



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik

Cilt: 14 Sayı: 3 2013

Sayfa: 199-212

ARASTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

Bayram KÖSE¹, Ahmet Zahid KÜÇÜK¹, Bülent ORDU¹, Yusuf ÇAY²

RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TAHMİNLENMESİNDE KULLANILAN OLASILIK DAĞILIM FONKSİYONLARINA GENEL BİR BAKIŞ VE KARABÜK RÜZGAR VERİLERİNE UYGULAMASI

ÖZ

Türkiye için rüzgar enerjisi kullanımı, konvansiyonel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı ve dışa bağımlılığı azaltması dolayısıyla, çok önemlidir. Rüzgarın esme zamanı, hızı ve hangi yönde esmesi gerektiği belirlenemez. Rüzgar enerjisi santralleri(RES)nde elektrik üretimi planlaması, kurulduğu bölgedeki rüzgarın meteorolojik verilerinin düzeyine ve zamana bağlıdır. Rüzgar enerjisindeki değişimin tespit edilmesi çalışmaları, gerçek ve güvenilirliği yüksek modellerle üretim planlama yapılması, çalışmaları devam etmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan biri de olasılık dağılım fonksiyonlarıyla, rüzgar verilerinin modellenmesidir. Rüzgar verilerinin modellenmesiyle yatırım yapılacak yerlerin teknik potansiyelini tespit edilir ve sağlıklı üretim planlaması gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada rüzgar enerjisi alanında yaygın olarak kullanılan olasılık dağılım fonksiyonları genel olarak özetlenmiştir. Ayrıca Karabük iline ait rüzgar verilerine bu olasılık dağılım fonksiyonlarından birkaçının uygunluğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler:Yenilenebilir enerji kaynakları, Rüzgar enerjisi sistemleri, Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Dağılım fonksiyonları, Enerji tahminlemesi, Rüzgar hız dağılımı, Veri modelleme

AN OVERVIEW OF THE PROBABILITY DISTRIBUTION FUNCTIONS FOR FORECASTING OF WIND ENERGY POTENTIAL AND KARABÜK WIND DATA APPLICATION

ABSTRACT

The use of wind energy over Turkey is very important in the sense that it reduces the dependence on conventional energy sources and import dependence . Blowing time, speed, and direction of wind can not be determined. Wind power plants (WPP) in the planning of electricity generation depends on the meteorological data of wind at established in the region and time-bound. Studies on detecting the change in wind energy, and studies on production planning with real and highly reliable models are still going on. Modeling of the wind data with probability distribution functions is one of the studies in this area. Places to be invested with the technical potential of wind data shall be determined by

¹ Instructor, Eskipazar Vocational High School, Karabük University, Karabük, Türkiye
E-posta: bayramkose@karabuk.edu.tr, azahidkucuk@karabuk.edu.tr, bulentordu@karabuk.edu.tr

² Assoc. Prof. Dr. Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University, Karabük
E-posta: yusufcay@karabuk.edu.tr,

modeling and production planning is performed. In this study, probability distribution functions, which are widely used in the field of wind power, are briefly summarized. Which probability distribution function is available in Karabük wind data has also been examined.

Keywords: Renewable energy sources, Wind energy systems, Probability density functions, Distribution functions, Energy forecasting, Wind velocity distribution, Data modeling

1. GİRİŞ

Türkiye, temiz ve tükenmez enerji kaynağı olan güneş enerjisi bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemizin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresinin 2.640 saat olduğu biliniyor. Günlük ortalama 7,2 saat güneş enerjisi ülkemize gelmektedir. Ancak bu enerjinin sadece yüz bin’de ikisinden yararlanılmaktadır. Ülkemizde bir yılda metre kareye ortalama saatte 1311 kWh ışıınım şiddeti düşmektedir. Bu potansiyelle güneş enerjisi kullanımını sağlayacak yerli ve yeni teknolojilerin ülkemizde üretimi ve yaygın faydalanılmasının sağlanması gerekmektedir. Güneş kaynaklı yenilenebilir enerji kaynaklarından biride rüzgar enerjisidir.

İlk rüzgar türbini 1890 yılında, enerji üretmek için Danimarkalılar tarafından yapılmıştır. Tüm dünyada ve ülkemizde, petrol krizinden(1973) sonra rüzgar ve güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Son zamanlarda rüzgar enerjisi ve değişkenleri ile ilgili yapılan çalışmalarda yoğunluk kazanmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda sanayide uygulanmaya başlanmış ve diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.

Rüzgar enerjisi santrallerinin kontrolü tamamıyla insanoğlunun elinde değildir. Yani rüzgarın ne zaman ne şiddette, hangi yönde esmesi gerektiğini belirleyemeyiz. Tüm elektrik üreten yenilenebilir enerji santrallerinde, kurulduğu bölgedeki meteorolojik verilerin düzeyine, zamana bağlı olup, değişimin gerçek ve güvenilirliği yüksek modellerle belirlenip üretim planlaması yapılmalıdır (Özpinar, Mustafa Alper, 2007).

Rüzgar verilerinin çok iyi analiz edilmesi ve bütün yönleriyle en ince detaylarına kadar bilinmesi gerekir. Atmosfer içindeki değişen parametrelerden en değişkeni rüzgardır. Bu alanda yapılan yatırımların zaten ilk maliyetleri yüksek olduğu için zarara girilebilir (Şahin, Ahmet Duran, 2001).

Türkiye’de rüzgar enerjisi ölçümleri iklim olarak DMİ(Devlet meteoroloji İşleri) genel müdürlüğünce yapılmaktadır. Ölçüm istasyonları yerleşim alanları içinde kaldığından gerçek enerji değerini vermekten uzaktır. RES(rüzgar Enerji Santrali) kurulması düşünülen bölgelerde 1990 dan beri EİEİ rüzgar hız ve yönlerini ölçmektedir. Ülkemizde Ege, Marmara, Doğu Akdeniz kıyı bölgelerinin rüzgar potansiyelinin yüksekliği belirlenmiş olup EİEİ ve DMİ tarafından yapılmış olan Türkiye Rüzgar Atlasıyla, ülkemizin teknik potansiyelinin yaklaşık 88 GW olarak belirlenmiştir (Özgür, Mustafa Arif, 2006). Bu yüksek potansiyelin ülkemizde kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir.

Mustafa Arif Özgür, Kütahya rüzgar verilerinin değerlendirmesinde: parametre kestirim tekniği olarak maksimum olasırlık tahmini (Maximum Likelihood Estimation MLE) En Küçük Kareler Yöntemi (Least Square Method LSM) ve Robust Asimetrik Dağılım Parametre Tahmini(RADPE) yöntemlerini kullanmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak; Weibull, Lognormal ve Gamma dağılımlarını test etmiştir (Özgür, Mustafa Arif, 2006).

Seçilen bölge için Lognormal olasılık yoğunluk fonksiyonunun daha iyi sonuçlar verdiği görülmeye karşın enerji hesaplamaları yapılırken, parametre kestirim tekniği olarak MLE ve olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak Weibull dağılımı kullanılmıştır. Bunun sebebi ALWIN (Belirlenen mevkide rüzgar potansiyeli bilgisiyle rüzgar türbininin teknik datalarının muhtemel enerji üretimini tahmin için kullanılır). Yazılımının parametre kestirim tekniği olarak MLE ve olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak Weibull dağılımı kullanmasıdır. Böylece bölgenin rüzgar enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra rüzgar gözlem istasyonundan alınan veriler kullanılarak, 6 farklı rüzgar türbini imalatçısının 26 farklı modeldeki türbinlerinin katalog değerleri ile bölgeden üretilebilecek elektrik enerjisi ve kapasite faktörleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak; bölge rüzgar karakteristiğinin istatistiksel değerlendirilmesi ve yapılan maliyet analizi, bölgede rüzgar santralından elektrik enerjisi üretiminin mevcut teknolojiye göre şu an ekonomik olmadığını görülmüştür (Özgür, Mustafa Arif, 2006).

“Literatürdeki pek çok çalışmada rüzgar hızı olasılık dağılımları hiç bir istatistiki test yapılmaksızın Weibull dağılımı olarak tanımlanmaktadır” (Yılmaz, Veysel, Aras, Haydar ve Çelik, H.Eray, 2005).

Rüzgar atlaslarında güncellenen rüzgar hesaplarının bölgesel özetleri yer almaktadır. Ancak rüzgar atlasında, rüzgar gücü hesabında yerel rüzgar engelleri hesaplamalara katılmaz ve yerel arazi özelliklerinin sebep olduğu değişkenlikleri vermez (Durak, Murat, Özer, Serra, 2008).

Rüzgar atlaslarında beklenen en büyük hatalar karmaşık orografide (dağları inceleyen bilim, dağ ve geçitlerin fiziksel özellikleriyle ilgili) akışla ilgilidir. Model, eğimi % 30’dan az ve yatay boyutları 1-2 km civarında olan tepe üzerindeki rüzgar hızı nispi artışında %10 düzeyinde hata üretir. Atlaslarda kullanılan temel veri çoğunlukla 10 m gibi düşük yüksekliklere aittir. 50 metrenin üzerindeki yükseklikler için yüzeysel ısı akış durumları ve rüzgar dağılımlarının dikey ekstrapolasyonu için rüzgar data-ları önemli bir parametredir. Daha yükseklerde enerji üretimi için rüzgar tahmininde rüzgar atlaslarının güvenilirliği azalmaktadır (Durak, Murat, Özer, Serra, 2008).

Rüzgar enerjisi uygulamalarında yerel rüzgarlar kullanılır. Kara-deniz etkileşimi, gündüz gece değişimleri topoğrafik yapı, kanal etkisi gibi sebepler yerel rüzgarların ortaya çıkmasında etkilidir (Durak, Murat, Özer, Serra, 2008).

Rüzgar hızı, bir hava sisteminin birkaç saatlik geçişi sırasında değiştiği için tabi olarak üretilen enerjinin değişimine sebep olur. Rüzgarın uzun yılları kapsayan dönem, yıllık, günlük ve kısa süreli olmak üzere dört ana değişimi vardır. RES(Rüzgar enerji santrali) kurulumu için en az 5 yıl gerekmesine rağmen genel de uygulamada birkaç yıllık veri ile çalışılmaktadır. Rüzgar ölçüm süresi ne kadar çok olursa o kadar iyi olur. Ancak İngiltere South Port’ta 42 yıllık rüzgar ölçümünde bile uzun dönem ortalama ile yıllık ortalamaların kıyasında %85-118 arasında değişim gözlenmiştir (Durak, Murat, Özer, Serra, 2008).

Kısa süreli rüzgar tahmini genelde 0-48 saat arası olmakla beraber, çok kısa süreli 0-10 saat arası ile en fazla 0-72 saatlik tahminlerde anlaşılabilir. Son yıllarda bu alanda bir hayli araştırma yapılmaktadır. Elektrik dağıtım şirketlerinin, güvenilir ve önceden tahmin edilebilir rüzgar enerji santrali (RES) lerine ihtiyaçları vardır. Anlık ve ya kısa süreli ikili anlaşmalar ile enerji teminine spot piyasa denmektedir (Güçlüer, Dolunay, 2011). Bu açıdan da kısa süreli enerji planlamasının büyük önemi vardır.

Serbest enerji piyasalarındaki en önemli özellik enerji üretim ve elektrik dağıtım planlamasıdır. AB ülkelerinde mevzuat gereği enerji dağıtım şirketleri dağıtılan enerjiye belli oranda Yenilenebilir Enerji Kaynağı(YEK) aktarmak zorundadır. Şirketler, YEK kullanım zorunluluğunu yerine getirmek için, en azından 0-48 saatlik enerji planlamasını yapmak istemektedirler. Bu planlamada konvansiyonel enerji kaynaklarında planlama sıkıntısı olmamakta ancak YEK planlamasında sorun ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla Avrupa’daki şirketler, rüzgar enerjisi tahmin modelleri kullanmaktadır (Durak, Murat, Özer, Serra, 2008).

RES rüzgar elektrik santralleri genelde bir yıl yada bir aylık üretim tahminleri yanında 0-72 saatlik yapmaları gerekmektedir. Mesela Danimarka, İsveç ve Finlandiya’nın kurduğu Nord Pool enerji havuzunda 12-36 saatlik rüzgar enerjisi tahminleri yapılarak enerji havuzuna verilmektedir (Güçlüer, Dolunay, 2011).

İyi dizayn edilmiş ve optimum bir enerji sistemi etkin maliyette güvenilir ve tüketicilerin hayat kalitesini geliştirecek şekilde olmalıdır. Herhangi bir sistemin bütün bileşenlerinin kesin optimum modellemesi kritik bir adımdır. O sistemin performansına etki eden bütün faktörlerin bilgisi kesin modelleme için önceden gereklidir.(Thapar, Vinay, Agnihotri, Gayatri, Sethi, Vinod Krishna, 2011)

Rüzgar türbini güç çıkışına etki eden üç ana faktör şunlardır. Birincisi rüzgar türbininin kurulacağı sitenin rüzgar hız dağılımı, ikincisi rüzgar türbini kule yüksekliği, ve üçüncüsü seçilen rüzgar türbini güç çıkış eğrisidir (Thapar, Vinay, Agnihotri, Gayatri, Sethi, Vinod Krishna, 2011).

Bu üç faktörün rüzgar türbini performansına etkisi ve piyasadaki satılan rüzgar türbinine ait algoritma tabanlı çeşitli matematiksel modellerin karşılaştırılması önemlidir (Thapar, Vinay, Agnihotri, Gayatri, Sethi, Vinod Krishna, 2011).

Atmosfer içindeki değişen parametrelerden en değişkeni rüzgardır. Rüzgar verilerinin çok iyi analiz edilmesi ve bütün yönleriyle en ince detaylarına kadar bilinmesi gerekir. Bu alanda yapılan yatırımların zaten ilk maliyetleri yüksek olduğu için zarara girilebilir (Şahin, Ahmet Duran, 2001).

Bu anlamda yapılan çalışmalardan biri de olasılık dağılım fonksiyonlarıyla, rüzgar verilerinin frekans dağılımlarını modellemektir. Rüzgar verilerinin modellenmesiyle yatırım yapılacak yerlerin teknik potansiyelini tespit edilir ve sağlıklı yatırım planlaması gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmanın, 2. bölümünde rüzgar dağılım fonksiyonları için genel matematik modeli verilmiş, 3. bölümünde rüzgar enerjisi alanında yaygın olarak kullanılan olasılık dağılım fonksiyonları genel olarak özetlenmiştir. Karabük iline ait 2010 yılı rüzgar verilerinin, özellikle Lognormal dağılım fonksiyonu, Rayleigh dağılım fonksiyonu, Maksimum Entropi dağılım fonksiyonu ve Weibull dağılım fonksiyonlarına uyumu incelenmiştir. Bununun için model uygunluk ölçütleri 4. bölümünde verilmiş ve 5. bölümünde Karabük ili için hesaplanan olasılık dağılım fonksiyonlarının sonuçları yorumlanmıştır.

2. OLASILIK DAĞILIM FONKSİYONLARIN MATEMATİK MODELLERİ

Bu bölümde olasılık dağılım fonksiyonları $f(v)$ tanımlanacaktır. Hibrid dağılım, $h(v, \emptyset, \theta_0)$ olmak üzere (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009), rüzgar frekansını $f(v, \emptyset)$, dağılım fonksiyonları parametrelerinin kümesi $\emptyset$ ve rüzgarın esmediği gözlemlerin olasılıklarını θ_0 belirtmek üzere;

$$h(v, \emptyset, \theta_0) = \theta_0 \delta(v) + (1 - \theta_0) f(v, \emptyset) \quad (1)$$

h rüzgarın v hızıyla esme oranını yüzde olarak vermektedir. Burada $\delta(v)$ Direk operatörü (2) deki gibi tanımlanmıştır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

$$\delta(v) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } v = 0 \\ 0, & \text{eğer } v \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Şu halde (2) de verilen denklem,

$$h(v, \emptyset, \theta_0) = \begin{cases} \theta_0 + (1 - \theta_0) f(v, \emptyset), & \text{eğer } v = 0 \\ (1 - \theta_0) f(v, \emptyset), & \text{eğer } v > 0 \end{cases} \quad (3)$$

şeklinde denklem (3) elde edilir. Verilen olasılık yoğunluk fonksiyonları için güç yoğunluğu

$$wp(v, \emptyset, \theta_0) = \frac{v^3 h(v, \emptyset, \theta_0)}{\int_a^b h(v, \emptyset, \theta_0) v^3 dv} \quad (4)$$

denkleminde sağlanır. Burada a ve b verilen dağılımda alt ve üst sınır hız değerleridir (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

3. OLASILIK DAĞILIMLARI VE PARAMETRE KESTİRİM FORMÜLLERİ

3.1. Üç Parametrelili Genelleştirilmiş Gamma Dağılımı

Genelleştirilmiş gama dağılımı

$$f(v, \alpha, \beta, \eta) = \frac{\alpha v^{\eta-1}}{\beta^{-\frac{\eta}{\alpha}} \Gamma(\frac{\eta}{\alpha})} e^{(-\beta v^{\alpha})} \quad (5)$$

formülüyle bilinir. Burada α ve η şekil parametresi, $\beta^{-1/\alpha}$ ölçek parametresidir. Yine $\Gamma(\cdot)$ fonksiyonu Euler'in gamma fonksiyonudur.

Parametrelerin MLE ile tahmini

$$T_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i)^\alpha, \quad T_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i)^\alpha \ln(v_i), \quad T_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(v_i) \quad (6)$$

olmak üzere

$$\alpha T_3 - \ln[\alpha(T_2 - T_1 T_3)] - \psi\left[\frac{T_1}{\alpha(T_2 - T_1 T_3)}\right] = 0 \quad (7)$$

denklemden α çözülerek (Newton Raphson veya Bisection metodu ile)

$$\beta = \frac{1}{\alpha(T_2 - T_1 T_3)} \quad \text{ve} \quad \eta = \frac{T_1}{\alpha(T_2 - T_1 T_3)} \quad (8)$$

denklemleriyle α, β parametreleri hesaplanır (Carta, J. A, Ramirez, P, Velazquez, S, 2009).

3.2. İki Parametrelili Genelleştirilmiş Gamma Dağılımı

İki parametrelili genelleştirilmiş gamma dağılımı,

$$f(v, \beta, \eta) = \frac{v^{\eta-1}}{\beta^{-\eta} \Gamma(\eta)} e^{(-\frac{v}{\beta})} \quad (9)$$

fonksiyonu ile verilir. Parametrelerin MLE ile tahmini

$$\ln(\eta) - \psi(\eta) = \ln\left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}\right) \quad (10)$$

Newton-Raphson ve Bisection metodu ile α tahminlenip,

$$\beta = \frac{1}{n\eta} \sum_{i=1}^n v_i \quad (11)$$

denkleminde β parametresi hesaplanır (Carta, J. A., Ramirez, P, Velazquez, S, 2009).

3.3. İki Parametrelili Weibull Dağılımı

Weibull dağılım fonksiyonu,

$$f(v, \alpha, \beta) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{v}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{[-(\frac{v}{\beta})^\alpha]} \quad (12)$$

denkleminde verilmektedir. Birikimli Weibull dağılım fonksiyonu,

$$f(v, \alpha, \beta) = 1 - e^{[-(\frac{v}{\beta})^\alpha]} \quad (13)$$

olup buradaki parametrelerin α şekil parametresi ve β ölçek parametresidir. Bu parametrelerin MLE ile tahmini;

$$\alpha = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^\alpha \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^\alpha} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(v_i) \right]^{-1} \quad (14)$$

yenilemeli işlemlerle α tahminlenip,

$$\beta = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i)^\alpha \right)^{1/\alpha} \quad (15)$$

denklemlerde β parametresi hesaplanır.

Ayrıca yukarıdaki parametrelerin; En Küçük kareler Yöntemiyle parametre kestirimi,

$$X_i = \ln v_{\max,i} \text{ ve } Y_i = \ln[-\ln(1 - P_i)]$$

$$\alpha = \{n \sum_{i=1}^n Y_i X_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)\} \{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2\}^{-1} \quad (*)$$

$$k = \{n \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n X_i Y_i)\} \{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2\}^{-1} \quad (**)$$

$$\beta = \exp\left(\frac{-k}{\alpha}\right) \quad (***)$$

formülleri ile yapılır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

3.4. Bir Parametrelili Rayleigh Dağılımı

Bir parametrelili Rayleigh dağılım fonksiyonu,

$$f(v, \theta) = \left(\frac{v}{\theta^2}\right) e^{[-\frac{v}{\sqrt{2}\theta}]^2} \quad (16)$$

formülüyle verilmektedir. Birikimli Rayleigh dağılım fonksiyonu,

$$f(v, \theta) = 1 - e^{[-v^2/(2\theta^2)]} \quad (17)$$

olup θ ölçek parametresinin MLE ile tahmini

$$\theta = \left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (v_i)^2 \right)^{1/2} \quad (18)$$

formülü ile hesaplanır.

En küçük Kareler ile parametre tahmini ise

$$X_i = \ln v_{\max,i} \text{ ve } Y_i = \ln[-\ln(1 - P_i)] \text{ olmak üzere,}$$

$$\theta = \left\{ \frac{1}{2} \exp \left[-\frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n Y_i - 2 \sum_{i=1}^n X_i) \right] \right\}^{1/2} \quad (*)$$

formülü ile gerçekleşmektedir (Carta JA).

3.5. İki Parametrelili Karakök Normal Dağılımı

İki parametrelili karakök normal dağılımı

$$f(v, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{8\pi v}} \exp \left[\frac{-(\sqrt{v} - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (19)$$

fonksiyonu ile tanımlıdır. Parametrelerden μ ve σ dağılımın ortalaması ve standart sapması olup MLE ile tahmini

Parametrelerin MLE ile tahmini

$$\mu = m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i)^{1/2} \text{ ve } \sigma^2 = s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i^{1/2} - m)^2 \quad (20)$$

denklemleriyle hesaplanır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

3.6. İki Parametrelili Normal Kesik Dağılım

İki parametrelili normal kesik dağılım fonksiyonu,

$$f(v, \alpha, \beta) = \frac{1}{I_0(\alpha, \beta) \beta \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(v-\alpha)^2}{2\beta^2} \right] \quad (21)$$

olup burada geçen $I_0(\alpha, \beta)$ ifadesi aşağıdaki denkelimde verilmiştir.

$$I_0(\alpha, \beta) = \frac{1}{\beta \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \exp \left[\frac{-(v-\alpha)^2}{2\beta^2} \right] dv \quad (22)$$

MLE ile parametre tahmini

$$Z(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-\zeta^2}{2} \right], \text{ ve } 1 - \phi(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\zeta \exp \left[\frac{-x^2}{2} \right] dx \quad (23)$$

$$\zeta = \frac{\alpha}{\beta} \text{ ve } \beta = \left(\frac{Z(\zeta)}{1 - \phi(\zeta)} - \zeta \right)^{-1} m \quad (24)$$

olmak üzere,

$$\left[\frac{Z(\zeta)}{1 - \phi(\zeta)} - \zeta \right]^{-1} \left\{ \left[\frac{Z(\zeta)}{1 - \phi(\zeta)} - \zeta \right]^{-1} - \zeta \right\} = \frac{1}{n(m)^2} \sum_{i=1}^n v_i^2 \quad (25)$$

(24-25) denklemlerinden ζ belirlenir ve denklem (22)'den Newton-Raphson ve Bisection metodlarının kombinasyonu ile α, β parametreleri hesaplanır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

3.7. İki Parametrelili Lognormal Dağılım

İki parametrelili lognormal dağılım fonksiyonu,

$$f(v, \alpha, \beta) = \frac{1}{v \beta \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(\ln(v)-\alpha)^2}{2\beta^2} \right] \quad (26)$$

olup parametrelerin MLE ile tahmini

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(v_i) \text{ ve } \beta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln(v_i) - \alpha)^2 \quad (27)$$

denklemleriyle hesaplanır (Carta JA).

3.8. İki Parametrelili Ters Gausyen Dağılım

İki parametrelili ters Gaussian dağılımı,

$$f(v, \alpha, \beta) = \left(\frac{\beta}{2\pi v^3} \right)^{1/2} \exp \left[\frac{-\beta(v-\alpha)^2}{2v\alpha^2} \right] \quad (28)$$

formülü ile verilmektedir ve parametrelerin MLE ile tahmini;

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i) \text{ ve } \beta = n \{ \sum_{i=1}^n v_i^{-1} - n^2 (\sum_{i=1}^n (v_i))^{-1} \}^{-1} \quad (29)$$

denklemleriyle hesaplanır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

3.9. İki Bileşenli Karışık Weibull Dağılımı

İki bileşenli karışık Weibull dağılım fonksiyonu ise

$$f(v, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, w) = \frac{w\alpha_1}{\beta_1(v/\beta_1)^{\alpha_1-1}} \exp \left[\left(\frac{-v}{\beta_1} \right)^{\alpha_1} \right] + (1-w) \frac{\alpha_2}{\beta_2 \left(\frac{v}{\beta_2} \right)^{\alpha_2-1}} \exp \left[\left(\frac{-v}{\beta_2} \right)^{\alpha_2} \right] \quad (30)$$

bağıntısı ile verilmektedir ve parametrelerin MLE ile tahmini

$$\ln L(v_i, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, w) = \sum_{i=1}^n \ln \left\{ w \left(\frac{\alpha_1}{\beta_1} \right) \left(\frac{v_i}{\beta_1} \right)^{\alpha_1-1} \exp \left[- \left(\frac{v_i}{\beta_1} \right)^{\alpha_1} \right] + (1-w) \left(\frac{\alpha_2}{\beta_2} \right) \left(\frac{v_i}{\beta_2} \right)^{\alpha_2-1} \exp \left[- \left(\frac{v_i}{\beta_2} \right)^{\alpha_2} \right] \right\} \quad (31)$$

denkeleminden çeşitli numerik metodlarla parametreler hesaplanır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

3.10. Maksimum Entropi Olasılık Dağılım Fonksiyonu

Maksimum entropi dağılım fonksiyonunun birikimli dağılım fonksiyonu ise

$$f(v, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_3) = \exp[\lambda_0 + \sum_{i=1}^M \lambda_i v^i] \quad (32)$$

olup λ_0 parametresi diğerlerine bağlı olarak

$$\lambda_0 = -\ln \left[\int_a^b \exp[\sum_{i=1}^M \lambda_i v^i] dv \right] \quad (33)$$

ifadesinden hesaplanır (Carta, J. A., Ramirez, P., Velazquez, S., 2009).

Shannon entropisinin maksimizasyonu ile rüzgar hızının olasılığı

$$P_i = \exp[\lambda_0 + \lambda_1 v + \lambda_2 v^2 + \lambda_3 v^3] \quad (34)$$

çeşitli kısıtlar altında yarı empirik rüzgar hızı dağılım fonksiyonu;

$$f(v) = v^r \exp[\lambda_0 + \lambda_1 v + \lambda_2 v^2 + \lambda_3 v^3] \quad (35)$$

olarak verilir. Burada $r=0$ da maksimum entropi olasılık dağılımı verir ve r negative olmayan değerler alabilir (S. Akpınar, E. Kavak Akpınar 2007, Chellali, F., Khellaf, A., Belouchrani, A., Khanniche, R., 2012).

4. UYGUNLUK KARARI İÇİN KRİTER

Determinasyon katsayısını kullanarak hangi dağılımı kullanacağımıza karar verebiliriz. Burada **yi** gerçek verileri, **yc** hesaplanan verileri **ym** ise gerçek ortalama olmak üzere determinasyon katsayısı formülü

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_{y-x}^2}{\sigma_y^2} \quad (36)$$

$$\sigma_y = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (37)$$

$$\sigma_{y,x} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ic})^2}{n-2} \right]^{1/2} \quad (38)$$

(36) ile verilmektedir. Ortalama hata karelerini kökü(RMSE) de karar verme de ölçüt olarak kullanılabilecek yöntemlerden biri (9) formülüdür (S. Akpınar, E. Kavak Akpınar 2007).

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ic})^2 \right]^{1/2} \quad (39)$$

Ki kare istatistiksel uyum testi de kullanılabilir.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y_{ic})^2}{y_i} \quad (40)$$

Bu kriterlerin üçünde de en iyi sonuç veren dağılım kullanılır.

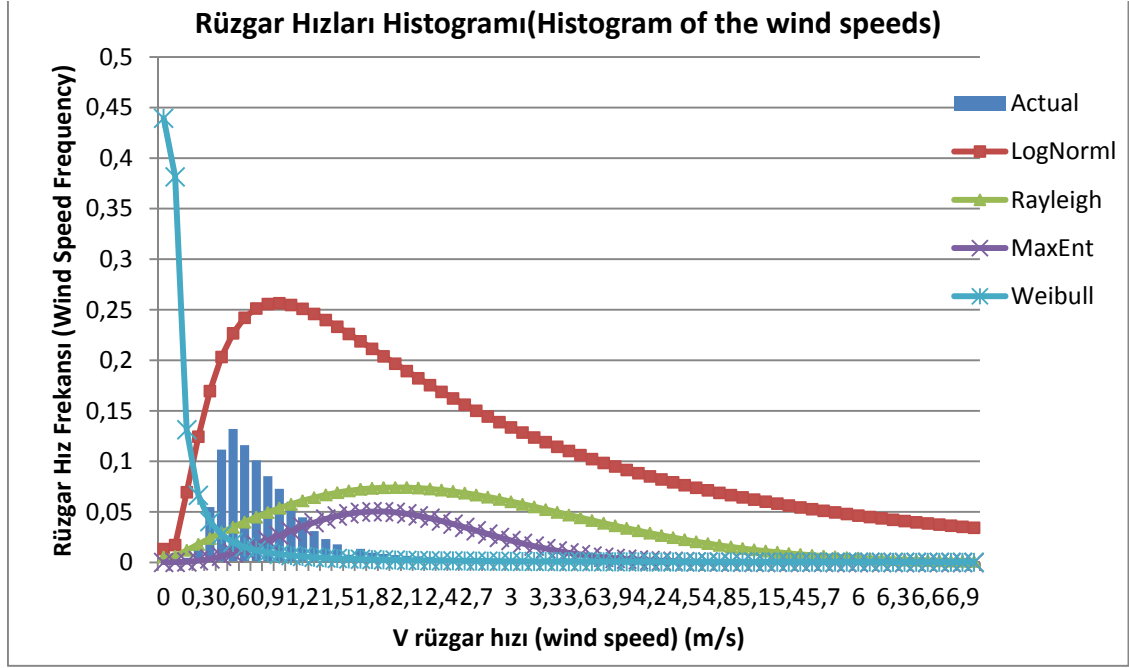
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Karabük iline ait 2010 yılı rüzgar verilerinin, özellikle Lognormal dağılım fonksiyonu, Rayleigh dağılım fonksiyonu, Maksimum Entropi dağılım fonksiyonu ve Weibull dağılım fonksiyonlarına uyumu incelenmiştir. Rüzgar verileri ölçüm sonuçları 0,1 m/s aralıklı (Tablo 1), 0,5 m/s aralıklı (Tablo 2) ve 1 m/s aralıklı (Tablo 3) olmak üzere üç farklı aralıkta rüzgar frekanslarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar grafik olarak da sunulmuştur (Şekil 1,2,3). Tablo ve grafikler incelendiğinde;

- Meteoroloji İşleri Müdürlüğü Karabük ölçüm istasyonu 2010 rüzgar hız ortalaması 1,01 m/s dir. Ölçümlerin şehrin içinde bulunan istasyonda, 10 m direk yapılmaması objektif ölçümü engelleyicidir. Ölçüm istasyonu etrafında büyük binaların ve ağaçlık alan bulunması enerji değerlendirmesi açısından yeterli bilgi vermeye engel faktörlerdir. Karabük ilinin gerçek rüzgar enerjisi potansiyeli için yerleşim yeri dışında, rüzgar alan, uygun yükseklikte ve türbin kurulabilecek bir yerde, 1-2 yıl ölçüm yapılmalıdır.
- Literatürde genelde frekanslar 1 m/s aralıklar için verilmiş ve modellemeler, bu esas üzerinde yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde hız aralıklarının küçük olduğu rüzgar hız dağılımları (Şekil 1, 2) tahminlenmesinde büyük sapmalar görülmektedir.
- Karabük rüzgar verilerini modellemek için 0,5 m/s ve 1 m/s hız aralıklı histogramlarda, başlangıç değerleri istisna tutulduğu takdirde Weibull dağılımının gerçek verilere daha yakın olduğu görülmektedir (Şekil 2,3).
- Hata hesaplamaları incelendiğinde ise (Tablo 4,5,6) en az hatanın, 1m/s aralıklı histogram için yapılan olasılık dağılım değerlerinde olduğu görülmüştür. En uygun dağılımı fonksiyonu olarak da Weibull dağılım fonksiyonu görülmektedir.
- Sonuçlar incelendiğinde, daha hassas modelleme yapacak yeni dağılım elde edilmesi veya mevcut dağılım fonksiyonlarının modifikasyonun yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1. Karabük 2010 Rüzgar verileri 10 dk. periyot ve 0,1 m/s aralıkla frekansları(esme sayısı)

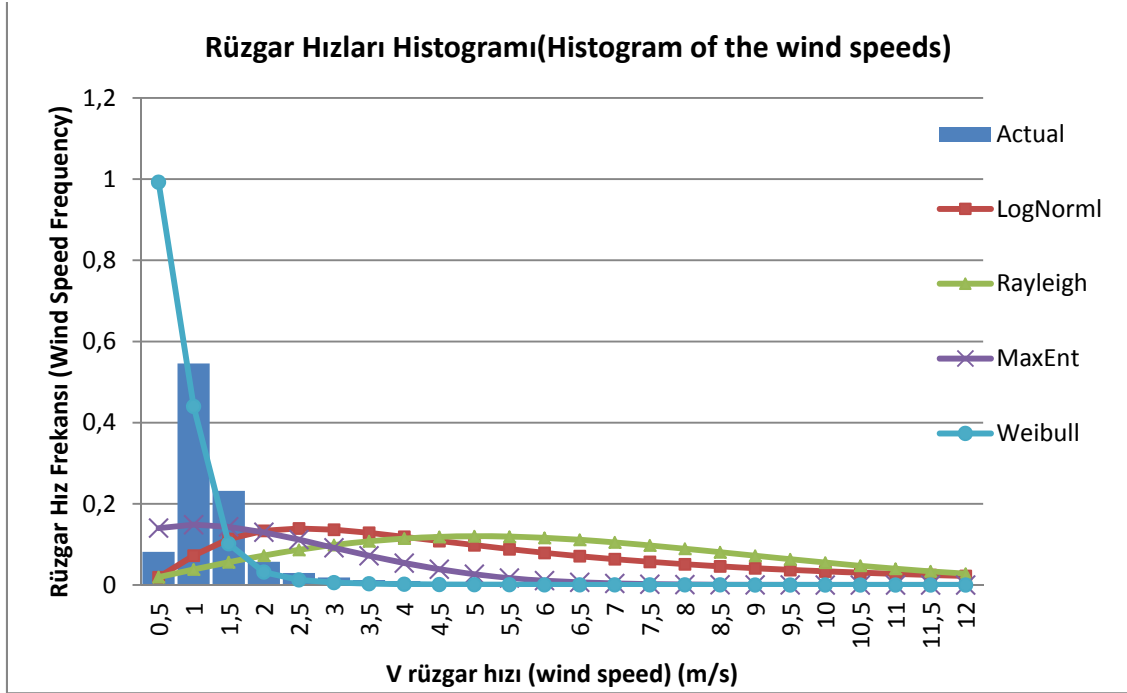
Hız Dağılım	Gerçek Yoğunluk	LogNormal	Rayleigh	MaxsEntropi	Weibull
0	0,001623	0,013465	0,005466	8,11E-05	0,43943
0,1	0,001508	0,017371	0,006071	0,000107	0,381425
0,2	0,0046	0,069651	0,012098	0,000639	0,131385
0,3	0,01926	0,124583	0,018036	0,001782	0,066417
0,4	0,054726	0,169726	0,023841	0,00362	0,040463
0,5	0,11161	0,203356	0,029472	0,006166	0,027445
0,6	0,132053	0,226862	0,034891	0,009377	0,019952
0,7	0,116076	0,242244	0,040059	0,013161	0,015224
0,8	0,100977	0,251354	0,044942	0,017391	0,012039
0,9	0,085325	0,25572	0,049512	0,021913	0,009785
1	0,072879	0,256545	0,053739	0,026561	0,008127
1,1	0,060243	0,254756	0,057603	0,031162	0,00687
1,2	0,044667	0,251061	0,061082	0,035546	0,005892
1,3	0,031076	0,245998	0,064164	0,039561	0,005116
1,4	0,023116	0,239977	0,066838	0,043071	0,004489
1,5	0,017867	0,233307	0,069097	0,045968	0,003974
1,6	0,007674	0,226223	0,07094	0,048172	0,003546
1,7	0,013457	0,218902	0,072369	0,049637	0,003185
1,8	0,009678	0,211477	0,07339	0,050345	0,002879
1,9	0,008399	0,204049	0,074013	0,050309	0,002617
2	0,007234	0,196692	0,074252	0,049569	0,00239
2,1	0,006471	0,18946	0,074121	0,048185	0,002193
2,2	0,00607	0,182393	0,073642	0,046237	0,002019
2,3	0,00523	0,175518	0,072835	0,043818	0,001867
2,4	0,004715	0,168854	0,071723	0,041025	0,001732
2,5	0,004371	0,162413	0,070332	0,037961	0,001611
2,6	0,003818	0,156203	0,068688	0,034725	0,001503
2,7	0,003837	0,150224	0,066818	0,031409	0,001406
2,8	0,003207	0,144478	0,064751	0,028098	0,001318
2,9	0,00334	0,138961	0,062512	0,024864	0,001239
3	0,002615	0,133669	0,060131	0,021768	0,001167
3,1	0,002768	0,128597	0,057635	0,018857	0,001101
3,2	0,002844	0,123738	0,055048	0,016164	0,001041
3,3	0,002577	0,119085	0,052397	0,013713	0,000986
3,4	0,001298	0,11463	0,049705	0,011515	0,000935
3,5	0,002042	0,110367	0,046994	0,00957	0,000888
3,6	0,002233	0,106286	0,044286	0,007873	0,000845
3,7	0,002062	0,102382	0,041599	0,006412	0,000805
3,8	0,002252	0,098646	0,03895	0,005169	0,000768
3,9	0,001508	0,09507	0,036355	0,004125	0,000734
4	0,001871	0,091648	0,033827	0,003259	0,000701
4,1	0,001623	0,088373	0,031378	0,002549	0,000671
4,2	0,001298	0,085238	0,029017	0,001973	0,000643
4,3	0,001279	0,082236	0,026752	0,001513	0,000617
4,4	0,00105	0,079361	0,024591	0,001148	0,000593
4,5	0,000802	0,076607	0,022536	0,000862	0,00057
4,6	0,000744	0,073969	0,020592	0,000641	0,000548
4,7	0,000668	0,071441	0,018761	0,000472	0,000527
4,8	0,000496	0,069017	0,017043	0,000344	0,000508
4,9	0,000439	0,066694	0,015437	0,000248	0,00049
5	0,000382	0,064466	0,013942	0,000177	0,000473
5,1	0,000344	0,062329	0,012556	0,000125	0,000456
5,2	0,000134	0,060278	0,011276	8,75E-05	0,000441
5,3	0,000344	0,05831	0,010097	6,06E-05	0,000426
5,4	0,000172	0,05642	0,009016	4,15E-05	0,000412
5,5	0,000267	0,054606	0,008029	2,81E-05	0,000399
5,6	7,64E-05	0,052863	0,007129	1,89E-05	0,000387
5,7	9,54E-05	0,051188	0,006313	1,25E-05	0,000375
5,8	5,73E-05	0,049578	0,005575	8,23E-06	0,000363
5,9	0,000134	0,048031	0,004909	5,35E-06	0,000353
6	9,54E-05	0,046543	0,004311	3,44E-06	0,000342
6,1	5,73E-05	0,045111	0,003776	2,19E-06	0,000332
6,2	5,73E-05	0,043734	0,003298	1,38E-06	0,000323
6,3	1,91E-05	0,042408	0,002872	8,58E-07	0,000314
6,4	1,91E-05	0,041132	0,002495	5,28E-07	0,000305
6,5	7,64E-05	0,039904	0,002161	3,22E-07	0,000297
6,6	1,91E-05	0,03872	0,001867	1,94E-07	0,000289
6,7	1,91E-05	0,03758	0,001609	1,16E-07	0,000282
6,8	1,91E-05	0,036481	0,001383	6,81E-08	0,000274
6,9	1,91E-05	0,035421	0,001185	3,97E-08	0,000267
7	1,91E-05	0,0344	0,001013	2,29E-08	0,000261



Şekil 1. Karabük 2010 Rüzgar Hız Histogramı (0,1 m/s aralıkla)

Tablo 2. Karabük 2010 Rüzgar verileri 10 dk. periyot ve 0,5 m/s aralıkla frekansları(esme sayısı)

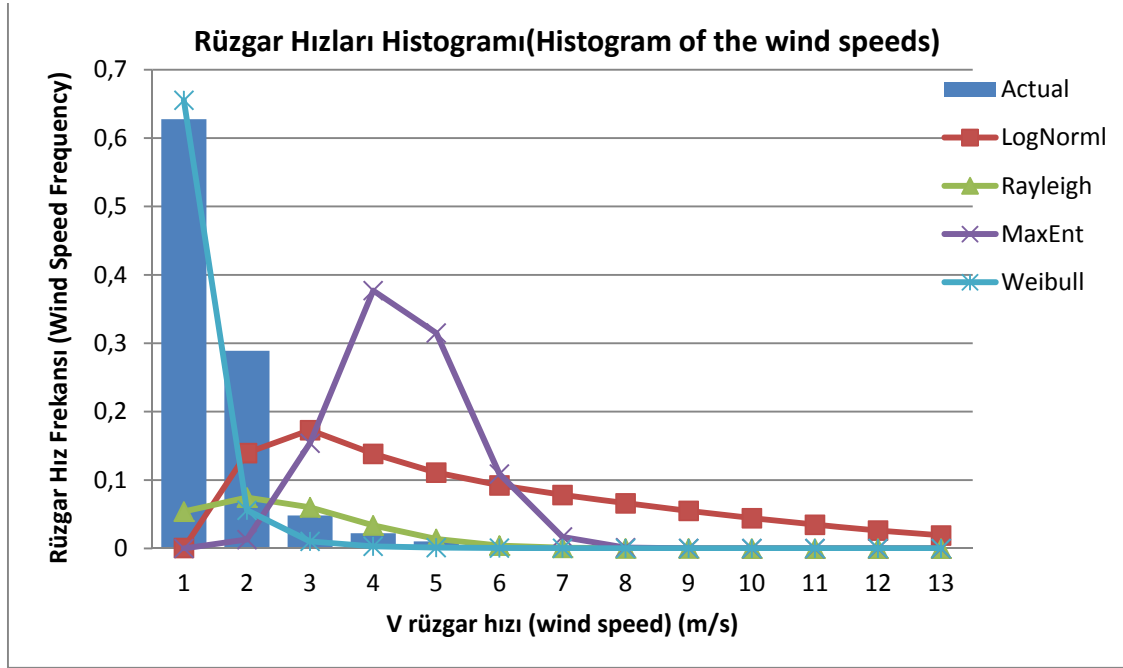
Hız Dağılım	Frekans	LogNormal	Rayleigh	MaxEntr	Weibull
0,5	0,081705	0,019052	0,019496	0,140174	0,992278
1	0,545958	0,072564	0,038423	0,148614	0,439796
1,5	0,231945	0,113268	0,056241	0,143321	0,101532
2	0,057065	0,133599	0,07246	0,12997	0,031791
2,5	0,029716	0,139305	0,086669	0,111933	0,012675
3	0,01857	0,136308	0,098548	0,091916	0,005952
3,5	0,0121	0,128675	0,10788	0,072095	0,003136
4	0,010096	0,118903	0,114558	0,054055	0,0018
4,5	0,007119	0,108446	0,118582	0,03875	0,001102
5	0,003149	0,098113	0,120049	0,026557	0,000711
5,5	0,001374	0,088329	0,119147	0,017395	0,000478
6	0,00063	0,079294	0,11613	0,010885	0,000333
6,5	0,000229	0,071079	0,111309	0,006505	0,000238
7	0,000115	0,06368	0,105022	0,00371	0,000175
7,5	3,82E-05	0,057059	0,097624	0,002018	0,000131
8	3,82E-05	0,051155	0,089463	0,001046	0,0001
8,5	1,91E-05	0,045903	0,080868	0,000517	7,8E-05
9	1,91E-05	0,041235	0,072135	0,000243	6,15E-05
9,5	1,91E-05	0,037088	0,063522	0,000109	4,91E-05
10	1,91E-05	0,033403	0,055239	4,62E-05	3,97E-05
10,5	1,91E-05	0,030127	0,047448	1,87E-05	3,24E-05
11	1,91E-05	0,027212	0,040267	7,16E-06	2,67E-05
11,5	1,91E-05	0,024615	0,03377	2,61E-06	2,22E-05
12	1,91E-05	0,022298	0,027993	8,99E-07	1,86E-05



Şekil 2. Karabük 2010 Rüzgar Hız Histogramı (0,5 m/s aralıkla)

Tablo 3. Karabük 2010 Rüzgar verileri 10 dk. periyot ve 0,1 m/s aralıkla frekansları(esme sayısı)

Hız Dağılım	Frekans	LogNormal	Rayleigh	MaxEntr	Weibul
1	0,627698	0,000819	0,053955	4,3E-05	0,65526
2	0,289027	0,139677	0,074491	0,013087	0,055939
3	0,048289	0,173109	0,060246	0,15397	0,010391
4	0,022198	0,138441	0,033829	0,376992	0,003107
5	0,010269	0,111026	0,01391	0,314999	0,001216
6	0,002004	0,092425	0,004289	0,108976	0,000564
7	0,000344	0,078342	0,001004	0,016918	0,000295
8	7,63E-05	0,066227	0,00018	0,001213	0,000168
9	1,91E-05	0,055011	2,48E-05	4,02E-05	0,000102
10	1,91E-05	0,044477	2,63E-06	6,06E-07	6,57E-05
11	1,91E-05	0,034808	2,16E-07	4,07E-09	4,4E-05
12	1,91E-05	0,026292	1,38E-08	1,18E-11	3,05E-05
13	1,91E-05	0,019145	6,8E-10	1,41E-14	2,18E-05



Şekil 3. Karabük 2010 Rüzgar Hız Histogramı (1 m/s aralıklı)

Tablo 4. Kullanılan Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları Hataları (10 dakika periyot ve 0,1 m/s aralıklı)

	LogNormal	Rayleigh	MaxEnt	Weibull
RMSE	0,120757	0,041165	0,032379	0,075809
Korelasyon	0,658362	0,196299	0,152688	-0,00395
R ²	0,433441	0,038533	0,023314	1,56E-05
Ki-Kare	1065,938	33,45666	4,164004	218,1257

Tablo 5. Kullanılan Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları Hataları (10 dakika periyot ve 0,5 m/s aralıklı)

	LogNormal	Rayleigh	MaxEnt	Weibull
RMSE	0,121838	0,135565	0,089933	0,189154
Korelasyon	0,119493	-0,34482	0,659273	0,475459
R ²	0,014279	0,118902	0,434641	0,226061
Ki-Kare	708,1925	1938,753	2,562585	10,29344

Tablo 6. Kullanılan Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları Hataları (10 dakika periyot ve 1 m/s aralıklı)

	LogNormal	Rayleigh	MaxEnt	Weibull
RMSE	0,19224	0,169956	0,233983	0,066201
Korelasyon	-0,18667	0,675753	-0,18464	0,935674
R ²	0,034844	0,456642	0,034094	0,875486
Ki-Kare	462,469	0,698104	22,36287	0,244998

REFERENCES

- Özpınar, M. A., “Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Enerji Üretiminin Modellenmesi ve Planlanması” Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 2007, İstanbul.
- Carta, J. A., Ramı'rez, P., Vela'zquez, S. (2009). A Review of Wind Speed Probability Distributions used in Wind Energy Analysis Case Studies in The Canary Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 933–955
- Chellali, F., Khellaf, A., Belouchrani, A., Khanniche, R. (2012). A Comparison Between Wind Speed Distributions Derived From The Maximum Entropy Principle and Weibull Distribution. Case of Study; Six Regions of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 379– 385,
- Chang, T. P. (2011). Estimation of Wind Energy Potential using Different Probability Density Functions. *Applied Energy* 88, 1848–1856
- Güçlüer, D. (2011). Kısa Süreli Rüzgar Enerjisi Tahminleri ve Ülkemiz Açısından Önemi. *ICCI Bildiriler Kitabı*, 67-73,
- Özgür, M. A. (2006). Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006
- Shamilov A., Kantar Y.M., Usta I. (2008). Use of MinMaxEnt Distributions Defined on Basis of MaxEnt Method in Wind Power Study. *Energy Conversion and Management*, 49:660–77.
- Akpınar, S., Akpınar, E. Kavak., (2007). Wind Energy Analysis Based on Maximum Entropy Principle (MEP)-Type Distribution Function. *Energy Conversion and Management* 48 1140–1149)
- Şahin, Ahmet Duran., “Türkiye Rüzgarlarının Alan-Zaman Modellemesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2001
- Özgür, M. Arif., “Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği” Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006
- Durak, M., Özer, S.(2008). “*Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama*”, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB), Ankara,
- Thapar, V., Agnihotri, G., Sethi, V. Krishna. (2011). “Critical Analysis of Methods for Mathematical Modelling of Wind Turbines”, *Renewable Energy* 36: 3166-3177
- Yılmaz, V., Aras, H. ve Çelik, H.E. (2005). “Rüzgar Hız Verilerinin İstatistiksel Analizi”, Eskişehir. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi C. XVIII, S.2,*