vd. 2016).

Carta vd. (2009) rüzgâr hızını modellemek için kullanılan dağılımları ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Kanarya adalarında yaptıkları çalışmada on iki farklı istatistiksel dağılımın kullanılmasını önermiş ve Weibull dağılımın rüzgâr hızını modellemede birçok avantaj sağladığını, fakat doğada bulunan her rüzgâr rejimini modelleyemediğini göstermişlerdir.

Morgan vd. (2011) rüzgâr hızını modellemek için Weibull, Rayleigh, iki-modlu Weibull karması, Kappa ve Wakaby dağılımlarını kullanmışlardır. Kuzey Amerika kıyılarında yaptıkları çalışmada kıyıdan esen rüzgâr hızını iki-modlu Weibull karması, Kappa ve Wakaby dağılımlarının daha iyi modellediğini belirtmişlerdir.

Chang (2011) rüzgâr hızını modellemek için Weibull, Gamma–Weibull karması, karma normal, karma normal ve Weibull, karma Weibull dağılımlarını kullanmıştır. Çalışmanın sonunda, Gamma-Weibull karmasının yaygın olarak kullanılan Weibull dağılımına alternatif olarak önerilebileceği göstermiştir.

Kantar ve Usta (2015) rüzgâr hızını modellemek için Weibull ve üstten budanmış Weibull dağılımlarını kullanmışlardır. Rüzgâr hızını modellemek için ilk kez kullanılan üstten budanmış Weibull dağılımın yaygın olarak kullanılan Weibull dağılımına göre daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Mert ve Karakuş (2015) rüzgâr hızını modellemek için 4-parametreli Burr, 3-parametreli genelleştirilmiş gamma ve Weibull dağılımlarını kullanmışlardır. Antakya bölgesindeki rüzgâr hızının çok düşük ve sakin rüzgâr hızına sahip olmasından dolayı Weibull dağılımının rüzgâr hızını modelleyemediğini göstermişlerdir. 4-parametreli Burr dağılımının daha esnek bir forma sahip olmasından dolayı Weibull dağılımına alternatif olarak gösterilebileceğini belirtmişlerdir.

Alavi vd. (2016) rüzgâr hızını modellemek için Gamma, Lognormal, Rayleigh ve Weibull dağılımları kullanılmıştır. Dağılımların parametrelerini tahmin etmek için ML ve momentler tahmin yöntemlerini kullanmışlardır. Analiz sonucunda, Lognormal

dağılımın orijinal rüzgâr hızı verisini en iyi şekilde modellediği gösterilmiştir. Weibull dağılımının ise budanmış rüzgâr hızı verisinde en iyi performansa sahip olduğu belirtilmiştir.

Usta ve Kantar (2016) rüzgâr hızını modellemek için referans kabul edilen Weibull dağılımına alternatif olabilecek Rayleigh, Lognormal, Gamma, Genelleştirilmiş Gamma ve bu çalışmada ilk kez kullanılan Nakagami dağılımlarını kullanmıştır. Analizler sonucunda Nakagami dağılımının rüzgâr hızı modellenmesinde Weibull dağılımına alternatif bir dağılım olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Akgül vd. (2016) rüzgâr hızını modellemek için Weibull ve ters Weibull (IW) dağılımını karşılaştırmıştır. Kalın kuyruklu bir dağılım olduğu için IW dağılımının Weibull dağılımına göre daha esnek olduğunu göstermiştir. Parametre tahmini için ML, LS ve uyarlanmış ML yöntemlerini kullanmıştır. LS yönteminin büyük örneklemler için iyi sonuçlar vermediğini göstermiştir.

Alavi vd. (2016) rüzgâr hızı olasılık dağılımının uygunluğunun değerlendirilmesi için toplam 5 istasyonda çalışma yapmışlardır. İlk önce Nakagami dağılımını kullanmışlardır. Daha sonra üstel, Weibull, Gamma, Lognormal, ters Gaussian, Loglojistic, genelleştirilmiş Extreme Value (EV) dağılımları ile karşılaştırma yapmışlardır. Dağılımların parametrelerini tahmin etmek için ML yöntemi kullanılmıştır. Analizler sonucunda, farklı istasyonlarda farklı istatistiksel dağılımların üstün geldiği görülmüştür. Ancak Nakagami dağılımının Weibull dağılımına yakın performans gösterdiği için, Weibull dağılımına alternatif bir dağılım olarak değerlendirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu belirtmiştir.

Chiodo ve Falco (2016) şiddetli rüzgâr hızının modellenmesinde yaygın olarak kullanılan Gumbell ve ters Weibull dağılımlarına alternatif olarak Burr III dağılımının kullanılabileceğini göstermiştir. Dağılım parametreleri ML, momentler ve bu çalışmada ilk defa önerilen çeyreklik tahmin yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonuç

olarak, Burr III dağılımının şiddetli rüzgâr hızlarının güvenilir ve basit bir şekilde modellenmesinde alternatif bir dağılım olabileceği belirtilmiştir.

Akgül ve Şenoğlu (2017) rüzgâr hızını modellemek için Weibull dağılımına alternatif olarak Rayleigh, Burr XII, Burr III, ters Weibull ve Extreme Value dağılımlarını kullanmıştır. Dağılımların parametrelerini tahmin etmek için ML ve LS yöntemlerini kullanmıştır. Sonuç olarak, Burr III ve ters Weibull dağılımının rüzgâr hızı verilerini modellemede daha esnek bir yapıya sahip olduğu gösterilmiştir.

Alavi vd. (2017) rüzgâr hızını modellemek için Birnbaum Saunders, Rayleigh, ters Gaussian, Normal, Lognormal, Logistic, Loglogistic, Weibull, Genelleştirilmiş Extreme Value ve Nakagami dağılımlarını kullanmıştır. Analizler sonucunda, Birnbaum Saunders dağılımının rüzgâr hızını modellemek için daha esnek bir yapıya sahip olduğu gösterilmiştir.

Arslan vd. (2017) rüzgâr hızını modellemek için Weibull dağılımına alternatif olarak Genelleştirilmiş Lindley (GL) ve Power Lindley (PL) dağılımlarını kullanmışlardır. Dağılımların parametrelerini tahmin etmek için ML yöntemi kullanılmıştır. Bursa, Eskişehir ve Sakarya istasyonlarından elde edilen rüzgâr hızı verilerini bu dağılımlar ile modellemişlerdir. Sonuç olarak, GL ve PL dağılımlarının Weibull dağılımına göre daha esnek yapıya sahip olduklarını göstermişlerdir. Daha doğru sonuç için model performansına bakılırsa GL dağılımının tercih edilebileceğini belirtmişlerdir. Diğer yandan güç yoğunluk hatası (power density error) ile karar verebilmek için PL dağılımının Weibull dağılımına tercih edilebileceğini belirtmişlerdir.

Pbobocikova vd. (2017) rüzgâr hızını modellemek için Weibull, 3-parametreli Weibull, Gamma ve Lognormal dağılımlarını kullanmışlardır. 3-parametreli Weibull dağılımının rüzgâr hızını modellemek için daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Wais (2017) rüzgâr hızını modellemek için Weibull ve 3-parametreli Weibull dağılımını kullanmıştır. Weibull dağılımı yaygın olarak kullanılsa da düşük rüzgâr hızlarında

yetersiz kaldığı belirtilmiştir. 3-parametreli Weibull dağılımının null (sıfır) rüzgâr hızını veya düşük rüzgâr hızlarını da modelleme konusunda etkili olduğunu gösterilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, rüzgâr hızını modellemek için literatürde yaygın olarak kullanılan Weibull dağılımının yanı sıra ters Weibull (Inverse Weibull, IW), Burr III, Genelleştirilmiş Lindley (GL), Power Lindley (PL), Genelleştirilmiş Ters Lindley (GIL), Ağırlıklandırılmış Lindley (Weighted Lindley, WL) ve Yeni Ağırlıklandırılmış Lindley (New Weighted Lindley, NWL) dağılımları kullanılarak ülkemizde rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgelerden elde edilen rüzgâr hızı verilerini modellemektir. Bu dağılımların kullanılmasının nedenleri ise söz konusu dağılımların pozitif değer alan dağılımlar olması ve iki parametreli olmaları nedeniyle parametre tahminlerinin kolaylıkla yapılabilmesidir. Dağılımların bilinmeyen parametrelerini tahmin etmek için ML yöntemi kullanılmıştır. Belirtmek gerekir ki, Weibull, IW, Burr III, GL ve PL dağılımları literatürde rüzgâr hızını modellemek için daha önce kullanılmıştır. Ancak, bu çalışmada GIL, WL ve NWL dağılımları rüzgâr hızını modellemek için ilk kez kullanılmaktadır. Bu çalışmanın diğer bir amacı, rüzgâr hızını modellemek için kullanılması önerilen dağılımların rüzgâr hızı modellemesinde yaygın olarak kullanılan dağılımlarla karşılaştırılmasıdır.

Daha öncede belirtildiği gibi ülkemizde rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgeler Marmara ve Ege bölgeleridir. Bu çalışmada, söz konusu bölgelerde bulunan Balıkesir/Bandırma, Bodrum/Turgutreis İzmir/Karaburun, İzmir/Seferihisar, Afyonkarahisar/Sandıklı ve Çanakkale/Gelibolu, istasyonlarından 10 m' de ölçülen saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri Weibull, IW, Burr III, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımları kullanılarak modellenmiştir. Bu istasyonlar için en uygun dağılımlar belirtme katsayısı (coefficient of determination, R^2) ve hata kareler ortalaması karekökü (root mean square error, RMSE) kriterleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, tahmin edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları ile rüzgâr verilerinin histogramları çizdirilerek veri setleri için uygun dağılım veya dağılımlar belirlenmiştir.

Bu amaçla, bu çalışmanın ikinci bölümünde, rüzgâr karakteristiğin modellemek için kullanılan dağılımlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dağılımların bilinmeyen parametreleri ML yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Üçüncü bölümde, ilgilenilen istasyonlardan elde edilen rüzgâr hızı verileri analiz edilmiştir. Dördüncü bölümde, yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

2. RÜZGÂR HIZI DAĞILIMLARI

Bu bölümde, öncelikle çalışma kapsamında kullanılan Weibull, IW, Burr III, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra, dağılımların ML tahmin edicileri elde edilmiştir.

2.1 Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı, Walodi Weibull (1939) tarafından materyallerin bozulma sürelerini modellemek için önerilmiştir. Bu dağılımı mühendislik, güvenilirlik ve rüzgâr hızı analizi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan dağılımlardan biridir. Literatürde Weibull dağılımı kullanılarak rüzgâr hızının modellendiği birçok çalışma mevcuttur, bkz. Süzek (2007), Akdağ (2008), Kartal (2010), Oral (2010), Yıldırım vd. (2012) ve Morgan vd. (2012).

Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) ve dağılım fonksiyonu (df) sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^{\alpha}}, \quad x > 0, \quad \alpha, \beta > 0 \tag{2.1}$$

ve

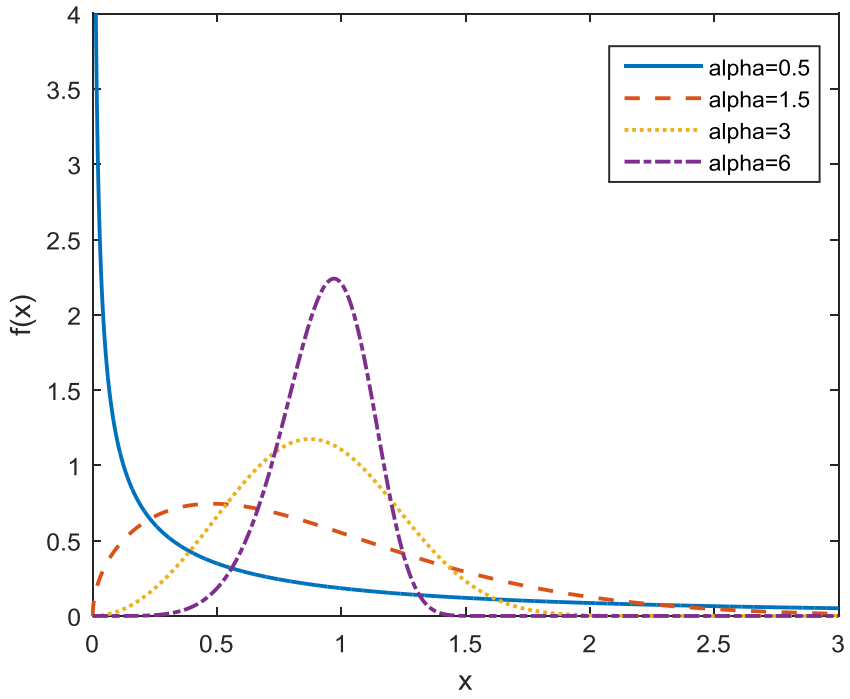
$$F(x) = 1 - e^{-(x/\beta)^{\alpha}}, \quad x > 0, \quad \alpha, \beta > 0. \tag{2.2}$$

Burada, Weibull dağılımı α şekil ve β ölçek parametresi olmak üzere iki parametreli bir dağılımdır. Weibull dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibidir:

$$E(X) = \beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \tag{2.3}$$

$$V(X) = \beta^2\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left[\beta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right]^2. \tag{2.4}$$

Burada, Γ(.) Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Weibull dağılımı şekil parametresinin aldığı değerlere göre sağa veya sola çarpık olabileceği gibi, normal dağılıma göre daha basık veya düz olabilmektedir. Dağılımın şeklinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı parametre değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Farklı parametre değerleri için Weibull oyf grafikleri; β=1

Dağılımın uygulamada başarılı olması, parametre tahminlerinin doğru yapılmasına bağlıdır (Zeytinoğlu, 2009). Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerinin tahmin edilmesinde farklı tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan ML yöntemi en yaygın olarak kullanılanlardan biridir.

ML tahmin edicileri: Weibull dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β' nın ML tahmin edicilerini elde edebilmek için log-olabilirlik ($\ln L$) fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L = n \ln \alpha - n\alpha \ln \beta + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^{n} \ln x_i - \beta^{-\alpha} \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha}. \quad (2.5)$$

$\ln L$ fonksiyonunun ilgili parametrelere göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = \frac{n}{\alpha} - n \ln \beta + \sum_{i=1}^{n} \ln x_i - \beta^{-\alpha} \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha} \ln x_i + \beta^{-\alpha} \ln \beta \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha} = 0, \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = -\frac{n\alpha}{\beta} + \alpha \beta^{-(\alpha+1)} \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha} = 0. \quad (2.7)$$

Olabilirlik denklemleri (2.6) ve (2.7)'in ilgili parametrelere göre çözümü parametrelerin ML tahmin edicileridir. Ancak bu denklemler lineer olmayan fonksiyonlar içerdiğinden analitik olarak çözülemezler. Bu nedenle iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. (2.6) ve (2.7) denklemleri iteratif yöntemler kullanılarak çözüldükten sonra α ve β parametrelerinin ML tahmin edicileri elde edilmiş olur. Bu çalışmada iteratif yöntem olarak Newton Raphson yöntemi kullanılmıştır.

2.2 Burr III Dağılımı

Burr (1942) tarafından önerilen Burr III dağılımı meteoroloji ve aktüerya gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bir dağılımdır.

Burr III dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = kcx^{-(c+1)}(1 + x^{-c})^{-(k+1)}, \quad x > 0, \quad c, k > 0 \quad (2.8)$$

ve

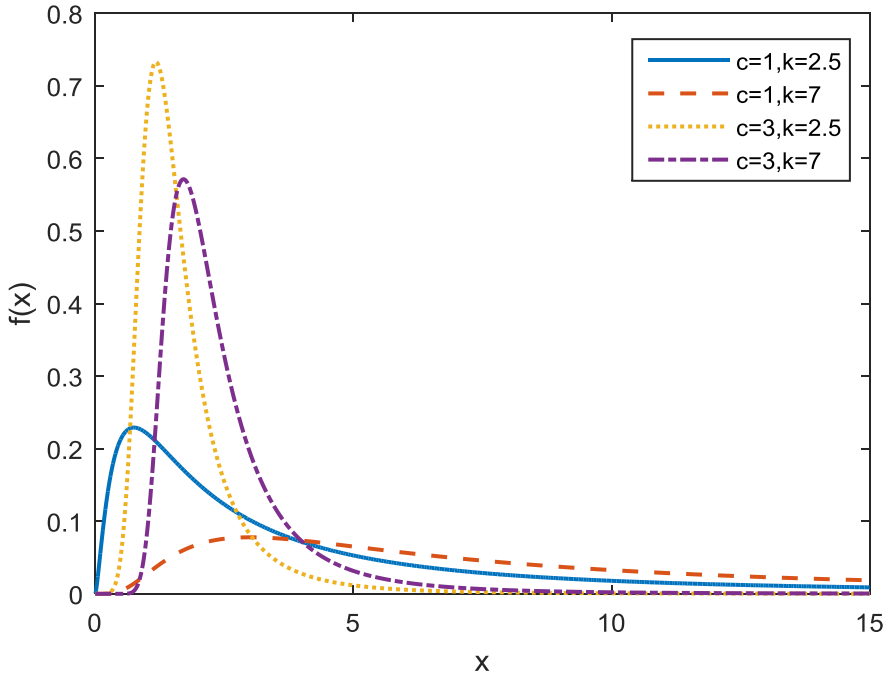
$$F(x) = (1 + x^{-c})^{-k}, \quad x > 0, \quad c, k > 0. \quad (2.9)$$

Burada c ve k şekil parametreleridir. Burr III dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibidir:

$$E(X) = \frac{\Gamma\left(k+\frac{1}{c}\right)\,\Gamma\left(1-\frac{1}{c}\right)}{\Gamma(k)}, \tag{2.10}$$

$$V(X) = \frac{\Gamma\left(k+\frac{1}{c}\right)\,\Gamma\left(1-\frac{1}{c}\right)}{\Gamma(k)}\ . \tag{2.11}$$

Dağılımın şeklinin anlaşılabilmesi için farklı parametre değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Farklı parametre değerleri için Burr III oyf grafikleri

ML tahmin edicisi: Burr III dağılımının bilinmeyen parametreleri c ve k'nın ML tahmin edicisini elde etmek için $\ln L$ fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\ln L = n\ln k + n\ln c - (c+1)\sum_{i=1}^{n}\ln x_i - (k+1)\sum_{i=1}^{n}\ln(1+x_i^{-c}). \tag{2.12}$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler c ve k'ye göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial c} = \frac{n}{c} - \sum_{i=1}^{n} \ln x_i + (k+1) \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^{-c} \ln x_i}{\ln(1 + x_i^{-c})} = 0, \tag{2.13}$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial k} = \frac{n}{k} - \sum_{i=1}^{n} \ln(1 + x_i^{-c}) = 0. \tag{2.14}$$

Eşitlik (2.13)-(2.14)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. c ve k'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

2.3 Ters Weibull Dağılımı

IW dağılımı Keller vd. (1982) tarafından önerilmiştir. Bu dağılım mühendislik, hidroloji, ekoloji ve enerji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir dağılımdır. IW dağılımının, Weibull dağılımına göre daha kalın sağ kuyruklu olması veri modellenmesinde esneklik sağlamaktadır (Akgül vd., 2016). Bundan dolayı Weibull dağılımına alternatif olarak kullanılabilmektedir.

IW dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{x}{\beta}\right)^{-(\alpha+1)} e^{-(x/\beta)^{-\alpha}}, \quad x > 0, \quad \alpha, \beta > 0 \tag{2.15}$$

ve

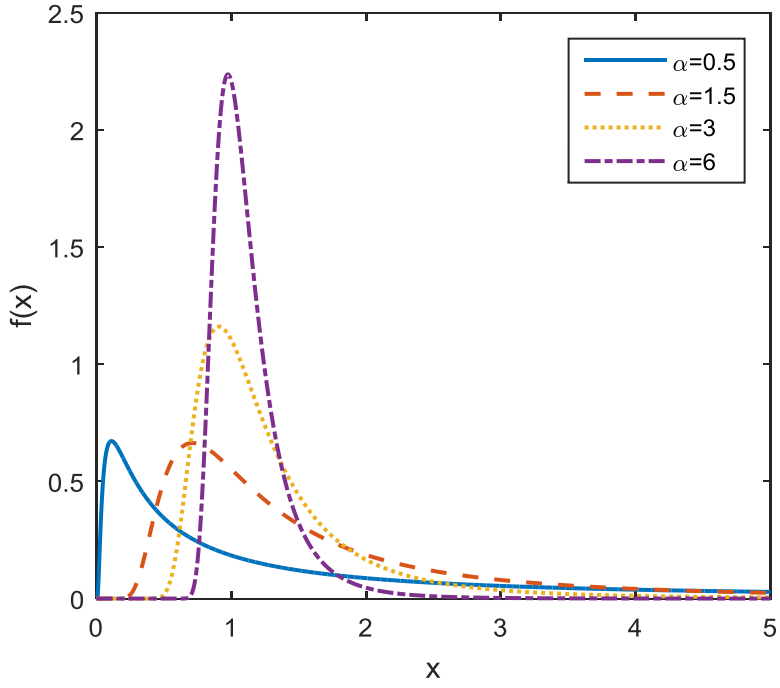
$$F(x) = e^{-(x/\beta)^{-\alpha}}, \quad x > 0, \quad \alpha, \beta > 0. \tag{2.16}$$

Burada, α şekil ve β ölçek parametresidir. IW dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E(X) = \beta\Gamma\left(\frac{\alpha-1}{\alpha}\right), \tag{2.17}$$

$$V(X) = \beta^2\left[\Gamma\left(\frac{\alpha-2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(\frac{\alpha-1}{\alpha}\right)\right]. \tag{2.18}$$

Dağılımın şeklinin anlaşılabilmesi için farklı şekil parametresi değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Farklı parametre değerleri için IW oyf grafikleri; β=1

ML tahmin edicisi: IW dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β'nın ML tahmin edicilerini elde etmek için $\ln L$ fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L = n\ln\alpha + n\alpha\ln\beta - (\alpha+1)\sum_{i=1}^{n}\ln x_i - \beta^{\alpha}\sum_{i=1}^{n}x_i^{-\alpha}\,. \tag{2.19}$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler α ve β'ya göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = \frac{n}{\alpha} + n \ln \beta - \sum_{i=1}^{n} \ln x_i - \beta^{\alpha} \ln \beta \sum_{i=1}^{n} x_i^{-\alpha} + \beta^{\alpha} \sum_{i=1}^{n} x_i^{-\alpha} \ln x_i = 0, \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \frac{n\alpha}{\beta} - \alpha \beta^{\alpha-1} \sum_{i=1}^{n} x_i^{-\alpha} = 0. \quad (2.21)$$

Eşitlik (2.20)-(2.21)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. α ve β'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

2.4 Genelleştirilmiş Lindley Dağılımı

Nadarajah vd. (2011) tarafından önerilen GL dağılımı yaşam testi ve güvenirlik analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir dağılımdır.

GL dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^2}{\beta+1}(1+x)\left(1 - \frac{1+\beta+\beta x}{1+\beta}\, e^{-\beta x}\right)^{\alpha-1} e^{-\beta x}, \; x > 0, \;\; \alpha, \beta > 0 \quad (2.22)$$

ve

$$F(x) = \left(1 - \frac{1+\beta+\beta x}{1+\beta}\, e^{-\beta x}\right)^{\alpha}, \;\; x > 0, \;\; \alpha, \beta > 0. \quad (2.23)$$

Burada, α şekil ve β ölçek parametresidir. GL dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E(X) = \frac{\alpha\beta^2}{1+\beta}\, K(\alpha, \beta, 1, \beta), \quad (2.24)$$

$$V(X) = \frac{\alpha\beta^2}{1+\beta} K(\alpha, \beta, 2, \beta) \left[\frac{\alpha\beta^2}{1+\beta} K(\alpha, \beta, 1, \beta)\right]^2. \quad (2.25)$$

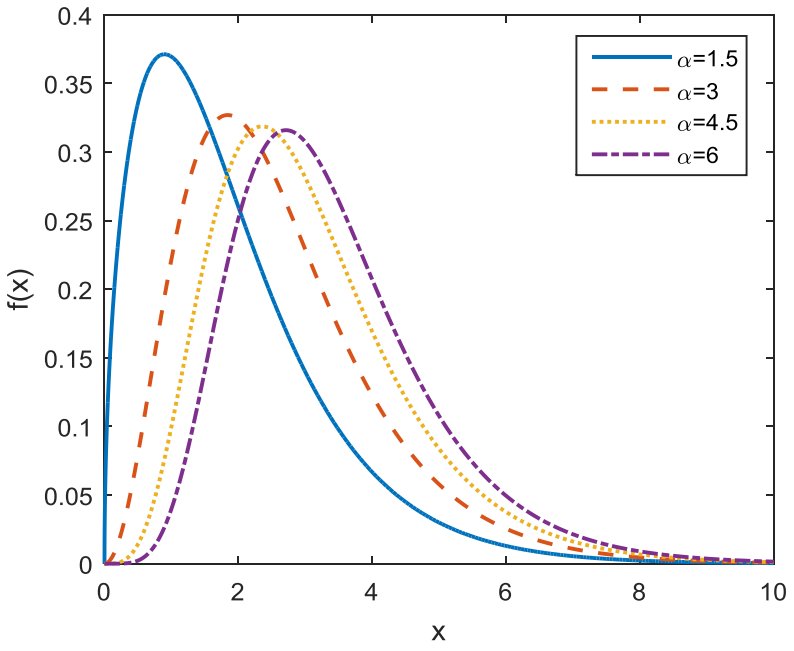
Burada,

$$K(\alpha,\beta,1,\beta)=\sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=0}^{i}\sum_{k=0}^{j+1}\binom{\alpha-1}{i}\binom{i}{j}\binom{j+1}{k}\frac{(-1)^i\,\beta^j\Gamma(k+2)}{(1+\beta)^i(\beta i+\beta)^{k+2}}\quad , \qquad (2.26)$$

$$K(\alpha,\beta,2,\beta)=\sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=0}^{i}\sum_{k=0}^{j+1}\binom{\alpha-1}{i}\binom{i}{j}\binom{j+1}{k}\frac{(-1)^i\,\beta^j\Gamma(k+3)}{(1+\beta)^i(\beta i+\beta)^{k+3}}. \qquad (2.27)$$

şeklindedir.

Dağılımın şeklinin anlaşılabilmesi için farklı şekil parametresi değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 Farklı parametre değerleri için GL oyf grafikleri; β=1

ML tahmin edicisi: GL dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β'nın ML tahmin edicilerini elde etmek için ln L fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L = n\left[\ln\alpha + 2\ln\beta - ln(\beta+1)\right] + \sum_{i=1}^{n}\ln(1+x_i)$$

$$+(\alpha-1)\sum_{i=1}^{n} ln\left(1-\frac{1+\beta+\beta x}{1+\beta}\,e^{-\beta x}\right) - \beta\sum_{i=1}^{n} x_i\,. \qquad (2.28)$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler α ve β'ya göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial\alpha} = \frac{n}{\alpha} + \sum_{i=1}^{n} ln\left(1-\frac{1+\beta+\beta x}{1+\beta}\,e^{-\beta x}\right) = 0, \qquad (2.29)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial\beta} = \frac{2n}{\beta} - \frac{n}{\beta} - \sum_{i=1}^{n} x_i + (\alpha+1)\sum_{i=1}^{n}\frac{1-\left[\frac{1}{(1+\beta)^2}e^{-\beta x} - xe^{-\beta X}\right]}{\left(1-\frac{1+\beta+\beta x}{1+\beta}e^{-\beta x}\right)}$$

$$-(\alpha+1)\sum_{i=1}^{n}\frac{\left[\frac{1}{(1+\beta)^2}e^{-\beta x} - xe^{-\beta X}\right]}{\left(1-\frac{1+\beta+\beta x}{1+\beta}e^{-\beta x}\right)} = 0\,. \qquad (2.30)$$

Eşitlik (2.29)-(2.30)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. α ve β'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

2.5 Power Lindley Dağılımı

Ghitany vd. (2013) tarafından önerilen PL dağılımı mühendislik, biyoloji, biyomedikal, aktüerya ve tıp alanındaki çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

PL dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^2}{\beta+1}(1+x^{\alpha})x^{\alpha-1}e^{-\beta x^{\alpha}},\quad x>0\quad \alpha,\beta>0 \qquad (2.31)$$

ve

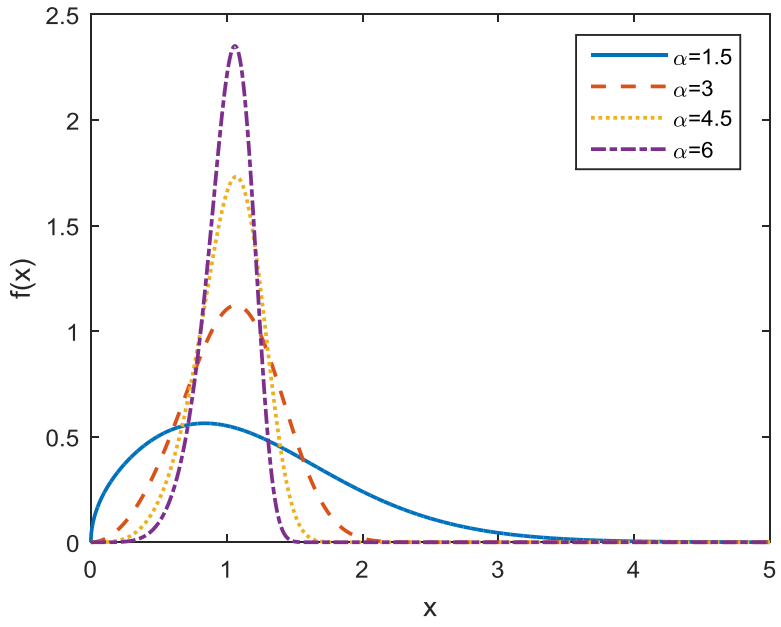
$$F(x) = 1 - \left(1 + \frac{\beta}{\beta+1}x^{\alpha}\right)e^{-\beta x^{\alpha}}, \quad x > 0, \quad \alpha, \beta > 0. \tag{2.32}$$

Burada, α şekil ve β ölçek parametresidir. PL dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır

$$E(X) = \left(\frac{\alpha\beta+\alpha+1}{(\beta+1)\alpha^2\beta^{\frac{1}{\alpha}}}\right)\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right), \tag{2.33}$$

$$V(X) = \frac{1}{\beta^{\frac{2}{\alpha}}(\beta+1)^2\alpha^4}\left[2\alpha^2(\beta+1)(\alpha\beta+\alpha+2)\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - (\alpha\beta+\alpha+1)^2\Gamma^2\left(\frac{1}{\alpha}\right)\right]. \tag{2.34}$$

Dağılımın şeklinin anlaşılabilmesi için farklı şekil parametresi değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Farklı parametre değerleri için PL oyf grafikleri; β=1

ML tahmin edicisi: PL dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β'nın ML tahmin edicilerini elde etmek için ln *L* fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L = n\left[\ln\alpha + 2\ln\beta - ln(\beta+1)\right] + \sum_{i=1}^{n}\ln(1+x_i^{\alpha})$$
$$+(\alpha-1)\sum_{i=1}^{n} lnx_i - \beta\sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha}. \qquad (2.35)$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler α ve β'ya göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial\alpha} = \frac{n}{\alpha} + \sum_{i=1}^{n} ln\, x_i - \beta\sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha} lnx_i + -\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^{\alpha} lnx_i}{1+x_i^{\alpha}} = 0\,, \qquad (2.36)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial\beta} = \frac{2n}{\beta} - \frac{n}{\beta} - \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha} \;= 0\,. \qquad (2.37)$$

Eşitlik (2.36)-(2.37)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. α ve β'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

2.6 Genelleştirilmiş Ters Lindley Dağılımı

Sharma vd. (2016) tarafından önerilen GIL dağılımı, alt-üst u-şekilli (upside-down bahtub-shaped) bozulma oranına sahip verileri modellemek için kullanılmaktadır.

GIL dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^2}{1+\beta}\left(\frac{1+x^{\alpha}}{x^{2\alpha+1}}\right)e^{-\frac{\beta}{x^{\alpha}}},\;\; x>0,\;\; \alpha,\beta>0 \qquad (2.38)$$

ve

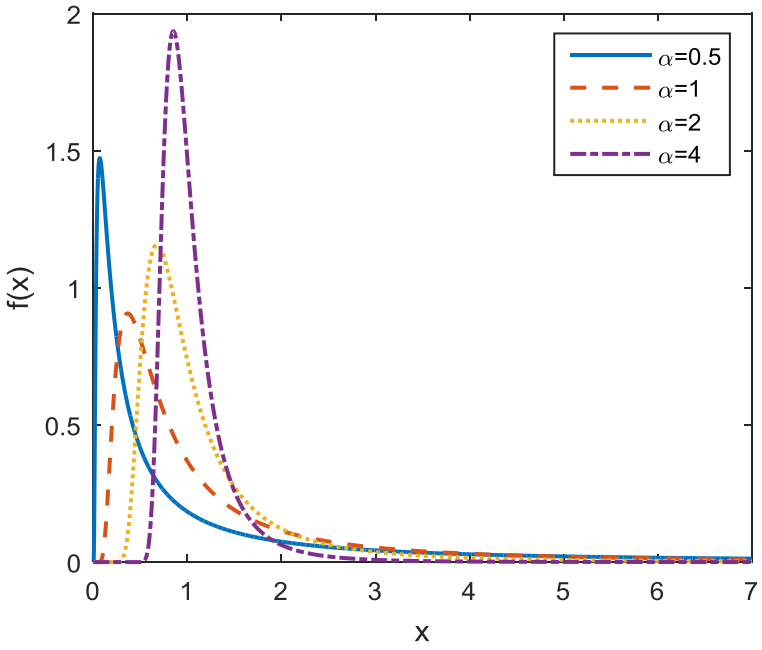
$$F(x) = \left(1+\frac{\beta}{\beta+1}\,\frac{1}{x^{\alpha}}\right)e^{-\frac{\beta}{x^{\alpha}}} \;\;,\;\; x>0,\;\; \alpha,\beta>0. \qquad (2.39)$$

Burada, α şekil ve β ölçek parametresidir. GIL dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E(X) = \left(\frac{\beta^{\frac{1}{\alpha}}\,(\,\alpha(1+\beta)-1)}{\alpha(1+\beta)}\right)\Gamma\,\frac{\alpha-1}{\alpha}, \quad \alpha > 1, \tag{2.40}$$

$$V(X) = \frac{\beta^{\frac{2}{\alpha}}}{(\beta+1)^2\,\alpha^2}\left[\frac{\alpha(1+\beta)(\,\alpha(1+\beta)-2)}{\left(\Gamma\left(\frac{\alpha-2}{\alpha}\right)-\Gamma^2\left(\frac{\alpha-1}{\alpha}\right)\right)^{-1}} - \Gamma^2\left(\frac{\alpha-1}{\alpha}\right)\right], \quad \alpha > 2. \tag{2.41}$$

Dağılımın şeklinin anlaşılabilmesi için farklı parametre değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Farklı parametre değerleri için GIL oyf grafikleri; β=1

ML tahmin edicisi: GIL dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β'nın ML tahmin edicilerini elde etmek için $\ln L$ fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L = n\ln(\alpha) + 2\ln(\beta) - n\,ln(\beta+1) \; + \sum_{i=1}^{n} \ln(1+x_i^{\alpha})$$

$$+(2\alpha+1)\sum_{i=1}^{n} ln(x_i) - \beta\sum_{i=1}^{n} x_i^{-\alpha}\ . \tag{2.42}$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler α ve β'ya göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = \frac{n}{\alpha} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\ln(x_i)\, x_i^{\alpha}}{1+x_i^{\alpha}} - 2\sum_{i=1}^{n} ln\,(x_i) + \beta\sum_{i=1}^{n} ln(x_i)\, x_i^{-\alpha} = 0\,, \tag{2.43}$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \frac{2n}{\beta} - \frac{n}{1+\beta} - \sum_{i=1}^{n} x_i^{-\alpha}\ = 0. \tag{2.44}$$

Eşitlik (2.43)-(2.44)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. α ve β'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

2.7 Ağırlıklandırılmış Lindley Dağılımı

Ghitany vd. (2011) tarafından önerilen WL dağılımı yaşam verilerinin analizinde yaygın olarak kullanılan diğer dağılımlara göre daha esnek bir yapıya sahiptir.

WL dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = \frac{\beta^{\alpha+1}}{(\beta+\alpha)\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1}(1+x)e^{-\beta x},\ \ x>0,\ \ \alpha,\beta>0 \tag{2.45}$$

ve

$$F(x) = \frac{(\beta+\alpha)\Gamma(\alpha,\beta x)+(\beta x)^{\alpha}e^{-\beta x}}{(\beta+\alpha)\Gamma(\alpha)},\ \ x>0,\ \ \alpha,\beta>0. \tag{2.46}$$

Burada, α şekil ve β ölçek parametresidir. Ayrıca,

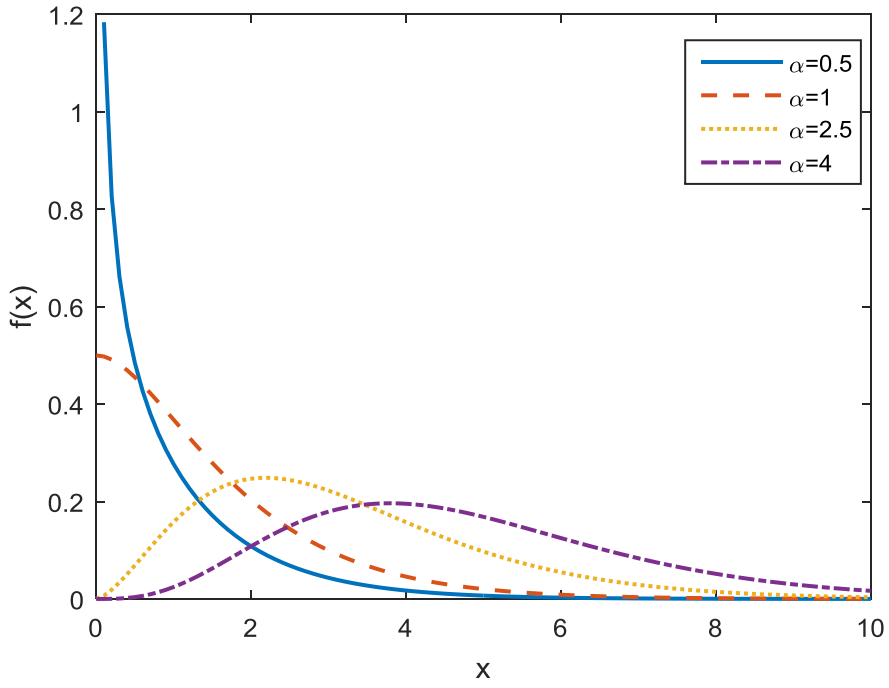
$$\Gamma(\alpha,\beta x)=\int_{\beta x}^{\infty} t^{\alpha-1}e^{-t}dt\,,\quad \alpha>0,\quad \beta x\geq 0. \tag{2.47}$$

üst incomplete gamma (upper incomplete gamma) fonksiyonudur. WL dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E(X)=\frac{\alpha(\beta+\alpha+1)}{\beta(\beta+\alpha)}, \tag{2.48}$$

$$V(X)=\frac{(\alpha+1)(\beta+\alpha)^2-\beta^2}{\beta^2(\beta+\alpha)^2}. \tag{2.49}$$

Dağılımın şeklinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı parametre değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Farklı parametre değerleri için WL oyf grafikleri; β=1

ML tahmin edicisi: WL dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β nın ML tahmin edicilerini elde etmek için $\ln L$ fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L=n\left[(\alpha+1)\ln(\beta)-\ln\big(\Gamma(\alpha)\big)-\ln(\beta+\alpha)\right]$$

$$+(\alpha-1)\sum_{i=1}^{n}\ln(x_i)+\sum_{i=1}^{n}\ln(1+x_i)-n\bar{x}\beta. \quad (2.50)$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler α ve β'ya göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha}=n\left[\ln(\beta)-\frac{1}{\beta+\alpha}-\psi(\alpha)\right]+\sum_{i=1}^{n}\ln(x_i)=0\,, \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta}=n\left[\frac{\alpha+1}{\beta}-\frac{1}{\beta+\alpha}\right]-n\bar{x}\ =0\,. \quad (2.52)$$

Burada, $\psi(.)$ digamma fonksiyonudur ve $\psi(\alpha)=\left(\frac{d}{d\alpha}\right)ln\Gamma(\alpha)$ şeklinde tanımlanır.

Eşitlik (2.51)-(2.52)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. α ve β'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

2.8 Yeni Ağırlıklandırılmış Lindley Dağılımı

Asgharzadeh vd. (2016) tarafından önerilen NWL dağılımı Lindley ve Ağırlıklandırılmış Lindley dağılımlarının karmasıdır.

NWL dağılımının oyf ve df sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x)=\frac{\beta^2\,(1+\alpha)^2}{\alpha\beta(1+\alpha)+\alpha(2+\alpha)}(1+x)\left(1-e^{-\beta\alpha x}\right)e^{-\beta x},\quad x>0,\alpha,\beta>0 \quad (2.53)$$

ve

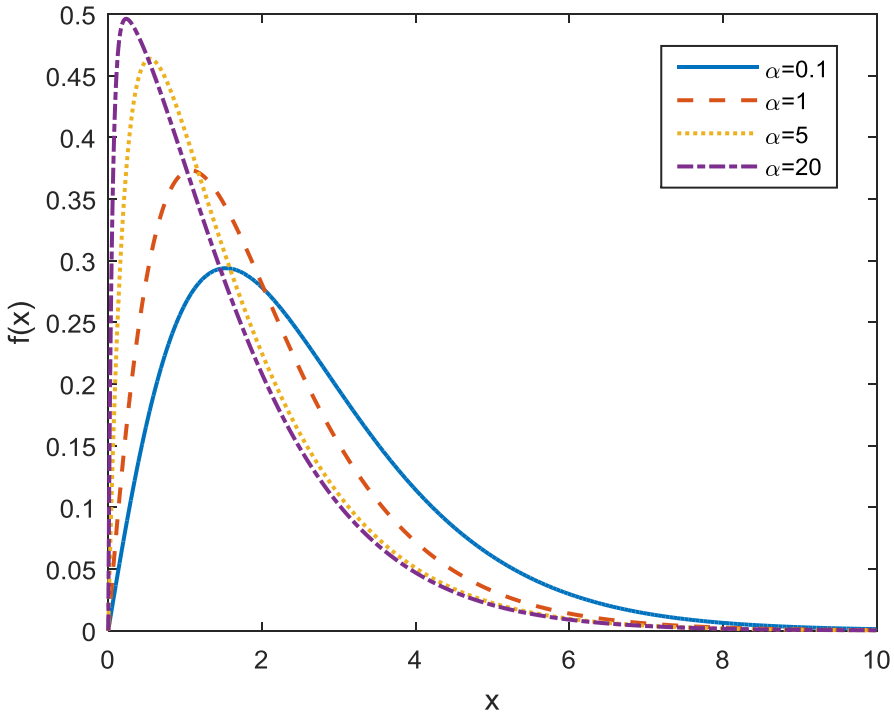
$$F(x)=1-\frac{e^{-\beta x}\{(1+\alpha)^2(1+\beta+\beta x)-[\beta(1+\alpha)(1+x)+1]e^{-\alpha\beta x}\}}{\alpha\beta(1+\alpha)+\alpha(2+\alpha)},\ x>0,\ \ \alpha,\beta>0. \quad (2.54)$$

Burada, α şekil ve β ölçek parametresidir. NWL dağılımının beklenen değeri ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E(X) = \frac{(1+\alpha)^3(\beta+2)-(1+\alpha)\beta-2}{\beta(1+\alpha)[\beta\alpha(1+\alpha)+\alpha(2+\alpha)]}, \quad (2.55)$$

$$V(X) = \frac{(1+\alpha)^2(2+2\alpha+\alpha^2)\beta^2+2(1+\alpha)(2+\alpha)(3+3\alpha+2\alpha^2)\beta+2(6+12\alpha+12\alpha^2+6\alpha^3+\alpha^4)}{\beta^2(1+\alpha)^2[\beta(1+\alpha)+2+\alpha]^2}. \quad (2.56)$$

Dağılımın şeklinin anlaşılabilmesi için farklı şekil parametresi değerlerine göre oyf grafikleri Şekil 2.8'da verilmiştir.



Şekil 2.8 Farklı parametre değerleri için NWL oyf grafikleri; β=1

ML tahmin edicisi: NWL dağılımının bilinmeyen parametreleri α ve β'nın ML tahmin edicilerini elde etmek için $\ln L$ fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\ln L = 2n\ln(\beta) + 2n\ln(1+\beta) - n\ln(\alpha) - n\ln[\beta(1+\alpha)+2+\alpha]$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\log(1+x_i)+\sum_{i=1}^{n}\log\left(1-e^{-\alpha\beta x_i}\right)-\beta\sum_{i=1}^{n}x_i. \qquad (2.57)$$

$\ln L$ fonksiyonunun bilinmeyen parametreler α ve β'ya göre türevleri alınarak olabilirlik denklemleri aşağıda verildiği gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha}=\frac{2n}{1+\alpha}+\frac{n[\beta(1+2\alpha)+2(1+\alpha)]}{\alpha[\beta(1+\alpha)+2+\alpha]}+\beta\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i e^{-\alpha\beta x_i}}{1-e^{-\alpha\beta x_i}}=0, \qquad (2.58)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta}=\frac{2n}{\beta}-\frac{n(1+\alpha)}{\beta(1+\alpha)+2+\alpha}+\alpha\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i e^{-\alpha\beta x_i}}{1-e^{-\alpha\beta x_i}}-\sum_{i=1}^{n}x_i=0. \qquad (2.59)$$

Eşitlik (2.58)-(2.59)'de görüldüğü üzere, parametrelerin ML tahmin edicileri analitik olarak elde edilemez. Bu nedenle, iteratif yöntemlere başvurmak gerekmektedir. α ve β'nın ML tahmin edicileri iteratif yöntemler kullanılarak elde edilmiştir.

3. UYGULAMALAR

Türkiye, rüzgâr enerjisi kaynakları açısından büyük potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin belirlenmesinde uzun dönemli meteoroloji verilerinden yararlanılarak ön çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmaların sonuçları değerlendirilerek rüzgâr potansiyeli olduğu düşünülen yerlerde, türbin yüksekliğinde ölçümler yapılmalıdır. Elde edilecek sonuçlar hem zaman hem kaynak israfını önleyecektir (Akkoyunlu, 2015).

Bu çalışmada, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Balıkesir/Bandırma, Bodrum/Turgutreis, İzmir/Karaburun, İzmir/Seferihisar, Afyonkarahisar/Sadıklı ve Çanakkale/Gelibolu istasyonlarına ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak kullanılmıştır. Rüzgâr hızı verilerini modelleyebilmek için Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımları ve bu dağılımların bilinmeyen parametrelerini tahmin etmek için ML yöntemi kullanılmıştır. Rüzgâr hızını modellerken en uygun dağılımı belirlemek için RMSE ve R^2 kriterlerine başvurulmuştur. Bu kriterler sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{F}\left(x_{(i)}\right) - \frac{i}{n+1}\right)^2\right]^{1/2} \tag{3.1}$$

ve

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{F}\left(x_{(i)}\right) - \frac{i}{n+1}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{F}\left(x_{(i)}\right) - \bar{\hat{F}}\left(x_{(i)}\right)\right)^2}\,. \tag{3.2}$$

Burada, $\hat{F}$ tahmin edilen dağılım fonksiyonunu, $x_{(i)}$ sıralanmış gözlemleri, n örneklem boyutunu, $\frac{i}{n+1}\ F\left(x_{(i)}\right)$' nin beklenen değerini ve $\bar{\hat{F}}\left(x_{(i)}\right) = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{n}\hat{F}\left(x_{(i)}\right)$ göstermektedir. RMSE değeri düşük ve R^2 değeri yüksek olan dağılımların veriyi daha iyi modellediği anlamına gelmektedir.

Ayrıca, tahmin edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları ile rüzgâr verilerinin histogramları çizdirilerek veri setleri için uygun dağılım veya dağılımlar belirlenmiş olacaktır. Tüm hesaplamalar Matlab 2013 programı kullanılarak yapılmıştır.

3.1 Balıkesir/Bandırma rüzgâr hızı verisi

Bu çalışmada, Balıkesir/Bandırma'ya ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak ele alınmıştır. Bu veri setine ait ortalama, varyans, çarpıklık, basıklık, maksimum değerleri ile kullanılan veri sayısı Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Balıkesir/Bandırma için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerine ait betimsel istatistikler

	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	Max	n
Kış	4.3126	11.5452	1.0900	3.5920	16.90	2139
İlkbahar	3.4799	6.4122	1.3471	4.6716	13.70	2022
Yaz	5.0799	5.5796	0.0816	2.3205	12.10	1994
Sonbahar	4.3666	7.3129	0.6135	2.8605	14.70	2120
Yıllık	4.3079	8.0784	0.8415	3.4124	16.90	8275

Tablo 3.1 incelendiğinde, Balıkesir/Bandırma'ya ait en yüksek ortalama rüzgâr hızının yaz mevsimine ait olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızı verilerinin varyansının en yüksek olduğu mevsim kış mevsimidir. Çarpıklık katsayısı değerleri tüm mevsimler için 0'dan büyüktür. Yani, rüzgâr hızı verileri pozitif çarpıktır. Basıklık katsayısı değerlerinin 3'den büyük olduğu kış ve ilkbahar mevsimlerinde rüzgâr hızı verileri leptokurtiktir. Yani, bu mevsimlerde rüzgâr hızı verilerinde uç veya aykırı değerler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, ilgili veri setlerini modellemek için kalın kuyruklu dağılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, basıklık katsayısı değerlerinin 3'den küçük olduğu yaz ve sonbahar mevsimlerinde rüzgâr hızı verileri platykurtiktir. Yani, ilgili veri setleri kısa kuyruklu dağılımlar kullanılarak modellenebilmektedir. Rüzgâr hızının kış mevsiminde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

Tablo 3.2'de Balıkesir/Bandırma'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek için kullanılan Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL

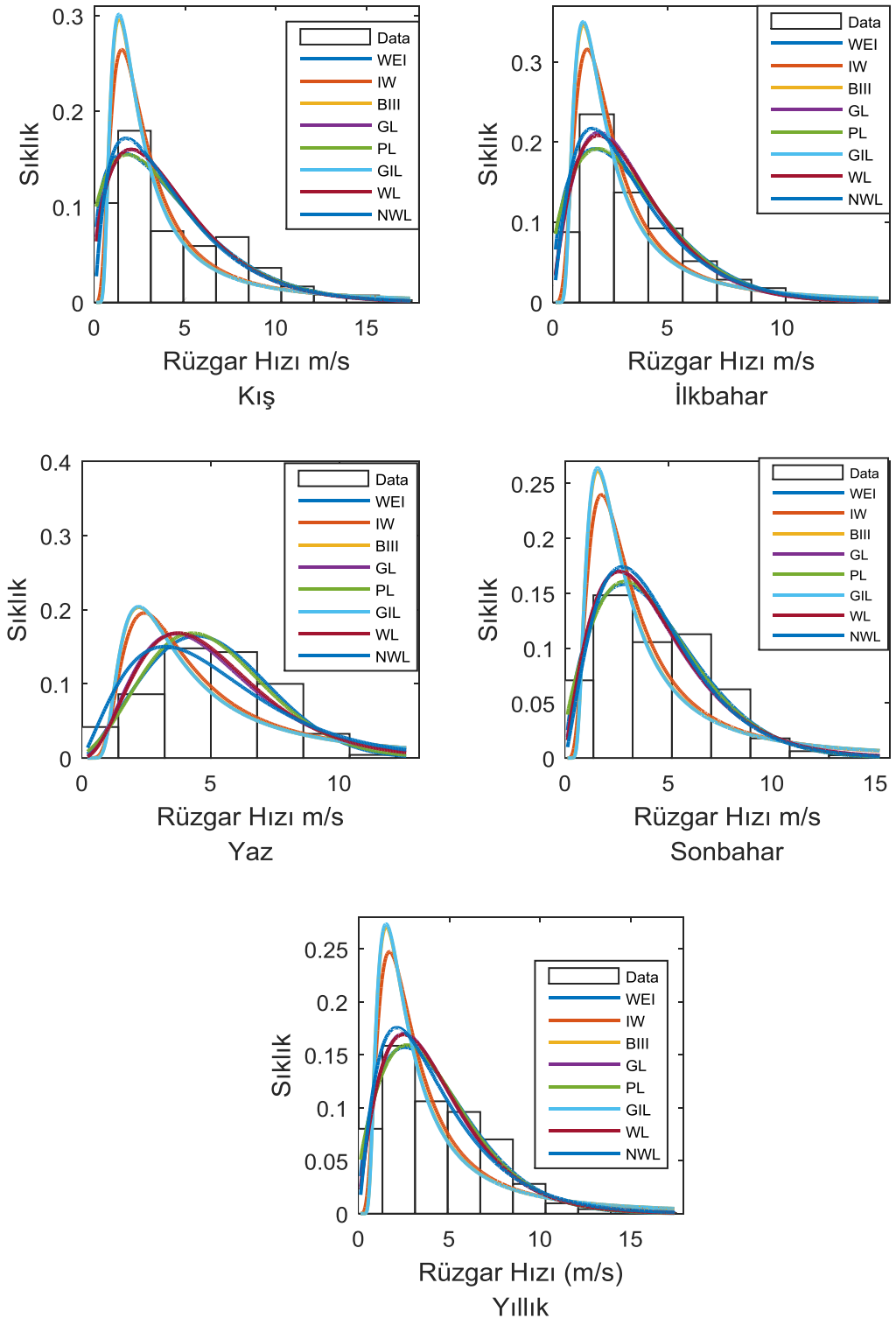
dağılımlarının parametrelerinin ML tahminleri ve bu tahminlere dayalı olarak elde edilen RMSE ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2 Balıkesir/Bandırma rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri

	Model	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{c}$	$\hat{k}$	RMSE	R^2
Kış	Weibull	1.3289	4.7159			0.0514	0.9708
	Burr III			1.5199	3.7426	**0.0453**	**0.9779**
	IW	1.3217	2.0708			**0.0442**	**0.9779**
	GL	1.2131	0.4389			0.0576	0.9655
	PL	1.0434	0.3715			0.0515	0.9707
	GIL	1.2837	3.1936			**0.0444**	**0.9776**
	WL	1.2660	0.4633			0.0585	0.9645
	NWL	5.1429	0.4200			0.0547	0.9692
İlkbahar	Weibull	1.4786	3.8758			0.0351	0.9850
	Burr III			1.7158	3.6885	0.0311	0.9888
	IW	1.4551	1.8815			0.0367	0.9832
	GL	1.6686	0.6169			0.0367	0.9851
	PL	1.1746	0.3801			0.0352	0.9849
	GIL	1.4065	3.0764			0.0375	0.9824
	WL	1.7046	0.6741			0.0369	0.9847
	NWL	2.2246	0.5462			**0.0251**	**0.9926**
Yaz	Weibull	2.2896	5.7298			**0.0275**	**0.9916**
	Burr III			1.6117	7.2829	0.0934	0.8609
	IW	1.4357	3.1743			0.1013	0.8266
	GL	2.6143	0.5219			0.0491	0.9706
	PL	1.6115	0.1242			0.0325	0.9881
	GIL	1.4165	5.9192			0.1017	0.8245
	WL	2.9898	0.7461			0.0468	0.9741
	NWL	0.0000	0.5482			0.0615	0.9462
Sonbahar	Weibull	1.6672	4.8978			**0.0363**	**0.9859**
	Burr III			1.5378	4.5219	0.0645	0.9494
	IW	1.3392	2.3653			0.0703	0.9366
	GL	1.6729	0.5017			0.0411	0.9820
	PL	1.2598	0.2633			0.0377	0.9848
	GIL	1.3059	3.7683			0.0708	0.9353
	WL	1.8078	0.5869			0.0411	0.9822
	NWL	0.001	0.6320			0.0465	0.9783
Yıllık	Weibull	1.5738	4.8144			**0.0317**	**0.9890**
	Burr III			1.5459	4.3501	0.0555	0.9635
	IW	1.3407	2.2885			0.0607	0.9537
	GL	1.5789	0.4957			0.0361	0.9861
	PL	1.2058	0.2899			0.0329	0.9882
	GIL	1.3056	3.6288			0.0613	0.9526
	WL	1.6843	0.5648			0.0361	0.9662
	NWL	2.5310	0.4431			**0.0319**	**0.9887**

Tablo 3.2 incelendiğinde, Balıkesir/Bandırma'nın kış mevsimine ait veri setini modellemek için kullanılması en uygun olan dağılım IW ve Burr III dağılımlarıdır. Bu dağılımları GIL dağılımı takip etmektedir. İlkbahar mevsimi için en uygun dağılım NWL dağılımıdır. Bu dağılımı Burr III, GL ve Weibull dağılımları takip etmektedir. Yaz mevsimi için en uygun dağılım Weibull dağılımıdır. Bu dağılımı PL dağılımı takip etmektedir. Sonbahar mevsimi için en uygun dağılım Weibull dağılımıdır. Bu dağılımı PL dağılımı takip etmektedir. Bütün bir yıl için analiz yapıldığında rüzgâr hızını modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılım Weibull ve NWL dağılımlarıdır. Bu dağılımları PL dağılımı takip etmektedir.

Tablo 3.2'yi doğrulamak için Balıkesir/Bandırma'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ile çeşitli dağılım varsayımları altında elde edilen parametre tahminlerine dayalı oyf grafikleri birlikte çizdirilmiştir. Böylelikle en iyi modelleme performansına sahip istatistiksel dağılım belirlenmiştir. Yani, Tablo 3.2 ile Şekil 3.1'den elde edilen sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.



Şekil 3.1 Balıkesir/Bandırma rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler

3.2 Bodrum /Turgutreis rüzgâr hızı verisi

Çalışmada, analiz edilecek ikinci istasyon olan Bodrum/Turgutreis'e ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak ele alınmıştır. Bu veri setine ait ortalama, varyans, çarpıklık, basıklık, maksimum değerleri ile kullanılan veri sayısı Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Bodrum/Turgutreis için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri

	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	max	n
Kış	3.4848	4,8385	1,0690	3,6961	12.90	2147
İlkbahar	2.9706	3.8230	1.5190	5.8976	12.80	2077
Yaz	1.9393	1.0526	0.9308	3.2813	5.50	2002
Sonbahar	2.3572	1.9862	1.5353	6.1521	9.60	2159
Yıllık	2.6981	3.2919	1.6217	6.1836	12.90	8385

Tablo 3.3 incelendiğinde, Bodrum/Turgutreis'e ait en yüksek ortalama rüzgâr hızının kış mevsimine ait olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızı verilerinin varyansının en yüksek olduğu mevsim kış mevsimidir. Çarpıklık katsayısı değerleri tüm mevsimler için 0'dan büyüktür. Yani, rüzgâr hızı verileri pozitif çarpıktır. Basıklık katsayısı değerlerinin 3'den büyük olduğu tüm mevsimlerde rüzgâr hızı verileri leptokurtiktir. Yani, bu mevsimlerde rüzgâr hızı verilerinde uç veya aykırı değerler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, ilgili veri setlerini modellemek için kalın kuyruklu dağılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr hızının kış mevsiminde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

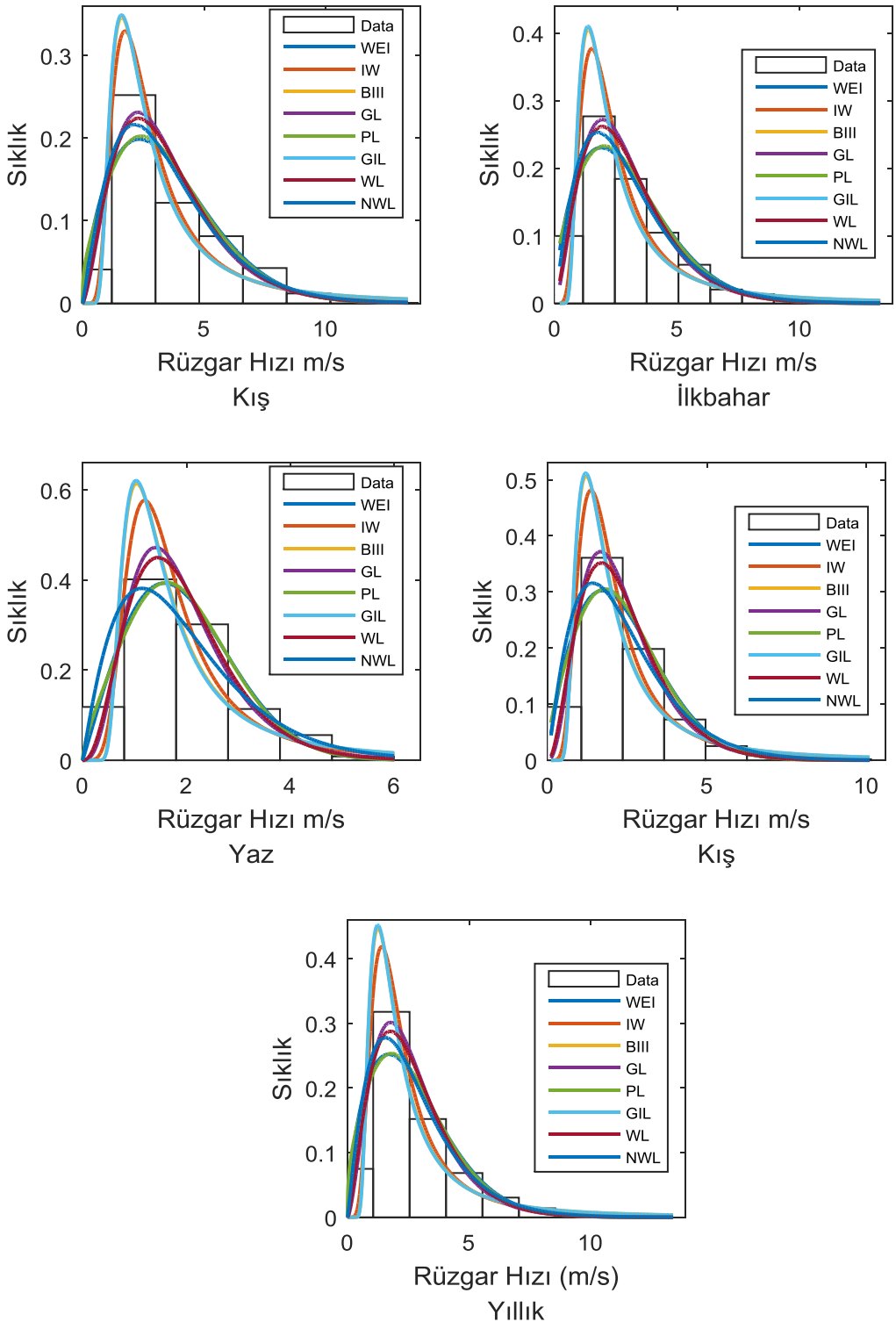
Tablo 3.4'te Bodrum/Turgutreis'e ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek için kullanılan Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının parametrelerinin ML tahminleri ve bu tahminlere dayalı olarak elde edilen RMSE ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 3.4 Bodrum/Turgutreis rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri

	Model	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{c}$	$\hat{k}$	RMSE	R^2
Kış	Weibull	1.7010	3.9337			0.4490	0.9763
	Burr III			1.9513	5.0071	0.0395	0.9228
	IW	1.7150	2.1060			**0.0374**	**0.9836**
	GL	2.2605	0.7007			0.0458	0.9778
	PL	1.3231	0.3128			0.0450	0.9765
	GIL	1.6799	4.2052			0.0375	0.9834
	WL	2.2773	0.8617			0.0457	0.9775
	NWL	0.2138	0.7133			**0.0375**	**0.9837**
İlkbahar	Weibull	1.6485	3.3470			0.0354	0.9839
	Burr III			1.9810	3.8880	0.0311	0.9888
	IW	1.6999	1.7866			0.0372	0.9830
	GL	2.3449	0.8203			0.0309	0.9893
	PL	1.3174	0.3800			0.0352	0.9842
	GIL	1.6487	3.2591			0.0380	0.9824
	WL	2.2837	1.0027			0.0318	0.9884
	NWL	0.5482	0.7529			**0.0234**	**0.9931**
Yaz	Weibull	2.0251	2.2001			0.0353	0.9847
	Burr III			2.4626	2.5890	0.0281	0.9908
	IW	1.9193	1.2919			0.0397	0.9794
	GL	3.8742	1.4394			**0.0229**	**0.9942**
	PL	1.6491	0.4896			0.0357	0.9843
	GIL	1.8109	2.1501			0.0410	0.9777
	WL	3.4313	2.0899			**0.0259**	**0.9924**
	NWL	0.0001	1.3401			0.0425	0.9720
Sonbahar	Weibull	1.8060	2.6687			0.0390	0.9797
	Burr III			2.2635	3.2934	0.0266	0.9917
	IW	1.8422	1.5170			0.0341	0.9848
	GL	3.2048	1.1350			**0.0291**	**0.9904**
	PL	1.4661	0.4341			0.0390	0.9799
	GIL	1.7647	2.7023			0.0351	0.9836
	WL	2.9032	1.5107			0.0313	0.9482
	NWL	0.0001	1.1204			0.0342	0.9830
Yıllık	Weibull	1.6251	3.0388			0.0449	0.9732
	Burr III			2.0656	3.4672	**0.0212**	**0.9948**
	IW	1.7152	1.6306			0.0273	0.9905
	GL	2.4278	0.9072			0.0381	0.9835
	PL	1.3138	0.4265			0.0448	0.9735
	GIL	1.6506	2.8695			0.0284	0.9897
	WL	2.3029	1.1041			0.0401	0.9811
	NWL	0.6673	0.8027			0.0321	0.9865

Tablo 3.4 incelendiğinde, Bodrum/Turgutreis'in kış mevsimine ait veri setini modellemek için kullanılması en uygun olan dağılım NWL ve IW dağılımlarıdır. Bu dağılımları GIL dağılımı takip etmektedir. İlkbahar mevsimi için en uygun dağılım NWL dağılımıdır. Bu dağılımı GL, Burr III ve WL dağılımları takip etmektedir. Yaz mevsimi için en uygun dağılım GL ve WL dağılımlarıdır. Bu dağılımları Burr III dağılımı takip etmektedir. Sonbahar mevsimi için en uygun dağılım Burr III dağılımıdır. Bu dağılımı GL dağılımı takip etmektedir. Bütün bir yıl için analiz yapıldığında rüzgâr hızını modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılım Burr III dağılımıdır. Bu dağılımı IW ve GIL dağılımları takip etmektedir.

Tablo 3.4'ü doğrulamak için Bodrum/Turgutreis'e ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ile çeşitli dağılım varsayımları altında elde edilen parametre tahminlerine dayalı oyf grafikleri birlikte çizdirilmiştir. Böylelikle en iyi modelleme performansına sahip istatistiksel dağılım belirlenecektir. Yani, Tablo 3.4 ile Şekil 3.2'den elde edilen sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.



Şekil 3.2 Bodrum/Turgutreis rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler

3.3 İzmir/Karaburun rüzgâr hızı verisi

Çalışmada, rüzgâr hızı analiz edilecek üçüncü istasyon olan İzmir/Karaburun'a ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak ele alınmıştır. Bu veri setine ait ortalama, varyans, çarpıklık, basıklık, maksimum değerleri ile kullanılan veri sayısı Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 İzmir/Karaburun için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri

	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	max	n
Kış	5.7753	16.0179	0.8921	3.5482	24.40	2153
İlkbahar	4.1378	10.7480	1.5992	5.4462	19.30	2202
Yaz	3.0469	3.1220	1.2901	5.0160	12.40	2199
Sonbahar	3.6973	9.4188	1.3931	4.3494	17.40	2177
Yıllık	4.1570	10.8102	1.5202	5.3833	24.40	8731

Tablo 3.5 incelendiğinde, İzmir/Karaburun'a ait en yüksek ortalama rüzgâr hızının kış mevsimine ait olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızı verilerinin varyansının en yüksek olduğu mevsim kış mevsimidir. Çarpıklık katsayısı değerleri tüm mevsimler için 0'dan büyüktür. Yani, rüzgâr hızı verileri pozitif çarpıktır. Basıklık katsayısı değerlerinin 3'den büyük olduğu tüm mevsimlerde rüzgâr hızı verileri leptokurtiktir. Yani, tüm mevsimlerde rüzgâr hızı verilerinde uç veya aykırı değerler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, ilgili veri setlerini modellemek için kalın kuyruklu dağılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr hızının kış mevsiminde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

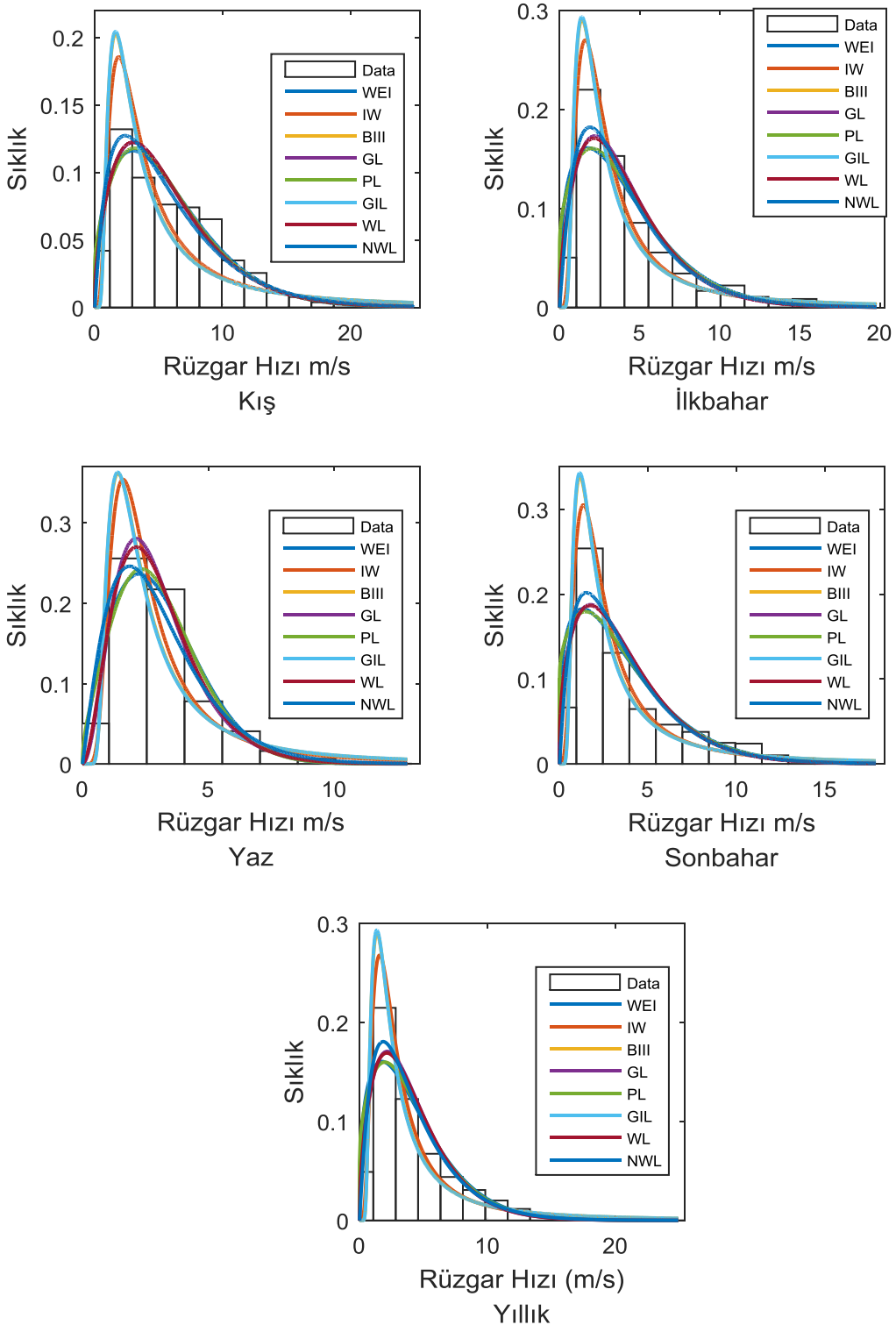
Tablo 3.6'da İzmir/Karaburun'a ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek için kullanılan Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının parametrelerinin ML tahminleri ve bu tahminlere dayalı olarak elde edilen RMSE ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 3.6 İzmir/Karaburun rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri

	Model	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{c}$	$\hat{k}$	RMSE	R^2
Kış	Weibull	1.4730	6.3951			**0.0226**	**0.9943**
	Burr III			1.3392	4.7782	0.0603	0.9551
	IW	1.1457	2.8163			0.0681	0.9352
	GL	1.2838	0.3458			0.0265	0.9923
	PL	1.1129	0.2485			0.0244	0.9934
	GIL	1.1160	3.8769			0.0686	0.9335
	WL	1.3670	0.3727			0.0268	0.9922
	NWL	5.8819	0.3191			0.0246	0.9931
İlkbahar	Weibull	1.3754	4.5632			0.0391	0.9802
	Burr III			1.5995	4.0887	**0.0242**	**0.9928**
	IW	1.3379	2.1275			0.0354	0.9830
	GL	1.4366	0.4944			0.0395	0.9819
	PL	1.0924	0.3582			0.0385	0.9810
	GIL	1.2949	3.3228			0.0366	0.9818
	WL	1.4685	0.5323			0.0401	0.9810
	NWL	3.0891	0.4518			0.0305	0.9889
Yaz	Weibull	1.8433	3.4470			0.0315	0.9862
	Burr III			1.9628	4.3433	0.0425	0.9756
	IW	1.5940	1.9129			0.0575	0.9491
	GL	2.8392	0.8612			**0.0133**	**0.9979**
	PL	1.4539	0.3156			0.0279	0.9885
	GIL	1.5394	3.3901			0.0586	0.9463
	WL	2.7653	1.1400			0.0173	0.9961
	NWL	0.0001	0.8840			0.0306	0.9866
Sonbahar	Weibull	1.3003	4.0323			0.0483	0.9714
	Burr III			1.5876	3.2441	**0.0203**	**0.9952**
	IW	1.2931	1.7927			0.0265	0.9910
	GL	1.2749	0.5161			0.0539	0.9674
	PL	1.0430	0.4288			0.0483	0.9714
	GIL	1.2389	2.6730			0.0277	0.9901
	WL	1.3057	0.5441			0.0173	0.9666
	NWL	4.3110	0.4884			0.0480	0.9742
Yıllık	Weibull	1.3685	4.5771			0.0384	0.9816
	Burr III			1.5695	3.9488	**0.0246**	**0.9927**
	IW	1.3061	2.1015			0.0351	0.9835
	GL	1.3842	0.4835			0.0407	0.9811
	PL	1.0842	0.3612			0.0382	0.9819
	GIL	1.2620	3.2101			0.0362	0.9822
	WL	1.4235	0.5187			0.0412	0.9806
	NWL	3.4793	0.4456			0.0318	0.9888

Tablo 3.6 incelendiğinde, İzmir/Karaburun'un Kış mevsimine ait veri setini modellemek için kullanılması en uygun olan dağılım Weibull ve PL dağılımlarıdır. Bu dağılımları NWL ve GL dağılımları takip etmektedir. İlkbahar mevsimi için en uygun dağılım Burr III dağılımıdır. Bu dağılımı NWL dağılımı takip etmektedir. Yaz mevsimi için en uygun dağılım GL dağılımıdır. Bu dağılımı WL ve PL dağılımları takip etmektedir. Sonbahar mevsimi için en uygun dağılım Burr III dağılımıdır. Bu dağılımı IW ve GIL dağılımları takip etmektedir. Bütün bir yıl için analiz yapıldığında rüzgâr hızını modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılım Burr III dağılımıdır. Bu dağılımı NWL ve IW dağılımları takip etmektedir.

Tablo 3.6'yı doğrulamak için İzmir/Karaburun'a ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ile çeşitli dağılım varsayımları altında elde edilen parametre tahminlerine dayalı oyf grafikleri birlikte çizdirilmiştir. Böylelikle en iyi modelleme performansına sahip istatistiksel dağılım belirlenecektir. Yani, Tablo 3.6 ile Şekil 3.3'ten elde edilen sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.



Şekil 3.3 İzmir/Karaburun rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler

3.4 İzmir/Seferihisar rüzgâr hızı verisi

Çalışmada, rüzgâr hızı analiz edilecek dördüncü istasyon olan İzmir/Seferihisar'e ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak ele alınmıştır. Bu veri setine ait ortalama, varyans, çarpıklık, basıklık, maksimum değerleri ile kullanılan veri sayısı Tablo 3.7'te verilmiştir.

Tablo 3.7 İzmir/Seferihisar için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri

	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	Max	n
Kış	2.1024	2.0804	1.0322	3.8844	7.90	2071
İlkbahar	1.7193	1.1244	0.6320	2.9108	5.70	1941
Yaz	2.0610	1.0741	0.1082	2.1247	5.0	1912
Sonbahar	1.6536	1.0113	0.6794	2.9351	5.60	2082
Yıllık	1.8829	1.3700	0.8532	3.9291	7.90	8006

Tablo 3.7 incelendiğinde, İzmir/Seferihisar'a ait en yüksek ortalama rüzgâr hızı kış mevsimine aittir. Rüzgâr hızı verilerinin varyansının en yüksek olduğu mevsim kış mevsimidir. Çarpıklık katsayısı değerleri tüm mevsimler için 0'dan büyüktür. Yani, rüzgâr hızı verileri pozitif çarpıktır. Basıklık katsayısı değerlerinin 3'den büyük olduğu kış mevsiminde rüzgâr hızı verileri leptokurtiktir. Yani, kış mevsimine ait rüzgâr hızı verilerinde uç veya aykırı değerler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, ilgili veri setini modellemek için kalın kuyruklu dağılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, basıklık katsayısı değerlerinin 3'den küçük olduğu ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde rüzgâr hızı verileri platykurtiktir. Yani, ilgili veri setleri kısa kuyruklu dağılımlar kullanılarak modellenebilmektedir. Rüzgâr hızının kış mevsiminde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

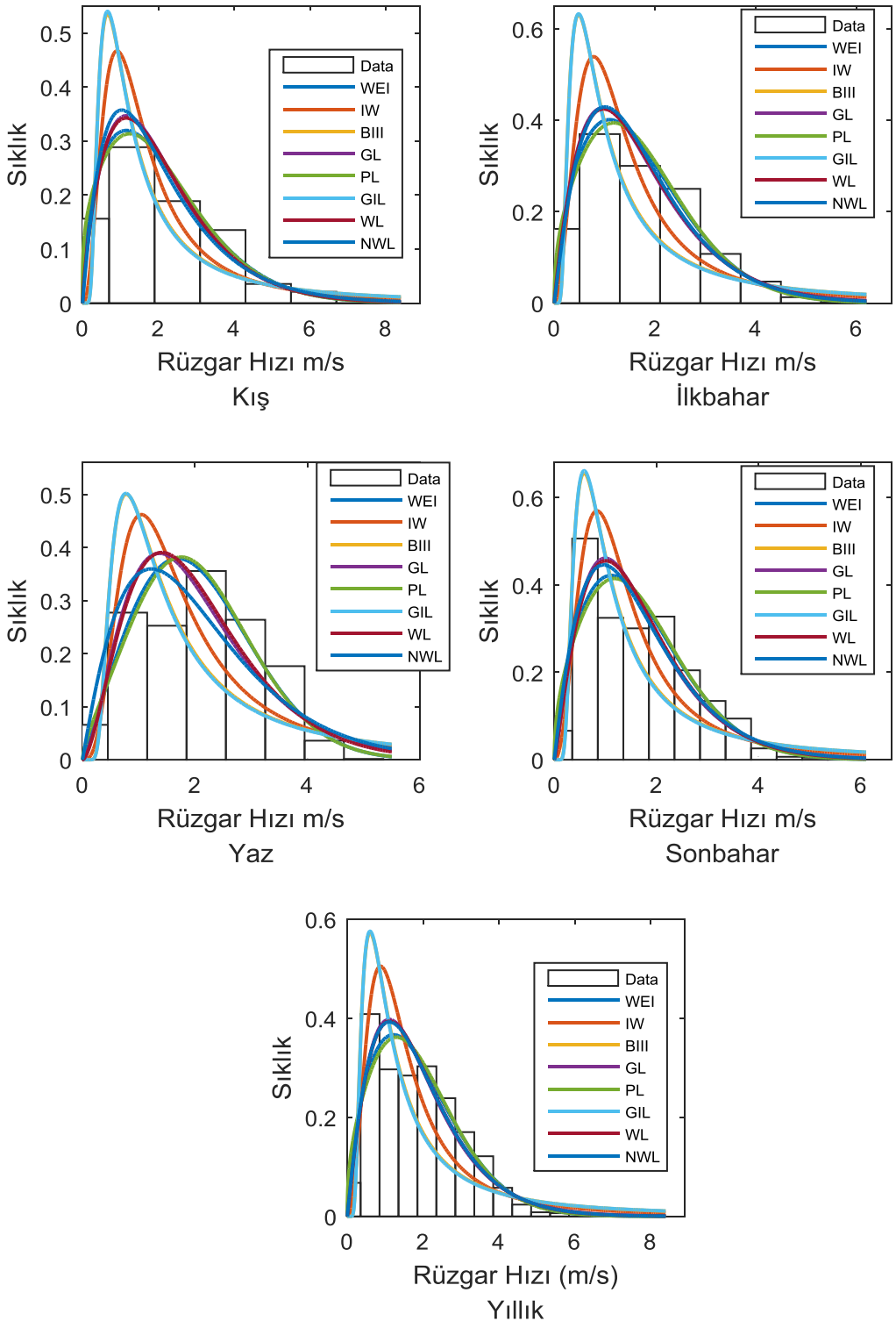
Tablo 3.8'de İzmir/Seferihisar'a ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek için kullanılan Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının parametrelerinin ML tahminleri ve bu tahminlere dayalı olarak elde edilen RMSE ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 3.8 İzmir/Seferihisar rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri

	Model	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{c}$	$\hat{k}$	RMSE	R^2
Kış	Weibull	1.5212	2.3419			**0.0263**	**0.9921**
	Burr III			1.8039	1.8646	0.0454	0.9762
	IW	1.2035	1.0918			0.0567	0.9529
	GL	1.7548	0.9792			0.0295	0.9905
	PL	1.2671	0.5906			0.0270	0.9916
	GIL	1.1049	1.5887			0.0582	0.9494
	WL	1.7735	1.1333			0.0291	0.9907
	NWL	1.7014	0.8909			**0.0260**	**0.9923**
İlkbahar	Weibull	1.6491	1.9218			**0.0224**	**0.9944**
	Burr III			1.8988	1.4776	0.0584	0.9582
	IW	1.0802	0.8823			0.0840	0.8766
	GL	1.8828	1.1982			0.0285	0.9907
	PL	1.4082	0.6720			**0.0219**	**0.9946**
	GIL	0.9711	1.3290			0.0855	0.8691
	WL	1.9174	1.4467			0.0278	0.9912
	NWL	0.000	1.4960			0.0287	0.9908
Yaz	Weibull	2.0812	2.3238			0.0335	0.9878
	Burr III			1.9158	2.1830	0.0804	0.9135
	IW	1.2920	1.2120			0.0974	0.8408
	GL	2.5691	1.1578			0.0487	0.9720
	PL	1.6868	0.4361			**0.0319**	**0.9889**
	GIL	1.1906	1.7776			0.0983	0.8337
	WL	2.6764	1.6021			0.0473	0.9744
	NWL	0.000	1.2674			0.0552	0.9595
Sonbahar	Weibull	1.7100	1.8587			**0.0298**	**0.9902**
	Burr III			2.0567	1.5075	0.0523	0.9687
	IW	1.2747	0.9175			0.0656	0.9359
	GL	2.1744	1.3201			0.0342	0.9872
	PL	1.4531	0.6852			**0.0297**	**0.9902**
	GIL	1.1527	1.3505			0.0640	0.9318
	WL	2.1710	1.6560			0.0336	0.9877
	NWL	0.000	1.5502			0.0303	0.9896
Yıllık	Weibull	1.6635	2.1103			**0.0221**	**0.9944**
	Burr III			1.8938	1.7178	0.0563	0.9618
	IW	1.1793	1.0104			0.0743	0.9111
	GL	1.9988	1.1373			0.0289	0.9906
	PL	1.3982	0.6062			**0.0221**	**0.9945**
	GIL	1.0731	1.4818			0.0758	0.9054
	WL	2.0236	1.3896			0.0280	0.9912
	NWL	0.000	1.3768			0.0276	0.9914

Tablo 3.8 incelendiğinde, İzmir/Seferihisar'ın Kış mevsimine ait veri setini modellemek için kullanılması en uygun olan dağılım NWL ve Weibull dağılımlarıdır. Bu dağılımları PL, WL ve GL dağılımları takip etmektedir. İlkbahar mevsimi için en uygun dağılım PL ve Weibull dağılımlarıdır. Bu dağılımları WL, NWL ve GL dağılımları takip etmektedir. Yaz mevsimi için en uygun dağılım PL dağılımıdır. Bu dağılımı Weibull dağılımı takip etmektedir. Sonbahar mevsimi için en uygun dağılım PL ve Weibull dağılımlarıdır. Bu dağılımları NWL dağılımı takip etmektedir. Bütün bir yıl için analiz yapıldığında rüzgâr hızını modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılım PL ve Weibull dağılımlarıdır. Bu dağılımları NWL, WL ve GL dağılımları takip etmektedir.

Tablo 3.8'i doğrulamak için İzmir/Seferihisar'a ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ile çeşitli dağılım varsayımları altında elde edilen parametre tahminlerine dayalı oyf grafikleri birlikte çizdirilmiştir. Böylelikle en iyi modelleme performansına sahip istatistiksel dağılım belirlenecektir Yani, Tablo 3.8 ile Şekil 3.4'ten elde edilen sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.



Şekil 3.4 İzmir/Seferihisar rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler

3.5 Afyon/Sandıklı rüzgâr hızı verisi

Çalışmada, rüzgâr hızı analiz edilecek olan beşinci istasyon Afyon/Sandıklı'ya ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak ele alınmıştır. Bu veri setine ait ortalama, varyans, çarpıklık, basıklık, maksimum değerleri ile kullanılan veri sayısı Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9 Afyon/Sandıklı için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri

	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	max	n
Kış	2.7304	8.6599	1.7168	5.9751	16.50	2023
İlkbahar	2.6202	4.0608	0.9493	3.0327	10	2182
Yaz	2.2771	2.6122	0.9427	3.0491	7.80	2198
Sonbahar	1.9678	2.8850	1.5794	5.3433	11.50	2126
Yıllık	2.3953	4.5724	1.7293	7.1694	16.50	8529

Tablo 3.9 incelendiğinde, Afyon/Sandıklı'ya ait en yüksek ortalama rüzgâr hızının kış mevsimine ait olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızı verilerinin varyansının en yüksek olduğu mevsim kış mevsimidir. Çarpıklık katsayısı değerleri tüm mevsimler için 0'dan büyüktür. Yani, rüzgâr hızı verileri pozitif çarpıktır. Basıklık katsayısı değerlerinin 3'den büyük olduğu tüm mevsimlerde rüzgâr hızı verileri leptokurtiktir. Yani, bu mevsimlerde rüzgâr hızı verilerinde uç veya aykırı değerler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, ilgili veri setlerini modellemek için kalın kuyruklu dağılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr hızının kış mevsiminde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

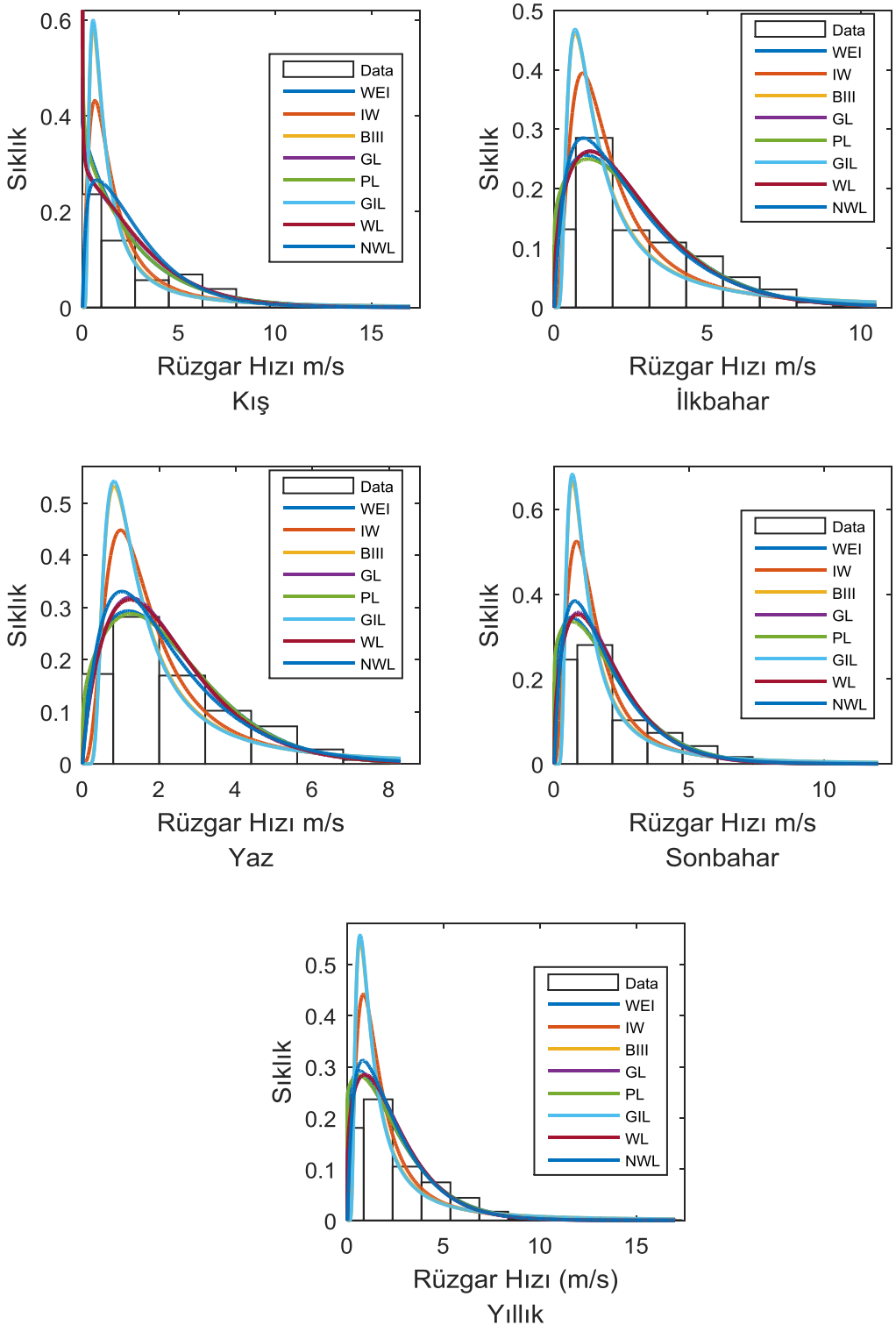
Tablo 3.10'da Afyon/Sandıklı'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek için kullanılan Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının parametrelerinin ML tahminleri ve bu tahminlere dayalı olarak elde edilen RMSE ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 3.10 Afyon/Sandıklı rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri

	Model	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{c}$	$\hat{k}$	RMSE	R^2
Kış	Weibull	0.9929	2.7212			0.0717	0.9401
	Burr III			1.4402	1.5882	0.0587	0.9642
	IW	1.1198	0.9675			0.0436	0.9792
	GL	0.8064	0.5293			0.0868	0.9175
	PL	0.8380	0.7274			0.0715	0.9395
	GIL	1.0318	1.4120			**0.0425**	**0.9801**
	WL	0.8180	0.5230			0.0895	0.9144
	NWL	11.5589	0.6132			0.1165	0.8787
İlkbahar	Weibull	1.3369	2.8635			0.0406	0.9818
	Burr III			1.5830	2.0564	0.0380	0.9836
	IW	1.1055	1.2148			0.0440	0.9728
	GL	1.3108	0.7071			0.0440	0.9794
	PL	1.0990	0.5535			0.0410	0.9813
	GIL	1.0235	1.7276			0.0455	0.9704
	WL	1.3444	0.7572			0.0445	0.9790
	NWL	5.1988	0.6584			**0.0371**	**0.9852**
Yaz	Weibull	1.4825	2.5336			0.0431	0.9793
	Burr III			1.8218	2.0772	0.0432	0.9798
	IW	1.4163	1.2008			0.0444	0.9768
	GL	1.7052	0.9034			0.0461	0.9776
	PL	1.2195	0.5649			0.0430	0.9791
	GIL	1.3217	1.7831			0.0448	0.9761
	WL	1.7223	1.0310			0.0462	0.9775
	NWL	2.5149	0.7926			**0.0348**	**0.9864**
Sonbahar	Weibull	1.2743	2.1395			0.0599	0.9553
	Burr III			1.8958	1.5774	0.0387	0.9839
	IW	1.4338	0.9674			**0.0265**	**0.9920**
	GL	1.4458	0.9544			0.0666	0.9506
	PL	1.0794	0.7387			0.0602	0.9541
	GIL	1.3162	1.4029			**0.0265**	**0.9919**
	WL	1.4255	1.0205			0.0668	0.9497
	NWL	3.7762	0.8697			0.0578	0.9619
Yıllık	Weibull	1.2126	2.56586			0.0499	0.9705
	Burr III			1.6537	1.7934	0.0385	0.9841
	IW	1.2246	1.0778			**0.0318**	**0.9878**
	GL	1.2053	0.7352			0.0589	0.9621
	PL	1.0163	0.6564			0.0503	0.9696
	GIL	1.1311	1.5647			0.0323	0.9872
	WL	1.2170	0.7645			0.0529	0.9617
	NWL	5.7116	0.7093			0.0570	0.9655

Tablo 3.10 incelendiğinde, Afyon/Sandıklı'nın Kış mevsimine ait veri setini modellemek için kullanılması en uygun olan dağılım GIL dağılımıdır. Bu dağılımı IW dağılımı takip etmektedir. İlkbahar mevsimi için en uygun dağılım NWL dağılımıdır. Bu dağılımı Burr III dağılımı takip etmektedir. Yaz mevsimi için en uygun dağılım NWL dağılımıdır. Bu dağılımı Burr III ve Weibull dağılımları takip etmektedir. Sonbahar mevsimi için en uygun dağılım IW dağılımıdır. Bu dağılımı GIL dağılımı takip etmektedir. Bütün bir yıl için analiz yapıldığında rüzgâr hızını modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılım IW dağılımıdır. Bu dağılımı GIL dağılımı takip etmektedir.

Tablo 3.10'u doğrulamak için Afyon/Sandıklı'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ile çeşitli dağılım varsayımları altında elde edilen parametre tahminlerine dayalı oyf grafikleri birlikte çizdirilmiştir. Böylelikle en iyi modelleme performansına sahip istatistiksel dağılım belirlenecektir. Yani, Tablo 3.10 ile Şekil 3.5'ten elde edilen sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.



Şekil 3.5 Afyon/Sandıklı rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf ler

3.6 Çanakkale/Gelibolu Rüzgâr Hızı Verisi

Çalışmada, rüzgâr hızı analiz edilecek olan altıncı istasyon Çanakkale/Gelibou'ya ait 2015 yılı saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak ele alınmıştır. Bu veri setine ait ortalama, varyans, çarpıklık, basıklık, maksimum değerleri ile kullanılan veri sayısı Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11 Çanakkale/Gelibolu için mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin betimsel istatistikleri

	Ortalama	Varyans	Çarpıklık	Basıklık	max	n
Kış	3.4989	4.1313	1.2510	4.3693	12.10	2131
İlkbahar	3.0075	2.3804	1.1534	4.6255	9.80	2107
Yaz	3.5799	2.2919	0.2657	2.4634	8.0	2188
Sonbahar	3.3337	2.8137	0.9178	3.9807	10.30	2179
Yıllık	3.3375	2.9479	1.0119	4.2564	12.10	8605

Tablo 3.11 incelendiğinde, Çanakkale/Gelibolu'ya ait en yüksek ortalama rüzgâr hızı yaz mevsimine aittir. Rüzgâr hızı verilerinin varyansının en yüksek olduğu mevsim kış mevsimidir. Çarpıklık katsayısı değerleri tüm mevsimler için 0'dan büyüktür. Yani, rüzgâr hızı verileri pozitif çarpıktır. Basıklık katsayısı değerlerinin 3'den büyük olduğu kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde rüzgâr hızı verileri leptokurtiktir. Yani, bu mevsimlerde rüzgâr hızı verilerinde uç veya aykırı değerler olduğu söylenebilir. Bu nedenle, ilgili veri setlerini modellemek için kalın kuyruklu dağılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, basıklık katsayısı değerinin 3'den küçük olduğu yaz mevsiminde rüzgâr hızı verileri platykurtiktir. Yani, ilgili veri setleri kısa kuyruklu dağılımlar kullanılarak modellenebilmektedir. Rüzgâr hızının kış mevsiminde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

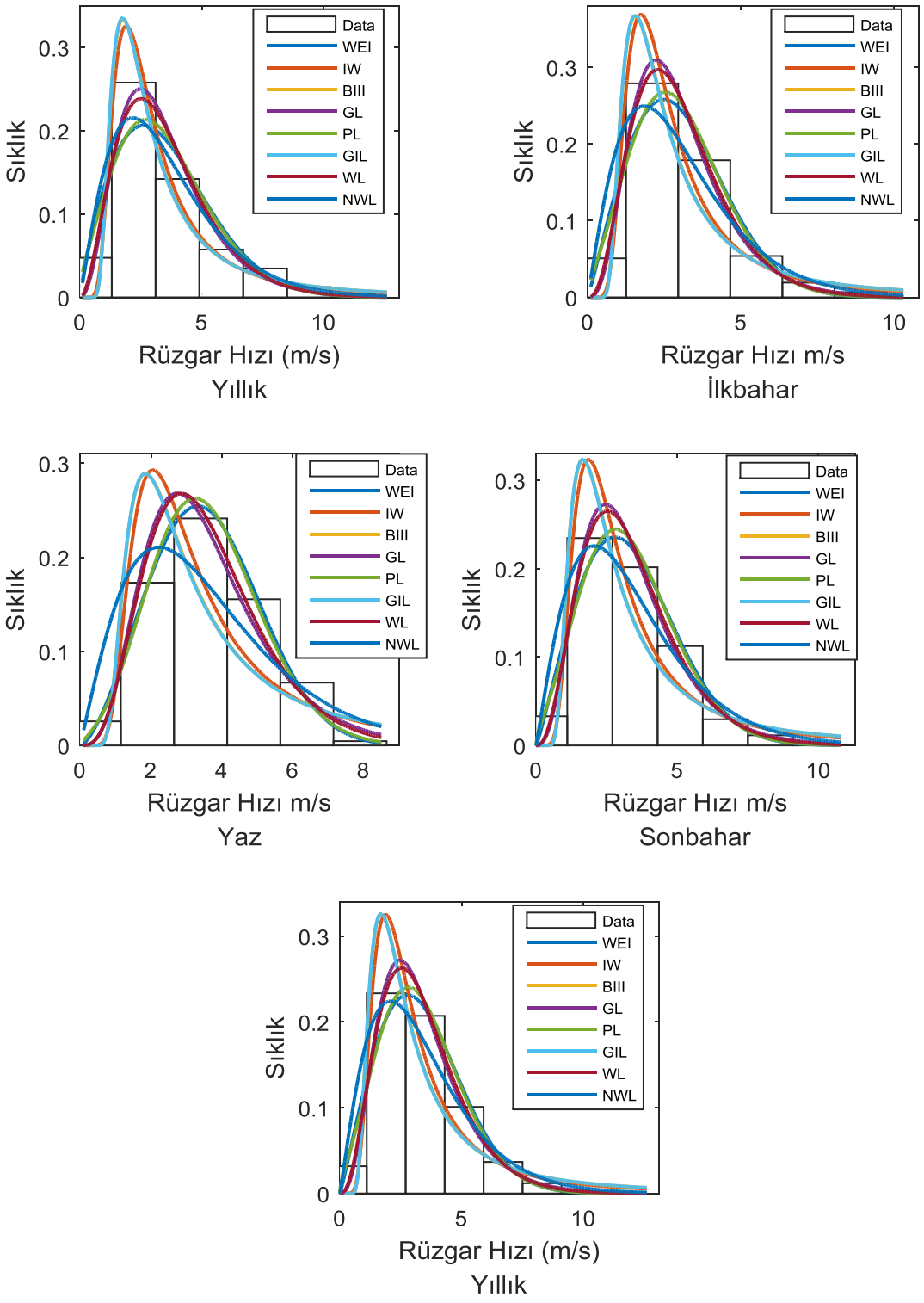
Tablo 3.12'de Çanakkale/Gelibolu'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek için kullanılan Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının parametrelerinin ML tahminleri ve bu tahminlere dayalı olarak elde edilen RMSE ve R^2 değerleri verilmiştir.

Tablo 3.12 Çanakkale/Gelibolu rüzgâr hızı verisi için ML tahminleri

	Model	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{c}$	$\hat{k}$	RMSE	R^2
Kış	Weibull	1.8514	3.9640			0.0430	0.9757
	Burr III			2.0381	6.0006	0.0298	0.9885
	IW	1.7874	2.2520			0.0398	0.9780
	GL	2.9595	0.7753			**0.0267**	**0.9918**
	PL	1.4382	0.2686			0.0412	0.9783
	GIL	1.7554	4.9047			0.0406	0.9770
	WL	2.8466	1.0238			0.0312	0.9885
	NWL	0.0001	0.7774			0.0347	0.9828
İlkbahar	Weibull	2.0724	3.4072			0.0311	0.9871
	Burr III			2.1201	5.2116	0.0460	0.9702
	IW	1.7470	2.0163			0.0608	0.9405
	GL	3.7686	0.9637			**0.0092**	**0.9990**
	PL	1.6157	0.2682			0.0284	0.9895
	GIL	1.6984	4.0046			0.0618	0.9377
	WL	3.5394	1.4144			0.0135	0.9978
	NWL	0.0001	0.8947			0.0523	0.9546
Yaz	Weibull	2.5526	4.0363			**0.0105**	**0.9987**
	Burr III			1.9706	6.7292	0.0715	0.9161
	IW	1.6540	2.4577			0.0854	0.8640
	GL	4.1413	0.8442			0.0271	0.9910
	PL	1.8594	0.1525			**0.0120**	**0.9984**
	GIL	1.6199	5.0567			0.0862	0.8602
	WL	4.2724	1.4037			0.0221	0.9942
	NWL	0.0001	0.7610			0.0719	0.9075
Sonbahar	Weibull	2.1107	3.7747			0.0199	0.9950
	Burr III			1.9945	5.6366	0.0501	0.9640
	IW	1.6595	2.2037			0.0641	0.9326
	GL	3.4610	0.8514			**0.0093**	**0.9990**
	PL	1.6154	0.2309			0.0184	0.9958
	GIL	1.6180	4.3217			0.0650	0.9298
	WL	3.4187	1.2453			**0.0085**	**0.9991**
	NWL	0.0001	0.8123			0.0455	0.9674
Yıllık	Weibull	2.0781	3.8027			0.0240	0.9926
	Burr III			2.0167	5.8110	0.0477	0.9678
	IW	1.6974	2.2239			0.0608	0.9409
	GL	3.4719	0.8479			**0.0071**	**0.9994**
	PL	1.5955	0.2340			0.0218	0.9941
	GIL	1.6580	4.5008			0.0617	0.9386
	WL	3.3934	1.2294			**0.0091**	**0.9990**
	NWL	0.0001	0.8079			0.0448	0.9684

Tablo 3.12 incelendiğinde Çanakkale/Gelibolu'nun kış mevsimine ait veri setini modellemek için kullanılması en uygun olan dağılım GL dağılımıdır. Bu dağılımı Burr III ve WL dağılımları takip etmektedir. İlkbahar mevsimi için en uygun dağılım GL dağılımıdır. Bu dağılımı WL ve PL dağılımları takip etmektedir. Yaz mevsimi için en uygun dağılım Weibull ve PL dağılımlarıdır. Bu dağılımları WL ve GL dağılımları takip etmektedir. Sonbahar mevsimi için en uygun dağılım WL ve GL dağılımlarıdır. Bu dağılımları PL ve Weibull dağılımları takip etmektedir. Bütün bir yıl için analiz yapıldığında rüzgâr hızını modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılım GL ve WL dağılımlarıdır. Bu dağılımları PL ve Weibull dağılımları takip etmektedir.

Tablo 3.12'yi doğrulamak için Çanakkale/Gelibolu'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ile çeşitli dağılım varsayımları altında elde edilen parametre tahminlerine dayalı oyf grafikleri birlikte çizdirilmiştir. Böylelikle en iyi modelleme performansına sahip istatistiksel dağılım belirlenecektir. Yani, Tablo 3.12 ile Şekil 3.6'dan elde edilen sonuçlar birbirleri ile örtüşmektedir.



Şekil 3.6 Çanakkale/Gelibolu rüzgâr hızı için histogram ve ML tahminlerine dayalı oyf
ler

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Balıkesir/Bandırma, Bodrum/Turgutreis, İzmir/Karaburun, İzmir/Seferihisar, Afyon/Sandıklı ve Çanakkale/Gelibolu'ya ait 2015 yılı ortalama rüzgâr hızı verileri mevsimsel ve yıllık olarak kullanılmıştır. Yapılan analizlerle bu istasyonlardan elde edilen mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verileri Weibull, Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımları ile ayrı ayrı modellenmiş ve dağılımların veri modelleme performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar RMSE ve R^2 kriterleri kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra her bir istasyonun kış, ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimleri ve yıllık rüzgâr hızı verilerinin histogramı ve söz konusu dağılımların oyf'leri ile birlikte çizdirilip RMSE ve R^2 kriterlerinden elde edilen sonuçlar görsel olarak desteklenmiştir.

Rüzgâr hızını modellemek için esnek bir yapıya sahip olan Weibull dağılımı, pozitif değerler alması ve çarpık veri setlerini de modelleyebilmesinden dolayı en çok tercih edilen dağılımlardan biridir. Ancak bazı rüzgâr karakteristiklerini modellerken yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı alternatif dağılımlara başvurmak gerekmektedir.

Bu araştırma kapsamında rüzgâr hızını modellemek için Weibull dağılımına alternatif olabilecek Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımları kullanılmıştır. Dağılımların bilinmeyen parametreleri ML yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir.

Rüzgâr hızı verileri incelenen ilk istasyon olan Balıkesir/Bandırma'ya ait sonuçlardan bu istasyona ait verileri modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılımın Weibull ve NWL dağılımlarının olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca, Burr III dağılımı kış ve ilkbahar mevsimleri rüzgâr hızı verisini modellemek konusunda iyi bir performansa sahiptir. GIL dağılımının Burr III dağılımına alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür. PL dağılımı da Bandırma'nın yaz, sonbahar ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek konusunda performansı yüksek olan diğer bir dağılımdır.

Rüzgâr hızı verileri incelenen ikinci istasyon olan Bodrum/Turgutreis'e ait sonuçlardan bu istasyona ait verileri modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılımın Burr III ve IW dağılımları olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca, kış ve ilkbahar mevsimlerinde rüzgâr hızı verilerini modellemede NWL dağılımı da performansı yüksek olan diğer dağılımdır. Yaz ve sonbahar mevsimlerinde GL ve Burr III dağılımları birbirine yakın modelleme performansı göstermiştir.

Rüzgâr hızı verileri incelenen üçüncü istasyon olan İzmir/Karaburun'a ait sonuçlardan bu istasyona ait verileri modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılımın Burr III olduğuna karar verilmiştir. Yaz mevsiminde GL dağılımı da performansı yüksek olan diğer bir dağılımdır. Ayrıca, NWL ve IW dağılımları da İzmir/Karaburun'un mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek konusunda performansı yüksek olan diğer dağılımdır.

Rüzgâr hızı verileri incelenen dördüncü istasyon olan İzmir/Seferihisar'a ait sonuçlardan bu istasyona ait verileri modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılımın PL ve Weibull dağılımları olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca, NWL, GL ve WL dağılımları da İzmir/Seferihisar'a ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek konusunda performansı yüksek olan diğer dağılımlardır.

Rüzgâr hızı verileri incelenen beşinci istasyon olan Afyon/Sandıklı'ya ait sonuçlardan bu istasyona ait verileri modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılımın IW dağılımı olduğuna karar verilmiştir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde NWL dağılımı rüzgâr hızı verisini modellemek konusunda iyi bir performansa sahiptir. Ayrıca, GIL dağılımı da Afyon/Sandıklı'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verisini modellemek konusunda performansı yüksek olan diğer dağılımdır.

Rüzgâr hızı verileri incelenen altıncı istasyon olan Çanakkale/Gelibolu'ya ait sonuçlardan bu istasyona ait verileri modellemek için kullanılması gereken en uygun dağılımın GL dağılımı olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca, PL, WL ve Weibull

dağılımları da Çanakkale/Gelibolu'ya ait mevsimsel ve yıllık rüzgâr hızı verini modellemek konusunda performansı yüksek olan diğer dağılımlardır.

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi Weibull dağılımı rüzgâr hızını modellemek için yaygın olarak kullanılan bir dağılım olmasına rağmen her türlü rüzgâr hızı karakteristiğini modellemek konusunda yetersiz kalabilmektedir. Bu araştırma kapsamında farklı rüzgâr karakteristiklerini modellemek için, literatürdeki yaygın kullanımının aksine, Weibull dağılımına alternatif olarak Burr III, IW, GL, PL, GIL, WL ve NWL dağılımlarının da kullanılması önerilmiştir.

Ayrıca, rüzgâr hızı verilerini modelleme konusundaki performansı literatürde daha önce incelenen Burr III, IW, GL ve PL dağılımlarının yanı sıra bu alandaki performansları ilk kez incelenen GIL, WL ve NWL dağılımlarının da rüzgâr hızı verilerini modellemede oldukça iyi olduğu görülmüştür. Özellikle, WL ve NWL dağılımlarının rüzgâr hızı verilerini modellemek için yaygın olarak kullanılan Weibull dağılımına alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür. GIL dağılımının ise Burr III ve IW dağılımlarına alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

İstasyonların coğrafik konumlarına göre yıllık rüzgâr hızı verileri üzerinden karşılaştırma yapıldığında, kuzeyde bulunan istasyonlarda Weibull, NWL, WL PL ve GL dağılımlarının, güneyde bulunan istasyonlarda ise Burr III, GIL ve IW dağılımlarının en iyi performansı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Akdağ, S.A. 2008. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Analizinde Weibull Dağılımının Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Akdag, S.A. ve Guler, O.A. 2015. A novel energy pattern factor method for wind speed distribution parameter estimation. Energy Conver Manage. 106;1124-1133.

Akgül, F.G., Şenoğlu, B. ve Arslan, T. 2016. An alternative distribution to Weibull for modelling the wind speed data: Inverse Weibull distribution. Energy Conversion and Management, 114;234-240.

Akgül, F.G., Şenoğlu, B. 2017. Rüzgar Hızının Modellenmesinde Alternatif Dağılımların Kullanılması. AÇÜBAP, 2016.F13.02.1., Artvin.

Akgül, F.G., Şenoğlu, B. 2019. Comparison of wind speed two-parameter probability distributions: a case study for Aegean coast of Turkey. Under review.

Akkoyunlu, T. 2015. Bodrum, Menteşe, Milas, Yatağan ilçelerinin Rüzgâr Verilerinin Analiz Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Akpınar, E.K., ve Akpınar, S. (2004). Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ, Turkey. Energy Conversion and Management. 45;2901-2914.

Alavi. O., Sedaghat, A., Mostafaeipour, A. 2016. Sensitivity analysis of different wind speed distribution models with actual and truncated wind data: Acase study for Kerman, Iran. Energy Conversion and Management. 120;51-61.

Alavi, O., Mohammadi, K., Mostafaeipour, A. 2016. Evaluating the Suitability of wind speed probability distribution models: Acase of study of east and southeast parts of Iran. Energy Conversion and Management. 119;101-108.

Alavi, O., Mohammadi, K., McGowan, J.G. 2017. Use of Birnbaun-SAunders distribution for estimating wind speed and wind power probability distributions: A review. Energy Conversion and Management. 143;109-122.

Arslan, T., Acitaş, Ş., Şenoğlu, B. 2017. Generalized Lindley and Power Lindley distributions for modeling the wind speed data. Energy Conversion and Management. 152;300-311.

Asgharzadeh, A., Bakouch, H.S., Nadarajah, S. Ve Sharafi, F. 2016. A new weighted Lindley distribution wiht application. Brazillian Journal of Probability and Statistics. Vol.30, No.1;1-27.

Carta, J.A., Ramirez, P. and Velázquez, S. 2009. A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis case studies in the Canary Islands. Renwable and Sustainable Energy Reviews., 13;933-955.

Celayir, N. 2008. Rüzgâr Enerjisinin Dünyadaki Gelişimi ve Türkiye'deki Potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Chang, T.P. 2011. Estimation of wind energy potential using different probability density function. Applied Energy, 88;1848-1856.

Chido, E., Falco, D.P. 2016. Inverse Burr distribution for extrem wind speed prediction: Genesis, identifiction and estimation. Electric Power systems REsearch. 141;549-561.

Çelik, A.N. 2003. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. Renewable Energy, 29, 593-604.

Emeksiz, C., Doğan, Z. Gökrem, L. Ve Yavuz, A.H. 2016. Tokat Bölgesi Rüzgâr Karakteristiğinin İstatistiksel Yöntemler ile İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 19(4);481-489.

Ghitany, M.E., Alqallaf, F., Al-Mutairi, D.K. Ve Husai, H.A. 2011. A two-parameter weighted Lindley distribution and its applications to survival data. Science Direct. Matematics and Computers in Simulation. 81;1190-1201.

Ghitany, M., Al-Mutairi, D.k.,Balakrishnan, N. Ve Al-Enezi L.J. 2013. Power Lindley distribution and associated inference. Comput.Stat. Data Anal. 64;20-33.

Gupta, R.D. Ve Kundu, D. 2009. İntroduction of shape/skewness parameter(s) in a probability distribution. J.Robab.Stat.Sci.7;153-171.

Gülersoy, T. Ve Çetin, N.S. 2010. Menemen Bölgesinde Rüzgâr Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması. Politeknik Dergisi, 13(3); 209-213.

GWEC. 2017. Web Sitesi: http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankası/dunya_res_durumu/gwec-prstat2016_en_web_pdf, Erişim Tarihi: 14.04.2017.

Haralambos, S.B., Mihalakakou, G., Rehman, S. ve Al-Hadhrami, L.M. 2016. Wind power potential assessment for three buoys data colection station in the ıonian sea using Weibull distribution function.International Journal of Green Energy. 13(7);703-714.

Jowder, F.A.L.Wind power analysis and site matching of wind türbine generators in Kingdom of Bahrain. Applied Energy. 86;538-545.

Kaplan, Y.A. 2016. Rayleigh ve Weibull dağılımları kullanılarak Osmaniye bölgesinde rüzgâr enerjisinin değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1);62-71.

Kantar, Y.M., Usta, İ. 2015. Analysis of the upper-truncated Weibull distribution for wind speed. Energy Conversion and Management, 96; 81-88.

Kartal, B. 2010. Eskişehir ve Yöresinde Enerji Üretimi Amaçlı Rüzgâr Hızlarının Tespiti ve Kullanıma Uygunluğunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Katinas, V. Marciukaitis, M. Gecevicius, G. ve Markevicius, A. 2017 Statistical analysis of wind characteristics based on Weibull mothods for estimation of power generation in Lithuania. Renewable Energy. 113;190-201.

Khahro S.F., Tabbassum K. Soomro, A.M., Dong, L. ve Liao, X. 2014. Evaluation of wind power production prospective and Weibull parameter estimation methods for Babaurband, Sindh Pakistan. Energy Convers Manage. 78;956-957.

Köse, B., Güneşer, M.T., Yazıcı, M. ve Yılmaz, H.S. 2015. Estimation of wind energy potential Eskipazar using Rayleigh, Lognormal and Weibull distribution model. 3rd International Syposium on Innovative Technologies in Engineering and science (ISITES-2015). June 2015, At Univesidad Politecnica de Valencia. Volume 1, 2251-2260; Valencia/ Spain.

Kurban, M., Hocaoğlu, F.O. ve Kantar, M.Y. 2007. Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmininde Kullanılan İki Farklı İstatistiksel Dağılımın Karşılaştırılması Analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1); 103-109.

Mert, İ., Karakuş, C. 2015. A statistical analysis of wind speed data using Burr, generalized gamma, and Weibull distributions in Antakya, Turkey. Turkish Journal of Electrical Engineering &Computer Sciences. 23; 1571-1586.

Morgan, E.C., Lackner, M., Vogel, R.M. and Baise, L.G. 2011. Probability distributions for offshore wind speeds. Energy Conversion and Management. 52;15-26.

Nadarajah, S., Bakouch, H.S. Ve Tahmasbi, R. 2011. A generalized Lindley distribution. Sankhya. B. 73;331-59.

Oral, F. 2010. Sakarya-Esentepe Yöresi Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Yeni Bir Yaklaşımla Belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Ozay, C. Ve Çeliktaş, M.S. 2016. Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region. Energy Conversion and Management. 121;49-54.

Quarda, T.B.M.J., Charron, C., Shin, J.-Y., Marpu, P.R., Mandoos, A.H., Al-Tamimi, M.H., Ghedira, H., Al Hosary, T.N. 2015. Probability distributions of wind speed in the UAE. Energy Conversion and Management. 93;414-434.

Pobococikova, I., Sedliackova, Z., Michalkova, M. 2017. Application of four probability distributions for wind speed modeling. Procedia Engineering. 192;713-718.

Rocha, P.A.C., De Sousa, R.C. De Andrade, C.F. ve Da Silva, M.E.V. 2012. Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region of Brazil. Applied Energy. 89;395-400.

Sharma, V.K., Singh, S.K., Singh, U. Ve Merovci, F. 2016. The generalized inverse Lindley distribution: Anew inverse statistical model fort he study of upside-down bathtub data. Communications in Statistics- Theory and Methods. Vol.45,No.19;5709-5729.

Shu,Z.R., Li, Q.S. ve Chan, P.W. 2015. Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong. Energy Convers Manage. 101;644-657.

Solmaz, S. ve Turan, R.A. 2015. Ortalama geçmiş rüzgâr verileri üzerinden rüzgâr enerjisi santralleri için ön fizibilite yapılması: Gediz Üniversitesi 100 kw rüzgâr enerjisi uygulaması. 3. İzmir Rüzgâr Sempozyumu. (71-86). 8-10 Ekim 2015. İzmir.

Süzek, F. 2007. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Usta, İ., ve Kantar, Y.M. 2016. Farklı olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanarak rüzgar gücü potansiyelinin tahmini. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 18(54);362-380.

Yıldırım, U., Gazibey, Y. ve Güngör, A. 2012. Niğde ili rüzgâr enerjisi potansiyeli. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1(2); 37-47.

Yılmaz, V., Doğan, M. ve Tepeyurt, N. 2013. Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Belirlenmesinde İstatistiksel Yaklaşım: Seçilmiş İllerde Uygulama Çalışması. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 3;174-188.

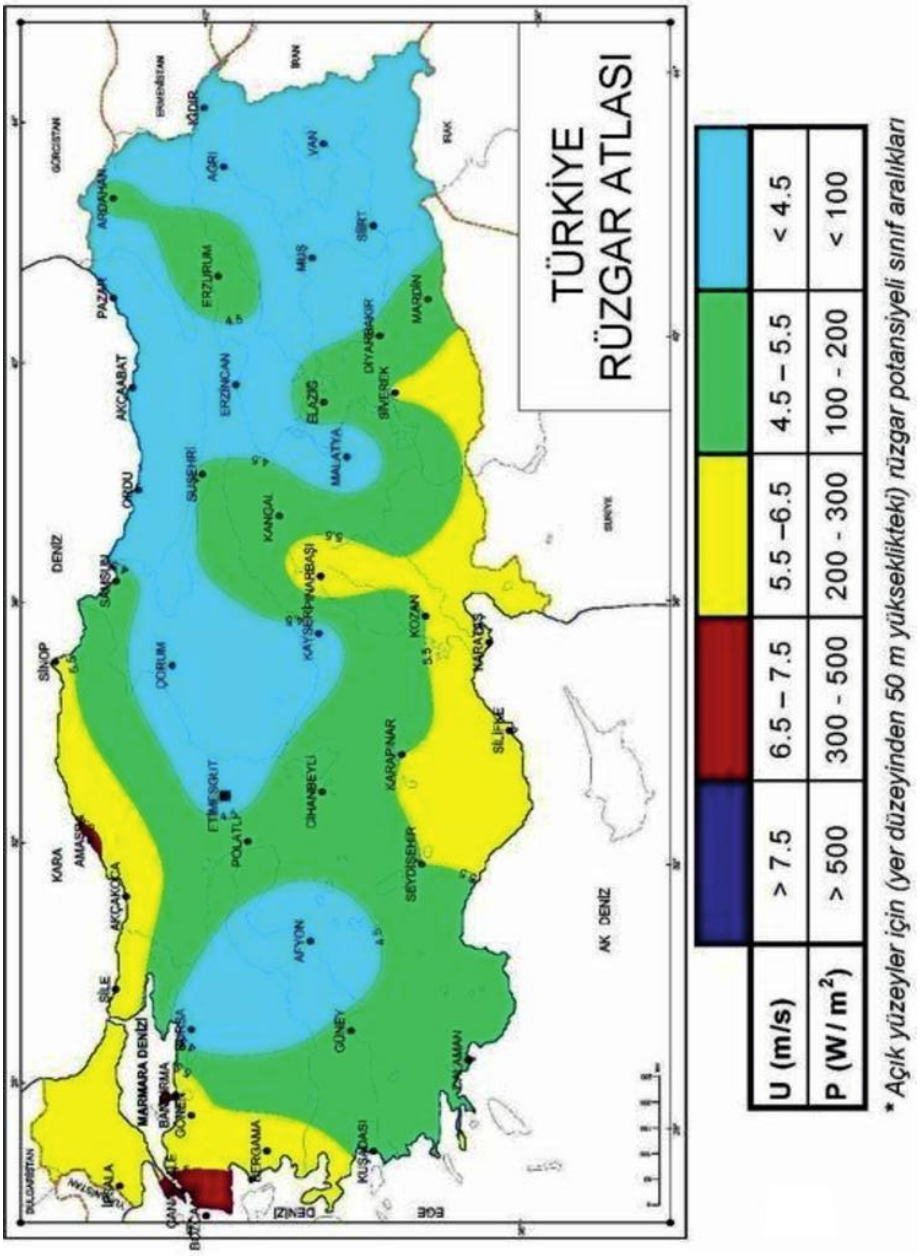
TUREB. 2017. Web Sitesi: http://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2017_duyurular/subat/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_raporu_ocak_2017.pdf, Erişim Tarihi: 14.04.2017.

Wais, P. 2017. Two and three- parameter Weibull distribution in available wind power analysis. Renewable Energy. 103;15-29.

Zeytinoğlu, F.Ç. 2009. Weibull Dağılımının Ölçek ve Biçim Parametreleri için İstatistiksel Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. Yıl:8 Sayı:15;73-87.

EKLER

EK 1 Türkiye Rüzgâr Haritası



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Tuğba NİKSARLI
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 04.08.1980
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Anıttepe Lisesi (1997)
Lisans : Başkent Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri (2005)

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Kara Kuvvetleri Komutanlığı / İstatistik Uzmanı (2007-2018)
Milli Savunma Üniversitesi Asb. Meslek Yüksek Okulu/ İstatistikçi (2018-Devam)