

ORTALAMA RÜZGAR HIZI VE GÜÇ YOĞUNLUĞUNUN HESAPLANMASI

Mehmet Nuri ALMALI

Tahsin ETE

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Müh.-Mim. Fak.
mna1@yyu.edu.tr

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yapı İşleri ve Tek. Daire Başkanlığı
tahsinete@yyu.edu.tr

ÖZET

Weibull dağılışı gösteren rüzgar hızı verilerinde ortalama rüzgar hızı ve buna bağlı olarak rüzgar güç yoğunluğunun hesaplanması için Weibull dağılışı parametrelerinin doğru bir şekilde tahminlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada iki parametrelili Weibull dağılışı parametre tahminlerinin elde edilmesinde en yüksek olasılırlık yöntemi (Maximum Likelihood) anlatılmıştır. Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesinde standartlara uygun şekilde 10 m ve 30 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Rüzgar hızı verileri Nisan-2004 ve Mart-2005 tarihleri arasındaki bir yıllık dönemde, 10'ar dakika arayla kaydedilmiştir. Veriler tüm yıl ve aylık veriler olarak ele alınmıştır. Yıllık veriler ile aylık veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda, aylık ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları ortalaması değerleri ile yıllık verilerden elde edilen ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Weibull dağılışı, En yüksek olasılırlık yöntemi

1. GİRİŞ

Yapılan çalışmalar, atmosferin üst tabakalarında rüzgar hızı dağılışının normal eğri (Gaussian) ile temsil edilebileceğini göstermiştir. Özellikle yeryüzüne yakın yerlerde rüzgar hızı verilerinin Weibull dağılışına (WD) uyduğu şimdiki kadar yapılmış birçok veri işlem çalışmalarında ortaya konmuştur (Şen, 2002). Ortalama rüzgar hızını bulmak amacıyla yapılan birçok çalışmada rüzgar hızı verilerinin WD gösterdiği belirlenmiştir (Deaves ve Lines,1997; Garcia ve ark., 1998; Dorvlo, 2002; Sulaiman ve ark., 2002; Jacovides ve ark., 2002; Ülger ve Hepbaşlı, 2002; Özerdem ve Türkeli, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Bivona ve ark., 2003; Weisser, 2003). Bazı çalışmalarda ortalama rüzgar hızından hareketle, rüzgar güç yoğunluğu ile rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde WD kullanılmıştır (Segura ve Lambert, 2000; Çelik, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Weisser 2003).

Çalışmalarda kullanılan rüzgar hızı verileri genelde saatlik ortalama (Garcia ve ark., 1998; Ülger ve Hepbaşlı, 2002; Bivona ve ark., 2003) veya aylık ortalamalar halinde zaman serisi olarak verilmiştir (Deaves ve Lines,1997; Dorvlo, 2002; Sulaiman ve ark., 2002; Jacovides ve ark., 2002; Özerdem ve Türkeli, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Weisser, 2003). Bivona ve ark. (2003), rüzgar hızlarının saatlik ortalamalarının WD gösterdiğini; ister aylık, istenirse saatlik verilerde ortalama rüzgar hızını bulmak için Weibull modelinin kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna dayandırılan bir rüzgar güç yoğunluğu,

$$P = A \int_0^{\infty} P(V) f(V) dV = \frac{1}{2} \rho A \alpha^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{\beta} \right)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte A bir rüzgar kanadının süpürdüğü alan, ρ akışkan yoğunluğu (Çalışmada $\rho = 1.22$ olarak alınmıştır), α Weibull dağılışı ölçek (scala), β ise şekil (shape) parametresi ve Γ , Gamma fonksiyonudur.

Ross (1996), Weibull dağılışı parametre tahminlerini bulmak için en yüksek olasılırlık ile dört farklı regresyon yöntemini hata kareler ortalamasına göre karşılaştırmıştır. En yüksek olasılırlık ile ağırlıklı doğrusal regresyon yönteminin benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Keats ve ark. (1997), Log-olasılırlık eşitliğinin çözümü için NR kullanmışlardır. Newton-Raphson (NR) çözümü için gerekli olan $\hat{\beta}_0$ başlangıç değerini Menon eşitliğini kullanmıştır.

WD parametre tahminlerini, EYO ve grafik yöntemi kullanarak elde etmiş ve zaman serisi şeklindeki rüzgar verileri için EYO önermişlerdir (Segura ve Lambert, 2000).

Weibull dağılışı gösterdiği bilinen rüzgar hızı verilerinden ortalama rüzgar hızını hesaplanabilmesi için, öncelikle Weibull dağılışı parametrelerinin tahminlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada başlıca amacı, Weibull dağılışı gösterdiği bilinen rüzgar hızı verilerinden ortalama rüzgar hızı ve gücünün hesaplanması için, dağılışı parametrelerinin tahminlenmesi amacıyla kullanılan en yüksek olasılırlık yöntemini açıklanmasıdır.



2. WEIBULL DAĞILIŞININ GENEL ÖZELLİKLERİ

X rasgele bir değişken olmak üzere, üç parametrelili (ζ , α , β) bir Weibull dağılışı (WD) eklemeli olasılık fonksiyonu ile olasılık yoğunluk fonksiyonları sırasıyla,

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x \geq \zeta \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x \geq \zeta \quad (2)$$

şeklindedir (Heo ve ark., 2001). Yukarıdaki eşitliklerde ζ yer (location), α ölçek (scala) ve β ise şekil (shape) parametresi olarak adlandırılır. WD ortalaması ve varyansı sırasıyla,

$$\mu = \zeta + \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (4)$$

şeklindedir. Yukarıdaki eşitliklerde verilen $\Gamma(\cdot)$ gamma fonksiyonunu göstermektedir.

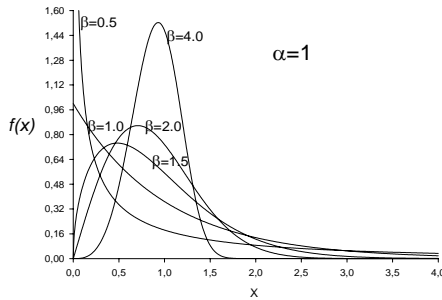
$\beta > 1$ için WD tepe (m) ve ortanca (M) değeri sırasıyla aşağıdaki şekilde verilir,

$$m = \zeta + \alpha \left(\frac{\beta-1}{\beta}\right)^{1/\beta}, \quad M = \zeta + \alpha (\log(2))^{1/\beta} \quad (5)$$

Dağılışı $\beta > 1$ değeri için tek tepe değerli (unimod), $0 < \beta \leq 1$ değeri için dağılışı tepe değeri yoktur ve yoğunluk fonksiyonu x ile monoton bir şekilde azalır (Johnson ve Kotz, 1970).

Şekil parametresi $\beta \cong 3.6$ olduğunda dağılışı şekli hemen hemen simetrik, eğrilik katsayısı sıfır ve dağılışı şekli normal dağılışıya yakındır (Johnson ve Kotz, 1970). β 'nin sıfıra yakın değerleri için aşırı derecede sağa yatık, $\beta > 3.6$ değerleri için sola yatıktır.

Pek çok dağılışı WD özel bir durumu olarak ele alınabilir. Örneğin WD'de $\beta=1$ olduğun durumda yapar.



Şekil 1. Farklı β değerleri için $f(x)$ değişimi

iki parametrelili üssel dağılışı ve $\beta=2$ olduğun duruma da Rayleigh dağılışı elde edilir (Dodson, 1994). Logaritmik dönüştürme yapıldığında aşırı değer dağılışı (Extrem-Value) elde edilir.

3. İKİ PARAMETRELİ WEIBULL DAĞILIŞININ PARAMETRELERİNİN EYO YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

En yüksek olabilirlik yöntemi (EYO) ilk kez Edgeworth 1908 kullanmıştır. 1921 yılında Fisher, bu yöntem ile bulunan tahmin edicinin varyansı için genel formülünü bulduktan sonra yöntem daha da önem kazanmıştır (İnal ve Günay, 1993).

Örnekteki elemanları x_1, x_2, \dots, x_n ile gösterelim. Bir gözlemden $X=x_1$ olması olasılığı, $f(x_1; \alpha, \beta)$ ile orantılıdır. Benzer şekilde $X=x_2, \dots, X=x_n$ olaylarını meydana gelme olasılıkları da $f(x_2; \alpha, \beta), \dots, f(x_n; \alpha, \beta)$ ile orantılı olur. Bu olaylar bağımsız olduklarına göre yapılan n gözlemden $X=x_1, X=x_2, \dots, X=x_n$ olaylarının meydana gelme olasılığı;

$$LL = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha, \beta) \quad (6)$$

ile orantılı olacaktır. Yukarıdaki eşitlikte tanımlanan LL 'ye olabilirlik fonksiyonu denir. EYO'da LL fonksiyonunu en yüksek yapan $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ değerlerine α ve β parametrelerinin EYO tahmini denir. Buna göre $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ tahminleri aşağıdaki eşitliklerin çözümü ile elde edilir.

$$\frac{\partial LL}{\partial \alpha} = \frac{\partial LL}{\partial \beta} = \dots = 0$$

pratikte LL 'yi tanımlayan (6) eşitliğindeki çarpımları, toplam haline getirmek için LL yerine $\ln LL$ fonksiyonu ile çalışmak uygun olur. $\ln LL$ 'nin artan bir fonksiyonu olduğun için LL 'yi en yüksek yapan α ve β değerleri $\ln LL$ 'yi de en yüksek

EYO tahminleri olabilirlik eşitliğini sağlayan ya da olabilirlik (veya log-olabilirlik) eşitliklerini maksimum yapan $\hat{\theta}_{EYO} = (\hat{\alpha}_{EYO}, \hat{\beta}_{EYO})'$ değerleri olarak tanımlanabilir.

X_1, X_2, \dots, X_n θ Parametrelili ($\theta = \alpha, \beta$ ölçek ve şekil parametresi) WD bir rasgele örnek olarak göz önüne alalım. Dağılışı olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad \alpha > 0, \beta > 0$$

WD'nin olabilirlik fonksiyonu;

$$LL = \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right]$$

şeklinde yazılabilir (Zenbil,1991).

Matematiksel işlemleri kolaylaştırmak için çarpım ifadesini toplam haline dönüştürmek için LL olabirlik fonksiyonunun logaritması alınarak log-olabirlik fonksiyonu;

$$L = \ln LL = \sum_{i=1}^n \ln f(x; \alpha, \beta)$$

$$L = \ln LL = n \ln(\beta) - n\beta \ln(\alpha) + (\beta-1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \frac{1}{\alpha^{\beta}} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. α ve β parametrelerinin EYO tahminleri elde etmek için log-olabirlik fonksiyonunun α ve β parametresine göre birinci dereceden kısmi türevi alınıp sifira eşitlenerek,

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = \frac{\partial}{\partial \alpha} (n \ln(\beta) - n\beta \ln(\alpha) + (\beta-1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \alpha^{-\beta} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta}) \quad (8)$$

elde edilir. Elde edilen bu eşitlikten,

$$\alpha = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \right)^{1/\beta} \quad (9)$$

olarak bulunur. α 'nın ln'i alınacak olursa,

$$\ln \alpha = \frac{1}{\beta} \ln \left(\sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \right) - \frac{1}{\beta} \ln n \quad (10)$$

elde edilir.

Aynı şekilde log-olabirlik fonksiyonunun β parametresine göre birinci türevi alınıp sifira eşitlenecek olursa,

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \frac{\partial}{\partial \beta} (n \ln(\beta) - n\beta \ln(\alpha) + (\beta-1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \frac{1}{\alpha^{\beta}} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta}) \quad (11)$$

eşitliği elde edilir. (9) ve (10) numaralı eşitliklerde verilen α ile $\ln \alpha$ ifadeleri, (11) numaralı eşitlikte yerlerine bırakılıp ve düzenlenerek β çekilirse,

$$\beta = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \ln(x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right]^{-1} \quad (12)$$

elde edilir. EYO eşitliğini Newton Raphson (NR) kullanılarak çözmek için log-olabirlik eşitliğinin ikinci dereceden türevlerini bulunması gerekmektedir.

β Kökünü bulmak için NR eşitliği

$$\beta_{k+1} = \beta_k - \frac{g(\beta_k)}{g'(\beta_k)} \quad \text{şeklinde yazılır. Eşitlikte}$$

($|\beta_{k+1} - \beta_k| < h$ $h=0,00001$) oluncaya kadar işleme devam edilerek $\hat{\beta}_{EYO}$ bulunur. NR için kullanılan

$\hat{\beta}_0$ başlangıç değeri Menon's (1963) eşitliğinden hesaplanır. Bu eşitlik

$$\hat{\beta}_0 = \frac{\left[\frac{6}{\pi^2} \left[\sum_{i=1}^n \ln^2 x_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2}{n} \right] \right]^{-1/2}}{(n-1)^{-1/2}} \quad (13)$$

şeklinde dir. Hesaplanan $\hat{\beta}_{EYO}$ değeri (9) numaralı eşitlikte yerine bırakılarak $\hat{\alpha}_{EYO}$ değeri kolayca hesaplanır.

Bu hesaplamaların yapılması için kullanılan basit MATLAB kodu aşağıdaki gibidir.

```
clear; %1
clc; %2
run Yilicveriler; %3
Param= wblfit(veriler) %4
[M,V] =wblstat(Param(1),Param(2))
%5
Guc_yog=(1/2)*1.226*M^3 %6
```

Program kodunda 3 satırda verilen run komutu ile daha önce Yilicveriler.m dosyasına kaydedilmiş olan veriler = [n₁,n₂,...n_n]; (n₁,n₂,...n_n rüzgar hızı verileri) formatındaki veriler isimli vektör okutulmaktadır. 4. satırda bu verilere dayanılarak Weibull dağılışı parametrelerinin EYO tahminlerini yapan wblfit komutu çalıştırılarak, tahminlenen $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ parametreleri Param değişkenine aktarılmıştır. Param değişkeni Param=[$\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$] iki elemanlı bir dizidir. 5. satırda Weibull dağılışı ortalamasını (M) ve varyansını (V) hesaplayan wblstat fonksiyonu çalıştırılmıştır. Ortalama değer güç yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Varyans değeri wblstat fonksiyonun geri gönderdiği bir değerdir ve hesaplamalarda kullanılmamıştır. 6. satırda rüzgar hızı ortalaması kullanılarak güç yoğunluğu hesaplanmıştır.

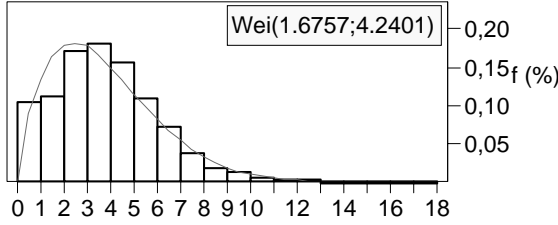
4. BULGULAR

Çalışmada kullanılan veriler seti 2003-DPT-MİM1 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Bu çalışmada Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesine konulmuş mikroişlemci kontrollü ölçüm cihazları, standartlara uygun şekilde 30 m ve 10 m yükseklikte ölçülmüştür. Rüzgar hızı 30 s aralıklarla ölçülerek 10'ar dakikalık ortalaması, standart sapması, aşırı (max ve min) değerlerini kayıt edilmiştir. Rüzgar hızı verileri 10'ar dakika arayla kaydedilmiş Nisan-2004 ile Mart-2005 tarihleri arasında bir yıllık dönemi kapsamaktadır.

Rüzgar hızı verileri öncelikle EYO yöntemi kullanılarak hem yıllık hem de aylık olarak değerlendirilmiş ve yıllık ortalama rüzgar hızı ve



güç yoğunluğu hesaplanmıştır. 30 m yükseklikte 10 dk ara ile ölçülen rüzgar hızı verilerine ilişkin frekans dağılımı ve EYO yöntemi ile tahmin edilen $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ parametrelerine göre çizilen WD eklemeli olasılık fonksiyonunun şekli Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. 30m 10 dk rüzgar hızı verilerinin dağılımı.

Şekil 2.'de 30 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımı görülmektedir. Veriler 13 ayrı guruba bölünmüştür. En fazla veri 3-4 m/s aralığında ve yaklaşık verilerin %18 den düşmektedir. 6 m/s hızın üzerindeki rüzgar enerjisi üretmeye yönelik verilerin toplam veriler içinde %8'i oluşturmaktadır. 0-3 m/s arasındaki rüzgar hızı verilerini toplam verilerin büyük bir kısmını (yaklaşık %40) oluşturduğu görülmektedir. Bu durum rüzgar hızının genelde düşük hızlarda olduğunu göstermektedir. Hesaplanan parametre değerlerine göre çizilen Weibull olasılık fonksiyonunun verileri temsil ettiği görülmektedir.

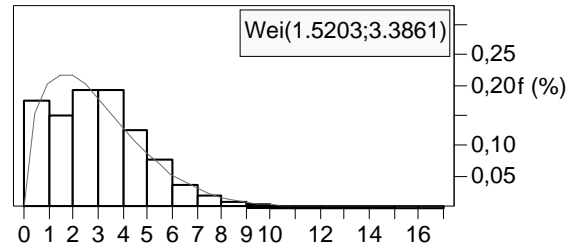
30m yükseklikte 10 dk ortalama ile ölçülen aylık ve tüm yıla ait rüzgar hızı verilerinden EYO yöntemi ile hesaplanan parametre değerleri ile ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. 30m yükseklikte ölçülen aylık rüzgar hızı verilerine ilişkin WD parametre tahminleri, ortalama hız (m/s) değerleri ile güç yoğunluğu (W/m²) değerleri

Aylar	30 m yükseklik			
	$\hat{\alpha}$ (m/s)	$\hat{\beta}$	Ort(m/s)	P(W/m ²)
Nis.04	4.18	1.61	3.75	32.11
May.04	4.05	1.56	3.64	29.58
Haz.04	4.09	1.64	3.66	30.00
Tem.04	4.29	1.67	3.83	34.58
Ağu.04	3.14	1.23	2.94	15.46
Eyl.04	4.14	1.75	3.69	30.77
Eki.04	3.86	1.57	3.47	25.51
Kas.04	4.56	1.59	4.09	42.05
Ara.04	4.98	2.58	4.42	52.80
Oca.05	4.61	2.20	4.08	41.64
Şub.05	4.96	2.08	4.39	52.11
Mar.05	4.07	1.61	3.65	29.73
Ortalama	4.24	1.76	3.80	34.70
Yıllık Veriler	4.24	1.67	3.78	33.30

Çizelge 1' de görüldüğü gibi en yüksek ortalama rüzgar hızı 4.39 m/s ile 2005 yılı Şubat ayında, en düşük ise 2.94 m/s ile 2004 Ağustos ayında görülmüştür. Güç yoğunluğu da buna paralel olarak değişmiştir. Aylara göre elde edilen rüzgar hızı ortalamalarının ortalama değeri 3.80 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 34.70 W/m² bulunmuştur. Yıllık verilerden elde edilen ortalama rüzgar hızı 3.78 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 33.30 W/m² elde edilmiştir.

10 m yükseklikte 10 dk ara ile ölçülen rüzgar hızı verilerine ilişkin frekans dağılımı ve EYO yöntemi ile tahmin edilen $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ parametrelerine göre çizilen WD eklemeli olasılık fonksiyonunun şekli Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. 10m 10 dk rüzgar hızı verilerinin dağılımı.

Şekil 3.'de 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımı görülmektedir. Veriler 11 ayrı guruba bölünmüştür. En fazla veri 2-4 m/s aralığında ve yaklaşık verilerin %40'a denk düşmektedir. 6 m/s hızın üzerindeki rüzgar enerjisi üretmeye yönelik verilerin toplam veriler içinde %5'i oluşturmaktadır. 0-2 m/s arasındaki rüzgar hızı verilerini toplam verilerin yaklaşık %36'nı oluşturduğu görülmektedir. Bu durum rüzgar hızının genelde düşük hızlarda ve 0-4 m/s olduğunu göstermektedir. Hesaplanan parametre değerlerine göre çizilen Weibull olasılık fonksiyonunun verileri kısmen temsil ettiği görülmektedir.

10m yükseklikte 10 dk ortalama ile ölçülen aylık ve tüm yıla ait rüzgar hızı verilerinden EYO yöntemi ile hesaplanan parametre değerleri ile ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. 10m yükseklikte ölçülen aylık rüzgar hızı verilerine ilişkin WD parametre tahminleri, ortalama hız (m/s) değerleri ile güç yoğunluğu (W/m²) değerleri

Aylar	10 m yükseklik			
	$\hat{\alpha}$ (m/s)	$\hat{\beta}$	Ort(m/s)	P(W/m ²)
Nis.04	3.38	1.49	3.05	17.48
May.04	3.22	1.42	2.93	15.33
Haz.04	3.38	1.52	3.05	17.31
Tem.04	3.51	1.53	3.16	19.39
Ağu.04	3.13	1.36	2.87	14.49
Eyl.04	3.55	1.65	3.17	19.66
Eki.04	2.92	1.36	2.67	11.74
Kas.04	3.26	1.27	3.03	16.90
Ara.04	3.81	2.37	3.38	23.64
Oca.05	3.54	1.83	3.15	19.07
Şub.05	3.83	1.80	3.41	27.18
Mar.05	3.08	1.38	2.81	13.69
Ortalama	3.38	1.58	3.06	17.99
Yıllık Veriler	3.38	1.52	3.06	17.42

Çizelge 2' de görüldüğü gibi en yüksek ortalama rüzgar hızı 3.41 m/s ile 2005 yılı Şubat ayında, en düşük ise 2.67 m/s ile 2004 Ekim ayında görülmüştür. Güç yoğunluğu da buna paralel olarak değişmiştir. Aylara göre elde edilen rüzgar hızı ortalamalarının ortalama değeri 3.06 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 17.99 W/m² bulunmuştur. Yıllık verilerden elde edilen ortalama rüzgar hızı 3.06 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 17.42 W/m² elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada Weibull dağılışı gösteren 10 dk ortalamalarla ölçülen bir yıllık periyoda ait rüzgar hızı verilerini kullanılmıştır. İki parametrelili Weibull dağılışı parametrelerinin EYO yöntemiyle nasıl hesaplanacağı açıklanmıştır. Aylık rüzgar hızı verileri üzerinde yapılan çalışmalarda hem 30 m hem de 10 m yükseklikte ölçülen verilere göre, en yüksek rüzgar hızı ortalaması ve buna bağlı olarak en yüksek rüzgar güç yoğunluğu Şubat ayında olduğu görülmektedir. Kurulacak olan bir enerji üretim tesisinin, karasal iklimin hakim olduğu bölgede en fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan Şubat ayında, yılın diğer aylarına göre daha fazla enerji üretebileceği görülmektedir.

Rüzgar güç yoğunluklarına bakıldığında, 30 m yükseklikte elde edilen rüzgar güç yoğunluğunun 10 m yükseklikte elde edilen rüzgar güç yoğunluğunun yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Bu durum yükseklik arttıkça ortalama rüzgar hızının da doğal olarak arttığını göstermektedir. Ayrıca kurulacak rüzgar türbinlerinin gövde yüksekliklerinin mümkün olduğunca yüksek olması gerektiğini göstermektedir.

Yıllık veriler ile aylık veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda, yıllık ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin birbirlerine çok yakın çıktığı gözlenmiştir. Ayrıca araştırmacıların kullanılabilmesi için basit MATLAB kodu sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Bivona, S., Burlon, R., Leone, C., 2003. Hourly Wind Speed Analysis in Sicily. *Renewable Energy*. 28(9):1371-1385.
- Çelik, A. N., 2003. Assessing The Suitability Of Wind Speed Probability Distribution Functions Based On Wind Power Density. *Renewable Energy*. 28(10): 1563-1574.
- Deaves, D.V., Lines, I.G., 1997. On The Fitting of Low Mean Windspeed Data to The Weibull Distribution. *Journal of Wind Energy And Industrial Aerodynamics*. 66:169-178.
- Dodson B., 1994. *Weibull Analysis*. ASQC Press, Wisconsin.
- Dorvlo, A. S. S., 2002. Estimating Wind Speed Distribution. *Energy Conversion and Managment*. 43:2311-2318.
- Efron, B. 1979. Bootstrap Methods: Another look at the Jakknife. *Analls of statistics*. 7, 1-16.
- Garcia, A., Torres, J.L., Prieto, E., Defrancisco, A., 1998. Fitting Wind Speed Distributions : A Case Study. *Solar Energy*. 62 (2): 139-144.
- Heo J.H., Salas J.D., Kim K.D., 2001. Estimate of confidence intervals of quantiles for the Weibull distiribution. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*,. 15 284-309.
- İnal, C., Günay, S., 1993. *Olasılık ve Matematiksel İstatistik*. Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Beytepe Basımevi. Ankara. 339-349.
- Jacovides, C. P, Theophilou, C., Tymvios, F. S., Pashiardes, S., (2002). Wind Statistics for Coastal Stations in Cyprus. *Theoretical and Applied Chlimatology*. 72 : 259-263.
- Johnson N.L., Kotz S., 1970. *Continuous Univariate Distribution-1*. Hough ton Mifflin Company, Boston.
- Karlı, V. M., Geçit, C., 2003. An Investigation on Wind Power Potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy*. 28(5):823-830.
- Keats, J.B., Lawrence, F.P., Wang, F.K., 1997. Weibull maximum likelihood parameter estimates with censored data. *Journal of Quality Technol*. 29. 1. 105-110.
- Manly, B.F.J., 2001. *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*. Second Edition. Chapman & Hall/CRC.

- Menon, M.V., 1963. Estimation of the Shape and Scala Parameter of the Weibull Distribution. *Technometrics*, 5, 175-182.
- Özerdem, B., Turkeli, M., 2003. An Investigation of Wind Characteristics on The Campus of Izmir Institute of Technology, Turkey. *Renewable Energy*. 28(7):1013-1027.
- Ross, R., 1996. Bias and Standard Deviation due to Weibull Parameter Estimation for Small Data Sets. *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*. Vol. 3. No.1
- Ross, R., 1999. Comparing Linear Regression and Maximum Likelihood Methods to Estimate Weibull Distribution on Limited Data Sets: Systematic and Random Errors. *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*.
- Segura, J.V., Lambert, T.W., 2000. Modern Estimation Of The Parameters of The Weibull Wind Speed Distribution For Wind Energy Analysis. *Journal Of Wind Energy And Industrial Aerodynamics*. 85:75-84.
- Seki, T., Yoloyama, S., 1996. Robust Parameter Estimation Using the Bootstrap Method for the 2-Parameter Weibull Distribution. *IEEE Transactions on Reliability*. Vol. 45 No.1 34-42.
- Sulaiman, M. Y., Akaak, A. M., Wahab, M. A., Zakaria, A., Sulaiman, Z. A., Suradi, J., 2002. Wind Characteristics of Oman. *Energy*. 27:35-46.
- Şen, Z., 2002. *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji)*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul. 208-216 s.
- Ülger, K., Hepbasli, A., 2002. Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*. 26: 495-506.
- Weisser, D., 2003. A Wind Energy Analysis of Granada: An Estimation Using the “Weibull” Density Function. *Renewable Energy*. 28 (11):1803-1812.
- Zenbil, A., 1991. *Estimation Technigues for A Class of Non-regular Distributions: The Weibull Case*. A. Ph. D. Thesis in Statistics Middle East Technical University.