

Tokat Bölgesi Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Yöntemler ile İncelenmesi

Cem EMEKSİZ¹, Zafer DOĞAN², Levent GÖKREM³ ve A.Hakan YAVUZ⁴

^{1,2,4}Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 60150 TOKAT

³Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 60150 TOKAT

(Geliş / Received : 09.02.2016 ; Kabul / Accepted : 04.03.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, Tokat Meteoroloji İstasyonu Müdürlüğü'ne ait 2000-2010 yılları arasındaki günlük ortalama rüzgar hızlarına ait veriler kullanılarak, Tokat bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde bölgede daha önce çalışılmamış olan Weibull, Rayleigh, Log-normal ve Gama dağılım fonksiyonları kullanılarak istatistiksel ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunlukları hesaplanmıştır. Dağılımların parametrelerinin belirlenmesinde daha küçük standart sapma değerine sahip olan En Küçük Kareler Yöntemi kullanılmıştır. Dağılımların birbirlerine göre performanslarının kıyaslamasında kök ortalama karesel hata (RMSE) ve ortalama karesel hata (MSE) kriterleri kullanılmıştır. Ortalama rüzgar hız değerlerinin Şubat ve Mart aylarında yüksek Kasım ve Aralık aylarında düşük olduğu gözlenmiştir. MSE ve RMSE değerleri incelendiğinde Weibull dağılımının diğer yöntemlere göre daha güvenilir olduğu belirlenmiştir. En düşük MSE değeri 0.0011 ile Mart ayı olasılık dağılımında hesaplanmıştır. Hata aralıkları kullanılan dağılım fonksiyonlarına göre 0.0011 ile 7.9609 aralığında gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar hızı tahmini, Olasılık dağılım fonksiyonları, Weibull-Rayleigh Dağılımları, Rüzgar Enerjisi

Analyzing The Wind Characteristics of Tokat Region With Statistical Methods

ABSTRACT

Wind energy potential was analyzed with statistical methods by using daily average wind speed data of 2000-2010 year of Tokat Meteorology Station. Statistical average wind speed and power density were calculated by using Weibull, Rayleigh, statistical log-normal and gamma distribution functions that have not been used before in this region. Least squares method that has a smaller standard deviation was used to determine the parameters of distributions. Root mean square error (RMSE) and mean square error (MSE) criteria were used in the comparison of distribution performance. The average wind speeds were observed lower in February and March, higher in November and December. When the MSE and RMS values examined Weibull distribution is more reliable than other methods. The lowest MSE value 0.0011 is calculated probability distribution of March. According to the distribution function error range are observed in the range of 0.0011 to 7.9609.

Keywords : Estimation of wind velocity, Probability distribution functions, Weibull-Rayleigh distributions, Wind energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen ülkelerin sanayi alanında yaptığı yatırımlar ve nüfus oranında hızlı yükseliş enerjide olan talebin de hızla artmasına neden olmaktadır. Ülkelerin enerji alanındaki bağımlılıkları ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyellerini yansıtan temel ölçeklerden biridir. Bu nedenle enerji tüketimi ve sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki vardır [1]. Enerjiye olan talepteki bu hızlı artış aynı zamanda fosil kökenli yakıtların zaman içerisinde azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında; fosil kökenli yakıtların kullanılması sırasında açığa çıkan ve küresel

ısınmaya sebep olan sera gazı etkisi görülmemektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik dalgalanmalardan da doğrudan etkilenmemektedir.

Bu durum başta rüzgar enerjisi olmak üzere, güneş enerjisi, jeotermal, biyokütle ve dalga enerjisi alanında yatırımların önünü açmıştır. Rüzgar enerjisinin kullanımına bir göz atıldığında, yüzyıllar boyunca kullanılan bir enerji türü olduğu görülür. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından 50 m yükseklikte yapılan rüzgâr hız ölçümlerine göre 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızları değerlendirildiğinde, Türkiye kara rüzgâr potansiyeli 131756.40 MW; rüzgâr hızının 7.0 m/s'nin üzerinde olduğu bölgeler dikkate alındığında kara rüzgâr potansiyeli 48000 MW olarak belirlenmiştir. Ayrıca rüzgâr hızının 6.5 m/s'nin üzerinde olduğu alanlarda Türkiye deniz rüzgâr potansiyeli 17393.20 MW olarak tespit edilmiştir [2,3].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: cem.emeksiz@gop.edu.tr

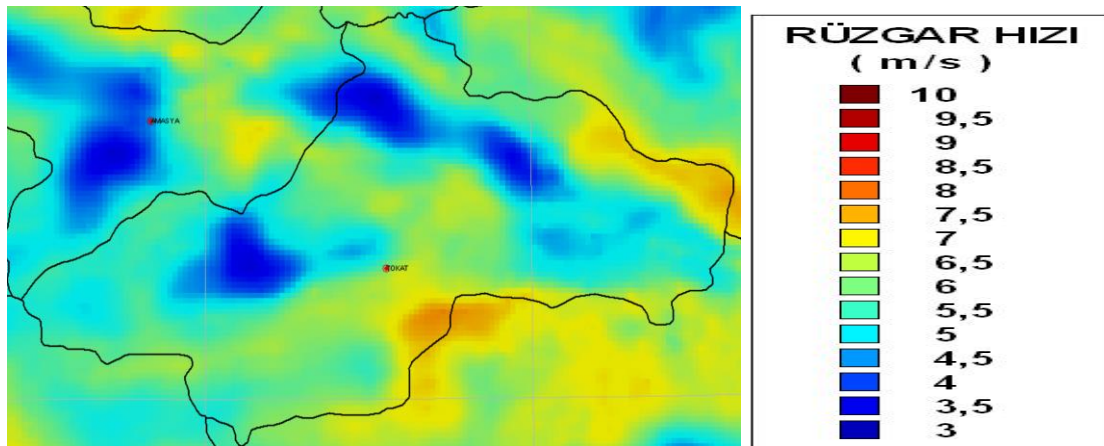
Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 481-489

Bu enerjinin kullanılabilmesi, rüzgar rejimine, rüzgar milinin yerleştirildiği yüksekliğe ve enerji üretim sisteminin boyutlarına bağlıdır [4]. Ülkemiz için hazırlanan rüzgar atlasları incelendiğinde; ölçüm istasyonlarının dağınıklığı ve sayılarının azlığı nedeniyle özellikle Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve Batı Trakya bölgeleri için yaklaşık ortalama hız değerlerini göstermektedirler. Rüzgar enerjisinden faydalanma açısından gerekli olan istatistiksel parametreler hakkında hiçbir bilgiyi içermemektedir. Ayrıca bu haritaların oluşturulmasında kullanılan ticari paket programların kendi içinde saklı olan kabuller ve kullanılan formüller nedeniyle elde edilen sonuçlar üzerinde irdeleme yapma ve geliştirme imkanı kullanıcılara verilmemektedir. Türkiye için kapsamlı çalışmalar ise özellikle Batı Anadolu'da Gökçeada, İzmir ve Çeşme, Güneydoğu Anadolu'da İskenderun gibi birkaç ili kapsadığı, diğer bölgeler için ise fazla çalışma yapılmadığı görülmektedir [5].

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ile ilgili bu çalışmalara bakıldığında; 1990'lı yıllardan itibaren bir çok bölge için istatistiksel analizlerin

çalışmada ortalama rüzgar hızından yola çıkarak Weibull Dağılımı ile rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir [6]. Ege Bölgesindeki Kütahya ilinin rüzgar enerjisi potansiyeli Weibull ve Rayleigh dağılım modelleri kullanılarak Kose ve arkadaşları tarafından hesaplanmıştır [7]. Bivona ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ortalama rüzgar hızını bulmak için Weibull modelinin kullanılabilceğini göstermişlerdir [8]. Eskin ve arkadaşları tarafından Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyeli yine iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak incelenmiştir [9]. Konya ilinin Akşehir ilçesindeki bölgede rüzgar karakteristikleri Weibull ve Rayleigh dağılım modelleri kullanılarak Ülgen ve arkadaşları tarafından analiz edilmiştir [10]. Akhisar'ın rüzgar enerjisi potansiyeli Durak ve Şen tarafından analiz edilmiştir. Yapmış oldukları çalışma neticesinde bölgenin ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli sırasıyla 5.8 m/s ve 308 W/m² olarak hesaplanmıştır [11].

Bu çalışmanın amacı; Tokat bölgesi rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için daha önce kullanılmamış olan istatistiksel yöntemleri kullanarak, en uygun



Şekil 1. Tokat İli Rüzgar Haritası (Wind Map of Tokat City)

yapıldığı görülmüştür. Segura ve Lambert yaptıkları yöntemi tespit etmektedir. Tokat bölgesi rüzgar haritası



Şekil 2. Tokat Bölgesi RES Haritası (Wind Power Plant Map of Tokat Region)

(Şekil 1) incelendiğinde dikkate değer bir rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

2015 yılı itibarı ile Tokat bölgesi'nde PEM En A.Ş.'nin işletmesini yaptığı 40MW'lık kurulu güce sahip bir RES santrali mevcuttur. Ayrıca Akyurt RES 12.8 MW ve Bereketli RES 32MW olmak üzere toplam 44.8 MW'lık RES kurulum aşamasındadır (Şekil 2) [12]. Tokat RES'te 2.4MW'lık rüzgar türbinleri kullanılmıştır .

2000-2010 yıllarına ait rüzgar hızı verileri kullanılarak, rüzgar enerjisi bakımından Tokat bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak çıkartılmıştır. İstatistiksel yöntemlerden Weibull, Rayleigh, Gama ve Log-Normal dağılım fonksiyonları kullanılmış ve en iyi performansı Weibull dağılım fonksiyonu göstermiştir.

2. RÜZGAR ENERJİSİ (WIND ENERGY)

Rüzgar enerjisi alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Rüzgar enerjisi sistemlerinin temel girdisi rüzgarlardır. Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik veya elektrik enerjisine çevirip kullanıma sunan sistemlerde rüzgar enerjisi çevrim sistemleridir. Rüzgar enerjisinin temel kaynağı ise güneştir. Gerekli enerjisini güneşten alan bir ısı makinesi olarak nitelenebilecek olan atmosferde; ısıl potansiyel farklara sahip olan hava kütleleri, daha soğuk ve yüksek basınç alanı olan bir noktadan, daha sıcak ve alçak basınç alanına hareket ederler. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü bu doğa olayındaki hava kütlesi hareketine, rüzgar adı verilir [13].

Rüzgar enerjisinin temiz, ücretsiz ve sınırsız bir kaynak özelliğine sahip olması, enerji arzını çeşitlendirerek enerji güvenliği sağlaması, dış kaynaklı yakıt ithaline ihtiyaç duymaması, rüzgar enerjisi çevrim sisteminin çok çabuk inşa edilebilmesi ve sistemin inşa edildiği alanda tarım ve sanayi faaliyetlerinin de yürütülebilmesi gibi çok sayıda sağladığı avantajdan ötürü bu sektöre

ülkemizde hızlı bir şekilde yatırım yapılmaktadır. Geleneksel yakıtların aksine, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen, ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı ortadan kaldıran, yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynak olması rüzgar enerjisinin önemini daha da arttırmaktadır [14]. Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyel belirleme çalışmalarını yoğunluk kazanmış olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bir enerji politikamızın tam olarak oturmaması nedeni ile bu çalışmalar yavaş ilerlemektedir.

Rüzgar hareket eden ve yer değiştiren hava kütesini temsil ettiği için, taşıdığı enerjiyi elde etmek adına yapılan hesaplamalar hareket eden cisimlerin enerjisini ifade eden denklemden türetilmiştir, [15,16];

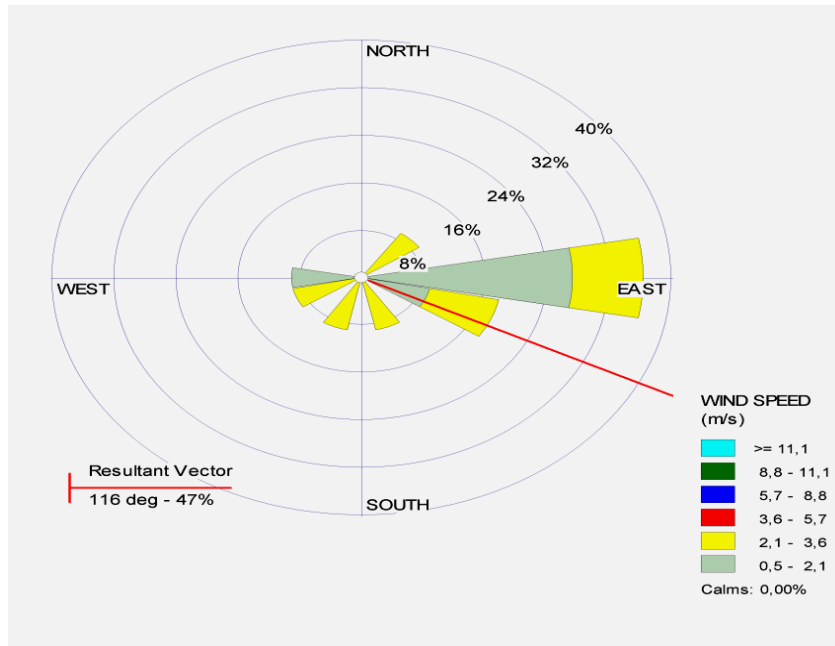
$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Formülde E kinetik enerjiyi, m taşınan hava kütesini, v rüzgar şiddetini ifade etmektedir. Rüzgarın birim zamanda taşıdığı enerjiyi, yani gücünü watt (W) cinsinden bulmak için 2' nolu denklemden faydalanılır;

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

Denklemden A; rotor süpürme alanını, ρ ; havanın yoğunluğunu göstermektedir. Havanın yoğunluğu deniz seviyesinde ve 15,5 °C sıcaklık derecesinde 1,225 kg/m³ olarak kabul edilir. Ölçüm yapılan yükseklik değiştikçe buna bağlı olarak değişen sıcaklık ve basınç farkı sebebiyle havanın yoğunluğu da değişir [17]. Bu çalışmada hava yoğunluğu 1,225 kg/m³ olarak kabul edilmiştir.

Ölçüm yapılan meteoroloji istasyonuna ait 2000-2010 yılları arasındaki hız ve yön dağılımlarının yer aldığı rüzgar gülü WRPLOT View Programı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil3). Rüzgar hızları ve rüzgar esme



Şekil 3. Tokat Bölgesi Rüzgar Gülü (Wind Rose of Tokat Region)

frekansları şekilde % olarak ifade belirtilmiştir. Rüzgar gücü incelendiğinde Tokat bölgedeki rüzgar hızının yaklaşık % 56'sı 2.1-3.6 m/s aralığında % 44'ü 0.5-2.1 m/s rüzgar hızı aralığında olduğu görülmüştür. Rüzgarın baskın esme yönü Doğu (East), Güney-Doğu (East-South) tarafından olduğu görülmektedir.

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ METODLARI (STATISTICAL ANALYSIS METHODS)

Bir bölgenin rüzgar karakteristiğinin belirlenmesinde çeşitli dağılım fonksiyonlarından faydalanılmaktadır. Bölge için belirlenen en uygun dağılım ekonomik açıdan da fayda sağlar. Literatür çalışmaları incelendiğinde rüzgar hızı frekans dağılımı Gamma, log normal, Rayleigh gibi farklı dağılımlar kullanılarak gösterilmektedir. Bunun yanı sıra özellikle iki parametrelili Weibull dağılımı bir çok bölgedeki rüzgar karakteristiğinin belirlenmesinde daha çok tercih edilmektedir. Bu yöntemin tercih edilmesindeki etkenler arasında, rüzgar dağılımına uyum sağlayıp esnek bir yapı içermesi ve parametre sayısının az olup kolay belirlenmesi yer almaktadır [18].

3.1. Weibull Dağılımı (Weibull Distribution)

Weibull dağılımı, temelde şekil (k) ve ölçek (c) olmak üzere iki parametreden oluşan bir dağılımdır. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu;

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

Şeklinde ifade edilir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(v)$, herhangi bir anda V hızının gözlenme olasılığını vermekte olup kümülatif dağılım fonksiyonu $F(v)$ ise herhangi bir anda gözlenen hızın V hızına eşit veya daha küçük olma olasılığını belirtmektedir ve eşitlik (4) ile ifade edilmektedir [19,20].

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

Ortalama rüzgar hızı değeri eşitlik (5) ile hesaplanır.

$$v_{ort} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (5)$$

c ve k parametrelerinin hesaplanmasından sonra ortalama rüzgar gücü yoğunluğu;

$$P_w = \frac{1}{2}\rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (6)$$

ile hesaplanır.

3.2. Rayleigh Dağılımı (Rayleigh Distribution)

Rayleigh dağılımı için ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu ise sırasıyla (7) ve (8) eşitlikleri kullanılarak elde edilebilir.

$$v_m = c\sqrt{\frac{\pi}{4}} \quad (7)$$

$$P_R = \frac{3}{\pi}\rho v_m^3 \quad (8)$$

3.3. Log-Normal Dağılımı (Log-Normal Distribution)

Rassal olarak değişen rüzgar hızı verilerinin doğal logaritması alındığında olasılık dağılımı normal dağılıyorsa bu durum kısaca Log-normal dağılım terimiyle ifade edilir. Log-Normal dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik 9 ile hesaplanmaktadır [21].

$$f(x) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(v)-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \times \frac{1}{\sigma v\sqrt{2\pi}} \quad (9)$$

Log-normal dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu ise eşitlik 10' da verilmektedir [22].

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln v - \mu}{\sigma}\right) \quad (10)$$

Burada, μ yer parametresi ve σ ölçek parametresidir. Ortalama rüzgar hızı,

$$V_{log-normal} = e^{\mu + \left(\frac{\sigma^2}{2}\right)} \quad (11)$$

şeklinde olup ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ise,

$$P_L = \frac{1}{2}\rho e^{3\left(\mu + \left(\frac{\sigma^2}{2}\right)\right)} \quad (12)$$

3.4. Gamma Dağılımı (Gamma Distribution)

Eğer n rassal olarak değişen rüzgar hızı gözlem değerlerini temsil eden tamsayı cinsinden bir değer ise, Gamma dağılımı n tane üstel dağılım gösteren rassal değişkenlerin toplamını temsil etmektedir. Bu durum coğrafi konum ve iklim rejimine bağlı olarak değişkenlik gösteren rüzgar hızı verisi için de geçerlidir [23]. Gamma dağılımına ilişkin olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonu eşitlik 13 ve 14' de verilmektedir [24].

$$f(x) = \frac{x^{a-1} e^{-\frac{x}{b}}}{b^a \Gamma(a)} \quad (13)$$

$$F(x) = \frac{\Gamma_V}{\Gamma(a)} \quad (14)$$

Burada b ölçek parametresine, a şekil parametresine ve Γ ise gamma fonksiyonuna karşılık gelmektedir.

Ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu ise;

$$V_{gama} = b \cdot a \quad (15)$$

$$P_G = \frac{1}{2}\rho(a \cdot b)^3 \quad (16)$$

şeklinde verilmektedir.

Dağılımların değerlendirilmesinde kök ortalama karesel hata (RMSE) ve ortalama karesel hata (MSE) kriterleri kullanılmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(Y_i - X_i)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

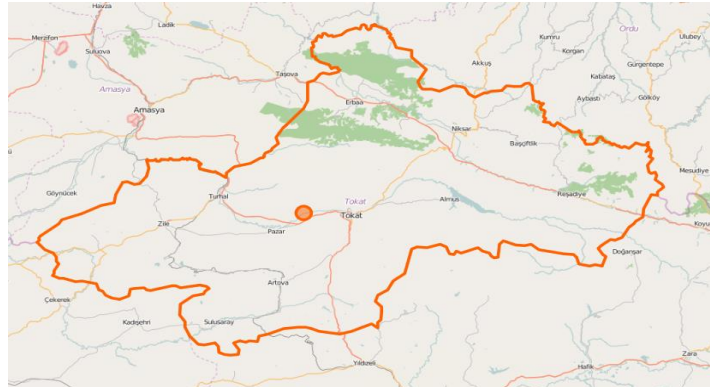
$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^N(Y_i - X_i) \quad (18)$$

4. ANALİZ VE BULGULAR (ANALYSIS AND RESULTS)

Bu çalışmada, Tokat' ta (40° 18' K; 36° 33' D) 2000-2010 yılları arasındaki ortalama günlük rüzgar hızı verileri kullanılarak istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Rüzgar hızı verileri yerden 10 m yükseklikte ve 608 m rakımdaki Tokat bölgesi içerisinde Meteoroloji Gözlem

İstasyonu tarafından ölçülmüştür. Tokat bölgesinin fiziki konumu Şekil 4 'de görülmektedir.

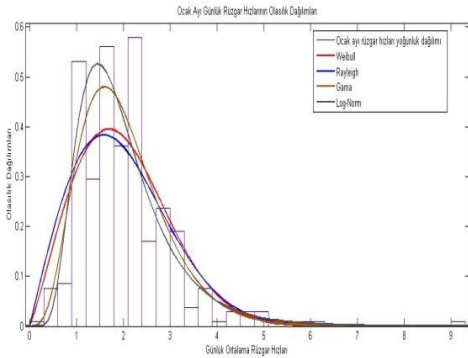
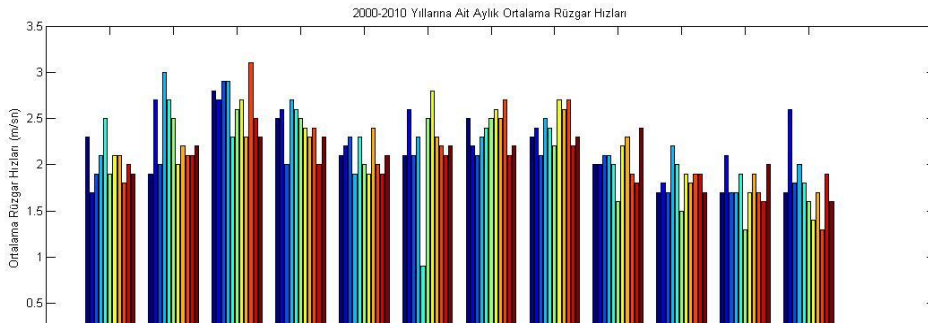
2000-2010 yılları arasındaki toplam 11 yıllık günlük ortalama veriler; her yılın kendi ayları arasında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya bağlı olarak her



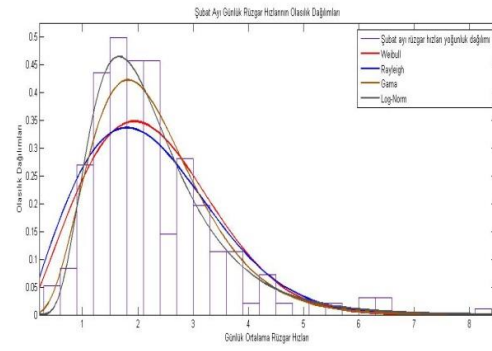
Şekil 4. Ölçümlerin yapıldığı Tokat ili fiziki haritası (Physical map of Tokat city)

Tokat bölgesine ait 2000-2010 yılları arasındaki aylık ortalama rüzgar hız değerleri Şekil 5' de görülmektedir. Yüksek ortalama rüzgar hız değerleri Şubat ve Mart ayları içerisinde gözlenmektedir. Ortalama 3 ile 3.5 m/s arasında meydana gelmektedir.

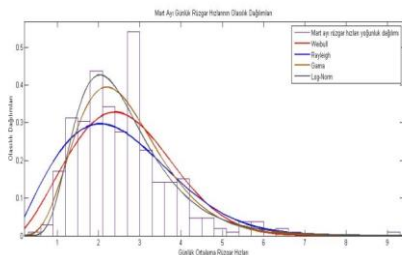
bir aya ait olasılık dağılımları ve analizler neticesindeki ortalama hız ve güç yoğunluğu değerleri saptanmıştır.



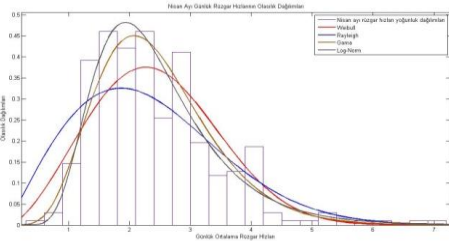
a) Ocak Ayı Dağılımı

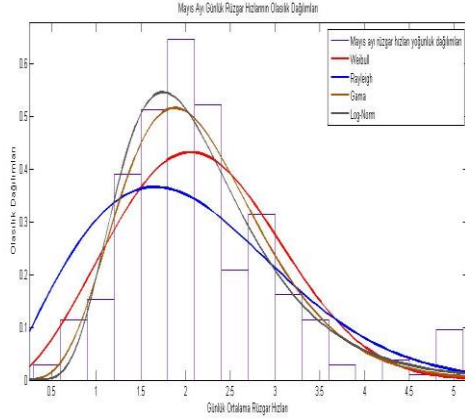


b) Şubat Ayı Dağılımı

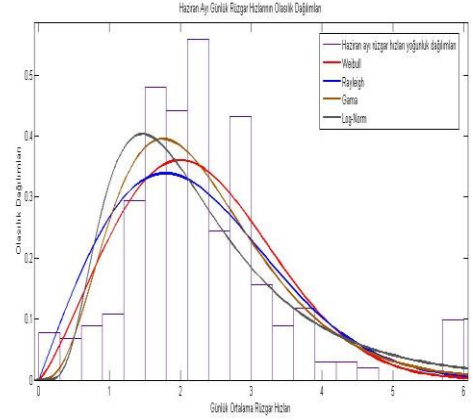


d) Nisan Ayı Dağılımı

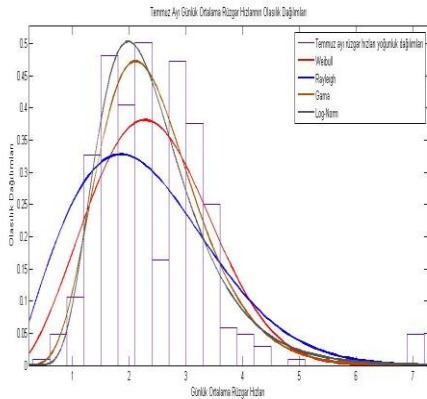




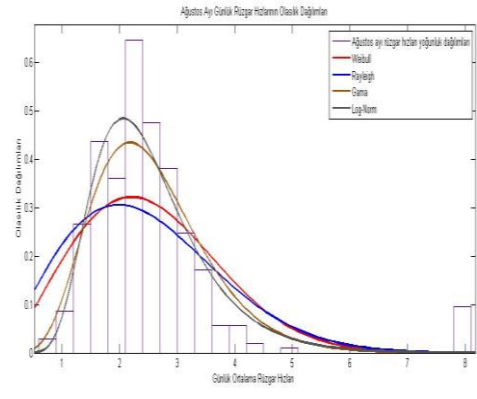
e) Mayıs Ayı Dağılımı



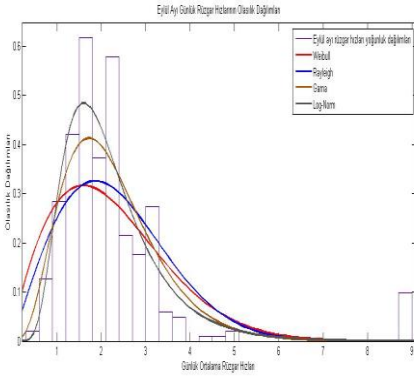
f) Haziran Ayı Dağılımı



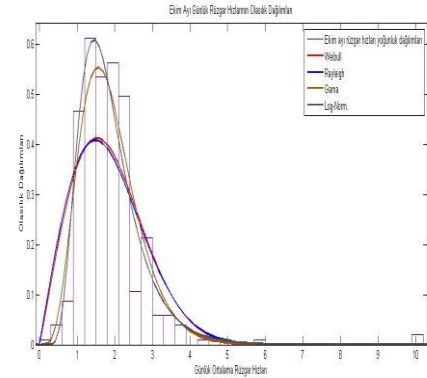
g) Temmuz Ayı Dağılımı



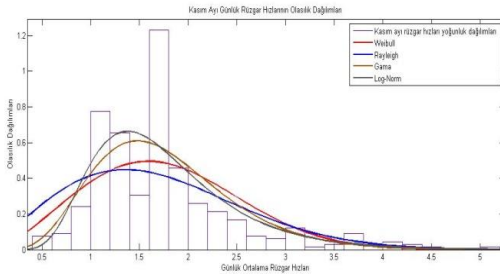
h) Ağustos Ayı Dağılımı



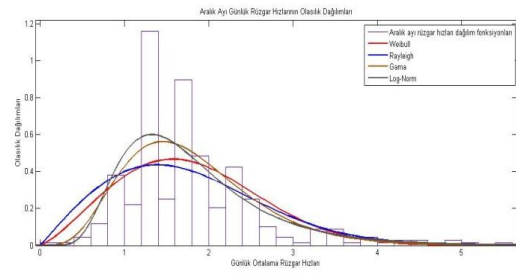
ı) Eylül Ayı Dağılımı



j) Ekim Ayı Dağılımı



k) Kasım Ayı Dağılımı



l) Aralık Ayı Dağılımı

Şekil 6. Aylara Göre Rüzgar Hızı Olasılık Dağılımları (Probability Distribution of Wind Speed According to Months)

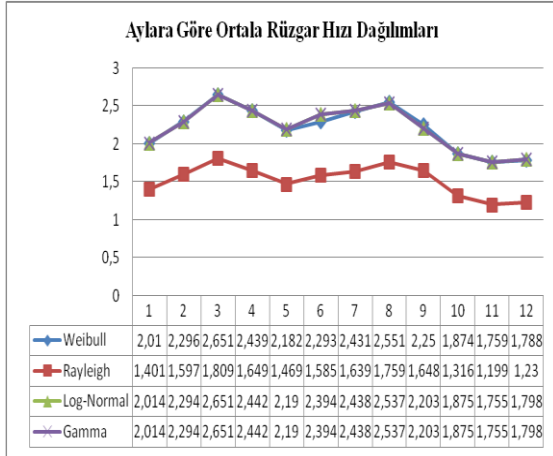
Aylara göre rüzgar hızı olasılık dağılımları Şekil 6'da görülmektedir.

Yapılan analizler neticesinde aylara göre elde edilen ortalama rüzgar hız ve güç dağılımları Şekil 7' de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde ortalama hız dağılımları içerisinde en yüksek değer Weibull ve Gamma dağılımlarında 2.651 m/s olarak, en düşük değer ise 1.199 m/s olarak Rayleigh dağılımında hesaplanmıştır. Güç dağılımları incelendiğinde en yüksek dağılım 18.519 W ile Weibull dağılımında Mart ayında elde edilmiştir.

parametreleri cinsinden karşılaştırdığımızda; en düşük hata oranları ortalama rüzgar hızı için % 0.11, ortalama güç yoğunluğu için ise % 0.88 olarak Weibull dağılımında görülmüş ve Weibull dağılımının daha güvenilir ve gerçekçi sonuçlara yakın değerler gösterdiği saptanmıştır.

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada 4 farklı dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlar Weibull, Rayleigh, Gamma ve Log-Normal.



Şekil 7. Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızları ve Güç Yoğunluğu Dağılımları (Average Wind Speed and Power Density Distribution According to Months)

Çizelge 1 incelendiğinde ise ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunluklarına göre hesaplanan hata parametreleri yer almaktadır. Kullanılan dağılım fonksiyonlarını hata

Yapılan istatistiksel analizler neticesinde ortalama rüzgar hız değerlerinin en yüksek Mart ayında 2.651 m/s olarak belirlenmiştir. En yüksek ortalama rüzgar hız değeri Weibull ve Gamma dağılımlarında görülmüştür. En

Çizelge 1. Ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunluklarına göre hesaplanan hata parametreleri (Error parameters are calculated according to the average wind speed and power density)

Dağılımlar	Hata Analizleri	Ock	Şbt.	Mrt.	Nisn.	Mys.	Hzn.	Tem	Ağus.	Eyl.	Ekm.	Ksm.	Arık.
Weibull	MSE (V)	0.0012	0.0020	0.0011	0.0014	0.0035	0.0088	0.0637	0.0034	0.0046	0.1900	0.2666	0.2817
	RMSE (V)	0.0342	0.0447	0.0338	0.0376	0.0592	0.0938	0.2524	0.0583	0.0678	0.4358	0.5163	0.5308
	MSE (P)	0.0088	0.0270	0.0151	0.0158	0.0311	0.0870	0.7316	0.0419	0.1364	1.3888	1.7999	1.4131
	RMSE (P)	0.0938	0.1643	0.1228	0.1256	0.1763	0.2949	0.8553	0.2046	0.3693	1.1784	1.3416	0.2967
Rayleigh	MSE (V)	0.6078	0.6940	0.8409	0.7916	0.7165	0.7168	0.8627	0.7954	0.5876	0.7490	0.8266	0.8497
	RMSE (V)	0.7790	0.8331	0.9170	0.8897	0.8465	0.8466	0.9288	0.8919	0.7665	0.8654	0.9092	0.9218
	MSE (P)	3,3612	4,9893	7,9609	6,3084	4,5609	5,1537	7,0620	7,0438	4,2025	4,0950	4,1335	4,4767
	RMSE (P)	1,8333	2,2336	2,8215	2,5116	2,1356	2,2701	2,6574	2,6540	2,0502	2,0236	2,0331	2,1158
Log-Normal	MSE (V)	0.0052	0.0027	0.0011	0.0016	0.0045	0.0922	0.0707	0.0174	0.0326	0.1910	0.2706	0.2917
	RMSE (V)	0.0719	0.0523	0.0338	0.0400	0.0673	0.3037	0.2659	0.1319	0.1805	0.4370	0.5202	0.5401
	MSE (P)	0.0393	0.0498	0.0151	0.0177	0.0408	0.9572	0.8097	0.2124	0.3021	1.3954	1.8232	1.9970
	RMSE (P)	0.1982	0.2231	0.1228	0.1330	0.2019	0.9783	0.8998	0.4608	0.5496	1.1812	1.3502	2.0576
Gama	MSE (V)	0.0048	0.0050	0.0039	0.0046	0.0065	0.0834	0.0677	0.0034	0.0144	0.1900	0.2706	1,4344
	RMSE (V)	0.0693	0.0710	0.0624	0.0678	0.0806	0.2887	0.2602	0.0583	0.1200	0.4358	0.5202	0.5447
	MSE (P)	0.0393	0.0270	0.0151	0.0158	0.0408	0.9572	0.7316	0.2124	0.3021	1.3888	1.8232	1.9970
	RMSE (P)	0.1982	0.1643	0.1228	0.1256	0.2019	0.9783	0.8553	0.4608	0.5496	1.1784	1.3502	1,4131

düşük rüzgar hızı Rayleigh dağılımının kullanıldığı Mart ayında 1.199 m/s olarak hesaplanmıştır. Kullanılan dağılım fonksiyonları açısından performans değerlendirmesi yapıldığında, hata parametrelerinden olan MSE ve RMSE Weibull dağılımında daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç Weibull dağılımının rüzgar hızı potansiyelinin belirlenmesinde daha güvenilir olduğunu göstermiştir. Özellikle Weibull dağılımı hata parametreleri incelendiğinde en düşük 0.0011 en yüksek 0.2817 değerleri arasında sonuçlar göstermiştir. Güç yoğunlukları dağılımı bakımından değerlendirildiğinde Mart ve Ağustos aylarında güç değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Rüzgar hızı verileri meteoroloji gözlem istasyonunun bulunduğu konumdan elde edildiği için çalışmada elde edilen rüzgar enerjisi potansiyeli bu konuma aittir. Şekil 1 incelendiğinde Tokat bölgesinde değerlendirilmeyi bekleyen rüzgar hızlarının bulunduğu konumların da varlığı görülmektedir. Bu çalışma ile Tokat bölgesinin rüzgar hızı değerlerinin yüksek olduğu konumları için yapılacak ölçümler Weibull dağılımı ile incelendiğinde, yatırımcılar için uygun potansiyellerin olduğunu göstermek adına öncü olacağı düşünülmektedir. Bir sonraki çalışma için yüksek rüzgar hızı potansiyeline sahip konumlardan alınan veriler üzerine çalışma yapılması düşünülmektedir.

Simgeler ve Kısaltmalar (Symbols and Abbreviations)

RMSE	: Kök ortalama karesel hata
MSE	: Ortalama karesel hata
E	: Kinetik enerji
m	: Taşınan hava kütlesi
ρ	: Hava yoğunluğu
P	: Rüzgar gücü
c	: Weibull ölçek parametresi
k	: Weibull şekil parametresi
$f(v)$: Weibull olasılık dağılım fonksiyonu
$F(V)$: Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu
v_{ort}	: Weibull ortalama rüzgar hızı
P_w	: Weibull ortalama güç yoğunluğu
v_m	: Rayleigh ortalama rüzgar hızı
P_R	: Rayleigh ortalama güç yoğunluğu
$V_{\log-normal}$: Log-Normal ortalama rüzgar hızı
P_L	: Log-Normal güç yoğunluğu
V_{γ}	: Gamma ortalama rüzgar hızı
P_G	: Gamma ortalama güç yoğunluğu

KAYNAKLAR

[1] Koç, E., Kaplan, E., "Dünyada ve Türkiye'de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi," *Termodinamik Dergisi*, 187, 70-80, (2008).

- [2] MMO, "Türkiye'nin Enerji Görünümü", Yayın No: MMO/588, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*, Ankara, (2012).
- [3] Mavi Kitap, Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Ankara, (2011).
- [4] Kurban M., "Elektrik Enerjisi Üretiminde Rüzgar Enerjisinin Yeri ve Önemi", *I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli, 22-24 Mayıs, (2003). (özet)
- [5] Eskin, N., Artar, H., Tolun, S., "Wind energy potential of Gökçeada Island in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2006).
- [6] Segura, J.V., Lambert, T.W., "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, (2000).
- [7] Kose, R., Ozgur, M. A., Erbas, O., Tugcu, A., "The Analysis of Wind Data and Wind Energy Potential in Kütahya, Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 277-288, (2004).
- [8] Bivona, S., Burlon, R., Leone, C., "Hourly Wind Speed Analysis in Sicily", *Renewable Energy*, 28(9):1371-1385, (2003).
- [9] Eskin, N., Artar, H., Tolun, S., "Wind Energy Potential of Gökçeada Island in Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 839-851, (2008).
- [10] Ulgen, K., Genc, A., Hepbasli, A., Oturanc, G., "Assessment of Wind Characteristics for Energy Generation", *Energy Sources*, 26, 1227-1237, (2004).
- [11] Durak, M., Şen, Z., "Wind Power Potential in Turkey and Akhisar Case Study", *Renewable Energy*, 25, 463-472, (2002).
- [12] *Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği*, "Türkiye Rüzgar Santralleri Atlası" Temmuz, (2015).
- [13] Özdamar, A., "Dünya ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (2-3): 133.145, (2000).
- [14] Özpınar, M.A., "Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Enerji Üretimiminin Modellenmesi ve Planlanması", *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, 235, (2007).
- [15] Altuner, S., "Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü", *Yüksek Lisans Tezi*, (2008).
- [16] Akdağ, S.A., "Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ve Ekonomik Analizinde Weibull Dağılımının Kullanımı", *Yüksek Lisans Tezi*, (2008).
- [17] Patel, R., "Wind and Solar Power Systems Design, Analysis and Operation", *CRC Press*, (2006).
- [18] Akdağ S.A., Güler Ö., "Weibull Dağılım Parametrelerini Belirleme Metodlarının Karşılaştırılması", *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES'2008, İstanbul, 17-19, (2008).
- [19] Akdağ S.A., Dinler A., "A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications", *Energy Convers Manag*, 50: 1761-1766, (2009).
- [20] Chang T.P., "Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application", *Appl Energy*, 88: 272-282, (2011).

- [21] Bailey, R. L., and Dell, T. R., “Quantifying diameter distributions with the Weibull function”, *Forest Science*, 19: 97-104, (1973).
- [22] Darbandi, S., Aalami, M.T., and Asadi, H. “Comparison of Four Distributions for Frequency Analysis of Wind Speed”, *Environment and Natural Resources Research*, 2(1), 96-105, (2012) .
- [23] Mert, İ., Karakuş, C., “ Antakya Bölgesinde Rüzgâr Gücü Yoğunluğu ve Rüzgâr Hızı Dağılımı Parametrelerinin İstatistiksel Analizi”, *Politeknik Dergisi*, 18 (1) : 35-42 (2015).
- [24] Nelson, T. C., “Diameter distribution and growth of loblolly pine” *Forest Science*, 10: 105-115, (1964).