

# RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASINDA WEIBULL VE RAYLEIGH DAĞILIMLARININ KULLANILMASI

Mehmet KURBAN<sup>1</sup>, Yeliz MERT KANTAR<sup>2</sup>, Fatih Onur HOCAOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Anadolu Üniv., Müh.-Mim. Fak., Elk-Elektronik Müh. Böl., Eskişehir, Tel:222 3213550 (6461),mkurban@anadolu.edu

<sup>2</sup>Anadolu Üniv., Fen Fak., İstatistik Bölümü, Eskişehir.

<sup>3</sup>Anadolu Üniv., Müh.-Mim. Fak., Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Eskişehir.

## ÖZET

Bu çalışmada, 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında saatlik olarak ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'ndeki rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölge rüzgar enerji potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Ortalama hız, standart sapma, enerji ve güç yoğunluğu tahmininde kullanılan Weibull ve Rayleigh dağılımlarının parametreleri, En Küçük Kareler Yöntemi belirlenmiştir. Yapılan bu ön araştırma sonucunda kampusun rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi bakımından uygun olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler** – Weibull-Rayleigh dağılımı, En küçük kareler yöntemi, Rüzgar enerjisi.

## USING THE WEIBULL AND RAYLEIGH DISTRIBUTIONS FOR THE INVESTIGATION OF THE WIND ENERGY POTENTIAL

### ABSTRACT

In this paper, the wind energy potential of the İki Eylül Campus of Anadolu University is statistically analyzed based on wind speed data which measured hourly in July, August, September, and October in 2005. It is used the Weibull and Rayleigh distributions to determine wind energy potential of the region. The parameters of the Weibull and Rayleigh distributions used for finding the estimation of average speed, standard deviation, energy and power density is found using the Least Square Method. The conclusion of this preliminary research suggests that wind energy in the campus is statistically convenient for electricity generation.

**Keywords** – Weibull-Rayleigh distribution, Least square method, Wind energy.

### 1. GİRİŞ

İhtiyaç duyulan ve vazgeçilmez olan enerjinin sürekli, kaliteli ve güvenli olarak sağlanabilmesi günümüzün en önemli konularında biridir. Dünya genelinde fosil kaynaklar, gerek ısınmada gerekse yakıt olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu fosil kaynakların rezervlerinin gelecek için yeterli görülmemesi, büyük ölçüde ileri teknoloji ve finans kaynağı gerektirmesi, tüm dünya ülkelerinin mevcut enerji programlarını tekrar gözden geçirmesine ve acilen gerekli önlemleri almasına sebep olmuştur. Alınacak önlemlerin başında, toplam enerji

talebinde petrolün payının giderek düşürülmesi, enerji tasarrufunun sıkı bir şekilde yapılması ve kaynakların verimli kullanılmasının yanında yenilenebilir enerji kaynaklarından mümkün olduğu kadar yararlanma yönünde teknolojilerin hızla geliştirilip uygulanması konulması gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemlilerinden biri de rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi aslında insanlığın M.Ö. 2800'lerden beri kullandığı eski enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar enerjisi, yıllara kadar daha çok su pompalama ve kırsal alan elektrik enerjisi elde etme amaçları ile kullanım alanı

bulmuştur. Günümüzde ise artık alternatif bir enerji üretim kaynağı olarak enerji sektöründe yerini almıştır. Bu enerjinin kullanılabilmesi, rüzgar rejimine, rüzgar milinin yerleştirildiği yüksekliğe ve enerji üretim sisteminin boyutlarına bağlıdır [1-3].

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen tarafımızca yürütülen "A. Ü. İki Eylül Kampusu'nda Rüzgar ve Güneş Potansiyelini Belirleyerek Hibrid (Rüzgar-Güneş) Enerji Santral Modeli Kurmak" başlığındaki bilimsel araştırma projesi kapsamında kurulan rüzgar gözlem istasyonundaki 30 metrelik ölçüm direğinin 10 metre yüksekliğinden saatlik olarak alınan 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgar hızı verileri kullanılarak kampusun rüzgar enerjisi potansiyelinin ön araştırması sırasıyla Weibull ve Rayleigh dağılımı ile istatistiksel olarak yapılmaktadır. Böylece bölge ve bölgesinin de rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık bilgi sahibi olunacak ve üretim için çalışmalar yapılacaktır.

## 2. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Atmosferin ısınması ve soğumasından kaynaklanan sıcaklık ve basınç farkından dolayı yer değiştiren havanın, yer seviyesine göre bağıl olarak yaptığı harekettir. Burada, yüksek basınçtan alçak basınca doğru bir hareket söz konusudur. Rüzgar, olumsuz yanları az olan, atmosferde hızla olarak dolaşan, kararlı, güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi, kinetik bir enerjidir. Atmosferin rüzgarı oluşturan brüt kinetik gücü yaklaşık olarak  $190 \times 10^9$  kW değerindedir. Dünyanın 50° kuzey ve 50° güney enlemleri arasındaki  $3 \times 10^9$  kW'lık kinetik rüzgar enerjisi potansiyelinin çeşitli nedenlerden dolayı yalnızca üçte birini kullanılabileceği düşünülmektedir. Yeryüzünün aldığı toplam güneş enerjisinin yaklaşık olarak %2'sinin kinetik enerjisine dönüştüğü tahmin edilmektedir. İnsanların toplam dünya enerji tüketiminin 100'lere katı olduğu düşünülecek olursa, rüzgar enerjisinin önemi daha da iyi anlaşılacaktır [4-6].

Yüksek hız rüzgar türbinleriyle, ancak belirli bir rüzgar hızı aralığında enerji üretilebilmektedir. Bu nedenle, enerji üretim sisteminin kurulacağı yörenin rüzgar rejiminin belirlenmesi öncelikli ve önemli bir konudur. Rüzgar enerjisinin miktarı, rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpüyle orantılı olarak artmaktadır. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve esme süresine bağlıdır. Rüzgar türbini alanında esas gelişime, düşük pervane ve kanatlarının geliştirilmesi ile mümkün olmuştur [2,3].

## 3. RÜZGAR HIZI VERİLERİNİN ANALİZİ

Rüzgar gözlem istasyonlarından belli bir yükseklikten alınan rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımları elde edilerek veri analizi işlemine başlanılır. Bu frekans dağılımı yardımıyla hangi rüzgar hızı değerlerinin sık gözlemlendiği belirlenebilir. Rüzgar türbinleri seçilirken bu tür dağılımlardan yararlanılmaktadır. Rüzgar hızı verilerinin standart sapması 0 ile 3 m/s arasında olmalıdır. Herhangi bir alandaki standart sapmanın küçük olması demek o alandaki rüzgar rejiminin son derece düzenli olması anlamına gelmektedir [7].

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'nda kurulan rüzgar-güneş ölçüm ve hibrid enerji üretim sistemleri kapsamındaki rüzgar gözlem istasyonunun ve rüzgar türbininin konum ve diğer özellikleri şunlardır:

### Rüzgar gözlem istasyonunun

Konumu: E-288674 N-4410931

Rakımı: 788m

Direk yüksekliği: 30 m (10m ve 30m'de ölçüm)

Rakıma göre hesaplanan hava yoğunluğu:

$\rho = 1.1309 \text{ kg/m}^3$

### Rüzgar türbininin

Konumu: E-289269 N-4410399

Gücü: 1000 W

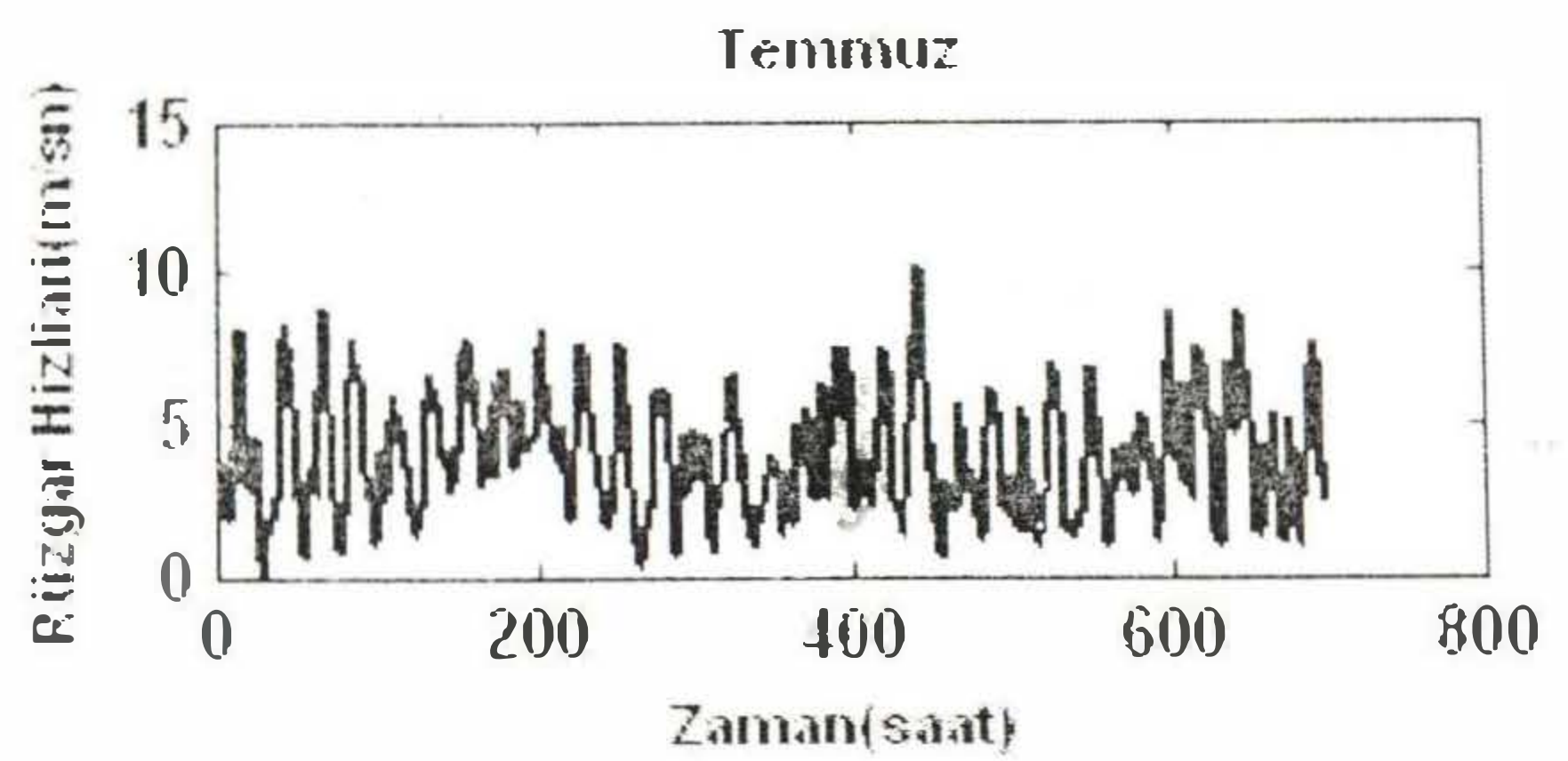
Kanat sayısı: 3

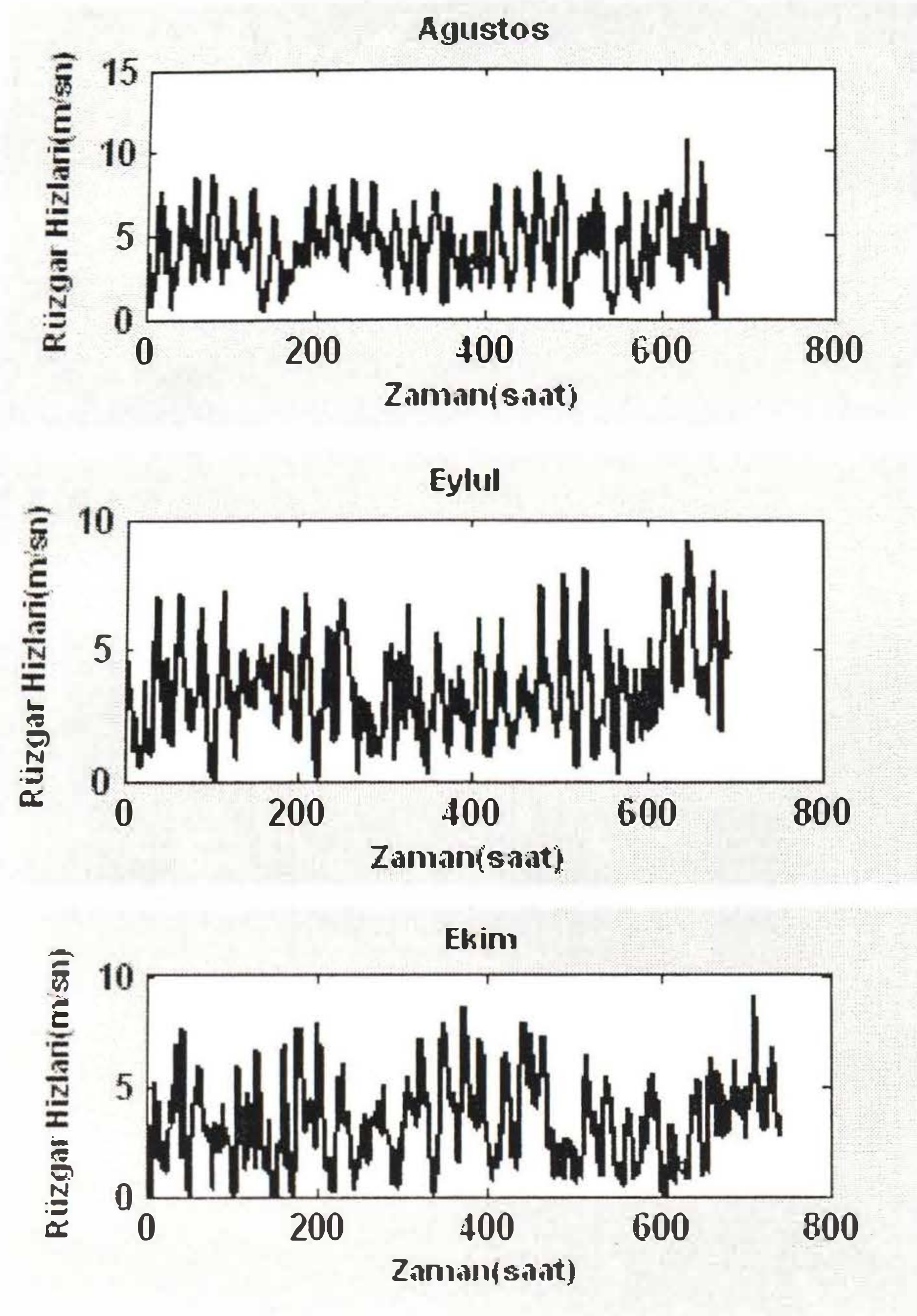
Kanat çapı: 3 m

Direk yüksekliği: 10 m

değerlerindedir.

Bu çalışmada kullanılan 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgar hızı verileri, rüzgar gözlem istasyonundaki 30 metrelik ölçüm direğinin 10 metre yüksekliğinden saatlik olarak alınmış ve Şekil 1'de, belirtilen aylar için rüzgar hızı zaman serileri verilmiştir.





Şekil 1. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Aylarına Ait Rüzgar Hız Dağılımları

#### 4. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

##### 4.1. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları

Rüzgar hızının dağılımının belirlenmesinde kullanılan pek çok dağılım vardır. İki parametrelili Weibull ve Weibull'un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları en yaygın kullanılan dağılımlardır. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull'a göre daha az esneklik; ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Ayrıca, yıllık ortalama rüzgar hızının 4.5 den büyük olduğu durumda, rüzgar hızı dağılımının Rayleigh dağılımına yaklaştığı bilinmektedir. Bu çalışmada, ortalama rüzgar hızı 4.5 den küçük ölçüldüğü için Weibull dağılımı kullanımı düşünülmüştür [8].

Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi

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

şeklindedir. Weibull dağılımının ölçek parametresi olan  $c$  aynı zamanda rüzgar verilerinde referans bir değer sahiptir.  $k$  şekil parametresinin genellikle 1.5 ile 3 değerleri arasında olması beklenmektedir [9].

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu

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

şeklindedir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir  $v$  değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir.

Rayleigh yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki ifade ile verilebilir:

$$f_R(v) = \left(\frac{2v}{c^2}\right) \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (3)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu

$$F_R(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (4)$$

şeklindedir. Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Rayleigh dağılımının rüzgar çalışmalarında geçerliliği pek çok referansta gösterilmiştir [9-14]. Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında en küçük kareler metodu kullanılmıştır. Metod detayları için [15,16] referans alınmıştır.

Ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının standart sapması sırasıyla (5) ve (6) eşitliklerinden hesaplanır.

$$v_m = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{c^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]} \quad (6)$$

Weibull dağılımına dayanarak, en büyük sıklığa sahip rüzgar hızı (7) eşitliğinden hesaplanır.

$$v_{\text{mod}} = c\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (7)$$

Maksimum rüzgar hızı şu ifadeyle bulunabilir [17]:

$$v_{\max} = c \left( \frac{k+2}{k} \right)^{1/k} \quad (8)$$

Yukarıda ifade edilen formüllerde  $k=2$  alındığında Rayleigh dağılımı için hesaplamalar gerçekleşir.

### Rüzgar Gücünün Yoğunluk Fonksiyonu ve Ortalama Güç Yoğunluğu

Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu en genel halde aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\int_0^{\infty} P(v) f(v) dv \quad (9)$$

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu (10) şeklinde aşağıdaki gibi elde edilir.

$$c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (10)$$

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu şu ifadeyle

$$\frac{1}{2} \rho v_m^3 \quad (11)$$

Yukarıda bir olasılık yoğunluk dağılımına karşılık gelen, 'ortalama güç yoğunluğu' olarak da adlandırılan rüzgar gücü yoğunluğu şöyledir [13]:

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{2} \rho v_{m,j}^3 f(v_j) \quad (12)$$

Yukarıda  $v_{m,j}$ ,  $j$ . aralıktaki ortalama hız,  $f(v_j)$  ise aynı aralıkta olasılık değerini göstermektedir.

### Analiz

Statistiksel analizlerin daha kolay yapılabilmesi için 2005 yılında Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait saatlik rüzgar hızı verileri Tablo 1'deki gibi frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir.

Tablo 1. Rüzgar Hız Verilerinin Frekans Dağılımları

$j$	$v_j$	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
1	0-1	22	21	71	71
2	1-2	90	52	105	126
3	2-3	136	96	110	131
4	3-4	128	113	140	138
5	4-5	95	161	85	123
6	5-6	90	97	55	75
7	6-7	83	67	46	40
8	7-8	38	45	19	24
9	8-9	11	18	15	4
10	9-10	2	1	6	1
11	10-11	3	1	4	0
12	11-12	0	0	2	0
13	12-13	0	0	0	0
14	13-14	0	0	0	0
15	14-15	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0
Topl		698	672	658	733

Rüzgar hızı önce sınıflara bölünmüş ve her bir rüzgar sınıf aralığındaki rüzgar frekansı belirlenmiştir. Temmuz ayı için 698, Ağustos ayı için 672, Eylül ayı için 658 ve Ekim ayı için de 733 olmak üzere toplam 2761 adet ölçüm yapılmıştır.

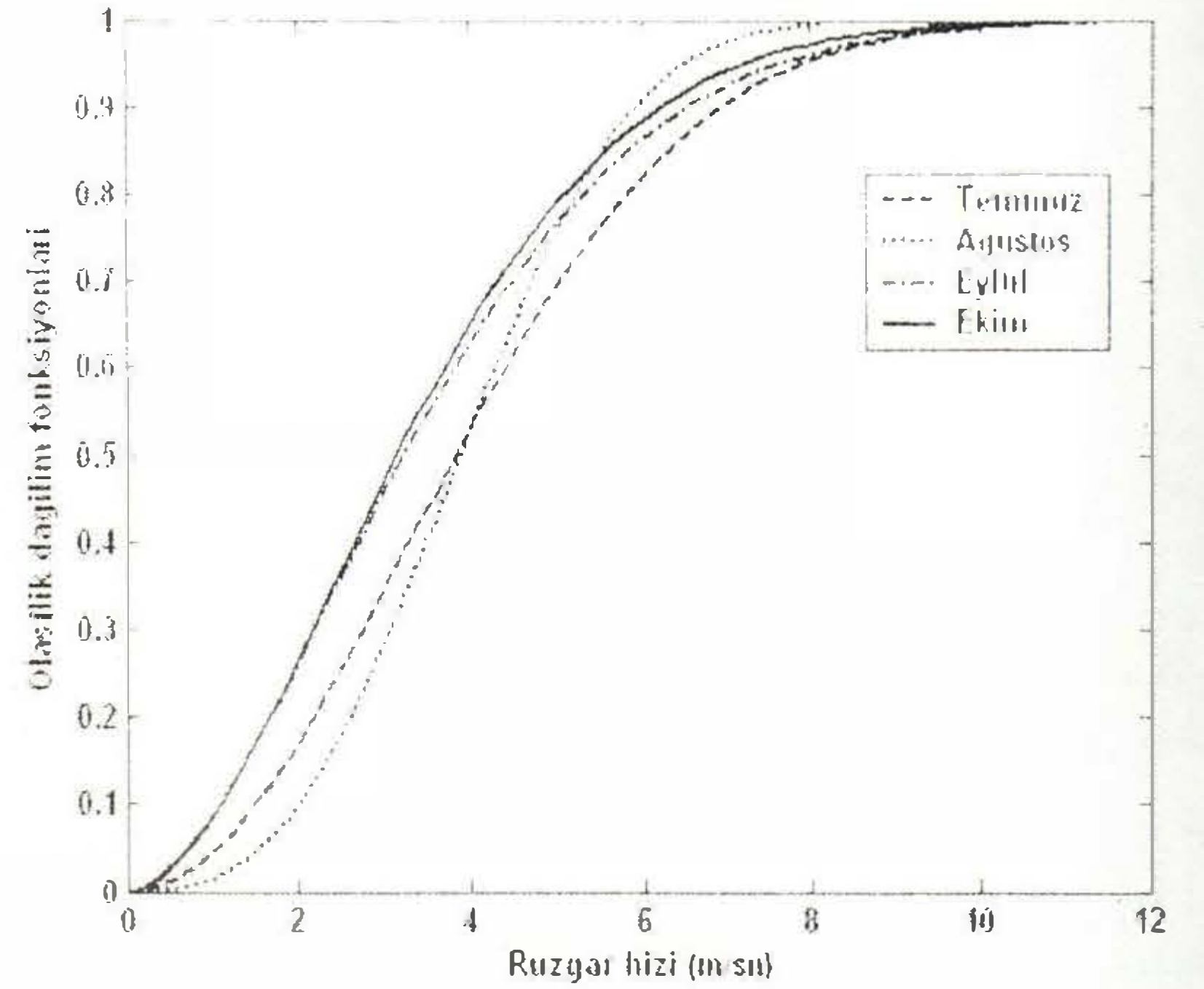
Aylara göre ölçüm sayılarının eşit çıkmamasının sebebi, işletme, bakım ve arıza sorunları nedeniyle anemometrenin veri kaydedememiş olmasıdır. Veri kaybı oranı % 10'dan küçük değerlerde olduğu için kabul edilebilir sınırlardadır ve değerlendirme güvenilirliğini çok fazla etkilememektedir.

Tablo 2'de örnek olarak 2005 yılı Temmuz ayına ait hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları ve Weibull dağılımından hesaplanan teorik frekanslar; aynı şekilde Tablo 3'te de yine Temmuz ayına ait frekans dağılımları ve Rayleigh dağılımından hesaplanan teorik frekanslar verilmiştir.

Bu tablolara göre, en büyük olasılık yoğunluk değeri 3-4 m/sn hız aralığında olmaktadır. Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için de benzer tablolar oluşturulmuştur.

**Tablo 2.** Temmuz Ayı için Frekans Dağılımları (Weibull)

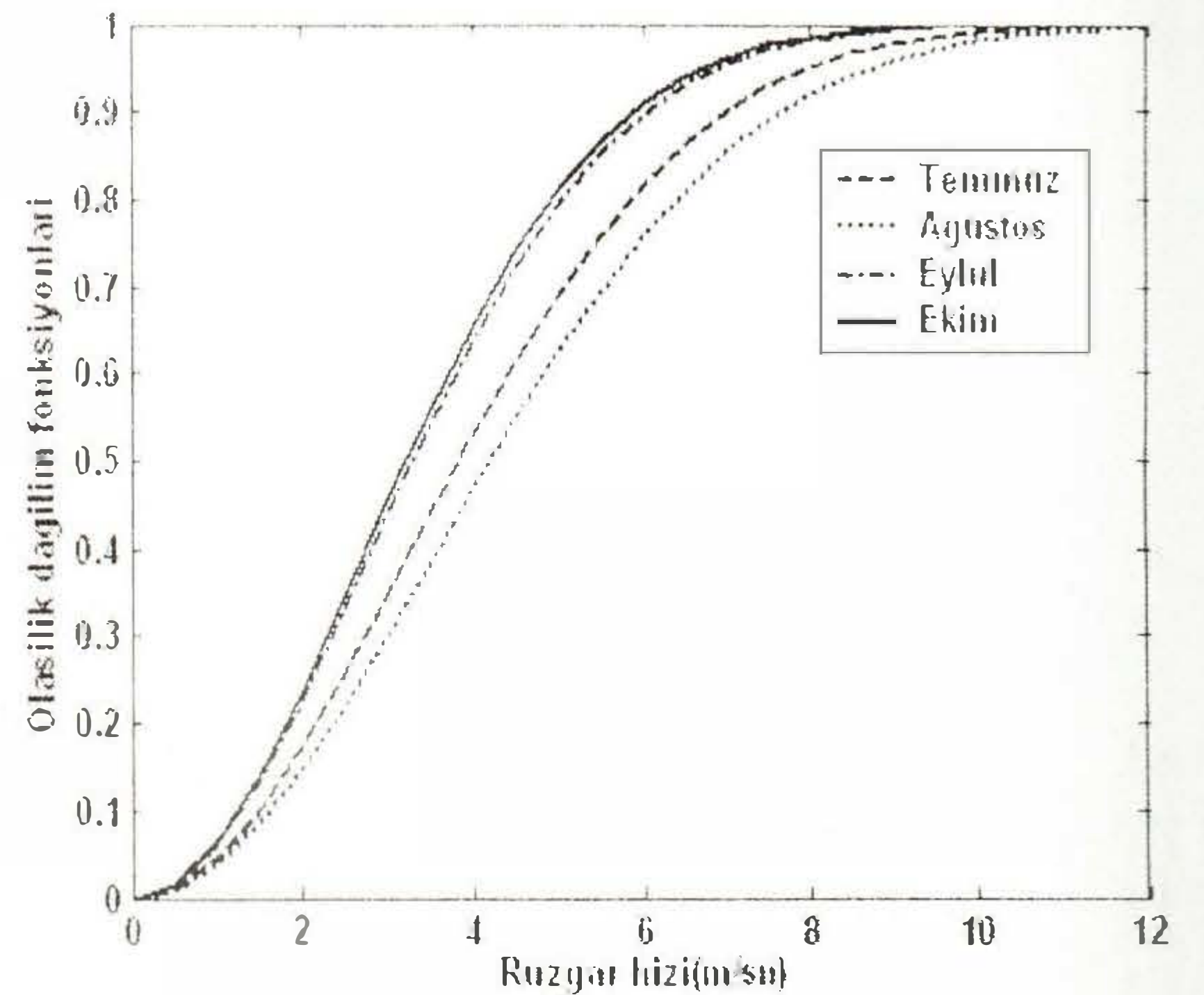
$j$	$v_j$	$f_j$	$f_j(v_j)$	$f_{w,j}$	$f_w(v_j)$
1	0-1	22	0.0315	31.0664	0.0445
2	1-2	90	0.1289	86.9584	0.1246
3	2-3	136	0.1948	121.7860	0.1745
4	3-4	128	0.1834	129.6705	0.1858
5	4-5	95	0.1361	114.8932	0.1646
6	5-6	90	0.1289	87.7071	0.1257
7	6-7	83	0.1189	58.6709	0.0841
8	7-8	38	0.0544	34.7199	0.0497
9	8-9	11	0.0158	18.2822	0.0262
10	9-10	2	0.0029	8.5984	0.0123
11	10-11	3	0.0043	3.6213	0.0052
12	11-12	0	0	1.3683	0.0020
13	12-13	0	0	0.4644	0.0007
14	13-14	0	0	0.1418	0.0002
15	14-15	0	0	0.0389	0.0001
16	15-16	0	0	0.0096	0.0000



**Şekil 2.** Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Rüzgar Hızı Weibull Kümülatif Dağılım Fonksiyonları

**Tablo 3.** Temmuz Ayı için Frekans Dağılımları (Rayleigh)

$j$	$v_j$	$f_j$	$f_j(v_j)$	$f_{R,j}$	$f_R(v_j)$
1	0-1	22	0.0315	0.0461	32.159
2	1-2	90	0.1289	0.1259	87.858
3	2-3	136	0.1948	0.1740	121.43
4	3-4	128	0.1834	0.1839	128.39
5	4-5	95	0.1361	0.1626	113.52
6	5-6	90	0.1289	0.1245	86.889
7	6-7	83	0.1189	0.0839	58.562
8	7-8	38	0.0544	0.0503	35.092
9	8-9	11	0.0158	0.0269	18.809
10	9-10	2	0.0029	0.0130	9.0531
11	10-11	3	0.0043	0.0056	3.9241
12	11-12	0	0	0.0022	1.5348
13	12-13	0	0	0.0008	0.54251
14	13-14	0	0	0.0002	0.1735
15	14-15	0	0	0.0001	0.05025
16	15-16	0	0	0.0000	0.01318

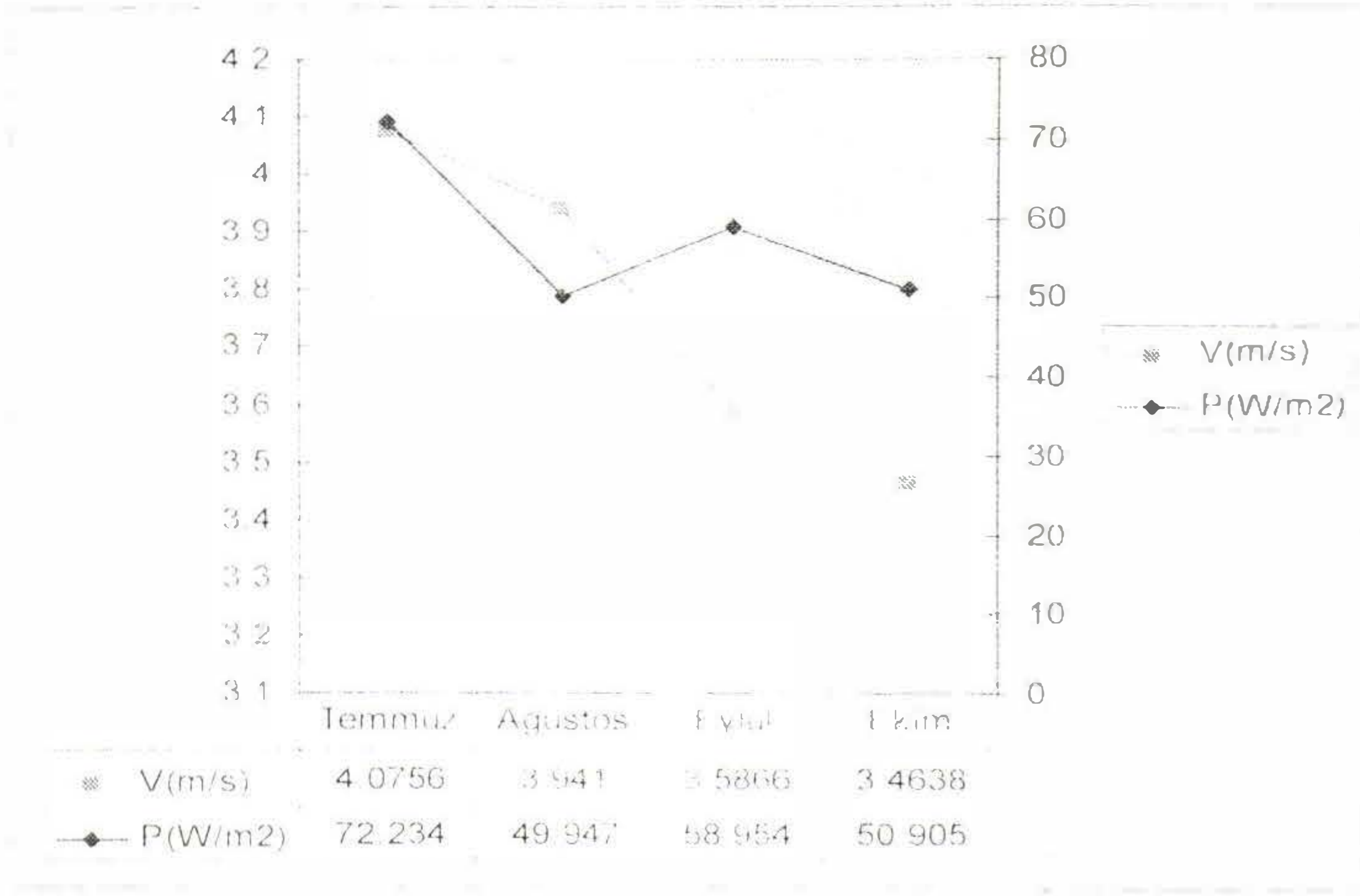


**Şekil 3.** Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Rüzgar Hızı Rayleigh Kümülatif Dağılım Fonksiyonları

Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımlarının parametrelerini bulmada En Küçük Kareler Yöntemi kullanılmış ve buna göre 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için Şekil 2'de rüzgar hızlarına bağlı Weibull kümülatif dağılım fonksiyonları, Şekil 3'te ise Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonları çizilmiştir.

**Tablo 4.** Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Weibull Parametre, Hız ve Güç Tahminleri

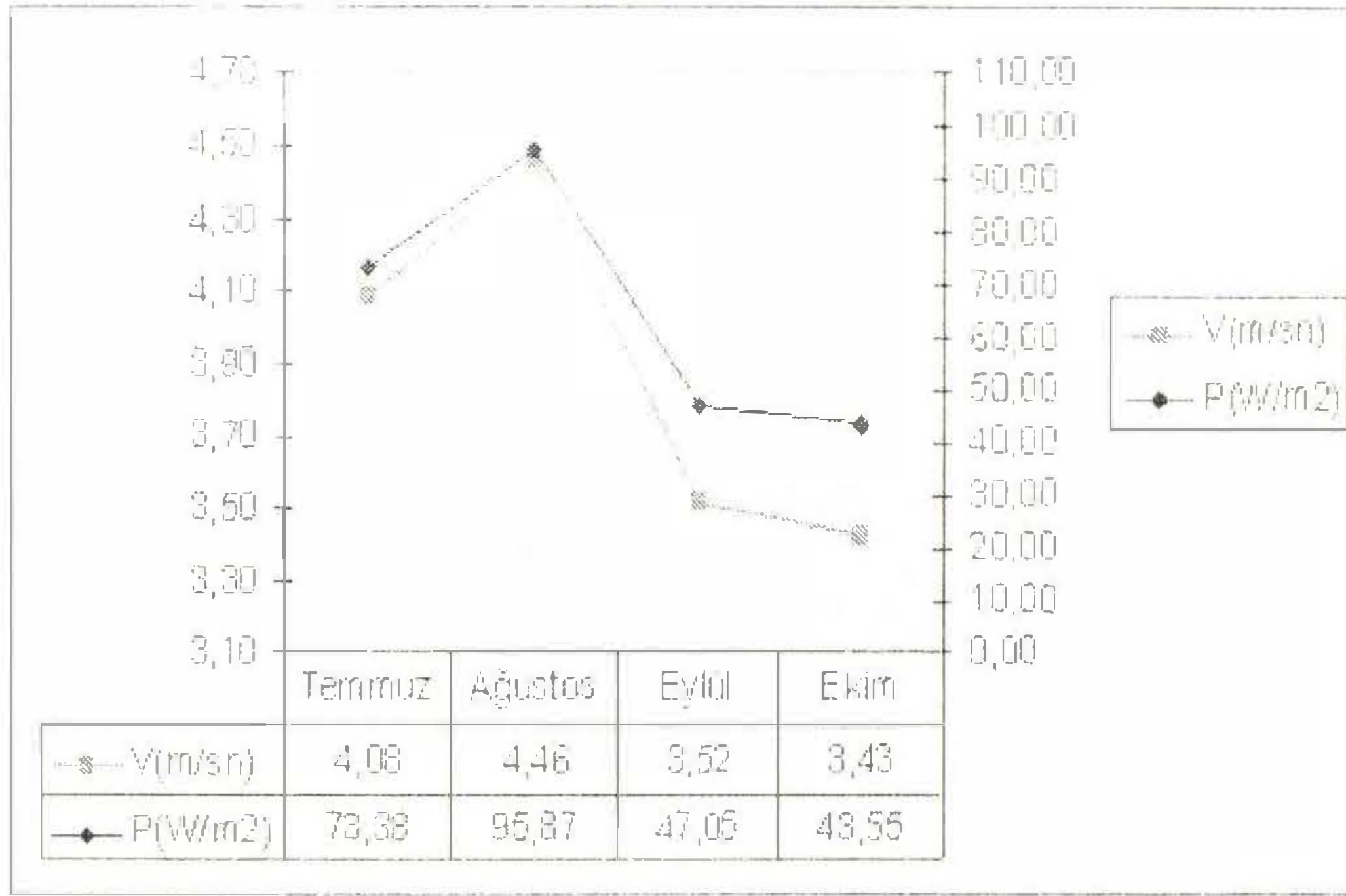
Aylar	$\hat{k}$	$\hat{c}$ (m/sn)	$\hat{v}_m$ (m/sn)	$\hat{\sigma}$ (m/sn)	$\hat{v}_{mod}$ (m/sn)	$v_{max}$ (m/sn)	$P$ (W/m <sup>2</sup> )
Temmuz	2.0245	4.5998	4.0756	2.1072	3.2857	6.4585	72.234
Ağustos	2.8613	4.4221	3.9410	1.4944	3.8051	5.3220	49.947
Eylül	1.7194	4.0228	3.5866	2.1493	2.4235	6.3011	58.954
Ekim	1.7808	3.8929	3.4638	2.0107	2.4502	5.9413	50.905



Şekil 4. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Ortalama Rüzgar Hızı ve Gücü Değişimleri (Weibull Dağılımına göre)

Tablo 5. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Rayleigh Parametre, Hız ve Güç Tahminleri

Aylar	$\bar{c}$ (m/s)	$\bar{v}_m$ (m/s)	$\bar{\sigma}$ (m/s)	$\bar{v}_{mod}$ (m/s)	$\bar{v}_{maxE}$ (m/s)	$P$ (W/m <sup>2</sup> )
Temmuz	4.6041	4.0805	2.133	3.2558	6.5116	73.375
Ağustos	5.0336	4.4609	2.3318	3.5593	7.1186	95.866
Eylül	3.9705	3.5188	2.3318	2.8076	5.6151	47.051
Ekim	3.8695	3.4293	2.3318	2.7361	5.4723	43.551



Şekil 5. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Ortalama Rüzgar Hızı ve Gücü Değişimleri (Rayleigh Dağılımına göre)

Tablo 6. Weibull ve Rayleigh Dağılımlarıyla Ölçülen Olasılık Dağılımlarının Karşılaştırılması

Aylar	Temmuz		Ağustos		Eylül		Ekim	
Kriterler	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı
RMSE	0.013376	0.013348	0.027474	0.022916	0.013875	0.018889	0.010576	0.013883
Süre (X <sup>2</sup> )	0.00019086	0.00019006	0.00086268	0.00056017	0.00020535	0.00038058	0.00012782	0.00020558
R <sup>2</sup>	0.98197	0.98226	0.954	0.95773	0.98014	0.9703	0.9896	0.98471

Ayrıca ele alınan her bir ay için tahmin edilen parametreler, hız ve güçler Weibull dağılımı için Tablo 4'de, Rayleigh dağılımı için de Tablo 5'te gösterilmiştir.

2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait aylık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü değişimleri Weibull dağılımına göre Şekil 4'te, Rayleigh dağılımına göre ise Şekil 5'te gösterilmektedir. Burada, Weibull dağılımına göre Temmuz ayındaki ortalama rüzgar hızı ve gücünün Ağustos, Eylül ve Ekim aylarındaki değerlerden, Rayleigh dağılımına göre de Ağustos ayındaki ortalama rüzgar hızı ve gücünün Temmuz, Eylül ve Ekim aylarındakilerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda hangi dağılımın daha iyi modelleme yaptığını ve uygun yaklaşım getirdiğini çeşitli kriterlere bakarak belirlenebilir. Bunlardan kök ortalama kare hata (RMSE), Ki-Kare ( $\chi^2$ ) ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) kriterleri şu ifadeler kullanılarak bulunabilir:

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$\chi^2 = \left[ \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right] \quad (14)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2} \quad (15)$$

$y_i$ ,  $i$ . gerçek data,  $x_i$ ,  $i$ . Weibull ya da Rayleigh dağılımından tahmin edilen data,  $N$  gözlem sayısı,  $L$  loglikelihood fonksiyonu,  $n$  kısıt sayısıdır. Burada  $n$ , aynı zamanda Weibull ve Rayleigh dağılımlarındaki parametre sayısıdır. Bu kriterlerden  $R^2$  dışındakiler, en küçük değerlerine göre en iyi dağılımı belirlerler.  $R^2$  ise, bir modelin tahmin gücünün bir ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değişir ve 1'e yaklaşması modelin tahmin gücünün arttığının göstergesidir [18].

Bu çalışmada, sırasıyla kök ortalama kare hata (RMSE), Ki-Kare ( $\chi^2$ ) ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) kriterlerine göre Tablo 6'da gösterildiği gibi Weibull ve Rayleigh dağılımları karşılaştırılarak bu veriler kapsamında Temmuz, Ağustos aylarında Rayleigh dağılımının, Eylül, Ekim aylarında ise Weibull dağılımının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kısacası hesaplanan değerlere göre Weibull ve Rayleigh dağılımları model seçiminde eşit şansa sahiptir denilebilir. Tablo 6'dan sonuç olarak ele alınan aylar için

iki dağılımdan biri diğerine göre tercih edilir denilemez. Buna göre uygun dağılımlar dikkate alındığında, sırasıyla Ağustos ve Temmuz ayları, diğer aylardan daha fazla rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir sonucuna ulaşılmıştır.

## 5. SONUÇ

Eskişehir bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık bilgi sahibi olmak ve bu konuda gerekli açılımları yapabilmek amacıyla yapılan bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'nda kurulan rüzgar gözlem istasyonundaki 30 metrelik ölçüm direğinin 10 metre yüksekliğinden ortalama saatlik olarak alınan 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgar hızı verileri kullanılarak kampusun rüzgar enerjisi potansiyelinin ön araştırması istatistiksel olarak yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan Weibull ve Rayleigh dağılımları ile bölgenin rüzgar hızı ve güç yoğunluğu tahmini yapılmıştır. İstatistiksel dağılımların parametrelerini bulmada En Küçük Kareler Yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, sırasıyla kök ortalama kare hata (RMSE), Ki-Kare ( $\chi^2$ ) ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) kriterlerine göre Weibull ve Rayleigh dağılımları karşılaştırılarak bu veriler kapsamında Temmuz, Ağustos aylarında Rayleigh dağılımının, Eylül, Ekim aylarında ise Weibull dağılımının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna göre uygun dağılımlar dikkate alındığında, sırasıyla Ağustos ve Temmuz ayları, diğer aylardan daha fazla rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir sonucuna ulaşılmıştır.

Bölgedeki rüzgar hızı ölçümleri 10m'de yapılması rağmen, her ay için hesaplanan ortalama hızın 3 m/sn'den fazla ve ortalama rüzgar gücünün ise uygun dağılımlar kullanıldığında 50 W/m<sup>2</sup>'den büyük çıkması nedeniyle bölgenin rüzgar enerjisi üretimi açısından elverişli ve umut verici olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, yapılan çalışmaların sürdürülerek ölçümlerin farklı bölgelerde yüksekliklerde uzun dönemli alınarak tüm bölgenin detaylı araştırılması, bölge özelliklerinin çıkarılması ve maliyet analizi yapılması sonucunda daha doğru ve kesin değerlendirmeler yapılabileceği açıktır. Bölgemiz yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi değerlendirilmesi konusunda tarafımızca yapılan çalışmalar devam edecektir. Ülkemizde bu tür enerji kaynaklarının yönelimi hızlandıracak benzer çalışmaların yapılması üretime katılması geleceğimiz için büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

Kurban M., Elektrik Enerjisi Üretiminde Rüzgar Enerjisinin Yeri ve Önemi, *1. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli, 22-24 Mayıs, (2003).(özet)

Hocaoğlu F.O. ve Kurban M., Rüzgar Gücünden Elektrik Enerjisi Üretimi için Rüzgar Türbini Tasarımı, *EVK'2005 1. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 17-18 Mayıs, (2005).

Golding E.W., *The Generation of Electricity by Wind Power*, London, (1976).

Tomman N.H. and Musgrove P.J.; *Wind Energy for the Eighties*, England, (1982).

Trickok F; *Handbook of Solar and Wind Energy*, Boston.

Tommons D.M., *Wind Power*, london, (1975).

Elektrik İşleri Etüd İdaresi-web sayfası

Giff, W.C., *The Effect of Generalized Wind Characteristics on Annual Power Estimates from Wind Turbine Generators*. PNL-2436, Richland, Washington: Battele Pacific Northwest Laboratory, (1977).

Akpınar E.K ve Akpınar S., Determination of the Wind Energy Potential for Maden, Turkey. *Energy Convers Manage*, 45 (18-19), 2901-14, (2004)

Weisser D. A., Wind Energy Analysis of Grenada: An Estimation Using the 'Weibull' Density Function, *Renewable Energy*, 28, 1803-1812, (2003).

- [11]. Deaves D.M.and Lines I.G., On the Fitting of Low Mean Wind Speed Data to the Weibull Distribution... 66, 169-78, (1997).
- [12]. Haralambopoulos D.A. Analysis of Wind Characteristics and Potential in the East Mediterranean-the Lesvos Case. *Renewable Energy*, 6,445-54, (1995).
- [13]. Çelik A.N., A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models at Southern Region of Turkey, *Renewable Energy*, 29,593-604, (2004).
- [14]. Ülgen K. ve Hepbaşlı A. Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of İzmir, Turkey. *Int J Energy Res.*, 26, 495-506, (2002).
- [15]. Genç A., Murat E., Pekgör A., Oturanc G, Hepbaşlı A. ve Ülgen K., Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution, 27, 809-822, (2005).
- [16]. Swain J., Venkatraman S., Wilson J. Least-squares estimation of distribution function in Johnson's translation systems. *J.Statist. Comput. Simulation* 29, 271-210, (1988).
- [17]. Cheng, R.C.H. and Amin N.A.K., Estimating Parameters in Continuous Univariate Distributions with a Shifted Origin, *J. Roy. Statist. Soc.Ser.B* 45 394-403, (1983).
- [18]. Wu X., Calculation of Maximum Entropy Densities with Application to Income Distribution, 115, 347-354, (2003).