

Ortalama Rüzgar Hızı ve Güç Yoğunluğunun Tahmin Edilmesinde Kullanılan Farklı Yöntemler

Mehmet Nuri ALMALI¹ Sabir RÜSTEMLİ² Kenan GÜRÇAM³

ÖZET: Yapılan çalışmada, Weibull Dağılımı (WD) parametrelerinin tahmini için en yüksek olabilirlik (EYO), en küçük kareler (EKK), moment yöntemi (MY) kullanılmıştır. Yöntemleri karşılaştırmak için Log olabilirlik istatistiği kullanılmıştır. EYO yöntemi ile hesaplanan LogL değeri en küçük bulunmuştur. Ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğunun hesaplanması için EYO yönteminin dağılım parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Weibull Dağılımı (WD), En Yüksek Olabilirlik (EYO), En Küçük Kareler (EKK), Moment Yöntemi (MY)

Different Methods for The Estimations of Average Wind Speed and Power Density

ABSTRACT: In this study, maximum likelihood (ML), least square (LS) and moment methods were used for estimating parameters Weibull distribution. To compare these methods, Log-likelihood statistic were used. Log-likelihood value which is calculated ML method was found as least value before obtaining resample. It was concluded that ML method could be used as a estimation method in estimating Weibull parameters and calculating intensity of wind power with average wind speed.

Keywords: Weibull Distribution (WD), Maximum Likelihood (ML), Least Square (LS), Moment Methods (MM)

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi., Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

² Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

³ İğdır Üniversitesi, İğdır Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İğdır, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Kenan GÜRÇAM, kenan.gurcam@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artıyor olması elektrik enerjisine olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Dünya enerji ihtiyacı her yıl % 4–5 artarken fosil yakıt rezervleri azalmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjiyi çevreye zarar vermeden kesintisiz ve ekonomik olarak elde etmek mümkündür. Bu nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerine yönelme olmuştur (Çalışkan, 2001; Günay ve Sağlam, 1998; Özdamar, 2000).

Ortalama rüzgâr hızını bulmak amacıyla yapılan birçok çalışma sonucunda rüzgâr hız verilerinin Weibull Dağılımı (WD) gösterdiği ortaya konmuştur (Bivona et al., 2003; Deaves and Lines, 1997; Dorvlo, 2002; Garcia et al., 1998; Hossain and Zimmer, 2003; Karlı ve Geçit, 2003; Özerdem ve Turkeli, 2003; Sulaiman et al., 2002; Ülger and Hepbasli, 2002; Weisser, 2003).

Bu sebepten dolayı rüzgâr güç yoğunluğu ile rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesinde WD yararlanılmıştır (Karlı ve Geçit, 2003; Weisser, 2003). Rüzgâr enerjisinin hesap edilebilmesi için rüzgâr güç yoğunluğu hesaplanması gerekmektedir. Güç yoğunluğu;

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

eşitliği ile bulunabilir. Güç yoğunluğu; bir rüzgâr kanadının süpürdüğü alan (A) boyunca, V rüzgâr hızının küpüyle orantılıdır. Burada (ρ), akışkan yoğunluğudur.

Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna dayandırılan bir rüzgâr güç yoğunluğu,

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

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte α Weibull dağılımı ölçek (scala), β ise şekil (shape) parametresidir. Γ , Gamma fonksiyonudur.

Güç yoğunluğu bilinen bir bölgenin, istenilen bir süre için (aylık veya yıllık) rüzgâr enerji yoğunluğu ise,

$$E = \frac{1}{2} \rho A \alpha^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{\beta}\right) T \quad (3)$$

eşitliği yardımı ile kolayca bulunabilir. Bu eşitlikte T süreyi göstermektedir. Örneğin bir yıllık süre için; T= 8760 saattir (JungChang et al., 2003; Özdamar, 2001).

Bu durum bize rüzgâr enerjisi tahminlerinde rüzgâr hızının doğru hesaplanması gerektiği konusunun önemini göstermektedir.

Weibull dağılımı gösterdiği bilinen rüzgâr hızı verilerinden ortalama rüzgâr hızını hesaplanabilmesi için, öncelikle Weibull dağılımı parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir.

Çalışmada sırasıyla Weibull dağılımı genel özellikleri, dağılım parametrelerinin tahmini için kullanılan en yüksek olabilirlik (EYO), en küçük kareler (EKK), moment (MY) yöntemi açıklanmıştır. Daha sonra elde edilen bulgular sunulmuş ve kullanılan yöntemler karşılaştırılarak sonuç ve önerilerde bulunulmuştur. Tüm hesaplamalar için MATLAB program kullanılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan rüzgâr hızı verileri 2003-DPT-MİM1 numaralı proje kapsamında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yerleşke alanına yerleştirilmiş (43.28 enlem ve 38.56 boylam) mikroişlemci kontrollü ölçüm cihazları ile kaydedilmiştir. Nisan–2004 Mart–2005 tarihleri arasında 30m yüksekliği için bir saat arayla kaydedilmiş bir yıllık veriler kullanılmıştır.

Weibull Dağılımının Genel Özellikleri

X rasgele bir değişken olmak üzere, üç parametrelilik (ζ , α , β) bir Weibull dağılımı (WD) eklemeli olasılık fonksiyonu (Heo et al., 2001)

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x \geq \zeta \quad (4)$$

WD olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x \geq \zeta \quad (5)$$

şeklindedir. Yukarıdaki eşitliklerde ζ yer (location), α ölçek (scala) ve β ise şekil (shape) parametresi olarak adlandırılır. ζ yer (location) parametresinin sıfır olması durumunda dağılım iki parametrelilik bir dağılımı dönüşür. Bu çalışmada yer parametresi sıfır alınmıştır.

WD ortalaması ve varyansı sırasıyla;

$$\mu = \zeta + \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (7)$$

dir. Yukarıdaki eşitliklerde verilen $\Gamma(\bullet)$ gamma fonksiyonunu göstermektedir.

Weibull Dağılımı Parametrelerinin En Yüksek Olabilirlik Yöntemi İle Tahmin Edilmesi

WD'nin olabilirlik fonksiyonu;

$$LL = \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir (Zenbil, 1991).

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.

Matematiksel işlemleri kolaylaştırmak için LL olabilirlik fonksiyonunun logaritması alınarak log-olabilirlik fonksiyonu elde edilir. α ve β parametrelerinin EYO tahminlerini elde etmek için log-olabilirlik fonksiyonunun α ve β parametresine göre birinci dereceden kısmi türevi alınıp sıfıra eşitlenir. Bu durumda α ve β aşağıdaki şekilde elde edilir.

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

$$\beta = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^\beta \ln(x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)^\beta} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right]^{-1} \quad (9)$$

Elde edilen eşitlik Newton-Raphson yöntemi kullanılarak β 'ya göre çözülebilir. $\hat{\beta}_{k+1}$ ve $\hat{\alpha}$ aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır;

$$\beta_{k+1} = \beta_k + \frac{\frac{1}{\beta_k} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i^{\beta_k} \ln x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^{\beta_k}}}{\frac{1}{\beta_k^2} + \frac{\sum_{i=1}^n x_i^{\beta_k} \sum_{i=1}^n [x_i^{\beta_k} \ln^2 x_i] - \left[\sum_{i=1}^n x_i^{\beta_k} \ln x_i \right]^2}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^{\beta_k} \right)^2}} \quad (10)$$

$$\alpha = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^\beta \right)^{1/\beta} \quad (11)$$

Weibull Dağılımı Parametrelerinin En Küçük Kareler Yöntemi İle Tahmin Edilmesi

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ veri çiftleri gözlenmiş olsun. EKK yönteminin temel ilkesi, bu verileri temsil eden doğru ile gözlem verileri arasındaki dikey farkları minimum yapmaya dayanır. Verileri en iyi temsil eden doğru $y = \hat{a} + \hat{b}x$ doğrusudur. Bu doğru;

$$\sum_{i=1}^n (\hat{a} + \hat{b}x_i - y_i)^2 = \min(a, b) \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i)^2 \quad (12)$$

şeklinde tanımlanır. Bu eşitlikte \hat{a} ve \hat{b} sırasıyla a ve b katsayılarının EKK tahminleri, n veri sayısıdır.

Yukarıda açıklanan yöntemle iki parametrelili Weibull dağılımı için parametre tahminlerinin EKK çözümünün gerçekleştirilebilmesi için, 4 numaralı eşitliğin (ζ yer (location) parametresi 0 olmak üzere) her iki yanının iki defa logaritması alınır,

$$\ln[-\ln(1-F(x))] = -\beta \ln(\alpha) + \beta \ln(x) \quad (13)$$

şekline dönüşür. Burada;

$$y = \ln[-\ln(1-F(x))], \quad x = \ln(x)$$

$$a = -\beta \ln(\alpha), \quad b = \beta$$

olur (Jacovides et al., S.2002). Parametrelerini EKK tahminleri $\hat{\alpha}_{EKK} = e^{-(\hat{a}/\hat{b})}$ ve $\hat{\beta}_{EKK} = \hat{b}$ dönüşümleri ile elde edilir. Eşitliklerin çözümünde kullanılan y_i, x_i ve $F(x_i)$ değerleri sıralanmış değerlerdir: $1 \leq i \leq j \leq n$ için

$y_i \leq y_j, x_i \leq x_j$ ve $F(x_i) \leq F(x_j)$ dir. $F(x_i)$ 'leri hesaplamak için;

$$F_i \approx \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

y_i 'lerin ortanca değerlerini kullanılabilir (Ross, 1999).

Moment Yöntemi

Weibull dağılımı için k . dereceden moment;

$$E(X^k) = \sum_{j=1}^k \binom{k}{j} \delta^{k-j} \alpha^j \Gamma_j \quad (14)$$

şeklinde yazılabilir. Weibull dağılımına sahip T rastgele değişkeninin birinci kitle moment (beklenen değeri), düzeltilmiş ikinci kitle moment (varyansı) aşağıdaki gibidir.

$$m_1 = \mu = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (15)$$

$$m_2 = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (16)$$

Birinci kitle momentini birinci örneklem momentine, ikinci düzeltilmiş kitle momentini örneklem varyansına eşitlersek aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} - \frac{S^2}{\bar{T}^2} - 1 = 0 \quad (17)$$

Burada $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$ ve $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2$ sırasıyla örneklem ortalaması ve örneklem varyansdır. Denklem (Ülger, K., Hepbasli, A.2002)' de β 'nin çözümü için Newton-Raphson metodu kullanılırsa

$$\beta_{k+1} = \beta_k + \frac{1}{2} \frac{\beta_k^2 \left[\left(\frac{S^2}{\bar{T}^2} + 1 \right) \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta_k}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_k}\right) \right]}{\left[\Psi\left(1 + \frac{2}{\beta_k}\right) - \Psi\left(1 + \frac{1}{\beta_k}\right) \right] \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta_k}\right)} \quad (18)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{T}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{\beta}}\right)} \quad (19)$$

elde edilir. Burada Γ (gamma) ve Ψ (digamma) fonksiyonlarıdır.

Çizelge 1. Bir yıllık süreyle ölçülmüş rüzgar hızı verilerinin için bazı tanıtıcı istatistikler

Yıl	Aylar	Rüzgar Hızı (m s ⁻¹)		Örnek Büyüklüğü (n)
		Mim.	Maks.	
2004	Nisan	0.40	17.60	4320
	Mayıs	0.40	16.70	4464
	Haziran	0.40	14.70	4320
	Temmuz	0.40	13.90	4464
	Ağustos	0.40	10.80	4464
	Eylül	0.40	14.80	4320
	Ekim	0.40	15.50	4464
	Kasım	0.40	17.60	4320
	Aralık	0.40	9.30	4464
2005	Ocak	0.40	14.70	4464
	Şubat	0.40	11.20	4032
	Mart	0.40	15.00	4530
TOPLAM				52626

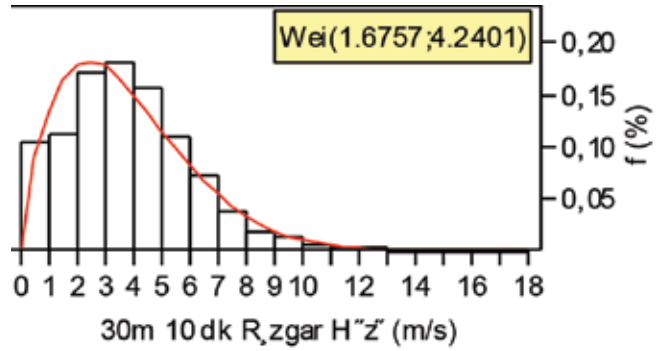
BULGULAR

Bu çalışmada Nisan–2004 ile Mart–2005 tarihleri kapsayan bir yıllık süreyle ölçülmüş olan 30m yükseklikte 10dk ortalamalara ait rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Bir yıllık ölçümle elde edilen rüzgar hızı verileri aylara göre düzenlenmiştir.

Nisan–2004 ile Mart–2005 tarihlerini kapsayan bir yıllık süreyle ölçülmüş olan rüzgar hızı verileri için bazı tanıtıcı istatistikler Çizelge 1’ de verilmiştir.

Yapılan değerlendirmede en düşük rüzgar hızı bütün aylarda birbirine eşit ve 0.4 m s⁻¹ olarak ölçülmüştür. En yüksek rüzgar hızı değerleri ise değişiklik göstermiştir Nisan ve Kasım aylarında 17.6 m s⁻¹ olduğu görülmektedir.

Rüzgar hızı verilerine ilişkin rüzgar hızı ve esme sıklıklarına ilişkin grafik Şekil 1’ de verilmiştir.



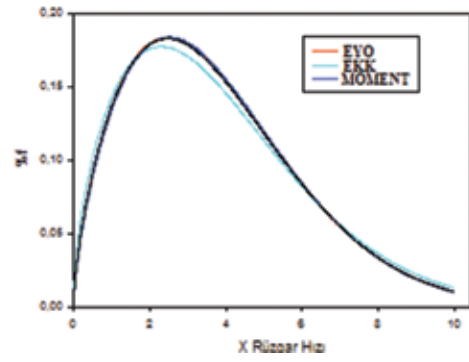
Şekil 1. Rüzgar hızı verilerine ilişkin rüzgar hızı ve esme sıklıkları

Şekil 1’ de rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımı görülmektedir. Veriler 13 ayrı guruba bölünmüştür. En fazla veri 3-4 m s⁻¹ aralığında ve yaklaşık verilerin % 18 denk düşmektedir. 6 m s⁻¹ hızın üzerindeki rüzgâr enerjisi üretmeye yönelik verilerin toplam veriler içinde % 8’i oluşturmaktadır. 0-3 m s⁻¹ arasındaki rüzgâr hızı verilerini toplam verilerin büyük bir kısmını (yaklaşık % 40) oluşturduğu görülmektedir. Bu durum rüzgâr hızının genelde düşük hızlarda olduğunu göstermektedir. EYO yöntemi ile hesaplanan parametre değerlerine göre çizilen Weibull olasılık fonksiyonunun verileri temsil ettiği görülmektedir.

Rüzgar hızı verileri kullanılarak 3 ayrı yöntemle elde edilen Weibull dağılım parametreleri ile bu parametrelere bağlı olarak hesaplanan ortalama rüzgar hızı (m s⁻¹), güç yoğunluğu (P) ve yöntemleri karşılaştırma da kullanılan LogL değerler Çizelge 2’ de verilmiştir.

Çizelge 2’ de en yüksek ortalama ve güç değeri EKK yöntemi ile sırasıyla 3.8478 m s⁻¹ ile 87.2 (W m⁻²) bulunmuştur. Ayrıca aynı yöntemle parametre tahminleri $\hat{\alpha}=4.2896$ m s⁻¹, $\hat{\beta}=1.5922$ bulunmuştur. Fakat LogL değeri diğer yöntemlere göre en yüksek 113,650 olarak hesaplanmıştır. LogL değerinin en küçük değeri EYO yöntemi ile 113.500 olarak elde edilmiştir. EYO ile parametre tahminleri $\hat{\alpha}=4.2401$ m s⁻¹, $\hat{\beta}=1.6757$ olarak bulunmuştur. EYO ile ortalama rüzgar hızının 3.7873 m s⁻¹ ve güç yoğunluğunun da 77.72 (W m⁻²) olarak hesaplanmıştır.

Üç ayrı yöntemle elde edilen Weibull parametre değerlerinin göstermiş olduğu Weibull dağılımı grafiklerinin birbirinden nasıl ayrıldığını göstermek amacıyla kullanılan üç ayrı yöntemle elde edilen Weibull dağılımı grafiği Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Üç ayrı yöntemle elde edilen parametre değerlerine ilişkin Weibull dağılımı grafiği

Şekil 2’ de görüldüğü gibi 10dk.’lık verilerden EKK yöntemi ile elde edilen parametre tahminlerine ilişkin Weibull dağılım grafiğinin diğer yöntemler göre farklılık gösterdiği görülmektedir.

SONUÇ

Yapılan çalışmada Weibull dağılımı genel özellikleri verilmiştir. Dağılım parametrelerinin tahmini için kullanılan en yüksek olabilirlik, en küçük kareler ve moment yöntemi açılmıştır. EYO eşitliğini maksimum yapan değeri bulmak için Newton-Raphson (NR) yöntemine ilişkin açıklamalar yapılmıştır. Farklı yöntemlerle tahmin edilen parametre değerlerinde ortalama rüzgâr hızı, güç yoğunluğu ve olabilirlik değerinin logaritması (LogL) hesaplanmıştır.

Üç ayrı yöntemle elde edilen Weibull dağılım parametreleri ile bu parametrelere bağlı olarak hesaplanan değerlere bakıldığında en küçük LogL değeri EYO yöntemi ile elde edilmiştir. Bu durum Weibull dağılımı parametre tahmin edilmesinde kullanılan en etkin yön-

Çizelge 2. Yıllık gözlenen verilerin değişik yöntemlerle elde edilen değerler

Parametre Tahmin edilme Yöntemi	Parametre Tahminleri		Ortalama Rüzgar Hızı (m s ⁻¹)	P (W m ⁻²)	LogL
	$\hat{\alpha}$ (m s ⁻¹)	$\hat{\beta}$			
EYO	4.2401	1.6757	3.7873	77.72	113.500
EKK	4.2896	1.5922	3.8478	87.20	113.650
Moment	4.2524	1.6969	3.7946	76.94	113.510

temin EYO olduğunu göstermiştir. EYO ile parametre tahminleri $\hat{\alpha}=4.2401 \text{ m s}^{-1}$, $\hat{\beta}=1.6757$ olarak bulunmuştur. EYO ile ortalama rüzgar hızının 3.7873 m s^{-1} ve güç yoğunluğunun da $77.72 \text{ (W m}^{-2}\text{)}$ olarak hesaplanmıştır. Oysa EKK yöntemi ile ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu en yüksek olarak hesaplanmıştır. Rüzgar enerji tahmin edilmesinde EKK ile elde edilen verilerin kullanılması hatalı hesaplamalara neden olacağı açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Bivona, S., Burlon, R., Leone, C., 2003. Hourly wind speed analysis in Sicily. *Renewable Energy*, 28(9): 1371-1385.
- Çalışkan, M., 2001. Rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Kayseri.
- Deaves, D.V., Lines, I.G., 1997. On the fitting of low mean wind speed data to the Weibull Distribution. *Journal of Wind Energy And Industrial Aerodynamics*, 66: 169-178
- Dorvlo, A.S.S., 2002. Estimating wind speed distribution. *Energy Conversion and Management*, 43: 2311-2318
- Garcia, A., Torres, J.L., Prieto, E., Defrancisco, A., 1998. Fitting wind speed distributions: A case study. *Solar Energy*, 62 (2): 139-144
- Günay, İ., Sağlam, Ş., 2001. Türkiye rüzgar enerjisi kullanım durumu ve bir türbin tasarım örneği. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Kayseri, 165-169.
- Heo, J.H., Salas, J.D., Kim, K.D., 2001. Estimate of confidence-intervals of quantiles for the Weibull distribution. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 15: 284-309.
- Hossain, A. M., Zimmer, W.J., 2003. Comparison of estimation methods for weibull parameters: complet and censored samples. *Journal of statistical computation and simulation*, 73(2): 145-153.
- 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.
- Jung Chang, T., Ting Wu, Y., Yi Hsu, H., Ren Chu, C., Min Liao, C., 2003. Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan. *Renewable Energy*, 28: 851-871.
- Karslı, V.M., Geçit, C., 2003. An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy*, 28(5): 823-830.
- Özdamar, A., 2000. Dünya ve Türkiyede rüzgar enerjisinden yararlanılması üzerine bir araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 6(2-3): 133-145.
- Özdamar, A., 2001. Farklı anma güçlü rüzgar türbinlerinin çeşitli kriterlere göre karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1): 17-27.
- 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., 1999. Comparing linear regression and maximum likelihood methodsto estimate Weibull Distribution on limited data sets: Systematic and random errors. *IEEE Conference on Electrical Insulationand Dielectric Phenomena*.
- 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.
- Ülger, K., Hepbasli, A., 2002. Determination of Weibull parametersfor 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. EstimationTechniquesfor a class of non-regulardistributions: The Weibull case. *Middle East Technical University, Ph. D. Thesis*.