

# RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TAHMİNİNDE KULLANILAN İKİ FARKLI İSTATİSTİKSEL DAĞILIMIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

**Mehmet KURBAN\*, Fatih Onur HOCAOĞLU\*, Yeliz Mert KANTAR\*\***

\*Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elk.-Elt. Müh. Bölümü, 26470/Eskişehir

\*\*Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26470/Eskişehir

Geliş Tarihi : 10.03.2006

## ÖZET

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen “A. Ü. İki Eylül Kampusu’nda Rüzgar ve Güneş Potansiyelini Belirleyerek Hibrid (Rüzgar-Güneş) Enerji Santral Modeli Kurmak” başlığı altındaki bilimsel araştırma projesi kapsamında kurulan rüzgar gözlem istasyonundaki 30 metrelik ölçüm direğinin 10 metre yüksekliğinden 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında 15 sn aralıklarla ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak Weibull ve Rayleigh istatistiksel dağılım fonksiyonları ile bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli analiz edilmiştir. Bu dağılımların parametrelerinin bulunmasında Maximum Likelihood Metodu kullanılmıştır. Ele alınan aylar için yapılan bu analizler sonucunda, Weibull dağılımının Rayleigh’e göre rüzgar hızını daha iyi modellediği görülmüştür. Ayrıca, Weibull dağılımından hesaplanan aylık güç yoğunluğu değerlerindeki hata oranı, Rayleigh dağılımından hesaplanan değerlere oranla daha küçük çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Weibull dağılımı, Rayleigh dağılımı, Rüzgar hızı, Rüzgar enerjisi, Rüzgar gücü.

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO DIFFERENT STATISTICAL DISTRIBUTIONS USED TO ESTIMATE THE WIND ENERGY POTENTIAL

### ABSTRACT

In this paper, the wind energy potential of the region is analyzed with Weibull and Reyleigh statistical distribution functions by using the wind speed data measured per 15 seconds in July, August, September, and October of 2005 at 10 m height of 30-m observation pole in the wind observation station constructed in the coverage of the scientific research project titled “The Construction of Hybrid (Wind-Solar) Power Plant Model by Determining the Wind and Solar Potential in the Iki Eylul Campus of A.U.” supported by Anadolu University. The Maximum likelihood method is used for finding the parameters of these distributions. The conclusion of the analysis for the months taken represents that the Weibull distribution models the wind speeds better than the Rayleigh distribution. Furthermore, the error rate in the monthly values of power density computed by using the Weibull distribution is smaller than the values by Rayleigh distribution.

**Key Words :** Weibull distribution, Rayleigh distribution, Wind speed, Wind energy, Wind power.

### 1. GİRİŞ

İnsan yaşamının devam ettirilebilmesi ve yüksek seviyeleri çıkartılabilmesi için ihtiyaç duyulan

enerjinin sürekli, kaliteli ve güvenli olarak sağlanabilmesi gerekmektedir. Dünya genelinde fosil kaynaklar, gerek ısınmada gerekse yakıt olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu fosil

kaynakların rezervlerinin gelecek için yeterli görülmemesi; ayrıca elde ediliş ve depolama bakımından büyük ölçüde ileri teknoloji ve finans kaynağı gerektirmesi, dünyadaki bütün ülkelerin 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 yararlanmaya yönelik teknolojilerin hızla geliştirilip uygulamaya konulması gelmektedir (Kurban, 2003; Hocoğlu ve Kurban, 2005).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de atmosferde serbest olarak dolaşan ve çevre kirliliği meydana getirmeyen rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi, aslında insanlığın M.Ö. 2800 yıllarından itibaren Babilliler zamanından başlayarak ilk önce sulamada, daha sonra buğdayı öğütme için düşey eksenli yel değirmenlerinde ve 1900'lü yıllarda ise elektrik enerjisi üretiminde kullanılan en eski enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar enerjisi, son yıllara kadar daha çok su pompalama ve kırsal alanda 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 (Golding, 1976; Hocoğlu ve Kurban, 2005).

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen ve tarafımızca yürütülen "A. Ü. İki Eylül Kampusu'nda Rüzgar ve Güneş Potansiyelini Belirleyerek Hibrid (Rüzgar-Güneş) Enerji Santral Modeli Kurmak" başlığı altındaki bilimsel araştırma projesi kapsamında kurulan rüzgar gözlem istasyonundaki 30 metrelik ölçüm direğinin 10 metre yüksekliğinden 15 saniyede bir alınan 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgar hızı ve rüzgar yönü verileri kullanılarak kampusun rüzgar enerjisi potansiyelinin ön araştırması istatistiksel olarak yapılmaktadır. Böylece Eskişehir bölgesinin de rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık bilgi sahibi olunacak ve bu konuyla ilişkili gerekli açılımlar yapılabilecektir. Bu çalışmada kullanılacak semboller dizini aşağıda verilmiştir:

$\rho$	Hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )
$\sigma$	Standart sapma (m/s)
$\Gamma$	Gamma fonksiyonu
$c$	Weibull dağılımının ölçek parametresi
$k$	Weibull dağılımının şekil parametresi
$f(v)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu

$f_j$	$j$ . aralıkta gerçekleşen rüzgarların hız sıklığı
$f_{j,w}$	Weibull dağılımından elde edilen $j$ . aralıkta gerçekleşen rüzgarların hız sıklığı
$f_w(v)$	Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_w(v)$	Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu
$v$	Rüzgar hızı (m/s)
$v_m$	Ortalama rüzgar hızı (m/s)
$P(v)$	Birim alandaki rüzgar gücü ( $\text{W/m}^2$ )
$P_A(v)$	A alandaki rüzgar gücü ( $\text{W/m}^2$ )
$P_w$	Weibull dağılımından hesaplanan ortalama güç yoğunluğu ( $\text{W/m}^2$ )
$v_{\text{mod}}$	En büyük sıklığa sahip hız (m/s)
$v_{\text{max } E}$	Maksimum rüzgar hızı (m/s)
$A$	Süpürme alanı ( $\text{m}^2$ )
$H_m$	Rakım (m)

## 2. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar, atmosferin ısınması ve soğumasından kaynaklanan sıcaklık ve basınç farkından oluşmaktadır. Rüzgar, kararlı, güvenilir ve sürekli bir kinetik bir enerji kaynağıdır. Atmosferin rüzgarı oluşturan brüt kinetik gücü yaklaşık olarak  $190 \times 10^9$  kW değerindedir. Dünyanın  $50^\circ$  kuzey ve güney enlemleri arasındaki  $3 \times 10^9$  kW'lık kinetik rüzgar gücü potansiyelinin üçte birinin kullanılabileceği görüşü söz konusudur. Yeryüzünün aldığı toplam güneş enerjisinin yaklaşık olarak %2'sinin rüzgarın kinetik enerjisine dönüştüğü tahmin edilmektedir. Bu miktarın toplam dünya enerji tüketiminin  $100$ 'lerce katı olduğu düşünülürse, rüzgar enerjinin önemi anlaşılacaktır. Rüzgar enerjisi, rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpüyle orantılı olarak değişmektedir. Yapılan rüzgar türbinleri kullanılarak belirli rüzgar hızı aralıklarında enerji üretilebilmektedir. Bu nedenle, rüzgar türbinlerinin kurulacağı bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin bilinmesi önemlidir (Golding, 1976; Lipman and Musgrove, 1982).

Rüzgar türbinlerinin görsel ve estetik olumsuzlukları, gürültülü çalışmaları, kuş ölümlerine neden olmaları, haberleşmede parazit oluşturmaları, 2-3 km'ye kadar radyo ve televizyon alıcılarını karıştırmaları gibi istenmeyen etkilerinin ve kaza olasılıklarının olması, temiz ve yenilenebilir olan rüzgar enerjisi kullanımında meydana gelen olumsuz etkilerdir. Bu etkilerinin aksine, seragazi emisyonu ile ilişkisinin ve asit yağmurlarına etkisinin olmaması, karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olması, değerli fosil

yakıtların tasarruf edilmesini sağlaması, radyasyon ve radyoaktif atıklarla ilişkisinin olmaması, temiz ve ekonomik bir elektrik üretim yöntemi olması gibi birçok olumlu yanları da vardır (Anon., 2006).

Rüzgar enerjisinden faydalanmak için, ilk olarak rüzgar güç potansiyelinin belirlenmesi gerekir. Rüzgar milinin, kanat süpürme alanından akan hava kütlesi parçacıklarının momentum değişimi yapmasıyla dönen bir makine olduğu düşünülürse, süpürme alanındaki rüzgar gücü, bu alanın büyüklüğü, havanın yoğunluğu ve hızının küpüyle orantılıdır. Rüzgardan elde edilebilecek güç ise şöyle yazılabilir (Simmons, 1975).

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Burada, 15.6 C° ve 1 atmosfer basınçta deniz seviyesindeki havanın yoğunluğu  $\rho_0=1.225 \text{ kg/m}^3$  değeri dikkate alınarak deniz seviyesinden yüksekliği ( $H_m$ ) ve diğer konum bilgilerine göre düzeltilmiş hava yoğunluğu şöyle bulunur (Patel, 1999):

$$\rho = \rho_0 - 1.194 \cdot 10^{-4} \cdot H_m \quad (2)$$

Görüldüğü gibi, güç potansiyelini belirlemek için en önemli girdi rüzgar hızıdır. Rüzgar yönü, potansiyel için etkili olmamakla birlikte rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinin yerleştirilmesinde önemli bir rol oynar. Bir bölgenin rüzgar gücü potansiyelinin belirlenebilmesi için belirli zaman aralıklarında ölçülmüş rüzgar hızı değerlerine ihtiyaç vardır. Bunun için meteoroloji istasyonları ve hava meydanlarının yaptıkları ölçümlerden yararlanılabilir (Hocaoglu ve Kurban, 2005).

Bu çalışmada, yürütülen proje kapsamında Eskişehir’de Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusunda kurulan rüzgar-güneş ölçüm ve enerji üretim sistemi kullanılarak elde edilen ölçüm ve değerlendirmelerden yararlanılmıştır.

### 3. RÜZGAR HIZI KAREKTERİSTİKLERİ

Rüzgar veri değerlendirme işlemine, belli bir yükseklikten alınan rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımları elde edilerek başlanılır. Bu frekans dağılımları yardımıyla hangi rüzgar hızlarının sık gözlemlendiği belirlenebilir. Rüzgar hız verilerinin standart sapması 0 ile 3 m/s arasında olmalıdır. Herhangi bir bölgedeki rüzgar hızının standart sapmasının küçük olması, rüzgar rejiminin düzenli olması demektir (Anon., 2006).

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:

#### 3. 1. Rüzgar Gözlem İstasyonunun

Konumu: E-288674 N-4410931

Rakımı:788m

Rakıma göre hesaplanan hava yoğunluğu:

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

#### 3. 2. Rüzgar Türbininin

Konumu: E-289269 N-4410399

Gücü: 1000 W

Kanat sayısı: 3

Kanat çapı : 3 m

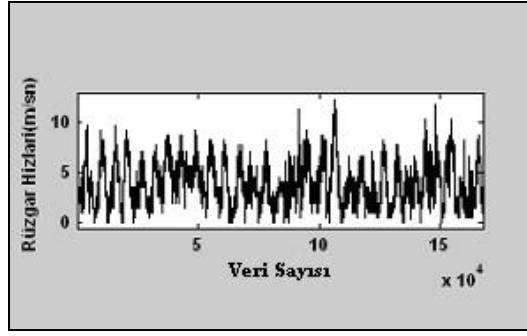
Direk yüksekliği: 10 m

Kanatlarının süpürme alanı:  $A=7.0686 \text{ m}^2$  değerlerindedir.

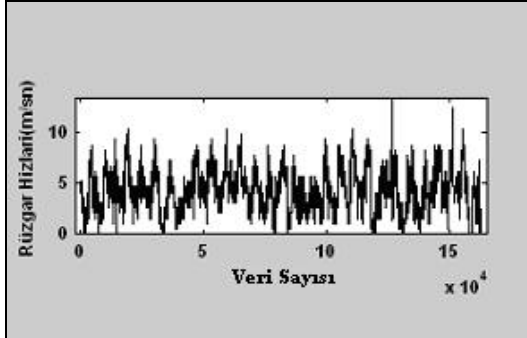
Bu çalışmada kullanılan 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgar hızı verileri, rüzgar gözlem istasyonundaki 30 metrelik ölçüm direğinin 10 metre yüksekliğinden 15 saniyede bir alınarak her bir ay için Şekil 1’deki rüzgar hızı dağılımları oluşturulmuş ve istatistiksel analizlerin daha kolay yapılabilmesi için Tablo 1’deki gibi frekans dağılımı olarak düzenlenmiştir. Rüzgar hızı önce sınıflara bölünmüş ve her bir rüzgar sınıf aralığındaki rüzgar frekansı belirlenmiştir. Temmuz ayı için 167668, Ağustos ayı için 162229, Eylül ayı için 166622 ve Ekim ayı için de 178121 olmak üzere toplam 674640 adet ölçüm yapılmıştır.

Tablo 1. Hız Verilerinin Frekans Dağılımları

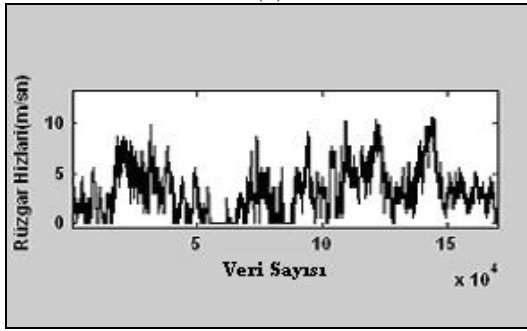
$j$	$v_j$	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
1	0-1	4872	4921	7734	17103
2	1-2	19385	13396	25594	28764
3	2-3	30240	21292	35583	29933
4	3-4	30321	26207	32849	34274
5	4-5	25304	33877	29526	27860
6	5-6	21873	26884	17461	19964
7	6-7	18986	17371	9160	11394
8	7-8	10912	11537	6061	6349
9	8-9	3952	5338	2259	2040
10	9-10	1237	980	359	424
11	10-11	497	222	35	16
12	11-12	86	158	0	0
13	12-13	3	23	0	0
14	13-14	0	23	0	0
15	14-15	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0
T		167668	162229	166622	178121



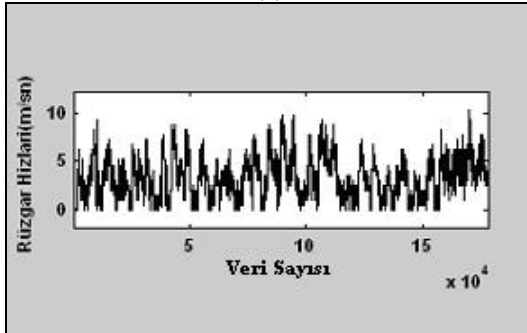
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1. a)Temmuz, b)Ağustos, c)Eylül, d)Ekim aylarına ait rüzgar hız dağılımları

Aylara göre ölçüm sayılarının eşit olmadığı görülmektedir. Bu durum, işletme, bakım ve arıza sorunları nedeniyle anemometrenin veri kaydedememiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu analizde veri kaybı oranı % 10'dan küçük değerlerde olduğu için değerlendirme güvenilirliğini çok fazla etkilememektedir.

## 4. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

### 4. 1. Rüzgar Hızı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları

Rüzgar hızının dağılımın belirlenmesinde iki parametrelili Weibull ve Weibull'un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları yaygın olarak kullanılmaktadır. (Haralambopoulos, 1995; Deaves and Lines, 1997; Ulgen and Hepbaslı, 2002; Akpınar and Akpınar, 2004; Çelik, 2004; Genç et al., 2005). Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğundan Weibull'a göre daha az esneklik, ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi şöyledir:

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (3)$$

Weibull dağılımının ölçek parametresi olan  $c$ , aynı zamanda rüzgar verilerinde referans bir değere sahiptir. (Akpınar and Akpınar, 2004)'de  $k$  şekil parametresi, genellikle 1.5 ile 3 değerleri arasında olması beklendiği ifade edilmiştir.

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu şöyledir:

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

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

Rayleigh yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki ifade ile verilebilir:

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

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (6)$$

şekindedir. Rayleigh dağılımının en büyük avantajı, sadece ortalama rüzgar hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Rayleigh dağılımının rüzgar çalışmalarında geçerliliği pek çok referansta gösterilmiştir (Ulgen and Hepbaslı, 2002; Weisser, 2003; Akpınar and Akpınar, 2004; Çelik, 2004; Genç et al., 2005).

Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında maximum likelihood metodu kullanılmıştır. Metod detayları için (Genc et al., 2005) kaynak olarak kullanılabilir.

Ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının standart sapması, sırasıyla (7) ve (8) eşitliklerinden hesaplanır:

$$v_m = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{c^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]} \quad (8)$$

Burada gamma fonksiyonu  $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-\alpha} \alpha^{x-1}$  şeklindedir.

#### 4. 2. Rüzgar Gücünün Yoğunluk Fonksiyonu ve Ortalama Güç Yoğunluğu

En çok kullanılan rüzgar güç formülü (1) eşitliğinde verilen ifadedir. Bu çalışmada,  $A=7.0686 \text{ m}^2$  ve  $\rho=1.1309 \text{ kg/m}^3$  değerleri kullanılmıştır.

Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu en genel halde aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

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

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu (9) formülünden aşağıdaki gibi elde edilir.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (10)$$

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu şu ifadeyle verilir:

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad (11)$$

Ölçülmüş bir olasılık yoğunluk dağılımına karşılık gelen, (Çelik, 2004) 'de "referans güç yoğunluğu" olarak da adlandırılan rüzgar gücü yoğunluğu şöyledir:

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

Burada  $v_{m,j}$ ,  $j$ . aralıktaki ortalama hızı,  $f(v_j)$  ise aynı aralıktaki olasılık değerini göstermektedir.

#### 4. 3. İstatistiksel Analiz

Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansını değerlendirmek için Akaike bilgi kriteri (AIC) (Wu, 2003), kök ortalama kare hata (RMSE) (Ülgen et al., 2004), ki-kare ( $\chi^2$ ) ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) kriterleri kullanılacaktır. Bu değerler aşağıdaki formüllerden hesaplanmaktadır.

$$AIC = -2 \log(L(f(v_i, \theta))) + 2n \quad (13)$$

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

$$\chi^2 = \left[ \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right] \quad (15)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2} \quad (16)$$

Burada;  $y_i$ ,  $i$ . gerçek data,  $x_i$ ,  $i$ . Weibull ya da Rayleigh dağılımından tahmin edilen data,  $z_i$ ,  $y_i$ 'lerin ortalama değeri,  $N$  gözlem sayısı,  $L$  loglikelihood fonksiyonu (Wu, 2003),  $n$  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. AIC ise, iki dağılım arasında yönlendirilmiş mesafe ölçüsünün bir tahminidir. Bu kriter, aday modeller arasından en küçük AIC değere sahip olan dağılımı seçer.

Ele alınan aylar için zaman serisi olarak ölçülen ve Weibull, Rayleigh dağılımından hesaplanan aylık ortalama güç yoğunlukları Tablo 2'de verilmektedir. Ortalama güç yoğunluğu aylık bazda büyük değişiklikler göstermektedir. Minimum güç yoğunluğu Ekim ayında 47.1673 olarak, maksimum güç yoğunluğu ise Ağustos ayında 79.11413 olarak ölçülmüştür.

Tablo 2. Zaman Serisi, Weibull ve Rayleigh Modellerinden Elde Edilen Aylık Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunlukları ve Hatalar.

Aylar	Ortalama Güç Yoğunluğu			Hata	
	Zaman Serisi	Weibull	Rayleigh	Weibull	Rayleigh
Temmuz	71.55167	71.6623	76.6301	0.0015	0.0710
Ağustos	79.11413	79.2636	88.4230	0.0019	0.1177
Eylül	48.95040	47.8433	50.0672	0.0226	0.0228
Ekim	47.16737	49.1585	48.6141	0.0422	0.0307

Weibull ve Rayleigh dağılımları için hata ifadeleri sırasıyla şöyle verilebilir (Çelik, 2004):

$$\text{Hata} = \frac{P_w - P_{ref}}{P_{ref}} \quad (17)$$

$$\text{Hata} = \frac{P_R - P_{ref}}{P_{ref}} \quad (18)$$

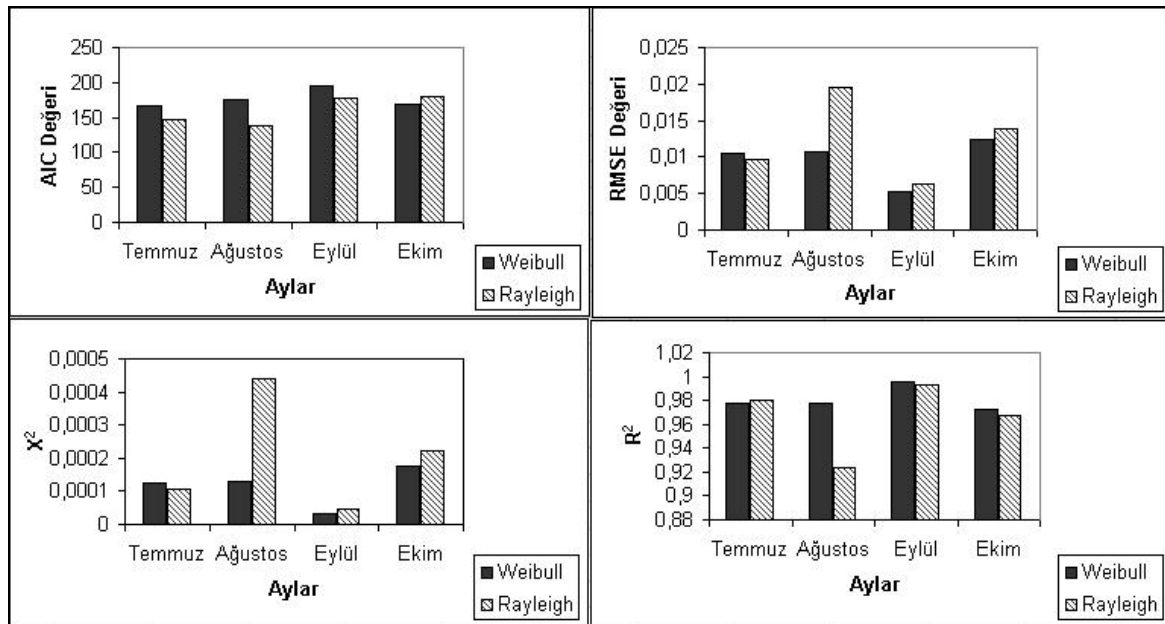
AIC, RMSE,  $X^2$  ve  $R^2$  kriterlerine göre Weibull ve Rayleigh dağılımlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması Tablo 3'te verilmiştir. Bu tabloya göre en büyük  $R^2$  değeri 0.99765 ile Eylül ayı için

Weibull dağılımı kullanılığında elde edilmiştir. Ayrıca, AIC kriterine göre elde edilen değerler Ekim ayı dışında Rayleigh dağılımı ve Temmuz ayı dışında ise tüm  $R^2$  değerleri Weibull dağılımı lehindedir.  $X^2$  ve RMSE hatayı ölçen kriterlerdir. Weibull dağılımı kullanıldığında elde edilen bu değerler Temmuz ayı dışında Rayleigh'ten elde edilenlerden küçüktür. Dolayısıyla, bu sonuçlara göre incelenen bölgede rüzgar hızını modellemek için Weibull dağılımının kullanımı uygun görülmüştür.

Ayrıca, Weibull ve Rayleigh dağılımlarının tahmin gücü karşılaştırması, ele alınan aylar için ayrı ayrı Şekil 2'de de gösterilmiştir.

Tablo 3. Weibull ve Rayleigh Dağılımlarıyla Ölçülen Olasılık Dağılımlarının Karşılaştırılması

Aylar	Temmuz		Ağustos		Eylül		Ekim	
	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı	Weibull Dağılımı	Rayleigh Dağılımı
AIC	165.634100	146.069500	175.347600	137.745600	195.7509000	178.0041000	168.650600	180.667700
RMSE	0.01054400	0.00975330	0.01066600	0.01957200	0.005281700	0.006386800	0.01243200	0.01393600
$X^2$	0.00012705	0.00010872	0.00013003	0.00043776	0.000031881	0.000046619	0.00017664	0.00022197
$R^2$	0.97720000	0.97990000	0.97730000	0.92330000	0.995300000	0.993600000	0.97240000	0.96790000

Şekil 2. AIC, RMSE,  $X^2$  ve  $R^2$  kriterlerine göre Weibull ve Rayleigh dağılımlarının tahmin gücü karşılaştırması

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ele alınan aylar için zaman serisi olarak ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak elde edilen Weibull ve Rayleigh dağılımından hesaplanan aylık ortalama güç yoğunlukları dikkate alındığında ortalama güç yoğunluğunun aylık bazda büyük değişiklikler göstermediği, minimum güç yoğunluğunun Ekim ayında, maksimum güç yoğunluğunun ise Ağustos ayında ölçüldüğü sonucuna varılmıştır. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının tahmin gücü, AIC, RMSE,  $X^2$  ve  $R^2$  kriterlerine göre karşılaştırılması sonucunda, AIC kriterine göre Ekim ayı dışında Rayleigh dağılımının, RMSE,  $X^2$  ve  $R^2$  kriterlerine göre Temmuz ayı dışında Weibull dağılımının uygun olduğu görülmüştür. Buna göre, ele alınan dört aylık dönemde incelenen bölgede rüzgar hızını modellemek için Weibull dağılımının kullanımı uygundur. Bu tür kriterler dikkate alınarak yapılan analizlerin istatistiksel anlamda daha doğru sonuçlar vereceği ortaya çıkmıştır.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu Başkanlığı tarafından desteklenen 040258 sayılı "A. Ü. İki Eylül Kampusu'nda Rüzgar ve Güneş Potansiyelini Belirleyerek Hibrid (Rüzgar-Güneş) Enerji Santral Modeli Kurmak" başlığı altındaki bilimsel araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Verilen bu destek nedeniyle Anadolu Üniversitesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

## 7. KAYNAKLAR

Akpınar, E. K. ve Akpınar, S. 2004. "Determination of the Wind Energy Potential for Maden-Elazığ", Energy Conversion and Management, 45 (18-19), 2901-2914.

Anonim, 2006. Elektrik İşleri Etüd İdaresi-web Sayfası, Rüzgar Enerjisi Gözlem İstasyonları Dökümanı.

Çelik, A. N. 2004. "Statistical Analysis of Wind Power Density based on the Weibull and Rayleigh

Models at Southern Region of Turkey", Renewable Energy, (29), 593-604.

Deaves, D. M. and Lines, I. G. 1977. "On the Fitting of Low Mean Wind Speed Data to the Weibull Distribution", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn, 66, 169-78.

Genç, A., Murat, E., Pekgör, A., Oturanc, G., Hepbaşlı, A. ve Ulgen, K. 2005. "Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution", Renewable Energy, 27, 809-822.

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

Haralambopoulos, D. A. 1995. "Analysis of Wind Characteristics and Potential in the East Mediterranean-the Lesvos Case". Renewable Energy, 6, 445-54.

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

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

Lipman, N. H. and Musgrove, P. J. 1982. Wind Energy for the Eighties, England.

Patel, M. P. 1999. Wind and Solar Power Systems, CRC Pres LLC, New York.

Simmons, D.M. 1975. Wind Power, London,.

Ulgen, K., Hepbaşlı, A. 2002. "Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey", Int J Energy Res, 26, 495-506.

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

Wu, X. 2003. "Calculation of Maximum Entropy Densities with Application to Income Distribution", 115, 347-354.