

## FARKLI OLASILIK YOĞUNLUK FONKSİYONLARI KULLANARAK RÜZGAR GÜCÜ POTANSİYELİNİN TAHMİNİ

(WIND POWER POTENTIAL ESTIMATION BY USING DIFFERENT  
STATISICAL DISTRIBUTIONS)

İlhan USTA<sup>1</sup>, Yeliz MERT KANTAR<sup>2</sup>

### ÖZ

Sürekli rassal değişken olarak kabul edilen rüzgâr hızı istatistiksel dağılımlarla karakterize edilir ve ortalama rüzgâr gücü tahminleri yapılır. Weibull dağılımı rüzgar enerjisi alanında kabul edilmiş dağılımdır. Ancak Weibull dağılımının doğa da karşılaşılan tüm rüzgar tiplerini modelleyemediği bilimsel çalışmalar yardımıyla bilinmektedir. Bu çalışmada, Weibull, Rayleigh, Log-normal, Gamma, Genelleşmiş Gamma dağılımları ve daha önce enerji alanında kullanılmamış olan Nakagami dağılımının performansı çeşitli kriterler yardımıyla değerlendirilmiştir. Türkiye'nin farklı bölgelerinde ölçülen rüzgar hızı verileri üzerinde ele alınan dağılımların performansları araştırılmış, yapılan analizlerin sonucu olarak Nakagami dağılımının performansının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Böylece, Nakagami dağılımının rüzgar enerjisi alanında alternatif bir dağılım olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar hızı, Nakagami dağılımı, rüzgar hızı dağılımları, model seçim kriterleri.

### ABSTRACT

*Wind speed, accepted as a continuous random variable, is characterized by statistical distributions. Based on this characterization, wind power is estimated. The Weibull distribution is an accepted distribution in wind energy field. However, it is observed by means of scientific studies that the Weibull distribution does not model all wind types encountered in nature. In this study, the performances of the Weibull, Rayleigh, log-normal, Gamma, Generalized Gamma distributions and Nakagami, which is previously not used in energy field, are evaluated in terms of several criteria. The performances of the considered distributions have been researched on wind speed measured in different regions of Turkey and it is observed that the Nagakami distribution shows better performance than the others. Thus, it is concluded that the Nakagami distribution can be used as an alternative distribution in wind energy field.*

**Keywords:** Wind speed, Nakagami distribution, wind speed distributions, model selection criteria

<sup>1</sup>Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye  
iusta@anadolu.edu.tr

<sup>2</sup>Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye  
ymert@anadolu.edu.tr (Corresponding Author)

## 1. GİRİŞ

Günümüzde petrole dayalı enerji kaynaklarının gittikçe azalmakta olması gerçeği, ayrıca bu enerji kaynaklarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının önemi ve kullanımı gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır [1]. Bu enerji kaynakları içinde en popüler olanı temiz ve tükenmez olan rüzgâr enerjisidir. Özellikle son yıllarda, türbin teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, rüzgar gücü potansiyelinin elektrik enerjisine dönüştürülmesine yönelik yatırımlar çok daha hızlı artmaktadır [2]. Rüzgâr enerjisi potansiyelini gösteren en önemli faktör rüzgârın hızıdır. Belli bir bölge de rüzgâr santralının kurulmasından önce yapılması gereken ilk işlem ilgilenilen bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin olup olmadığının araştırılmasıdır. Farklı yöntemlerle, rüzgâr enerjisi potansiyeli tahminleri yapılarak araştırma gerçekleştirilebilir. Bu tahminlemeler istatistiksel olarak, rüzgâr hızının dağılımına dayandırılır. Bu bağlamda iki parametrelili Weibull dağılımı rüzgar enerjisi alanında kabul edilmiş referans dağılımdır [3]. Dünyanın farklı bölgelerinin rüzgar enerjisi potansiyeli tahminleri Weibull dağılımına dayalı olarak yapılmaktadır. Örneğin, [4] Türkiye'nin güney bölgelerinin, [5] Elazığ Maden'in, [6] Türkiye'nin altı farklı bölgesinin, [7] Çanakkale'nin rüzgar enerji potansiyelini Weibull dağılımını kullanarak araştırmıştır. Bu çalışmalar Türkiye'nin farklı bölgelerini dikkate alırken, [8] kuzey-batı İran şehirlerinin, [9] Malezyada Kudat ve Labuan'ın, [10] İtalya'nın Liguria bölgesinin, [11] Ruanda'nın, Weibull ve/veya Rayleigh dağılımlarına dayalı rüzgar hızı özelliklerini ve rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmıştır. Weibull'un bu kadar yaygın çalışılması, dağılımın şekil ve ölçek parametrelerini hesaplamak için çeşitli yöntemlerin geliştirilmesine sebep olmuştur [12-19]. En küçük kareler, en çok olabilirlik ve moment yöntemleri Weibull dağılımının parametrelerini tahmin etmede kullanılan en yaygın metotlardır. Bu çalışmada performansının iyi olduğu gözlemlenen ve optimum asimtotik özelliklere sahip olan en çok olabilirlik yöntemi kullanılarak ele alınan dağılımların parametreleri tahmin edilecektir [12].

Öte yandan, Weibull dağılımının doğa da karşılaşılan tüm rüzgar tiplerini modelleyemediği bilimsel çalışmalarda gözlemlenmiştir. Bu yüzden Weibull'a alternatif pek çok dağılım önerilmiştir. Örneğin, [20] ve [21] Mixture-Weibull dağılımının kullanımını, [22] entropi ölçüsüne dayalı dağılımları, [23] çok parametrelili dağılım ailelerini, [24] Truncated Weibull dağılımını, [25] Jonhson SB dağılımını, Weibull dağılımına alternatif olarak önererek, rüzgar hızını modellemede alternatif olabileceklerini savunmuştur. Alternatif dağılımların önerilmesine ilişkin çalışmaların yanısıra, konuya ilişkin dikkate değer sayıda derleme makalesi mevcuttur [26-29].

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen ve tarafımızca yürütülen "Rüzgar Hızını Modellemede Önerilen İstatistiksel Dağılım Aileleri: Türkiye'nin Farklı Bölgelerinin Rüzgâr Gücü Potansiyelinin Önerilen Dağılımlarla Araştırılması" başlığı altındaki bilimsel araştırma projesi kapsamında performansı yüksek olan istatistiksel dağılımları belirlemek ve bu dağılımları araştırmacılara sunmak amacıyla yapılmıştır.

Bu bağlamda çalışmada ele alınan dağılımlar: Weibull, Rayliegh, Lognormal, Gamma, Genelleştirilmiş Gamma ve Nakagami dağılımlarıdır. Ayrıca şunu vurgulamak isteriz ki Nakagami dağılımı rüzgar enerjisi alanında hiç kullanılmamıştır. Modelleme performansı yüksek olan dağılımlar belirlenerek rüzgar enerjine yatırım yapmak isteyen veya bilimsel olarak çalışan araştırmacıların kullanımına sunulacaktır.

## 2. İSTATİSTİKSEL DAĞILIMLAR

İstatistik de, rassal değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu, rassal değişkeni karakterize eden matematiksel bir modeldir. Bu model, veriye uyabilmek için ne kadar esnek ve kolay hesaplanabilir ise o kadar iyi model olarak değerlendirilir. Bu bölümde, bu çalışma kapsamında, rüzgar hızı modellemesinde ve dolayısıyla rüzgar gücü, rüzgar enerji tahminlemelerinde kullanabilecek istatistiksel dağılımlar tanıtılacaktır.

### 2.1. Weibull Dağılımı (WD)

Weibull, rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemede en çok kullanılan istatistiksel dağılımdır. İki parametrelili WD'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) aşağıdaki gibidir.

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

burada  $v$  rüzgar hızı (m/s),  $k$  ve  $c$  sırasıyla şekil ve ölçek parametreleridir. WD'nin kümülatif dağılım fonksiyonu (kdf) ise

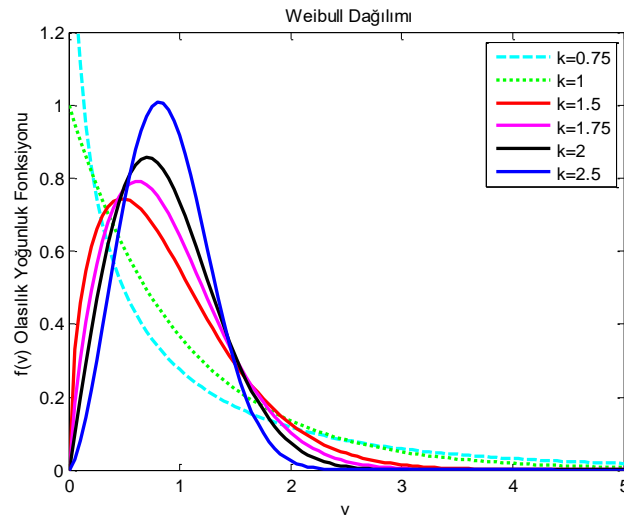
$$F(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (2)$$

şeklindedir. Şekil parametresi, ekvator yakınlığında 1 civarında, ılıman enlemlerde 2 ve sürekli rüzgar alanları için ise 3 civarındadır [30].

Rüzgar gücü hesaplamalarında kullanılacak olan WD'nin sıfır civarındaki  $r$ . momenti aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\mu_r = E(v^r) = c^r \Gamma\left(1 + \frac{r}{k}\right), \quad v > 0 \quad (3)$$

Bu formülde,  $E(\cdot)$  beklenen değer operatörü,  $\Gamma(\cdot)$  Gamma fonksiyonudur.



Şekil 1. Weibull dağılımının oyf grafiği (c=1)

Şekil 1’de farklı şekil parametreleri için Weibull dağılımının oyl’unun grafiği verilmektedir. Bu grafiğe bakıldığında dağılımın sağa çarpık ve simetrikliğe yakın şekiller alabildiği gözlenmektedir.

## 2.2. Rayleigh Dağılımı (RD)

WD’de şekil parametresi 2 alındığında özel olarak RD elde edilir. Bu yüzden WD’ye göre daha az esnekler. Rayleigh dağılımının oyl ve kdf aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right), \quad v > 0 \quad (4)$$

$$F(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right). \quad (5)$$

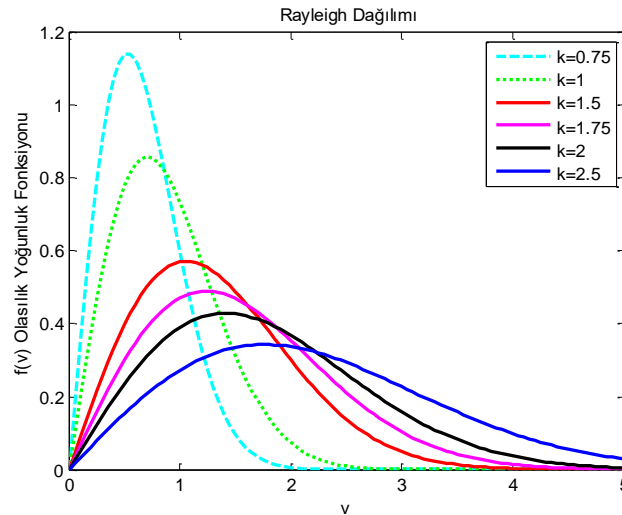
RD’nin en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hızı bilinmesi ile dağılımın kolayca belirlenebilmesidir. RD’nin yüksek rüzgar hızlarında iyi performans gösterdiği pek çok referansta vurgulanmıştır.

Dağılımının sıfır civarındaki  $r$ . moment:

$$\mu_r = E(v^r) = c^r \Gamma\left(1 + \frac{r}{2}\right), \quad (6)$$

şeklindedir.

Şekil 2’ye dikkat edilirse, RD’nin oyl’sinin şekillerinin aynı ancak farklı ölçeklere sahip olduğu görülmektedir. RD çarpıklık katsayısı 0.6311 olduğu için dağılım her zaman sağa aynı derecede çarpıktır ve bu yüzden sadece sağa çarpık veri için uygun model olabilir.



Şekil 2. Rayleigh dağılımının oyl grafiği

## 2.3. Gamma Dağılımı (GD)

GD'nin oyf'si, Gamma fonksiyonu yardımıyla

$$f(v) = v^{k-1} \frac{\exp(-\frac{v}{c})}{c^k \Gamma(k)}, \quad k, c > 0 \quad (7)$$

şeklinde tanımlanır. Bu ifadedeki  $k$  ve  $c$  parametreleri sırasıyla GD'nin şekil ve ölçek parametreleridir.

GD'nin kdf'si ise Gamma ve tamamlanmamış Gamma fonksiyonu yardımıyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

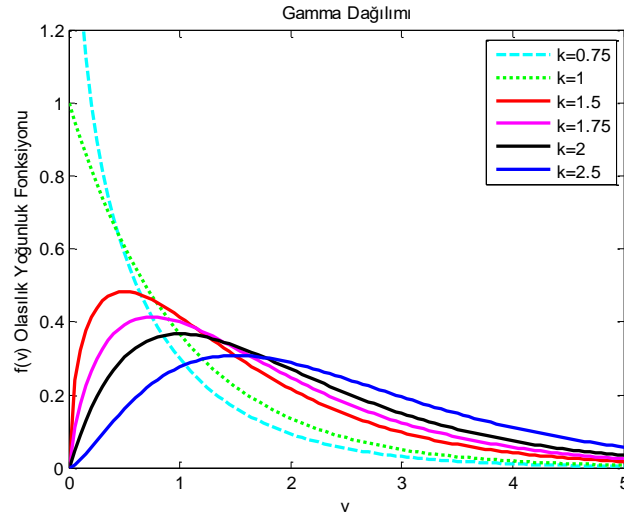
$$F(v) = \frac{\gamma(k, \frac{v}{c})}{\Gamma(k)}. \quad (8)$$

Burada  $\gamma(\cdot)$  tamamlanmamış Gamma fonksiyonudur.

Dağılımın sıfır etrafındaki  $r$ . momentleri

$$\mu_r = E(v^r) = c^r \frac{\Gamma(r+k)}{\Gamma(k)}, \quad r > -k \quad (9)$$

şeklindedir. Şekil 3'den görülmektedir ki GD esnek bir dağılım ailesidir. Çarpıklık ve basıklık katsayıları sabit olmayıp GD'nin şekil ve ölçek parametrelerine bağlıdır. GD sağa çarpık veya simetriğe yakın şekiller alabilir.



Şekil 3. Gamma dağılımının oyf grafiği (c=1)

#### 2.4. Genelleştirilmiş Gamma Dağılımı (GGD)

İki parametrelili Gamma dağılımının bir genelleştirilmesi olarak ortaya çıkan dağılımın odf'si aşağıdaki gibidir.

$$f(v) = \frac{p}{c^k} v^{k-1} \frac{\exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^p\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{p}\right)}, \quad k, c > 0 \quad (10)$$

Burada  $k$  ve  $p$  parametreleri GGD'nin şekil parametreleri ve  $c$  ise ölçek parametresidir.  $k=p$  olduğunda GGD WD'ye dönüşürken,  $p=1$  durumunda GD dağılımı olmaktadır. GGD'nin kdf'si

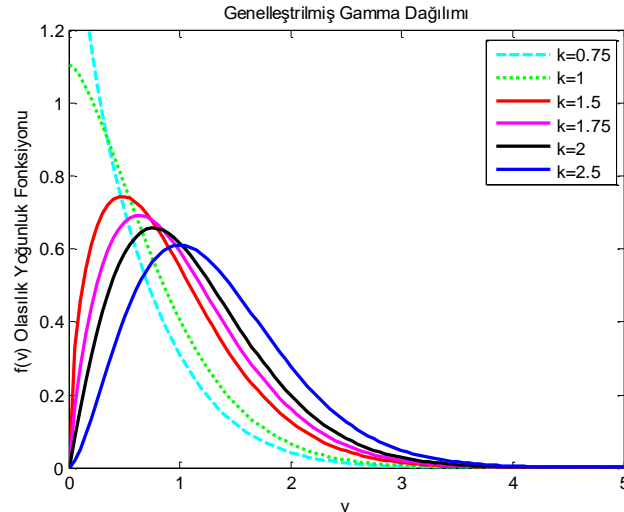
$$F(v) = \frac{\gamma\left(\frac{k}{p}, \left(\frac{v}{c}\right)^p\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{p}\right)} \quad (11)$$

şeklindedir. GD'de olduğu gibi  $\gamma$  tamamlanmamış Gamma fonksiyonudur.

GGD'ye dayalı teorik rüzgar gücü hesaplamalarında kullanılacak sıfır etrafındaki  $r$ . momentlerinin formülü

$$\mu_r = E(v^r) = c^r \frac{\Gamma\left(\frac{r+k}{p}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{p}\right)}, \quad r > -k \quad (12)$$

şeklindedir [31].



Şekil 4. Genelleştirilmiş Gamma dağılımının odf grafiği ( $c=1$  ve  $p=1.5$ )

GGD'nin iki şekil parametresi vardır. Şekil 4'de  $c=1$  ve  $p=1.5$  alınarak dağılımın  $k$  parametresinin farklı değerleri için odf'leri görülmektedir.

## 2.5. Lognormal Dağılımı (LND)

Normal dağılıma dayalı olarak türetilen log-normal (LN) dağılımının oyf'si

$$f(v) = \frac{\exp\left(-\left(\ln\left(\frac{v}{c}\right)\right)^2/2k^2\right)}{vk\sqrt{2\pi}}, \quad c > 0 \quad (13)$$

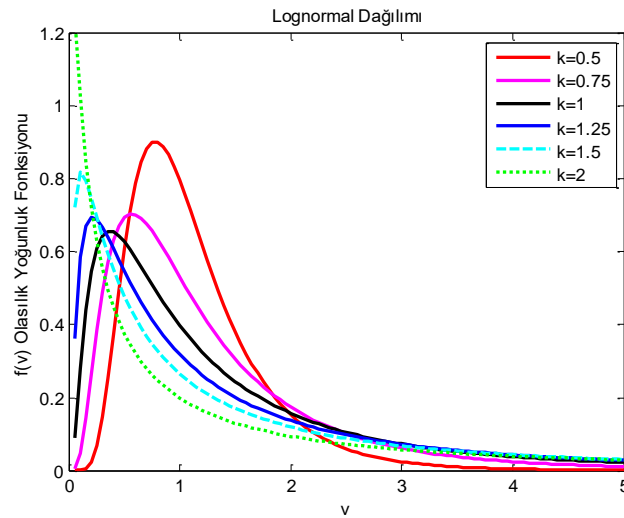
şeklindedir. Bu ifadedeki  $c$  parametresi diğer dağılımlarda olduğu gibi ölçek parametresi iken,  $k$  şekil parametresi olarak ifade edilmektedir.

LN'ye sahip rassal değişkeninin kdf'si normal dağılımın kdf'si yardımıyla ifade edilmektedir.  $\Phi$  standart normal dağılımın kdf'si olmak üzere, LND'nin kdf'si

$$F(v) = \Phi\left(\frac{\ln\left(\frac{v}{c}\right)}{k}\right) \quad (14)$$

olarak ifade edilir. Dağılıma dayalı teorik güç hesabında gerekli olan sıfır etrafındaki 3. momenti ise aşağıdaki moment eşitliğinde  $r=3$  için elde edilir.

$$\mu_r = E(v^r) = \exp(r\mu + 0.5r^2c^2) \quad (15)$$



Şekil 5 Log-normal dağılımının oyf grafiği ( $c=1$ )

Farklı  $k$  değerleri için LND'nin oyf grafikleri Şekil 5'de verilmiştir.

## 2.6. Nakagami Dağılımı (ND)

ND'ye sahip rassal değişkenin oyf

$$f(v) = \frac{2k^k}{\Gamma(k)c^k} v^{2k-1} \exp\left(-\frac{kv^2}{c}\right), \quad v > 0 \quad (16)$$

şeklindedir. Dağılımın tahmincileri ve uygulamaları [32] çalışılmıştır. Rüzgar alanında uygulaması, bu çalışmada ilk kez yapılacaktır. Dağılımın şekil parametresi  $k$ , ölçek parametresi  $c$  dir.

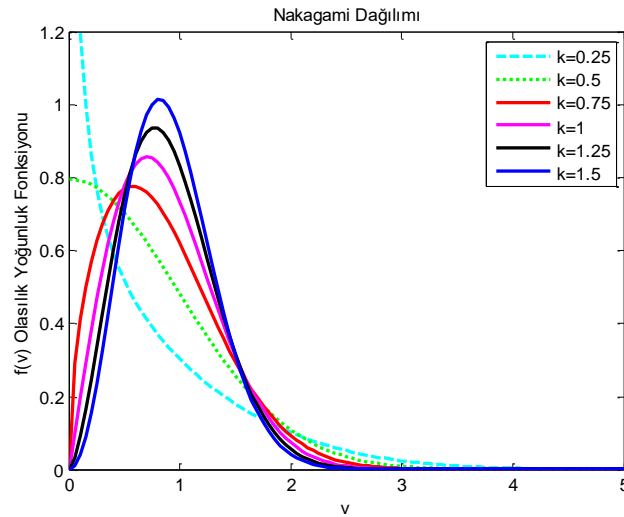
Nakagami dağılımının kdf'si

$$F(v) = \frac{\gamma(k, \frac{kv^2}{c})}{\Gamma(k)} \quad (17)$$

şeklindedir. ND'nın sıfır civarındaki  $r$ . momentini aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$\mu_r = E(v^r) = \frac{\Gamma(k + \frac{r}{2})}{\Gamma(k)} \left(\frac{c}{k}\right)^{\frac{r}{2}}. \quad (18)$$

ND'nın momentlerinin açık formülünün olması rüzgar gücünün dağılıma dayalı hesabını da kolaylaştırmaktadır. Aksi durumda dağılıma dayalı rüzgar gücü hesaplamalarında nümerik integral hesabı yapılması gerekmektedir [24].



Şekil 6. Nakagami dağılımının oyf grafiği (c=1)

ND'nin farklı şekil parametreleri için elde edilen oyf grafikleri Şekil 6'da görülmektedir. Bu şekilden, ND'nin sağa çarpık ve simetrik bir dağılım olduğu görülmektedir.

### 3. PERFORMANS ANALİZİ

Gözlenen rüzgar hızı için en uygun istatistiksel dağılımının belirlenmesinde gerekli model seçim kriterleri bu bölümde tanıtılacaktır.

#### 3.1. İstatistiksel Kriterler



Bu çalışmada, dağılımların rüzgar hızı verisini modelleme performanslarını karşılaştırmak için dağılımın teorik ve gözlenen olasılıklarına dayalı olan belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), hata kareler ortalaması karekökü (RMSE) ve Kolmogorov-Simirnov (KS) test kriterleri kullanılacaktır [23-24]. Bu istatistiklerin formülleri sırasıyla aşağıdaki şekildedir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (y_j - x_j)^2}{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2} \quad (19)$$

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{j=1}^n (y_j - x_j)^2}{n} \right)^{0.5} \quad (20)$$

$$KS = \max_v |F_n(v) - F(v)| \quad (21)$$

Bu formüllerde  $n$  toplam sınıf aralık sayısı,  $y_j$ ,  $j$ . aralıkta gözlenen rüzgar hızı olasılığı,  $x_j$ ,  $j$ . aralıkta ele alınan dağılım yardımıyla tahmin edilen teorik rüzgar hızı olasılığı,  $\bar{y}$ ,  $y_j$  değerlerinin ortalaması,  $F_n(v)$  veriden elde edilen kdf, ve  $F(v)$  ele alınan dağılımdan elde edilen kdf'i göstermektedir. Rüzgar hızı verileri için en iyi modellemeyi sağlayan dağılım,  $R^2$ 'si büyük, RMSE ve KS küçük olacak şekilde seçilmelidir.

### 3.2 Rüzgar Güç Hata Kriteri

Rüzgar gücü  $f(v)$  oyf'na dayalı olarak

$$P_f = \frac{1}{2} \rho A \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho A \mu_3 \quad (22)$$

biçiminde hesaplanır. Bu formül de,  $\rho$  hava yoğunluğu ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ) ve  $A$  türbün süpürme alanıdır. Dikkat edilirse rüzgar gücü, 3. momentte dayalı hesaplanmaktadır. Buna göre, WD, RD, GD, GGD, LND ve ND'larına dayalı rüzgar gücü formülleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$P_{WD} = \frac{1}{2} A \rho c^3 \Gamma \left( 1 + \frac{3}{p} \right) \quad (23)$$

$$P_{RD} = \frac{1}{2} A \rho c^3 \Gamma \left( 1 + \frac{3}{2} \right) \quad (24)$$

$$P_{GD} = \frac{1}{2} A \rho c^3 \frac{\Gamma(3+k)}{\Gamma(k)} \quad (25)$$

$$P_{GGD} = \frac{1}{2} A \rho c^3 \frac{\Gamma \left( \frac{3+k}{p} \right)}{\Gamma \left( \frac{k}{p} \right)} \quad (26)$$

$$P_{LND} = \frac{1}{2} \rho A \exp(3\mu + 4.5c^2) \quad (27)$$

$$P_{ND} = \frac{1}{2} A \rho \frac{\Gamma\left(k + \frac{3}{2}\right)}{\Gamma(k)} \left(\frac{c}{k}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (28)$$

Gözlenen rüzgar hızı frekansından elde edilen rüzgar gücü formülü:

$$P_{REF} = \frac{1}{2} \rho A \sum_{i=1}^n \frac{v_i^3}{n} \quad (29)$$

şeklinde.  $P_{REF}$  “referans rüzgar gücü” olarak ifade edilmektedir [3, 4]. Bu bağlamda, ele alınan dağılımlar rüzgar gücünü tahmin etme bakımından da karşılaştırılabilir. Rüzgar gücü hata kriteri olarak aşağıdaki formül kullanılacaktır.

$$WPE = \left| \frac{P_{REF} - P_D}{P_{REF}} \right| \times 100 \quad (30)$$

Burada  $P_D$  ele alınan dağılıma dayalı rüzgar gücüdür. Açık ki WPE değeri küçük olan dağılım iyi dağılım olarak kabul edilir.

#### 4. VERİ

Rüzgar enerjisi potansiyelini belirleyen en önemli faktör rüzgarın hızıdır. Ayrıca her bölgenin kendine has rüzgar karakteristiği vardır. Bu nedenle, bu çalışmada dağılımların performansını inceleyebilmek için İç Anadolu bölgesindeki Niğde ilinin 37.54 enlem ve 34.48 boylam koorninatlarına sahip Ulukışla ilçesi ve Marmara bölgesindeki İstanbul ilinin 40.99 enlem ve 20.07 boylam koorninatlarına sahip Göztepe ilçesinde ölçülen saatlik ortalama (m/s) rüzgar hızı verileri kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Rüzgar hızının tanımlayıcı istatistikleri.

	Göztepe					Ulukışla				
	Ort	Var	S	K	N	Ort	Var	S	K	N
Ocak	2.920	3.677	0.491	2.442	740	2.894	4.147	0.875	2.844	744
Şubat	2.920	3.677	0.491	2.442	740	2.533	3.428	0.921	3.093	671
Mart	2.283	2.155	0.484	2.391	740	2.938	4.111	1.370	6.070	744
Nisan	2.322	1.959	0.456	2.621	717	2.732	3.038	0.821	3.440	718
Mayıs	2.187	1.724	0.598	2.888	740	2.787	2.722	0.550	2.458	744
Haziran	2.325	1.872	0.300	2.160	715	2.426	2.162	0.624	2.950	719
Temmuz	3.179	2.372	-0.039	2.113	741	2.772	2.930	0.470	2.458	744
Ağustos	2.392	2.003	0.425	2.295	730	2.522	2.421	0.398	2.111	743
Eylül	2.234	2.417	0.690	2.900	691	2.302	2.074	0.620	2.650	720
Ekim	2.279	2.720	0.733	3.141	722	2.286	2.047	0.643	2.632	743
Kasım	2.171	1.748	0.339	2.515	701	2.776	3.070	0.712	3.083	720
Aralık	1.779	1.711	0.789	2.881	720	2.701	3.663	1.412	5.469	744
Tüm Yıl	2.362	2.380	0.611	2.814	8628	2.641	3.026	0.937	4.002	8754

**Not:** Ort, Var, S, K sırasıyla rüzgar hızının, ortalaması, varyansı, çarpıklığı, basıklığını ve N toplam gözlem sayısını göstermektedir.

Türkiye’de, bir bölgeye rüzgar santralının kurulmasının uygunluğunun analiz edilmesi amacıyla en az 1 yıl süre ile rüzgar verilerinin ölçülmesi zorunluluğu olduğundan dolayı bölgelerin bir yıllık verisi ile çalışılmıştır [33].

Çizelge 1 de rüzgar hızı verilerin betimleyici istatistikleri verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında verilerin farklı ortalama, çarpıklık ve basıklık değerlerine sahip olduğu böylece rüzgar hızının farklı istatistiksel özellikleri sahip olduğu söylenebilir.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ele alınan dağılımların parametre tahminleri ve bu dağılımları değerlendirmede kullanılacak istatistiksel kriterlerin sonuçları Çizelge 2’ de verilmiştir. Tabloda verilen sonuçlar Ulukışla ve Göztepe bölgelerinin on iki aylık ve bir yıllık rüzgar hızı verileri için elde edilmiştir. Ulukışla için dağılımlar, KS istatistik sonuçlarına göre değerlendirildiğinde, Ocak ve Şubat için LND dağılımı, Martta WD, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ND iyi performans sergilerken, Eylül, Ekim ve tüm yıl için ise GD ve GGD’nin iyi performansı gözlemlenmiştir.

$R^2$  kriteri dikkate alındığında, Ocak ve Şubat aylarında LND yüksek  $R^2$ ’ye sahipken diğer tüm aylarda ve yıllık rüzgar verilerinde ND’nin üstün performansı görülmektedir. RMSE’ye göre ise Ocak ve Şubat ayları dışındaki tüm aylar için ND’nin dikkate değer performansı gözlenmektedir.

Aynı Çizelgede sonuçları verilen Göztepe bölgesinde ise Şubat ve Temmuz dışında en az bir kritere göre ND en iyi dağılımdır. ND den sonra GGD ve WD’ nin ele alınan kriterlere göre iyi modelleme yaptığı gözlenmektedir. Ocak, Mart, Nisan, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık ve tüm yılda ND tüm kriterlere göre en iyidir. Böylece, ND’in rüzgar enerjisi tahminlemelerinde kullanılabilecek alternatif bir dağılım olabileceği sonucuna ulaşılmış olunur.

Çizelge 2. Parametre tahminleri ve istatistiksel kriter sonuçları

	Ulukışla					Göztepe						
	c	k	p	KS_D	R <sup>2</sup>	RMS	c	k	p	KS_D	R <sup>2</sup>	RMS
<b>Ocak</b>												
RD	3.5377	2.000		0.213	0.581	0.0580	3.4926	2.000		0.145	0.646	0.0505
WD	3.2156	1.481		0.097	0.862	0.0305	3.2172	1.480		0.061	0.856	0.0290
LND	2.2069	0.774		<b>0.067</b>	<b>0.927</b>	<b>0.0253</b>	0.7563	0.920		0.124	0.713	0.0462
GD	1.4496	1.996		0.092	0.886	0.0282	1.6836	1.734		0.082	0.823	0.0331
GGD	1.4137	1.991	0.985	0.090	0.889	0.0278	3.4286	1.443	1.559	0.059	0.863	0.0281
ND	12.515	0.647		0.112	0.823	0.0345	12.198	0.621		<b>0.049</b>	<b>0.911</b>	<b>0.0221</b>
<b>Şubat</b>												
RD	3.1366	2.000		0.227	0.544	0.0670	2.7709	2.000		0.1937	0.668	0.0642
WD	2.7892	1.405		0.092	0.931	<b>0.0235</b>	2.4245	1.358		0.0492	0.941	0.0253
LND	1.8658	0.844		<b>0.076</b>	<b>0.945</b>	0.0257	0.4659	0.905		0.0775	0.918	0.0326
GD	1.4191	1.784		0.091	0.933	0.0240	1.3357	1.660		<b>0.0343</b>	<b>0.955</b>	<b>0.0221</b>
GGD	2.6912	1.426	1.372	0.092	0.931	<b>0.0235</b>	2.3783	1.369	1.341	0.0492	0.941	0.0251
ND	9.8380	0.595		0.107	0.912	0.0259	7.6781	0.563		0.0790	0.902	0.0325
<b>Mart</b>												
RD	3.5690	2.000		0.158	0.843	0.0340	2.7134	2.000		0.1289	0.763	0.0528
WD	3.2729	1.523		<b>0.055</b>	0.972	<b>0.0134</b>	2.5221	1.518		0.0517	0.956	0.0218
LND	2.2761	0.764		0.090	0.912	0.0263	0.5227	0.907		0.1305	0.830	0.0453
GD	1.3926	2.109		0.061	0.959	0.0169	1.2676	1.800		0.0794	0.934	0.0269
GGD	1.4952	2.059	1.024	0.060	0.960	0.0165	2.6857	1.479	1.600	0.0517	0.959	0.0210
ND	12.738	0.675		0.068	<b>0.977</b>	<b>0.0130</b>	7.3625	0.643		<b>0.0439</b>	<b>0.975</b>	<b>0.0161</b>
<b>Nisan</b>												
RD	3.2403	2.000		0.136	0.802	0.0414	2.7104	2.000		0.0979	0.878	0.0382
WD	3.0536	1.612		0.065	0.896	0.0276	2.5830	1.639		0.0659	0.922	0.0273
LND	2.1354	0.771		0.106	0.763	0.0458	0.5745	0.855		0.1490	0.706	0.0564
GD	1.2534	2.180		0.073	0.854	0.0339	1.1503	2.018		0.0985	0.859	0.0371
GGD	1.4811	2.113	1.075	0.071	0.857	0.0336	2.7466	1.594	1.733	0.0629	0.928	0.0260
ND	10.499	0.721		<b>0.065</b>	<b>0.914</b>	<b>0.0247</b>	7.3462	0.713		0.0653	<b>0.942</b>	<b>0.0229</b>
<b>Mayıs</b>												
RD	3.2383	2.000		0.107	0.848	0.0352	2.5506	2.000		0.0785	0.964	0.0231
WD	3.1337	1.749		<b>0.061</b>	0.919	0.0238	2.4359	1.658		0.0559	0.969	0.0187
LND	2.2465	0.717		0.096	0.849	0.0378	0.5243	0.847		0.1354	0.755	0.0553
GD	1.1270	2.473		0.076	0.907	0.0273	1.0484	2.086		0.0877	0.919	0.0306
GGD	1.6081	2.275	1.162	0.072	0.909	0.0269	2.5610	1.618	1.733	0.0540	<b>0.970</b>	<b>0.0183</b>
ND	10.486	0.810		0.061	<b>0.920</b>	<b>0.0231</b>	6.5056	0.729		<b>0.0537</b>	0.964	0.0201
<b>Haziran</b>												
RD	2.8363	2.000		0.148	0.617	0.0632	2.6976	2.000		0.0808	0.867	0.0393
WD	2.7252	1.708		0.096	0.695	0.0526	2.5854	1.663		0.0621	0.950	0.0220
LND	1.9407	0.720		0.143	0.516	0.0742	0.5744	0.876		0.1500	0.722	0.0535
GD	1.0133	2.394		0.110	0.619	0.0614	1.1590	2.006		0.0989	0.902	0.0301
GGD	1.3661	2.230	1.132	0.104	0.628	0.0604	2.7850	1.609	1.786	<b>0.0586</b>	0.952	0.0214
ND	8.0449	0.784		<b>0.096</b>	<b>0.725</b>	<b>0.0490</b>	7.2769	0.720		0.0660	<b>0.947</b>	<b>0.0207</b>

Çizelge 2 devam. Parametre tahminleri ve istatistiksel kriter sonuçları

Temmuz												
RD	3.2575	2.000		0.170	0.552	0.060	3.5317	2.000		0.088	0.756	0.036
WD	3.1009	1.647		0.108	0.647	0.049	3.5710	2.134		0.082	0.785	0.035
LND	2.1640	0.773		0.147	0.519	0.064	0.9759	0.704		0.135	0.382	0.064
GD	1.2770	2.170		0.116	0.599	0.055	1.0866	2.925		0.106	0.598	0.048
GGD	1.5370	2.112	1.089	0.113	0.598	0.055	3.8158	2.057	2.320	0.080	0.803	0.034
ND	10.611	0.734		<b>0.104</b>	<b>0.682</b>	<b>0.046</b>	12.472	1.008		<b>0.088</b>	<b>0.749</b>	<b>0.036</b>
Ağustos												
RD	2.9624	2.000		0.178	0.436	0.073	2.7786	2.000		0.088	0.828	0.040
WD	2.8251	1.658		0.118	0.581	0.057	2.6644	1.675		0.054	0.906	<b>0.026</b>
LND	1.9794	0.754		0.140	0.484	0.072	0.6139	0.853		0.120	0.738	0.050
GD	1.1369	2.218		0.116	0.541	0.062	1.1454	2.088		0.068	0.890	0.030
GGD	1.3874	2.135	1.091	0.114	0.537	0.063	2.8266	1.629	1.769	0.052	<b>0.902</b>	0.026
ND	8.7757	0.743		<b>0.112</b>	<b>0.618</b>	<b>0.053</b>	7.7205	0.735		<b>0.049</b>	0.882	0.028
Eylül												
RD	2.7152	2.000		0.175	0.754	0.054	2.7213	2.000		0.154	0.753	0.054
WD	2.5830	1.657		0.109	0.877	0.036	2.4341	1.377		0.047	0.976	0.016
LND	1.8257	0.729		0.112	0.799	0.049	0.4467	1.002		0.122	0.834	0.046
GD	0.9973	2.308		<b>0.103</b>	0.848	0.041	1.4456	1.545		0.069	0.953	0.023
GGD	1.2555	2.177	1.097	0.106	0.850	0.041	2.6022	1.342	1.448	0.046	0.978	0.016
ND	7.3724	0.753		0.111	<b>0.888</b>	<b>0.034</b>	7.4054	0.562		<b>0.035</b>	<b>0.987</b>	<b>0.011</b>
Ekim												
RD	2.6964	2.000		0.162	0.813	0.048	2.8125	2.000		0.182	0.571	0.071
WD	2.5650	1.657		0.094	0.922	0.029	2.4600	1.306		0.073	0.879	0.034
LND	1.8148	0.728		0.106	0.850	0.043	0.4329	1.047		0.124	0.786	0.052
GD	0.9860	2.318		0.089	0.898	0.034	1.6017	1.422		0.084	0.866	0.037
GGD	1.2477	2.182	1.098	0.092	0.900	0.033	2.6441	1.273	1.376	0.072	0.883	0.033
ND	7.2704	0.755		0.098	<b>0.928</b>	<b>0.027</b>	7.9102	0.524		<b>0.059</b>	<b>0.921</b>	<b>0.027</b>
Kasım												
RD	3.2820	2.000		0.148	0.839	0.037	2.5413	2.000		0.121	0.807	0.051
WD	3.1067	1.631		0.076	0.941	0.021	2.3994	1.574		0.081	0.853	0.040
LND	2.1803	0.757		0.111	0.851	0.036	0.4744	0.932		0.160	0.631	0.068
GD	1.2485	2.223		0.076	0.915	0.026	1.1986	1.811		0.111	0.788	0.049
GGD	1.5107	2.136	1.084	<b>0.074</b>	0.916	0.026	2.6167	1.519	1.705	0.077	0.865	0.038
ND	10.771	0.734		0.079	<b>0.951</b>	<b>0.018</b>	6.4583	0.664		<b>0.077</b>	<b>0.885</b>	<b>0.035</b>
Aralık												
RD	3.3097	2.000		0.176	0.841	0.036	2.2079	2.000		0.185	0.641	0.079
WD	3.0070	1.499		<b>0.067</b>	<b>0.970</b>	<b>0.015</b>	1.9308	1.325		0.047	0.992	0.013
LND	2.0921	0.756		0.082	0.926	0.026	0.2098	0.982		0.099	0.909	0.047
GD	1.2808	2.108		0.072	0.966	0.016	1.1786	1.509		0.052	0.984	0.019
GGD	1.3472	2.051	1.012	0.068	0.967	0.016	2.0088	1.305	1.362	0.046	0.993	0.013
ND	10.954	0.663		0.082	0.961	0.017	4.8747	0.539		<b>0.044</b>	<b>0.996</b>	<b>0.007</b>
Tüm Yıl												
RD	3.1624	2.000		0.168	0.837	0.038	2.8208	2.000		0.121	0.856	0.041
WD	2.9491	1.573		0.079	0.949	0.019	2.6043	1.494		0.044	0.981	0.014
LND	2.0564	0.761		0.101	0.876	0.033	0.5501	0.923		0.122	0.844	0.040
GD	1.2280	2.150		<b>0.078</b>	0.928	0.024	1.3384	1.764		0.069	0.955	0.021
GGD	1.3834	2.088	1.048	0.079	0.929	0.024	2.7626	1.457	1.567	0.042	0.983	0.013
ND	10.000	0.701		0.087	<b>0.956</b>	<b>0.018</b>	7.9572	0.629		<b>0.034</b>	<b>0.993</b>	<b>0.008</b>

Çizelge 3’de Ulukışla bölgesi için dağılımların WPE kriterine göre karşılaştırılması verilmiştir. Ocak, Şubat ve Nisan aylarında WD, Mart ve Aralıkta GGD, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ND en küçük WPE değerini sağlamıştır. LND dağılımının rüzgar gücü tahminlerindeki hatasının çok büyük olduğu yine bu çizelge de görülmektedir.

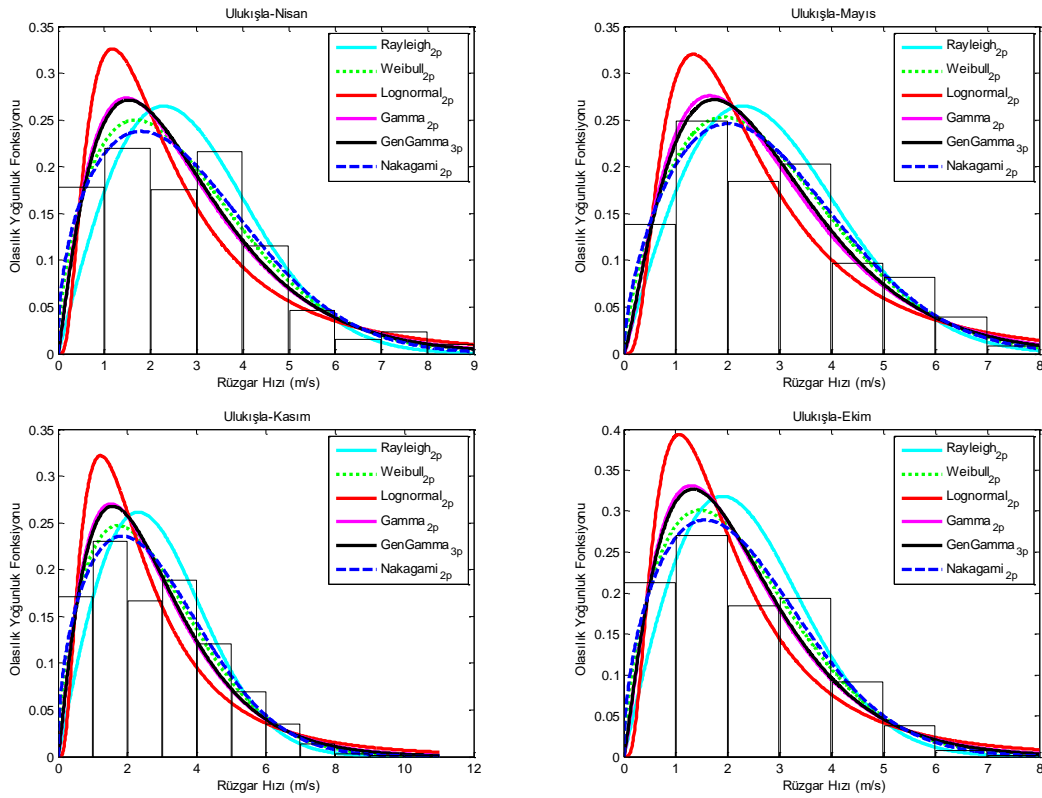
**Çizelge 3.** Dağılımların WPE kriter sonuçları (Ulukışla)

Aylar	RD	WD	LND	GD	GGD	ND
Ocak	12.89	0.75	136.57	7.76	9.39	3
Şubat	14.7	2.6	233.23	11.8	3.09	2.77
Mart	17.15	6.61	124.44	0.17	0.36	8.8
Nisan	8.82	1.35	185.84	15.04	10.71	1.38
Mayıs	3.64	2.71	144.81	17.4	10.92	1.2
Haziran	5.13	2.33	136.56	16.19	10.92	0.45
Temmuz	4.26	6.01	212.14	24.58	18.18	3.1
Ağustos	3.51	6.36	179.55	23.5	18.09	5.18
Eylül	6.18	2.77	135.96	15.1	11.52	0.34
Ekim	6.41	2.41	133.32	14.39	10.86	0.04
Kasım	7.39	2.37	170.22	16.08	11.81	0.28
Aralık	18.63	8.18	102.74	4.43	3.28	10.01
Tüm Yıl	11.17	0.36	149.54	10.04	8.08	3.22

Çizelge 4’de, Göztepe için hesaplanan WPE dikkate alındığında, hemen hemen tüm aylar için ND dağılımının WPE kriterine göre ilk üç dağılım arasında olduğu gözükmektedir. Ocak, Mart, Mayıs, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık ve tüm yılda ise ND en küçük WPE’ye sahiptir.

**Çizelge 4.** Dağılımların WPE kriter sonuçları (Göztepe)

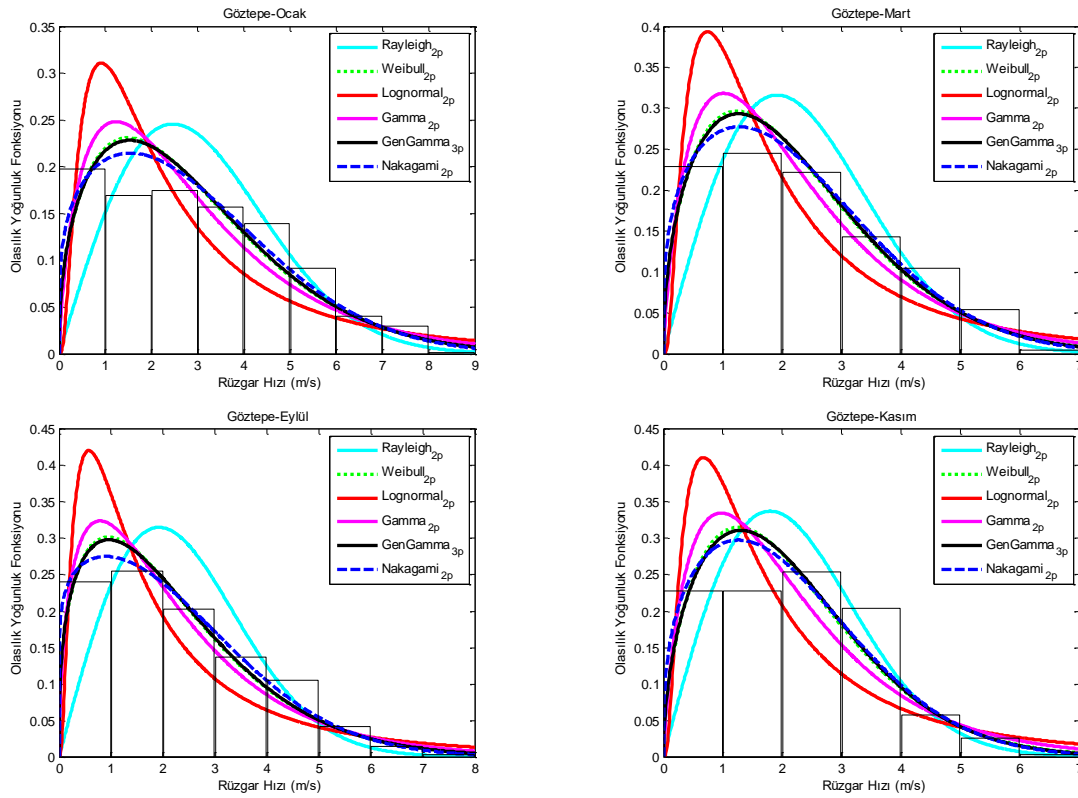
Aylar	RD	WD	LND	GD	GGD	ND
Ocak	6.42	12.8	624.76	39.64	10.94	5.37
Şubat	17.06	2.19	376.14	12.96	2.48	3.94
Mart	5.69	11.43	594.16	38.67	9.71	5.21
Nisan	3.36	8.15	451.56	36.04	6.71	4.85
Mayıs	4.55	5.64	428.84	31.2	4.67	2.95
Haziran	1.1	10.1	575.87	42.59	8.08	7.03
Temmuz	7.32	4.05	219.95	32.98	2.78	7.12
Ağustos	2.45	7.59	471.36	35.51	6.29	4.99
Eylül	10.47	14.36	1077.57	40.82	12.25	3.75
Ekim	12.21	18.1	1414.8	43.94	15.47	3.87
Kasım	2.51	13.31	828.69	49.3	10.44	7.79
Aralık	13.38	12.59	772.18	31.8	11.51	1.63
Tüm Yıl	7.55	10.22	647.92	36.43	8.68	3.73



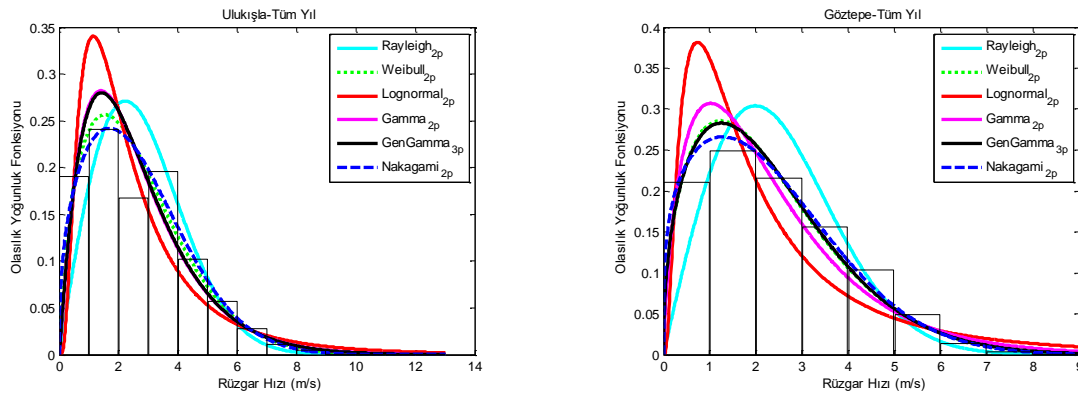
Şekil 7. Rüzgar hızı histogramı ve tahmin edilen dağılımlar (Aylık veri)

Ele alınan dağılımların performansını görsel olarak ortaya koyabilmek için Ulukışla ilçesinin aylık rüzgar hızı verisinin histogramı ve bu veriler için hesaplanmış parametrelerle uyumları Şekil 7’de verilmiştir. Bu grafikler de ND dağılımının aylık rüzgar verisinin histogramına uyumu açıkça gözükmemektedir. Ayrıca, bu grafiklerde RD ve LND’nin diğer dağılımlara göre veriyi modelleme de yetersiz kaldığı Çizelge 2’deki sonuçları destekler şeklindedir.

Göztepe’ye ait bazı aylık veriler için histogram ve elde edilen uyumları Şekil 8’de verilmiştir. Bu şekilde yine LND ve RD nin modelleme yetersizliği ile birlikte WD, GD, GGD ve ND’nin veriyi iyi uyumu gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Rüzgar hızı histogramı ve tahmin edilen dağılımlar (Aylık veri)



Şekil 9. Rüzgar hızı histogramı ve tahmin edilen dağılımlar (yıllık veri)

Şekil 9 daki yıllık bazda veriler dikkate alındığında, WD, GD, GGD ve ND'nin veriyi modellemede daha iyi performans sergilediği kolayca gözlemlenebilir.

## 6. SONUÇLAR

Türkiye'deki rüzgar santrali yatırımların artırılması rüzgar enerji potansiyelinden yararlanılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Belli bir bölgede rüzgar santrali kurulumu sürecinde önemli aşamalardan birisi rüzgar hızının doğru bir şekilde modellenmesidir. Literatürde, Weibull dağılımı rüzgar için kabul edilmiş referans dağılımdır. Ancak Weibull'un her bölge ve her tip rüzgar için uygun bir dağılım olmadığı pek çok çalışmanın odak konusudur. Bu çalışmada, Weibull dağılımına alternatif olabilecek çeşitli dağılımlar ele



alınmıştır. Bu dağılımlar: Rayleigh, Lognormal, Gamma, Genelleştirilmiş Gamma ve bu çalışmada ilk kez kullanılan Nakagami dağılımıdır. Türkiye'nin iki bölgesi üzerinde yapılan analizler sonucunda ele alınan dağılımlar çeşitli istatistiksel kriterler yardımıyla karşılaştırılmış, Genelleştirilmiş Gamma ve Nakagami dağılımların rüzgar verisini modellemede diğerlerine göre daha çok başarı gösterdiği, dolayısıyla Weibull'a alternatif olduğu görülmüştür. Hesaplanan rüzgar gücü hatasına göre de yine Nakagami dağılımının diğerlerine göre üstünlüğü sözkonusudur. Böylece, Nakagami dağılımının rüzgar enerjisi alanında alternatif bir dağılım olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### TEŞEKKÜR

“Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1506F532 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.” Verilen bu destek nedeniyle Anadolu Üniversitesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKLAR

- [1] Özgener Ö, Türkiye’de ve dünya’da rüzgar enerjisi kullanımı, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 4, No. 3, 2002, s.159–173.
- [2] Karadenizli A, Eker MK., Balıkesir-Balya meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak Weibull fonksiyonu parametrelerinin 6 farklı metotla belirlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt. 17, No. 3, 2015, s.163-175.
- [3] Özgür, M.A., Peker, Ö., Köse, R. Kütahya’da Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi, *6. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 25-27 Mayıs, 2006.
- [4] Celik AN. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey, *Renewable Energy*, Cilt. 29, No. 4, 2004, s.593–604.
- [5] Akpınar EK, Akpınar S. Determination of the wind energy potential for Maden, Turkey, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 45, No.18-19, 2004, s.2901–14.
- [6] Ucar A, Balo F. Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey, *Applied Energy*, Cilt. 86, No. 10, 2009, s.1864–71.
- [7] Akdag S, Guler O. Calculation of wind energy potential and economic analysis by using Weibull distribution-a case study from Turkey. Part 1: Determination of Weibull Parameters, *Energy Sources Part B*, Cilt. 4, No.1, 2009, s.1–8.
- [8] Fazelpour F, Soltani N, Soltani S, Rosen MA. Assessment of wind energy potential and economics in the north-western iranian cities of Tabriz and Ardabil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt. 5, 2015, s. 87–99.
- [9] Islam MR, Saidur R, Rahim NA. Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function, *Energy*, Cilt. 36, No. 2, 2011, s.985–92.
- [10] Ouammi A, Dagdougui H, Sacile R, Mimet A. Monthly and seasonal assessment of wind energy characteristics at four monitored locations in Liguria region (Italy), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt. 14, No. 7, 2010, s.1959–1968.
- [11] Safari B, Gasore J. A statistical investigation of wind characteristics and wind energy potential based on the Weibull and Rayleigh models in Rwanda, *Renewable Energy*, Cilt. 35, No. 12, 2010, s.2874–80.

- [12] Kantar YM, Senoglu B. A comparative study for the location and scale parameters of the Weibull distribution with given shape parameter, *Computers&Geosciences*, Cilt. 34, 2008, 1900–9.
- [13] Yavuz AA. Estimation of the Shape Parameter of the Weibull Distribution Using Linear Regression Methods: Non-Censored Samples, *Quality and Reliability Engineering International*, Cilt. 29, No. 8, 2013, s.1207–1219.
- [14] Arslan T, Bulut YM, Yavuz AA. Comparative study of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt. 40, 2014, s. 820–25.
- [15] Akdag S, Dinler A. A novel energy pattern factor method for wind speed distribution parameter estimation. *Energy Conversion and Management* Cilt. 106, 2015, s.1124–1133.
- [16] Kantar YM, Usta I., Acitas. A Monte Carlo Simulation Study on Partially Adaptive Estimators of Linear Regression Models, *Journal of Applied Statistics*, Cilt. 38, 2011, s. 1681-1699.
- [17] Kantar YM, Usta İ, Yenilmez İ, Arik İ. Comparison of some estimation methods of the two parameter Weibull distribution for unusual wind speed data cases, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Cilt. 9, No. 2, 2016, s.81-89.
- [18] Usta I. Different estimation methods for the parameters of the extended Burr XII distribution. *Journal of Applied Statistics*, Cilt. 40, No.2, 2013, 397–414.
- [19] Usta I. An innovative estimation method regarding Weibull parameters for wind energy applications. *Energies*, Cilt. 106, 2016, s. 301- 314.
- [20] Akdag SA, Bagiorgas HS, Mihalakakou G. Use of two-component Weibull mixtures in the analysis of wind speed in the Eastern Mediterranean, *Applied Energy*, Cilt. 87, No. 8, 2010, s.2566–73.
- [21] Chang TP. Estimation of wind energy potential using different probability density functions, *Applied Energy*, Cilt. 88, No. 5, 2011, s.1848-1856.
- [22] Kantar YM, Usta I. Analysis of wind speed distributions: wind distribution function derived from minimum cross entropy principles as better alternative to Weibull function. *Energy Conversion and Management*, Cilt. 49, 2008, s. 962–73.
- [23] Usta I, Kantar YM. Analysis of some flexible families of distributions for estimation of wind speed distributions, *Applied Energy*, Cilt. 89, No.1, 2012, s. 355–67.
- [24] Kantar YM, Usta I. Analysis of the upper-truncated Weibull distribution for wind speed. *Energy Conversion and Management*, Cilt. 96, 2015, s.81–88.
- [25] Soukissian T. Use of multi-parameter distributions for offshore wind speed modeling: The Johnson SB distribution, *Applied Energy*, Cilt. 111, 2013, s.982–1000
- [26] Ozgur MA, Arslan O, Kose R, Peker KO. Statistical Evaluation of Wind Characteristics in Kütahya, Turkey, *Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects*, Cilt. 31, No. 16, 2009, s.1450-1463.
- [27] Morgan EC, Matthew L, Vogel RM, Baise LG. Probability distributions for offshore wind speeds, *Energy Conversion and Management*, Cilt. 52, No.1, 2011, s.15–26.
- [28] Morgan VT. Statistical distributions of wind parameters at Sydney, Australia, *Renewable Energy*, Cilt. 6, No. 1, 1995, s.39–47.
- [29] Kantar YM, Usta İ, Yenilmez İ, Arik İ. A Study on estimation of wind speed distribution by using the Modified Weibull distribution, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Cilt. 9, No. 2, 2016, s.63-70
- [30] İmal M., Şekkeli M., Yıldız C. (2012). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ana kampüste rüzgar enerji potansiyeli araştırması ve değerlendirmesi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt.15, No. 2, 2012.

- [31] Khodabina M., Ahmadabadib A., Some properties of generalized gamma distribution, *Mathematical Sciences*, Cilt. 4, No. 1, 2010, s. 9-28.
- [32] Kolar R., Jan RJ. Estimator Comparison of the Nakagami-m parameter and its application in echocardiography, *Radioengineering*, Cilt. 13, No. 1, 2004.
- [33] Rüzgar Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/11/20081109-3.htm>, Erişim Tarihi: 07.11.2015.

### **İlhan USTA; Doç.Dr. (Assoc.Dr.)**

Lisans derecesini (I. Anadal) 2003'te Anadolu Üniversitesi İstatistik Bölümü'nden, Lisans derecesini (II. Anadal) 2004'te Anadolu Üniversitesi Matematik Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 2006'da Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Programı'ndan, Doktora derecesini 2009 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Programı'ndan aldı. Hala Anadolu Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Entropi Optimizasyon Dağılımları, İstatistik Teorisi, Sansürlü Veriler ve Parametre Tahmini, Rüzgar Enerjisi, Regresyon Analizi ve Portföy Teorisi.

*He has got his bachelors' (first major) degree in Department of Statistics at Anadolu University, Eskisehir/Turkey in 2003, his bachelors' (second major) degree in Department of Mathematics at Anadolu University in 2004, his master degree in Statistics MSc program at Graduate School of Science, Anadolu University in 2006, and his PhD degree in Statistics PhD program at Graduate School of Science, Anadolu University in 2009. He is an academic member of Department of Statistics at Anadolu University. His major areas of interests are: Entropy Optimization Distribution, Theory of Statistics, Censored Data and Parameter Estimation, Wind Energy, Regression Analysis and Portfolio Theory.*

### **Yeliz MERT KANTAR; Doç.Dr. (Assoc.Dr.)**

Lisans derecesini 1999'da Anadolu Üniversitesi Matematik Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 2003'da Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Programı'ndan, Doktora derecesini 2006 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Programı'ndan aldı. Hala Anadolu Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Entropi Optimizasyon Dağılımları, Sağlık istatistik, Rüzgar Enerjisi, Regresyon Analizi ve Mekansal istatistik.

*She has got her bachelor degree in Mathematics at Anadolu University, Eskisehir/Turkey in 1999, her master degree in Statistics at Graduate School of Science, Anadolu University in 2003, and her PhD degree in Statistics at Graduate School of Science, Anadolu University in 2006. She is an academic member of Department of Statistics at Anadolu University. Her major areas of interests are: Entropy Optimization Distribution, Robust Statistics, Wind Energy, Regression Analysis and Spatial statistics.*