

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ İKİ EYLÜL KAMPUSU 'NDEKİ RÜZGAR ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN ÖNSEL İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

Mehmet KURBAN¹, Fatih Onur HOCAOĞLU², Yeliz MERT KANTAR³

ÖZ

Bu çalışmada, 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında 15 s aralıklarla ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'ndeki rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerji potansiyeli araştırmasında Weibull dağılımı kullanılmıştır. Ortalama hız, standart sapma, enerji ve güç yoğunluğu tahmininde kullanılan Weibull dağılımının parametreleri, Maksimum Olabilirlik metodu ile belirlenmiştir. Yapılan bu ön araştırma sonucunda, standart sapmanın 0 ile 3 m/s arasında, rüzgar hızı ve rüzgar enerjisinin de sırasıyla 3 m/s 'den ve 50 W/m² 'den büyük olduğundan kampaüsteki rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi için uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Weibull dağılımı, Weibull parametreleri, Maksimum olabilirlik , Rüzgar hızı, Rüzgar enerjisi, Rüzgar gücü

**PRELIMINARY STATISTICAL ANALYSIS OF THE WIND ENERGY POTENTIAL IN THE
İKİ EYLÜL CAMPUS OF ANADOLU UNIVERSITY**

ABSTRACT

In this paper, the wind energy potential in the İki Eylül Campus of Anadolu University is statistically analyzed based on wind speed data measured per 15 seconds in July, August, September, and October of 2005. Weibull distribution is used to examine the wind energy potential of the region. The parameters of the Weibull distribution that are used for finding the estimation of average speed, standard deviation, energy and power density are determined by using the maximum likelihood method. The conclusion of this preliminary research suggests that wind energy potential in the campus is statistically convenient for electricity generation because the standard deviation is between 0 and 3 m/s, wind speed and also wind power is bigger than 3 m/s and 50 W/m², respectively.

Keywords: Weibull distribution, Weibull parameters, Maximum likelihood, Wind speed, Wind energy, Wind power

¹ Anadolu Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 26555 Eskişehir
Tel: 0.222.3213550-6461; **E. posta:** mkurban@anadolu.edu.tr

² Anadolu Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 26555 Eskişehir

³ Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, 26470 Eskişehir

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin kullanımı arttıkça elektrik enerjisi üretimi için farklı yollar aranmaya başlamış, çevresel faktörler ve enerji kaynaklarının giderek tükenmesi gibi sebepler insanlığı yeni enerji kaynakları arayışlarına itmiştir. Bu noktada kullanımı çok eski zamanlara dayanan yenilebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı önem kazanmıştır. Yapılan araştırmalar ve uygulamalar incelendiğinde elde edilen sonuçlar, gelecekte en büyük enerji kaynağının yenilebilir enerji kaynakları olacağını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi, aslında insanoğlunun M.Ö. 2800 yıllarından itibaren Babilliler zamanından başlayarak ilk önce sulamada, daha sonra buğdayı öğütmek için düşey eksenli yel değirmenlerinde ve 1900'lü yıllarda ise elektrik enerjisi üretiminde kullanılan en eski enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar enerjisi, son yıllara kadar 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 potansiyeline, rüzgar rejimine, rüzgar milinin yerleştirildiği yüksekliğe ve enerji üretim sisteminin boyutlarına bağlıdır (Golding, 1976; Hocaoğlu, ve Kurban, 2005).

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenen ve tarafımızca yürütülen bilimsel araştırma projesi kapsamında kurulan rüzgar gözlem istasyonundan alınan 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgar hızı verileri kullanılarak kampusun rüzgar enerjisi potansiyelinin ön araştırması istatistiksel olarak yapılmaktadır. Böylece, Eskişehir bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık bilgi sahibi olunacak ve bu konuyla ilişkili gerekli açıklamalar yapılabilecektir. Bu çalışmada kullanılacak semboller, aşağıda verilmiştir:

ρ	Hava yoğunluğu (kg/m ³)
σ	Standart sapma (m/s)
Γ	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 (W/m ²)
$P_A(v)$	A alandaki rüzgar gücü (W/m ²)
P_w	Weibull dağılımından hesaplanan ortalama güç yoğunluğu (W/m ²)
v_{mod}	En büyük sıklığa sahip hız (m/s)
v_{maxE}	Maksimum rüzgar hızı (m/s)

A	Süpürme alanı (m ²)
H_m	Rakım (m)

2. RÜZGAR HIZI VERİLERİ VE ANALİZİ

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. Buna göre, rüzgardan elde edilebilecek güç şöyle yazılabilir (Simmons D.M. 1975):

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

Burada, 15.6 C° ve 1 atmosfer basınçta deniz seviyesindeki havanın yoğunluğu $\rho_0=1.225 \text{ gr/m}^3$ 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 (Hocaoğlu ve Kurban, 2005).

Bu çalışmada, yürütülen bilimsel araştırma projesi kapsamında Eskişehir'de Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'nda kurulan rüzgar-güneş ölçüm ve enerji üretim sistemi kullanılarak elde edilen ölçüm ve değerlendirilmelerden yararlanılmıştır. Ölçüm istasyonunda kullanılan direk, 30 m yüksekliğinde galvanizli saçtan yapılmış boru şeklindedir. Direk, temeline ilave olarak gerdirilmiş çelik halatlar yardımıyla beton zemin üzerine sabitlenmiştir ve tepesine kurulan paratoner yardımıyla yıldırıma karşı tedbir alınmıştır. Direğin 10 ve 30. metrelerine rüzgar hızını ölçen iki adet anemometre, 30. metresine rüzgar yönünü belirleyen rüzgar yön potansiyometresi, 2. metresine de sıcaklık, basınç, nem ölçen sırasıyla termometre, barometre, higrometre yerleştirilmiştir. Bunlarda saniye saniye alınan veriler, bir veri toplayıcıya gelmekte, CALaLOG98 programı kullanılarak ortalama, minimum, maksimum, standart sapma değerleri gibi çeşitli şekillerde zaman serisi olarak istenilen aralıklarda kaydedilmekte ve bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu cihazların ihtiyaç duydukları enerji, ölçüm istasyonuna kurulan 12V/5W değerindeki bir güneş paneli ile şarj edilen akü sistemi ile sağlanmaktadır. Veri güvenilirliği açısından tüm cihazların kalibrasyonları ve teknik kontrolleri yapılmıştır.

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'nda kurulan rüzgar-güneş ölçüm ve hibrid enerji üretim sistemleri kapsamındaki rüzgar gözlem istasyonunun ve

rüzgar türbininin bulunduğu yerlerin özellikleri şunlardır:

Rüzgar gözlem istasyonunun

Konumu: E-288674 N-4410931
Rakımı :788 m
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
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 alınmış 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. Rüzgar Hız Verilerinin Frekans Dağılımları

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

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 değerlendirmeye güvenirliliğini çok fazla etkilememektedir.

Rüzgar hızının dağılımının belirlenmesinde kullanılan pek çok yöntem vardır. İki parametrelili Weibull

ve Weibull’un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları en yaygın kullanılan dağılımlardır. (Deaves ve Lines, 1997; Haralambopoulos, 1995, Akpınar ve Akpınar, 2004; Çelik, 2004; Ülgen ve Hepbaşlı, 2002; Genç vd., 2005). Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull’a göre daha az esnekliklidir. Ancak parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Ayrıca (Cliff, 1977)’de ortalama rüzgar hızının 4.5 m/s ’den büyük olduğu durumda, rüzgar hızı dağılımının Rayleigh dağılımına yaklaştığını göstermiştir. Bu çalışmada ortalama rüzgar hızı 4.5 m/s ’den küçük ölçüldüğü için Weibull dağılımı kullanılması düşünülmüştür.

Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi

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

şeklinde dir. Weibull dağılımının ölçek parametresi olan c , aynı zamanda rüzgar verilerinde referans bir değere sahiptir. (Akpınar ve Akpınar, 2004)’de k şekil parametresi genellikle 1.5 ile 3 değerleri arasında olması beklendiğini ifade etmiştir. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu

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

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

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

(Chan vd., 2003) ‘de maksimum rüzgar hızını (8) eşitliği şeklinde belirlemiştir.

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

En çok kullanılan rüzgar güç formülü (1) eşitliğinde verilen ifadedir. Bu ifadede $A=1$ olduğunda ölçümler birim alan için elde edilir. Bu çalışmada belirlendiği gibi, $A=7.0686 \text{ m}^2$ ve $\rho=1.1309 \text{ kg/m}^3$ değerleri

kullanılmıştır. Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu şu ifadeyle verilir:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right). \quad (9)$$

3. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

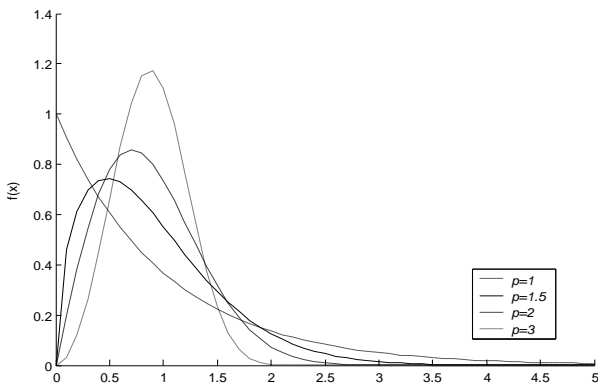
Weibull dağılımı, şekil parametresine bağlı olarak grafiği farklı şekiller alan oldukça esnek bir dağılımdır. Weibull dağılımının parametrelerine ilişkin literatürde yüzlerce çalışma vardır (Bak. Genç A. vd. 2005; Cheng, R.C.H. ve Amin N.A.K.1983).

Parametrelerinin bulunmasında en çok Maksimum Olabilirlik, moment, en küçük kareler metodları ve bu metodların farklı şekilde modifikasyonları kullanılmaktadır (Genç vd., 2005; Bowman ve Shendon, 2000). Weibull dağılımı için bu metodların çoğunda, parametre tahmincisi analitik olarak ifade edilemez. Yani tahminler, bazı iterasyon adımlardan sonra bulunabilir. Ayrıca (Genç vd., 2005)'de, Monte Carlo simülasyonu sonucu olarak, Weibull dağılımının parametrelerinin bulunmasında Maksimum Olabilirlik metodu önerilmiştir. Burada metodun seçimi için, Ortalama Toplam Değişim kriteri kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada parametre tahmini metodu olarak Maksimum Olabilirlik metodu kullanılacaktır. 2-parametrelili Weibull dağılımı için Maksimum Olabilirlik metodu, (10) ya da (11) eşitliğini maksimum yapan parametreyi bulma metodudur. Detaylar için (Genç vd., 2005) iyi bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

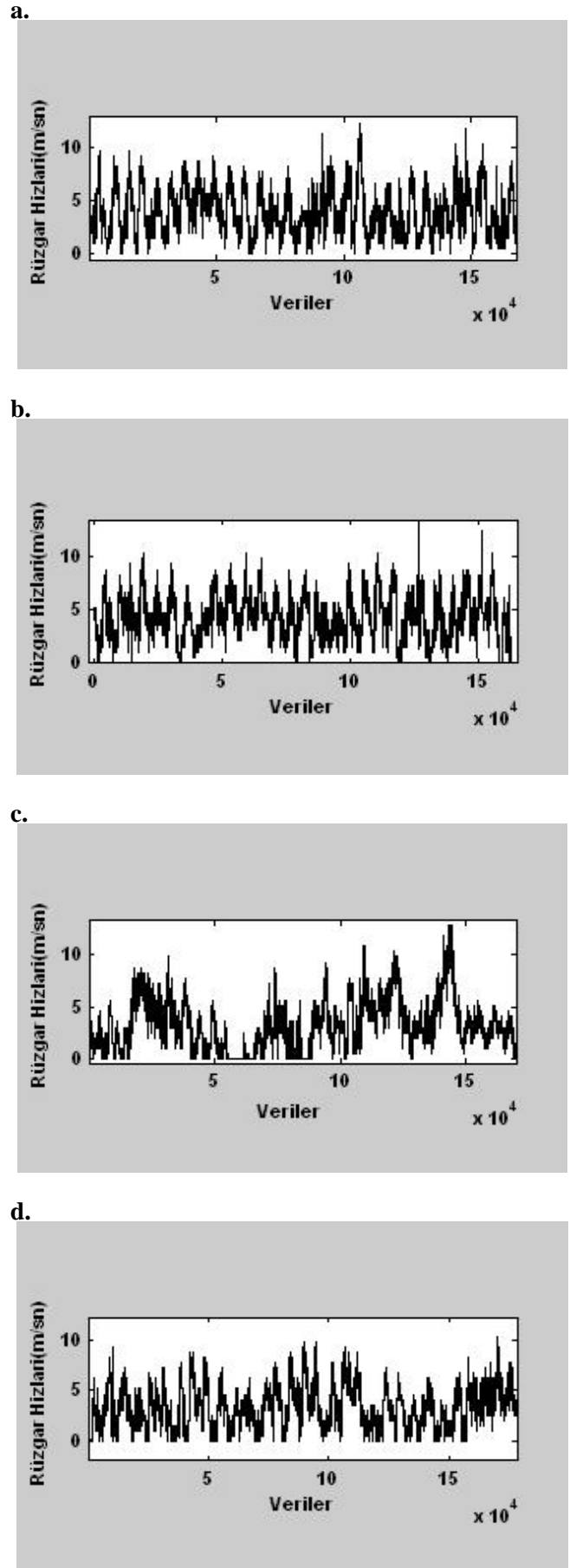
$$L(c, k) = \prod_{i=1}^n f_w(v_i) \quad (10)$$

$$\ln L(c, k) = \sum_{i=1}^n \ln f_w(v_i) \quad (11)$$

Şekil 1'de Weibull dağılımının şekil parametresine göre grafikleri gösterilmektedir. Şekil 2'de, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için rüzgar hızı zaman serileri verilmiştir. Burada, Temmuz, Ağustos, Ekim aylarındaki rüzgar hızlarının daha kararlı salınım gösterdiği, Eylül ayında ise ani rüzgar değişikliklerinin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 1. Weibull Dağılımının Şekil Parametresine Göre Grafikleri



Şekil 2. a)Temmuz, b)Ağustos, c)Eylül, d)Ekim Aylarına Ait Rüzgar Hız Dağılımları

Tablo 2-5'te ise sırasıyla 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait hız verileri kullanılarak elde edilen frekans dağılımları ve Weibull dağılımlarından hesaplanan teorik frekanslar verilmiştir.

Tablo 2. Temmuz Ayı İçin Frekans Dağılımları

j	v_j	f_j	$f_j(v_j)$	$f_{w,j}$	$f_w(v_j)$
1	0-1	4872	0.0290	5558	0.0331
2	1-2	19385	0.1156	18332	0.1093
3	2-3	30240	0.1803	28358	0.1691
4	3-4	30321	0.1808	32236	0.1923
5	4-5	25304	0.1509	29688	0.1771
6	5-6	21873	0.1304	22948	0.1369
7	6-7	18986	0.1132	15124	0.0902
8	7-8	10912	0.0650	8562.9	0.0511
9	8-9	3952	0.0235	4180.8	0.0249
10	9-10	1237	0.0073	1763.3	0.0105
11	10-11	497	0.0029	642.81	0.0038
12	11-12	86	0.0005	202.51	0.0012
13	12-13	3	0.0000	55.107	0.0003
14	13-14	0	0.0000	12.942	0.0001
15	14-15	0	0.0000	2.6208	0.0000
16	15-16	0	0.0000	0.4571	0.0000

Tablo 3. Ağustos Ayı İçin Frekans Dağılımları

j	v_j	f_j	$f_j(v_j)$	$f_{w,j}$	$f_w(v_j)$
1	0-1	4921	0.0303	3270.4	0.0202
2	1-2	13396	0.0825	13497	0.0832
3	2-3	21292	0.1312	24218	0.1493
4	3-4	26207	0.1615	30813	0.1899
5	4-5	33877	0.2088	30941	0.1907
6	5-6	26884	0.1657	25399	0.1566
7	6-7	17371	0.1070	17260	0.1064
8	7-8	11537	0.0711	9743.3	0.0601
9	8-9	5338	0.0329	4564.9	0.0281
10	9-10	980	0.0060	1769.9	0.0109
11	10-11	222	0.0013	565.53	0.0035
12	11-12	158	0.0009	148.23	0.0009
13	12-13	23	0.0001	31.709	0.0002
14	13-14	23	0.0001	5.5073	0.0000
15	14-15	0	0.0000	0.77257	0.0000
16	15-16	0	0.0000	0.087071	0.0000

Tablo 4. Eylül Ayı İçin Frekans Dağılımları

j	v_j	f_j	$f_j(v_j)$	$f_{w,j}$	$f_w(v_j)$
1	0-1	7734	0.0464	8481.1	0.0509
2	1-2	25594	0.1536	25077	0.1505
3	2-3	35583	0.2135	34824	0.2090
4	3-4	32849	0.1971	34957	0.2098
5	4-5	29526	0.1772	27876	0.1673
6	5-6	17461	0.1047	18262	0.1096
7	6-7	9160	0.0549	9980.7	0.0599
8	7-8	6061	0.0363	4582.1	0.0275
9	8-9	2259	0.0135	1782.9	0.0107
10	9-10	359	0.0021	583.18	0.0035
11	10-11	35	0.0002	166.62	0.0010
12	11-12	0	0.0000	33.324	0.0002
13	12-13	0	0.0000	0	0.0000
14	13-14	0	0.0000	0	0.0000
15	14-15	0	0.0000	0	0.0000
16	15-16	0	0.0000	0	0.0000

Tablo 5. Ekim Ayı İçin Frekans Dağılımları

j	v_j	f_j	$f_j(v_j)$	$f_{w,j}$	$f_w(v_j)$
1	0-1	17103	0.0960	13612	0.0764
2	1-2	28764	0.1614	30907	0.1735
3	2-3	29933	0.1680	36835	0.2068
4	3-4	34274	0.1924	33836	0.1900
5	4-5	27860	0.1564	26019	0.1461
6	5-6	19964	0.1120	17320	0.0972
7	6-7	11394	0.0639	10157	0.0570
8	7-8	6349	0.0356	5303.6	0.0298
9	8-9	2040	0.0114	2483.3	0.0139
10	9-10	424	0.0023	1048.1	0.0059
11	10-11	16	0.0000	400.23	0.0022
12	11-12	0	0.0000	138.71	0.0008
13	12-13	0	0.0000	43.737	0.0002
14	13-14	0	0.0000	12.573	0.0001
15	14-15	0	0.0000	3.3007	0.0000
16	15-16	0	0.0000	0.7925	0.0000

Bu çalışmada, Weibull dağılımının parametrelerini bulmada Maksimum Olabilirlik metodu kullanılmış ve buna göre 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için tahmin edilen parametreler, hız ve güçler Tablo 6'da gösterilmiştir. Şekil 3'te ise Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarının her birine ait rüzgar hızlarına bağlı olasılık yoğunluk fonksiyonları çizilmiştir. Tablo 6'dan, ele alınan tüm aylar için Weibull dağılımının şekil parametresinin 1.8551 ile 2.4214 arasında ve ölçek parametresinin ise 3.9155 ile 4.9934 arasında değiştiği görülmektedir. Rüzgar hız verilerinin standart sapması 0 ile 3 m/s arasında olması gerekir. Herhangi bir alandaki standart sapmanın küçük olması demek o alandaki rüzgar rejiminin son derece düzenli olması anlamına gelmektedir Rüzgar atlası ça

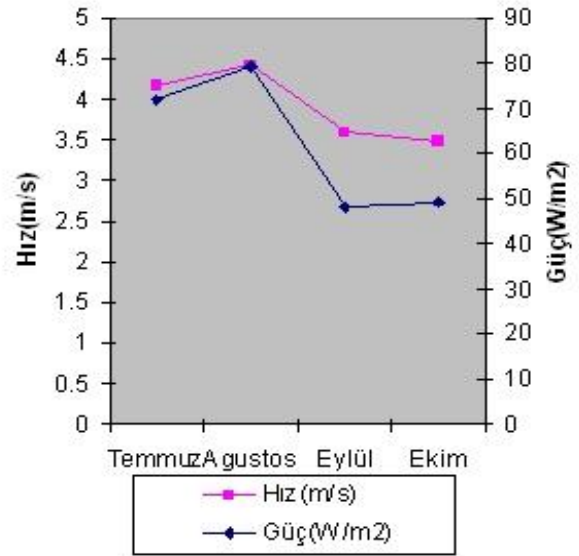
Tablo 6. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları İçin Parametre, Hız ve Güç Tahminleri

Aylar	\hat{k}	\hat{c} (m/sn)	\hat{v}_m (m/sn)	$\hat{\sigma}$ (m/sn)	\hat{v}_{mod} (m/sn)	v_{maxE} (m/sn)	P (W/m ²)
Temmuz	2.1926	4.7048	4.1666	2.0053	3.5639	6.3231	71.6623
Ağustos	2.4214	4.9934	4.4273	1.9494	4.0073	6.4030	79.2639
Eylül	2.1057	4.0618	3.5975	1.7954	2.9913	5.5776	47.8433
Ekim	1.8551	3.9155	3.4774	1.9453	2.5791	5.8080	49.1585

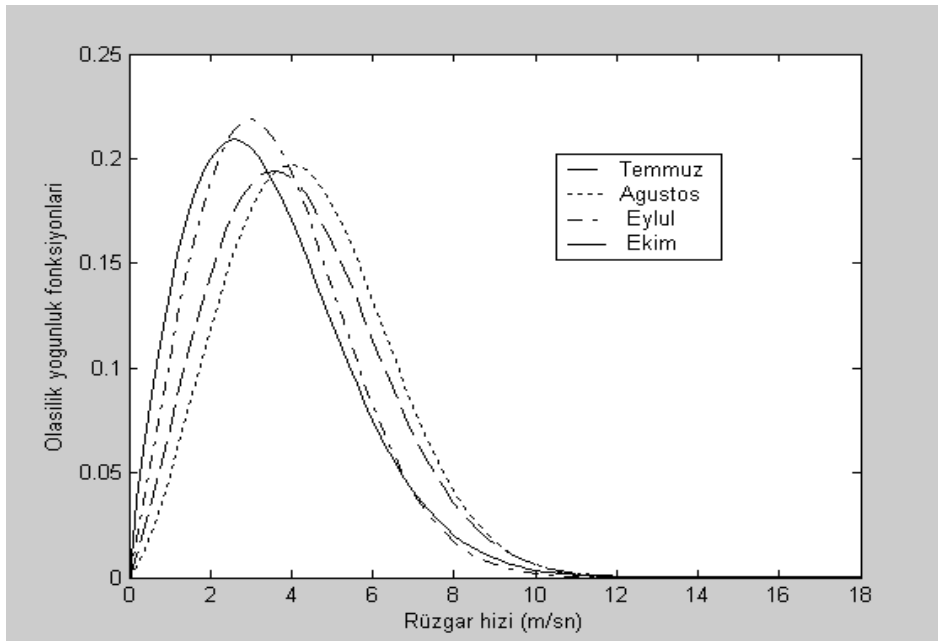
İşmaları da bu konuda önemlidir (Elektrik İşleri Etüd İdaresi-web sayfası, Uyar vd., (1989)).

Bu bölgedeki ölçülen standart sapma belirtilen değerler arasındadır. Bölgedeki ölçümler 10 m'de olmasına rağmen, her ay için rüzgar hızı ortalaması 3 m/s'den büyüktür. Bu durum, kısa dönem araştırması da olsa enerji üretimi bakımından umut vericidir. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi Temmuz ve Ağustos aylarının rüzgar hızına bağlı olasılık yoğunluk fonksiyonları ile Eylül ve Ekim aylarının rüzgar hızına bağlı olasılık yoğunluk fonksiyonları benzeşmektedir. Bu durumun güç tahminindeki benzeşmeye yansıdığı Tablo 6'dan da görülmektedir.

2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait aylık ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü değişimleri Şekil 4'te görülmektedir. Burada, Ağustos ayındaki ortalama rüzgar hızı ve ortalama rüzgar gücünün Temmuz, Eylül ve Ekim aylarına göre daha yüksek olmasından dolayı, Ağustos ayı, diğer aylardan daha fazla rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptir denilebilir. Yaz aylarında bile bu seviyelerde rüzgar hız ve güç potansiyelinin olması bu bölge için enerji üretim açısından önemli bir gösterge sayılabilir.



Şekil 4. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Ortalama Rüzgar Hızı ve Gücü.



Şekil 3. Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim Ayları için Rüzgar Hızı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eskişehir bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık bilgi sahibi olmak ve bu konuda gerekli açılımlar yapabilmek amacıyla yapılan bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampusu'nda 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 analiz edilmiştir. Bu amaçla kullanılan Weibull dağılımı ile bölgenin rüzgar hızı ve güç yoğunluğu tahmini yapılmıştır. Weibull dağılımının parametrelerini bulmada Maksimum Olabilirlik metodu kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma kapsamında varılan sonuç ve öneriler şunlardır:

- Bölgedeki rüzgar hızı ölçümleri 10m'de yapılmasına rağmen, her ay için hesaplanan ortalama hızın 3 m/s 'den büyük olmasından dolayı bölge, rüzgar enerjisi üretimi açısından elverişli ve umut vericidir.
- Elde edilen aylık ortalama güç yoğunluğu değerlerine göre bölgede büyük enerji üretim sistemleri kurulabilir.
- Yapılan çalışmaların sürdürülerek ölçümlerin farklı bölgelerde ve yüksekliklerde uzun dönemli alınarak tüm bölgenin detaylı araştırılması, bölge özelliklerinin çıkarılması ve maliyet analizi sonucunda daha doğru ve kesin değerlendirmeler yapılabilir.
- Bölgemizin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda tarafımızca yapılan çalışmalar devam edecektir. Ülkemizde bu tür enerji kaynaklarına yönelimi hızlandıracak benzer çalışmaların yapılması ve üretime katılması geleceğimiz için büyük önem taşımaktadır.

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

KAYNAKÇA

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.

Al-Nassar W., Alhajraf, S., Al-Enizi, A. ve Al-Awadhi L. (2005). Potential Wind Power Generation in the State of Kuwait, 30, 2149-2161.

Bowman, K.O. ve Shendon, L.R. (2000). Maximum Likelihood and Weibull Distribution. *Far East J. Theory Statistics*, 391-422

Cheng, R.C.H. ve Amin, N.A.K. (1983). Estimating Parameters in Continuous Univariate Distributions with a Shifted Origin. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. B.* 45, 394-403.

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

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. ve 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.

Elektrik İşleri Etüd İdaresi-web sayfası

Genç A., Murat E., Pekkör A., Oturanc G., Hepbaşlı A. ve Ülgen K. (2005). Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution. *Energy Sources* 27, 809-822.

Golding, E.W. (1976). *The Generation of Electricity by Wind Power*, E. & F. N. Spon Ltd., London.

Haralambopoulos DA. (1995). Analysis of Wind Characteristics and Potential in the East Mediterranean-the Lesvos Case. *Renewable Energy* 6, 445-54.

Hocaoğlu, 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, I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Denizli, 22-24 Mayıs.

Lipman, N.H. ve Musgrove P.J. (1982). *Wind Energy for the Eighties*, British Wind Energy association, England.

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

Simmons, D.M. (1975). *Wind Power*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, California

Ulgen, K. ve Hepbaslı A. (2002). Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey. *Int J Energy Res.* 26, 495-506.

Uyar, T. S. vd. (1989). Türkiye Rüzgar Atlasının Hazırlanması Projesi., TÜBİTAK Bülteni 6(1), 12-13.

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

Yeliz MERT KANTAR, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik bölümünü 1999 yılında bitirmiştir. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalında Yüksek Lisans (2003) ve Doktora (2006) yapmıştır. Halen Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir. İlgi alanları, dağılımlar teorisi, entropi ve enformasyon teorisi, istatistiksel analizdir.



Mehmet KURBAN, 1991 yılında, İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuş ve İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans (1994)

ve Doktora (2001) yapmıştır. 1993 -1994 yılları arasında Bilecik Arslan Alimünyum Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nde Elektrik Bakım ve Onarım şefi, 1995-2001 yılları arasında İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmış ve 2002 yılında, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne Yardımcı Doçent olarak atanmıştır. Halen aynı bölümde Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı Başkanı olarak görev yapmaktadır. İlgi alanları Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Enerji Sistemleri Analizi, Planlaması ve Optimizasyonudur.



Fatih Onur HOCAOĞLU, 2002 yılında, Pamukkale Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Afyon Kocatepe Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında Doktora

yapmak üzere Anadolu Üniversitesi'ne görevlendirildi. Halen Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve Doktora öğrenimini sürdürmektedir. İlgi alanları Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Enerji Sistemleri, Yayıp Sinir Ağları ve Bulanık Sinir Ağlarıdır.

