

# Antakya Bölgesinde Rüzgâr Gücü Yoğunluğu ve Rüzgâr Hızı Dağılımı Parametrelerinin İstatistiksel Analizi

İlker Mert\*, Cuma Karakuş\*\*

\*Denizcilik Meslek Yüksekokulu, İskenderun

\*\*Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İskenderun

(Geliş / Received : 24.04.2014 ; Kabul / Accepted : 14.06.2014 )

## ÖZ

Rüzgar hızı verisinin olasılık dağılımının kusursuz olarak belirlenmesi bir bölgenin sahip olduğu rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi açısından en önemli adımdır. Bu çalışmada kıyısal Akdeniz şehri Hatay'da bulunan Antakya bölgesinin Türkiye meteoroloji genel müdürlüğünden elde edilen 10 m yükseklikte ölçülen günlük, aylık ve yıllık ortalama rüzgar hızları analiz edilmiştir. İstatistiksel analizlerde yaygın olarak kullanılan Log-normal ve Gamma dağılımları da mevcut veriye uygulanmıştır. Antakya bölgesinin rüzgar hızı dağılım eğrileri, ortalama rüzgar hızları ve rüzgar gücü yoğunluğu değerleri Log-normal ve Gamma dağılımları kullanılarak elde edilmiştir. Anderson-Darling test, Belirleme Katsayısı ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü dağılımların uyum iyiliği testleri için kullanılmıştır. Sonuç olarak araştırılan bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun düşük olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Gamma dağılımı; Log-normal dağılım; Rüzgar hızı; Rüzgar enerjisi.

## A Statistical Analysis of the Wind Speed Distribution Parameters and Wind Power Density in Antakya Region

### ABSTRACT

A precise determination of probability distribution for wind speed data is the most important step in statistically evaluating wind speed and wind energy potential of a region. In this study, wind characteristic and wind energy potential of the Antakya that is located in the Mediterranean coastal city Hatay of Turkey, are analyzed using the daily, monthly and annual average wind speed data of Turkish State Meteorological Service measured at 10 m. Log-normal and Gamma distributions widely used distributions in statistical analyses were applied to wind speed data sets for Antakya. Wind speed distribution curves, mean wind speed and the wind power density values of Antakya are obtained by using the Log-normal and Gamma probability density functions. Anderson-Darling test, the coefficient of determination and Root Mean Square Error Analysis are used to evaluate their goodness-of-fit of the Log-normal and Gamma distributions. As a result, it is found that the investigated location has a low wind power density.

**Keywords:** Gamma distribution; Log-normal distribution; Wind speed; Wind energy.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konvansiyonel kaynaklarla üretilen enerji, küresel ve yerel düzeyde zararlı çevresel etkilere ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu durum sürekliliği olan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını, elektrik üretimi ve tüketimi açısından ayrıcalıklı konuma getirmektedir. Bugün yıllık enerji ihtiyacının yüzde 27'sini yerli ve yenilenebilir kaynaklardan karşılayan ve toplam kurulu gücü 61 bin MW düzeyinde olan Türkiye, tükettiği enerjinin yüzde 73'ünü ithal etmektedir [1]. Enerji ithalatı için ülke bütçesinden her yıl ortalama 60 milyar dolar pay ayıran Türkiye, 2023'te kurulu gücünü 100

bin MW seviyesine çıkarmayı ve kurulu gücünün yüzde 30'luk kısmını ise yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle başta rüzgar olmak üzere güneş, jeotermal enerji gibi kaynaklardan karşılamayı hedeflemektedir. 2013 yılı itibarı ile rüzgar enerjisi, yaklaşık % 3 oran ile Türkiye elektrik üretiminin birincil enerji kaynakları arasında 6. sırada yer almaktadır [2].

Günümüzde rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz gelgit gibi doğal kaynaklar yenilenebilir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır. Ancak bu kaynakları tamamı tek bir coğrafi bölgede bulunmamaktadır. Türkiye uygun coğrafi yapısı nedeniyle rüzgâr enerjisinden yararlanabilen şanslı ülkelerden biridir. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından yayınlanan 2013 yılı sonu verilerine göre, Türkiye mevcut rüzgar enerjisi santralleri, kurulu güç bakımından 646,30 MW seviye-

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ckarakus@mku.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.1, 35-42

sine ulaşmıştır. Son yıllarda rüzgar enerjisi bakımından cazibe merkezi haline gelen Hatay ili ise, 216 MW kurulu güç kapasitesine sahip olup inşa halinde bulunan yeni projelerle (97 MW) birlikte bölgenin 2014 yılında toplam 313 MW kurulu güç potansiyeline ulaşması beklenmektedir [3]. Hatay ili, sınırları içerisinde yer alan Belen, Şenbük, Şenköy, Karaköse, Çakırköy, Şebenoba, Koyunoğlu Mızraklı, Hıdırbey gibi rüzgar potansiyeli yönünden zengin bölgelere sahiptir. Ancak Antakya bölgesinin barındırdığı organize sanayi bölgesi nedeniyle elektrik ihtiyacı artma eğilimindedir. Bu durumla orantılı olarak daha fazla elektrik üretimi yapılmalıdır. Ayrıca, enerji kaynağı ve üretim yöntemleri de çeşitlendirilmelidir. Türkiye’de birçok bölgede rüzgar enerjisi potansiyeli araştırması gerçekleştirilmiştir. Özgür [4], Kütahya’yı; Dünder [5], Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgelerini; Eskin ve arkadaşları [6], Gökçeada’yı; Çelik [7], İskenderun bölgesini; Şahin ve Bilgili [8], Belen bölgesi; Bilgili [9], Antakya ve İskenderun bölgelerini Weibull dağılımı kullanarak araştırmışlardır. Ancak, literatürde sıkça kullanılan Weibull dağılımı yüksek rüzgar profiline sahip bölgelerde başarılı olurken Gamma ve Log-normal dağılımları ise düşük rüzgar hızı profiline modellemede daha başarılı olmaktadır [10-12]. Bu nedenle rüzgar enerjisi fizibilite çalışmalarında uygun dağılımlar kullanılarak rüzgar profilinin gerçeğe yakın modellenmesi ve rüzgar gücü yoğunluğunun hesaplanması büyük önem arz etmektedir. Daha önceki çalışmalarında Weibull ve Log-normal dağılımlarını kullanarak bölgenin güç yoğunluğunu hesaplayan Mert ve vd. Log-normal dağılımının Weibull dağılımı ile yakın sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur [13]. Bu çalışmada da bölgenin düşük rüzgar hızı profiline sahip olması nedeniyle Weibull dağılımına alternatif olarak ortaya çıkan Log-normal ve bölgede daha önce denenmemiş olan Gamma dağılımları tercih edilmiştir. Bununla beraber, bu çalışmanın temel amacı da Log-normal ve Gamma dağılımlarını kullanarak mevcut veriler ışığında Antakya bölgesinin rüzgar profilini istatistiksel olarak değerlendirmek ve kullanılan dağılımların parametrelerine bağlı olarak elde edilebilecek rüzgar gücü yoğunluğunu tahmin etmektir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada, Antakya/Hatay meteoroloji istasyonunda 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgâr hızı ve yönü verileri kullanılarak, Antakya bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Rüzgar verilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşım olarak Gamma ve Log-normal dağılım fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan her iki dağılım için fonksiyon parametreleri Maksimum Likelihood yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Anderson-Darling test, Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü ( $RMSE$ ) dağılımların uyum iyiliği testleri olarak kullanılmıştır. Böylece, en başarılı dağılım tespit edilmiştir. Ayrıca, kullanılan dağılımların karakteristik parametrelerine bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar

güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise aylık ve yıllık olarak hesaplanmıştır. Böylece genel anlamda Antakya bölgesinin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi için bir ön çalışma yapılmıştır.

### 2.1. Materyal (Materials)

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün Antakya/Hatay meteoroloji istasyonunda (36.20 enlem ve 36.15 boylam) ve 10 metre yükseklikte 2006-2009 yılları arasında ölçülen saatlik olarak kaydedilen ortalama rüzgar hızı, yönü, basınç ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.



Şekil 1 Meteorolojik gözlem istasyonu (Meteorological observation station)

### 2.2. Metot (Methods)

Rüzgar, atmosferin ısınması ve soğumasından bağlı olarak sıcaklık ve basınç farkından meydana gelen kararlı, güvenilir ve sürekli bir kinetik enerji kaynağı olan doğal bir olaydır [14]. Rüzgar enerjisinden faydalanmak için, öncelikle rüzgar güç potansiyelinin tahmin edilmesi aşağıda 1 no’lu eşitlikten faydalanılarak gerçekleştirilir [15].

$$P = 0,5 * \rho.V^3 \quad (1)$$

Burada,  $\rho$  hava yoğunluğu olup bölge şartlarında genel olarak  $1,2 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmıştır.  $V$  ortalama rüzgâr hızını temsil etmektedir. Rüzgar hızı verisini değerlendirme işlemine, belli bir yükseklikten kaydedilen rüzgar hızı verilerinin sıklık dağılımlarının elde edilmesi ile başlanılır. Bu sıklık dağılımları sayesinde bölgenin rüzgâr hızı davranışının istikrarlı olup olmadığı araştırılır. Bu çalışmada elde edilen rüzgâr hızı sıklık dağılımını tahmin edilebilir duruma getirmek için düşük potansiyele sahip bölgelerde, rüzgâr hızının dağılımın belirlenmesinde de kullanılan iki parametrelili Gamma ve Log-normal dağılımları tercih edilmiştir [16]. Rassal olarak değişen rüzgar hızı verilerinin doğal logaritması alındığında olasılık dağılımı normal dağılıyorsa bu durum kısaca Log-normal dağılım terimiyle ifade edilir. Log-Normal dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) ise Eşitlik 2’ de verilmektedir [17]. Öte yandan Log-normal dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu (KDF) Eşitlik 3’ de verilmektedir [18].

$$f(x) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(V) - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \times \frac{1}{\sigma V \sqrt{2\pi}} \quad (2)$$

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln V - \mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

Burada  $\sigma$ , Log-normal ölçek parametresini,  $\mu$  ise yer parametresini ifade etmektedir.

Eğer  $n$  rassal olarak değişen rüzgar hızı gözlem değerlerini temsil eden tamsayı cinsinden bir değer ise, Gamma dağılımı  $n$  tane üstel dağılım gösteren rassal değişkenlerin toplamını temsil etmektedir [19]. Bu durum coğrafi konum ve iklim rejimine bağlı olarak değişkenlik gösteren rüzgar hızı verisi için de geçerlidir. Farklı bilim dallarına uygulanabilmesinin önünü açan esnek yapısı sayesinde rassal olarak değişen rüzgar hızı verilerine de uygulanabilen Gamma dağılımına ilişkin olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonu Eşitlik 4 ve 5' de verilmektedir [20].

$$f(x) = \frac{x^{a-1} e^{-x/b}}{\beta^a \Gamma(a)} \quad (4)$$

$$F(x) = \frac{\Gamma_{V/b}(a)}{\Gamma(a)} \quad (5)$$

Burada  $b$  ölçek parametresini,  $a$  şekil parametresini ve  $\Gamma$  ise gamma fonksiyonu ifade etmektedir.

Bu çalışmada, Gamma ve Log-normal dağılımlarının rüzgar hızı sıklık değerlerini ne kadar iyi tahmin edebildiğini sınamak için, örneklem verisinin, kesin olarak belirlenmiş bir [olasılık dağılımı](#) gösteren bir ana kütleli temsil edip etmediğinin sınanmasında kullanılan Anderson-Darling testi ( $A-D$ ), test sonuçlarını daha seçici hale getirmek için regresyona dayalı  $R^2$  ve  $RMSE$  uyum iyiliği testleri kullanılmıştır [21-23].

$$A-D^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \times [\ln F(V_i) + \ln(1-F(V_{n-i+1}))] \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - h_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - h_i)^2}{n} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Burada,  $n$  gözlem sayısını,  $V$ , gerçek rüzgar hızı değerlerini,  $h$ , kullanılan dağılımlar tarafından tahmin edilen hız değerlerini temsil etmektedir.

### 3. BULGULAR (RESULTS)

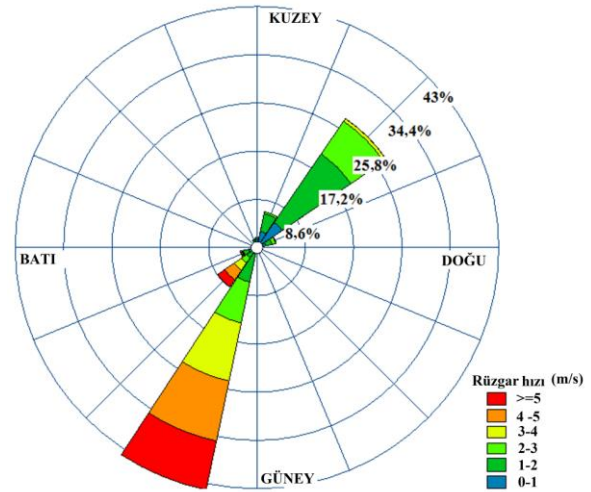
Bu çalışmada, 4 yıllık süreyi (2006-2009) kapsayan rüzgar hızı verileri Gamma ve Log-normal dağılımları kullanılarak araştırılmış olup elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Antakya meteoroloji istasyonu tarafından kaydedilen ortalama aylık ve yıllık rüzgar hızı değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu tabloya göre aylık bazda Kasım ayı (1,09 m/s, 2008) en düşük, Temmuz ayı (4,88 m/s, 2006) en yüksek rüzgar hızına sahip dönemler olarak tespit edilmiştir. Yıllık bazda ortalama

rüzgar hızı değerleri yakın değerlere sahip olarak gözükse de 2009 yılı 2,36 m/s değeri ile en düşük rüzgar hızına sahip olduğu aynı tabloda görülmektedir.

Çizelge 1. Aylık ve yıllık ortalama hız değerleri (Monthly and Daily mean wind speed values)

Periyot	$V_m$ (m/s)			
	2006	2007	2008	2009
Ocak	1,57	1,52	1,34	1,42
Şubat	1,54	1,44	1,62	1,41
Mart	1,99	1,91	2,16	1,98
Nisan	2,75	2,11	2,81	2,12
Mayıs	3,26	2,94	2,93	2,79
Haziran	4,34	3,95	3,63	3,54
Temmuz	4,88	4,31	4,53	4,34
Ağustos	4,66	4,39	4,12	3,90
Eylül	2,80	3,13	2,79	2,53
Ekim	1,80	1,87	1,44	1,59
Kasım	1,23	1,50	1,09	1,20
Aralık	1,24	1,26	1,38	1,47
Yıllık	2,67	2,53	2,49	2,36

Antakya meteorolojik gözlem istasyonuna ait rüzgar gücü grafiği Şekil 2'de verilmiş olup *WRPLOTView 7.0* programı ile elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bölgede egemen olan rüzgar yönleri Güney/güney-batı (% 44,6) ve Kuzey-doğu (% 27,8)' dur.



Şekil 2. Antakya meteorolojik gözlem istasyonuna ait rüzgar gücü grafiği (The wind rose graph of Antakya meteorological observation station)

Ocak-Temmuz periyodu için Gamma ve Log-normal dağılımlarının karakteristik değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Her iki dağılımda benzer standart sapma

Çizelge 2. Ocak-Temmuz periyodu için Gamma ve Log-normal dağılımlarının karakteristikleri (Characteristics of the Log-normal and Gamma distributions for the January-July period)

Periyot	Parametre	2006	2007	2008	2009	Parametre	2006	2007	2008	2009
		Gamma					Log-normal			
Ocak	$\sigma$	0,57	0,40	0,32	0,34	$\sigma$	0,64	0,41	0,33	0,35
	$b$	0,21	0,10	0,08	0,08	$\sigma$	0,39	0,27	0,24	0,24
	$a$	7,57	14,83	17,64	17,96	$\mu$	0,38	0,39	0,26	0,32
	$V_G$	1,57	1,52	1,34	1,42	$V_L$	1,58	1,52	1,34	1,42
	$P_G$	2,37	2,15	1,47	1,75	$P_L$	2,42	2,15	1,47	1,75
Şubat	$\sigma$	0,42	0,40	0,55	0,51	$\sigma$	0,42	0,41	0,60	0,56
	$b$	0,11	0,11	0,17	0,18	$\sigma$	0,27	0,28	0,33	0,38
	$a$	13,68	13,15	10,18	7,74	$\mu$	0,39	0,33	0,52	0,28
	$V_G$	1,54	1,44	1,76	1,41	$V_L$	1,54	1,44	1,77	1,42
	$P_G$	2,24	1,83	3,34	1,72	$P_L$	2,24	1,83	3,40	1,75
Mart	$\sigma$	0,64	0,59	0,77	0,76	$\sigma$	0,68	0,61	0,83	0,83
	$b$	0,21	0,18	0,28	0,29	$\sigma$	0,33	0,31	0,37	0,40
	$a$	9,61	10,56	7,76	6,71	$\mu$	0,64	0,60	0,70	0,61
	$V_G$	1,99	1,91	2,16	1,98	$V_L$	2,00	1,91	2,16	1,99
	$P_G$	4,83	4,27	6,17	4,75	$P_L$	4,90	4,27	6,17	4,83
Nisan	$\sigma$	1,08	0,70	1,05	0,85	$\sigma$	1,20	0,74	1,16	0,91
	$b$	0,42	0,24	0,39	0,33	$\sigma$	0,41	0,34	0,39	0,40
	$a$	6,51	8,96	7,15	6,68	$\mu$	0,93	0,69	0,96	0,71
	$V_G$	2,75	2,11	2,81	2,19	$V_L$	2,77	2,11	2,83	2,19
	$P_G$	12,74	5,75	13,59	6,43	$P_L$	13,02	5,75	13,88	6,43
Mayıs	$\sigma$	1,00	1,26	0,96	0,95	$\sigma$	1,10	1,45	1,04	1,03
	$b$	0,31	0,54	0,32	0,32	$\sigma$	0,33	0,46	0,34	0,36
	$a$	10,57	5,45	9,23	8,62	$\mu$	1,13	0,98	1,02	0,97
	$V_G$	3,26	2,94	2,93	2,79	$V_L$	3,28	2,98	2,94	2,80
	$P_G$	21,22	15,56	15,41	13,30	$P_L$	21,61	16,21	15,56	13,45
Haziran	$\sigma$	0,59	1,21	0,79	1,03	$\sigma$	0,60	1,35	0,84	1,20
	$b$	0,08	0,37	0,17	0,29	$\sigma$	0,13	0,33	0,23	0,32
	$a$	58,48	10,68	20,83	12,50	$\mu$	1,49	1,33	1,26	1,26
	$V_G$	4,49	3,95	3,63	3,66	$V_L$	4,49	3,97	3,63	3,69
	$P_G$	55,44	37,75	29,30	30,03	$P_L$	55,44	38,32	29,30	30,77
Temmuz	$\sigma$	0,54	1,27	0,56	0,49	$\sigma$	0,56	1,41	0,60	0,51
	$b$	0,06	0,37	0,07	0,06	$\sigma$	0,11	0,32	0,13	0,12
	$a$	81,63	11,59	64,31	78,22	$\mu$	1,58	1,42	1,50	1,46
	$V_G$	4,88	4,31	4,53	4,34	$V_L$	4,88	4,34	4,53	4,34
	$P_G$	71,18	49,04	56,94	50,07	$P_L$	71,18	50,07	56,94	50,07

( $\sigma$ ) değerlerine sahip olsa da Gamma dağılımı 0,32 (Ocak ayı) ile 1,27 m/s (Temmuz ayı) değerleri ile daha az sapmaya sahip olduğu Çizelge 2’de görülmektedir. Bu Çizelgeye göre ilk yedi aylık periyot’ta Gamma

dağılımı için  $a$  değerleri 5,45 (Mayıs ayı) ile 81,63 (Temmuz ayı) değerleri arasında değişmektedir. Aynı periyot’ta  $b$  parametresi ise 0,06 (Temmuz ayı) ile 0,54 (Mayıs ayı) değerleri arasında değişmektedir. Gamma

dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri 1,34 m/s-4,88 W/m<sup>2</sup> (Ocak ayı) ve 4,88 m/s-71,18 W/m<sup>2</sup> (Temmuz ayı)'dir.

Log-normal dağılımı için  $\sigma$  parametresi aynı dönemde 0,11 (Temmuz ayı) ile 0,46 (Mayıs ayı) değerleri arasında değişmektedir.  $\mu$  parametresi ise 0,26 (Ocak ayı) ile 1,58 (Temmuz ayı) arasındaki değerlere sahip olmuştur. Log-normal dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Gamma değerleri ile aynı değerde hesaplanmıştır

olup 1,34 m/s-1,47 W/m<sup>2</sup> (Ocak ayı) ve 4,88 m/s-71,18 W/m<sup>2</sup> (Temmuz ayı)'dir. Çizelge 1' de verilen ortalama hızların, Çizelge2' de verilen değerlerle yüksek tutarlılık gösterdiği bununla birlikte Gamma dağılımı açısından korelasyonun daha yüksek olduğu görülmektedir.

Ağustos-Aralık dönemi için Gamma ve Log-normal dağılımlarının karakteristik değerleri ise Çizelge 3'de sunulmuştur. Her iki dağılımda benzer standart sapma ( $\sigma$ ) değerlerine sahip olmakla birlikte yine bu dönemde

Çizelge 3. Ağustos-Aralık periyodu için Gamma ve Log-normal dağılımlarının karakteristikleri.(Characteristics of the Log-normal and Gamma distributions for the August–December period)

Periyot	Parametre	2006	2007	2008	2009	Parametre	2006	2007	2008	2009
Gamma						Log-normal				
Ağustos	$\sigma$	0,56	0,60	0,96	0,70	$\sigma$	0,58	0,64	1,09	0,75
	$b$	0,07	0,08	0,22	0,13	$\sigma$	0,12	0,15	0,26	0,19
	$a$	68,78	52,83	18,51	30,65	$\mu$	1,53	1,47	1,39	1,34
	$V_G$	4,66	4,39	4,12	3,90	$V_L$	4,66	4,40	4,15	3,90
	$P_G$	61,98	51,82	42,83	36,33	$P_L$	61,98	52,18	43,78	36,33
Eylül	$\sigma$	1,11	0,99	1,11	1,11	$\sigma$	1,27	1,08	1,27	1,26
	$b$	0,42	0,32	0,43	0,48	$\sigma$	0,42	0,33	0,42	0,45
	$a$	6,82	9,90	6,77	5,50	$\mu$	0,99	1,09	0,99	0,87
	$V_G$	2,89	3,13	2,91	2,61	$V_L$	2,92	3,14	2,92	2,64
	$P_G$	14,78	18,78	15,11	10,89	$P_L$	15,25	18,96	15,25	11,27
Ekim	$\sigma$	0,66	0,62	0,56	0,73	$\sigma$	0,70	0,67	0,60	0,79
	$b$	0,25	0,20	0,22	0,33	$\sigma$	0,37	0,35	0,40	0,47
	$a$	7,31	9,14	6,61	4,81	$\mu$	0,52	0,57	0,29	0,36
	$V_G$	1,80	1,87	1,44	1,59	$V_L$	1,80	1,88	1,44	1,60
	$P_G$	3,57	4,01	1,83	2,46	$P_L$	3,57	4,07	1,83	2,51
Kasım	$\sigma$	0,47	0,69	0,36	0,34	$\sigma$	0,47	0,71	0,37	0,34
	$b$	0,18	0,31	0,12	0,09	$\sigma$	0,36	0,44	0,33	0,28
	$a$	7,23	5,06	8,97	12,71	$\mu$	0,17	0,34	0,03	0,25
	$V_G$	1,27	1,55	1,09	1,20	$V_L$	1,26	1,54	1,09	1,20
	$P_G$	1,25	2,28	0,79	1,06	$P_L$	1,23	2,24	0,79	1,06
Aralık	$\sigma$	0,33	0,34	1,18	0,54	$\sigma$	0,34	0,35	0,39	0,55
	$b$	0,09	0,09	0,11	0,20	$\sigma$	0,27	0,28	0,28	0,36
	$a$	14,28	13,28	13,02	7,41	$\mu$	0,18	0,19	0,29	0,32
	$V_G$	1,24	1,26	1,38	1,47	$V_L$	1,24	1,26	1,38	1,47
	$P_G$	1,17	1,23	1,61	1,95	$P_L$	1,17	1,23	1,61	1,95

de Gamma dağılımı 0,33-1,18 m/s (Aralık ayı) arasında değişen değerleri ile daha az sapmaya sahip olduğu Çizelge 3' de görülmektedir. Aynı çizelgeye göre Gamma dağılımı için  $a$  değerleri 4,81 (Ekim ayı) ile 68,78 (Ağustos ayı) değerleri arasında değişmektedir. Bu periyot'ta  $b$  parametresi ise 0,07 (Ağustos ayı) ile 0,48 (Eylül ayı) değerleri arasında değişmektedir. Gamma dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri 1,09 m/s-0,79 W/m<sup>2</sup> (Kasım ayı) ve 4,66 m/s-61,98 W/m<sup>2</sup> (Ağustos ayı)'dir. Log-normal dağılımı için  $\sigma$  parametresi aynı dönemde 0,12 (Ağustos ayı) ile 0,47 (Ekim ayı) değerleri arasında değişmektedir.  $\mu$  parametresi ise 0,03 (Kasım ayı) ile 1,53 (Ağustos ayı) arasındaki değerlere sahip olmuştur. Log-normal dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Gamma değerleri ile aynı değerde hesaplanmış olup 1,09 m/s-0,79 W/m<sup>2</sup> (Kasım ayı) ve 4,66 m/s-61,98

Sonuç olarak hem Çizelge 1 hem de Çizelge 2-4 de verilen gözleme dayalı ortalama rüzgar hızları ile her iki dağılım tarafından tahmin edilen  $\sigma$  ve  $P$  değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Ancak Gamma dağılımının daha hassas değerler ürettiği aynı çizelgelerden anlaşılmaktadır. Bununla beraber rüzgar hızı tahminine dayalı olarak yapılan bu istatistiksel çalışmanın hassasiyetini gösteren testlerin sonuçları Çizelge 5 ve 6' sunulmuştur.

Çizelge 2-4'de verilen aylık ve yıllık ortalama güç yoğunluğu değerleri 100 W/m<sup>2</sup>'den küçük olması nedeniyle rüzgar gücü sınıflanmasında en düşük potansiyeli gösteren Class 1 grubuna girmektedir [24]. Dolayısı ile bu bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun düşük kalması, rüzgar enerjisi sistemleri tarafından elde edilebilecek elektrik miktarının düşük olacağına ve şebekeye doğrudan destek verebilmesinin mümkün görünmediğine işaret etmektedir [25]. Ancak şebeke

Çizelge 4. Yıllık Gamma ve Log-normal dağılımlarının karakteristik değerleri (Annual characteristics of the Log-normal and Gamma distributions)

Periyot	Parametre	2006	2007	2008	2009	Parametre	2006	2007	2008	2009
		Gamma					Log-normal			
Yıllık	$\sigma$	1,64	1,34	1,35	1,27	$\sigma$	1,76	1,50	1,56	1,44
	$b$	0,84	0,71	0,73	0,67	$\sigma$	0,59	0,55	0,57	0,55
	$a$	3,21	3,58	3,45	3,54	$\mu$	0,83	0,79	0,77	0,72
	$V_G$	2,70	2,54	2,51	2,39	$V_L$	2,73	2,55	2,54	2,40
	$P_G$	12,06	10,04	9,69	8,36	$P_L$	12,46	10,16	10,04	8,47

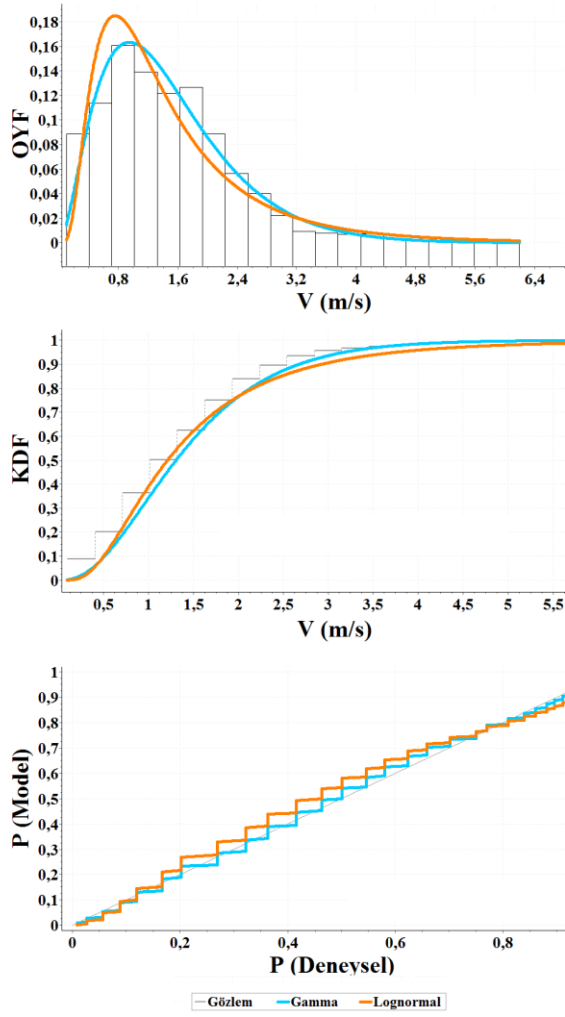
W/m<sup>2</sup> (Ağustos ayı)'dir. Çizelge 1' de verilen aylık ortalama hızların Çizelge 3' te verilen değerlerle yüksek korelasyon gösterdiği ancak Gamma dağılımının daha tutarlı olduğu görülmektedir. Yıllık Gamma ve Log-normal dağılımlarının karakteristik değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Her iki dağılımda yine benzer standart sapma ( $\sigma$ ) değerlerine sahip olmakla birlikte yine bu dönemde de Gamma dağılımı 1,27 -1,64 m/s arasında değişen değerleri ile daha az sapmaya sahip olduğu Çizelge 4'de görülmektedir.

Aynı tabloya göre Gamma dağılımı için  $a$  değerleri 3,21(2006) ile 3,58 (2007) değerleri arasında değişmektedir. Bu periyot'ta  $b$  parametresi ise 0,67 (2009) ile 0,84 (2006) değerleri arasında değişmektedir. Gamma dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri 2,39 m/s-8,36 W/m<sup>2</sup> (2009) ve 2,7 m/s-12,06 W/m<sup>2</sup> (2006)'dir. Log-normal dağılımı için  $\sigma$  parametresi aynı dönemde 0,55 (2007, 2009) ile 0,59 (2006) değerleri arasında değişmektedir.  $\mu$  parametresi ise 0,72 (2009) ile 0,83 (2006) arasındaki değerlere sahip olmuştur. Log-normal dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Gamma dağılımının değerleri ile aynı değerde hesaplanmış olup 2,4 m/s-8,47 W/m<sup>2</sup> (2009) ve 2,73 m/s-12,46 W/m<sup>2</sup> (2006)'dir.

erişimi bulunmayan bölgelerde Class 1 gurubuna giren düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabilen değerlerdir.

Rüzgar hızı modelleme işleminin grafiksel olarak görünüşü yani rüzgar hızı histogramı üzerinde Gamma ile Log-normal modelleri için OYF ve KDF dağılım eğrileri Şekil 2'de görülmektedir. Ayrıca, her iki dağılım modelinin hem gözlem hem de tahmin değerlerine ait kümülatif dağılım olasılıklarının birbirine yakınlığını gösteren P-P (olasılık-olasılık) grafiği de Şekil 2'de görülmektedir.

Elde edilen OYF ve KDF eğrileri incelendiğinde Gamma dağılımı 0,4 m/s ile 1 m/s ve 1,6 m/s ile 2,8 m/s hız aralığında tahmin edilen olasılık değerleri Log-normal dağılımına göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Ancak, 4 m/s ve üzeri hız aralığında her iki dağılımda benzer sonuçlar üretmektedir. P-P grafiği de yine rüzgar hızlarına bağlı olarak gerek Log-normal gerekse Gamma dağılımlarının OYF ve KDF eğrilerini destekleyici mahiyette tahmin ve gözlem değerleri arasındaki yakın olasılık değerlerinin elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 2. Gamma ve Log-normal modellerinin rüzgar hızı gözlem değerlerine bağlı olarak elde edilen OYF, KDF ve P-P dağılım eğrileri (PDF, CDF and P-P curves of the Log-normal and Gamma models based on observed wind speed values)

İstatistiksel modelleme işleminin son adımı olan uyum iyiliği testi için hesaplanan, Gamma ve Log-normal dağılımlarına ait  $A-D$ ,  $RMSE$  ve  $R^2$  değerleri Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmektedir. Bu Çizelgelerde verilen

sonuçlara göre en iyi uyum değerleri minimum  $A-D$ ,  $RMSE$  ve maksimum  $R^2$  değerleri ile değerlendirilmektedir. Her ne kadar değerler benzer sonuçlar ortaya koysa da Gamma dağılımı sırasıyla 6,684 ( $A-D$ ), 0,0376 ( $RMSE$ ) ve 0,9968 ( $R^2$ ) değerleri ile daha başarılı olarak değerlendirilmektedir. Bu noktada Gamma dağılımının ortalama  $R^2$  değerinin maksimum değerinin 1 olabileceği göz önüne alındığında 0,9968 (% 99,68) değeri ile çok yüksek hassasiyet ve tutarlılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Antakya bölgesindeki rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi, 2006-2009 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelleme için Gamma ve Log-normal dağılımları kullanılmış olup ve bu modelleme işleminin başarısını değerlendirmek için  $A-D$ ,  $RMSE$  ve  $R^2$  değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar kısaca özetlemek gerekirse;

- Aylık bazda Kasım ayı (1,09 m/s, 2008) en düşük, Temmuz ayı (4,88 m/s, 2006) en yüksek rüzgar hızına sahip dönemler olduğu,
- Bölgede hakim olan rüzgar yönü Güney/güney-batı (% 44,6) olduğu,
- Gamma dağılımı Ocak- Temmuz döneminde 0,32 (Ocak ayı) ile 1,27 m/s (Temmuz ayı) değerleri ile Ağustos-Aralık döneminde 0,33-1,18 m/s (her iki değer için Aralık ayı) arasında değişen değerleri ile daha az sapmaya sahip olduğu,
- Daha az sapmaya sahip olan Gamma dağılımı için minimum ve maksimum tahmini rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri 1,09 m/s-0,79 W/m<sup>2</sup> (Kasım ayı) ve 4,88 m/s-71,18 W/m<sup>2</sup> (Temmuz ayı) olduğu,
- Rüzgar hızını modelleme konusunda Antakya için Gamma dağılımının sırasıyla 6,684 ( $A-D$ ), 0,0376 ( $RMSE$ ) ve 0,9968 ( $R^2$ ) değerleri ile daha başarılı olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç itibarıyla, Antakya bölgesinde aylık ve yıllık

Çizelge 5. Gamma ve Log-normal dağılımları için  $A-D$  değerleri. ( $A-D$  values of the Log-normal and Gamma distributions)

	2006	2007	2008	2009	Ort.
	$A-D$	$A-D$	$A-D$	$A-D$	$A-D$
Gamma	5,737	4,692	5,752	10,554	6,684
Log-normal	18,247	22,649	23,591	38,797	25,821

Çizelge 6. Gamma ve Log-normal dağılımları için  $RMSE$  ve  $R^2$  değerleri. ( $RMSE$  and  $R^2$  values of the Log-normal and Gamma distributions)

	2006		2007		2008		2009		Ortalama	
	$RMSE$	$R^2$	$RMSE$	$R^2$	$RMSE$	$R^2$	$RMSE$	$R^2$	$RMSE$	$R^2$
Gamma	0,0453	0,99	0,0142	1	0,0503	0,998	0,0404	0,999	0,0376	0,9968
Log-normal	0,0489	0,99	0,0144	1	0,0526	0,998	0,0489	0,998	0,0412	0,9965

ortalama güç yoğunluğu olarak  $100 \text{ W/m}^2$ 'den küçük değerler elde edildiği için düşük güç yoğunluğuna bağlı olarak bölge rüzgar enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün görünmediği, daha çok şebeke erişimi bulunmayan ve/veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

## 5. SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE AND ABBREVIATIONS)

$P$	: Rüzgar güç yoğunluğu
$\rho$	: Hava yoğunluğu
$\sigma$	: Log-normal dağılımı ölçek parametresi
$\mu$	: Log-normal dağılımı yer parametresi
$b$	: Gamma dağılımı ölçek parametresi
$a$	: Gamma dağılımı şekil parametresi
$\Gamma$	: Gamma fonksiyonu
$\sigma$	: Standart sapma
OYF	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu
KDF	: Kümülatif dağılım fonksiyonu
A-D	: Anderson-Darling testi
$R^2$	: Belirleme Katsayısı
RMSE	: Ortalama Karese Hatanın Karekökü

## 6. REFERANSLAR (REFERENCES)

- Enerji Enstitüsü.2014.  
<http://enerjiensitüsü.com/2014/01/13/tureb-baskani-ataseven-turkiyenin-ruzgar-enerjisi-potansiyeli-avrupadan-fazla>.
- TEİAŞ, “Türkiye Elektrik İstatistikleri”, 2014.  
<http://www.teias.gov.tr/istatistikler.aspx>
- TÜREB, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, “Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistikleri Ocak 2014 Raporu”,  
<http://www.tureb.com.tr>, (2014).
- Özgür, M.A., “Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği”, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (2006).
- Dündar, C., “Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgeleri İçin Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacette Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1997).
- Eskin, N., Artar, H. ve Tolun, S., “Wind Energy Potential of Gökçeada Island in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 839-851, (2008).
- Çelik, A. N., “İskenderun Bölgesine Ait Rüzgar Hızı ve Güç Yoğunluğunun Çeşitli Modeller Kullanarak İstatistiksel Olarak Analizi”, *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, (2003).
- Sahin, B. and Bilgili, M., “Wind Characteristics and Energy Potential in Belen-Hatay, Turkey”, *International Journal of Green Energy*, 6: 1-16, (2009).
- Bilgili, M., Sahin, B., Kahraman, A., “Wind energy potential in Antakya and Iskenderun regions, Turkey”, *Renewable Energy*, 29(10): 1733-1745, (2004).
- Sarkar, A., Singh, S., and Mitra, D., “Wind climate modeling using Weibull and extreme value distribution”, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(5): (2011).
- Olaofe, Z. O., and Folly, K. A., “Statistical Analysis of Wind Resources at Darling for Energy Production”, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 2(2): 250-261, (2012).
- Yong, H. O. U., Yidong, P. E. N. G., Johnson, A. L., and Jing, S. H. I., “Empirical Analysis of Wind Power Potential at Multiple Heights for North Dakota Wind Observation Sites”, *Energy Science & Technology*, 4(1), (2012).
- Mert, İ., Karakuş, C., ve Peker, F., “Antakya bölgesi rüzgar karakteristiğinin incelenmesi”, *DÜ Mühendislik Dergisi*, 5(1): 13-22, (2014).
- Kurban, M., Kantar, Y. M., and Hocoğlu F.O., “Weibull dağılımı kullanılarak rüzgar hız ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi”, *Afyon Kocatepe University Journal of Science*, 7(2): 205-218, (2007).
- Akpınar E. Kavak, Akpınar S., “An Assessment of Wind Turbine Characteristics and Wind Energy Characteristics for Electricity Production,” *Energy Sources, Part A*, 28: 941–953, (2006).
- Aidan, J., Ododo J. C., “Wind Speed Distributions and Power Densities of Some Cities in Northern Nigeria”, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(6): 420-426, (2010).
- Bailey, R. L., and Dell, T. R., “Quantifying diameter distributions with the Weibull function”, *Forest Science*, 19: 97-104, (1973).
- Darbandi, S., Aalami, M.T., and Asadi, H. “Comparison of Four Distributions for Frequency Analysis of Wind Speed”, *Environment and Natural Resources Research*, 2(1), 96-105, (2012) .
- Choi, S. C., and Wette, R., “Maximum likelihood estimation of the parameters of the gamma distribution and their bias”, *Technometrics*, 11(4), 683-69, (1969).
- Nelson, T. C., “Diameter distribution and growth of loblolly pine” *Forest Science*, 10: 105-115, (1964).
- Anderson, T.W. and D.A. Darling, “Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes”, *Annals of Mathematical Statistics*, 23: 193-212, (1952).
- Krejić, N., Lužanin, Z., Ovcin, Z., “Stochastic Newton-like methods for computing equilibria in general equilibrium models”. *Computational & Applied Mathematics*, 30(1): 127-149, (2011).
- Yıldırım, U., Gazibey, Y., and Güngör A., “Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2): 37-47, (2012).
- Li, M., and Li, X., “Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region, Canada”, *Energy Conversion and Management*, 46(18): 3014-3033, (2005).
- Mert, İ., Karakuş, C., Tanç, B., “Hatay İli Kırsal Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Araziye Uygun Rüzgar Türbini Seçimi”, *9. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Konya, 699-708, (2013).